Cambio Climático y su Relación con las Variables Hidrometeorológicas. Caso de Estudio Cuenca del Arroyo

Alférez, Bolívar-Colombia

Luz Daniela Paulo Costa

Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Pamplona

Programa de Ingeniería Ambiental

Directores:

PhD. Juan Carlos Rojas Vargas

PhD. María Esther Rivera

27 de junio 2021

Cambio Climático y su Relación con las Variables Hidrometeorológicas. Caso de Estudio Cuenca del Arroyo Alférez, Bolívar-Colombia

Luz Daniela Paulo Costa

Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Pamplona

Programa de Ingeniería Ambiental

Directores

PhD. Juan Carlos Rojas Vargas

PhD. María Esther Rivera

27 de junio 2021

Notas de Autor

Trabajo de Grado Presentado Como Como Requisito Para Optar al Título de Ingeniero Ambiental

Nota de Aceptación

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Firma del presidente del jurado

_____

Firma del jurado

_____

Firma del jurado

Pamplona, 27 junio 2021

Dedicatoria

A Dios por su bondad inmerecida, a quien debo todo lo que soy y seré. Por estar conmigo en cada instante a lo largo de este proceso, por permitirme soñar y darme la capacidad de volverlo realidad.

A mi madre, Luz Marina Costa Acosta por su apoyo y amor incondicional, por creer en mí, en mis sueños, mis capacidades y nunca dudar de ello. Por ser la brújula que orienta mi vida el aliento y las ganas de salir adelante y enseñarme siempre a dar lo mejor.

A mi Padre Alberto Paulo Herrera, por el amor y el apoyo a lo largo de estos años. Por forjar mi carácter y demostrarnos mutuamente que la dedicación y los sacrificios siempre tendrán buenos frutos.

A mis hermanos, Fernando Rafael y Alberto José, ustedes son el complemento de mi vida. Mi más preciado tesoro, mi sangre y mi motor, este logro es también de ustedes.

Agradecimientos

A mis padres y hermanos por su amor incondicional durante estos años. Por motivarme y apoyarme siempre, a ustedes debo todo lo que soy.

A mis directores, María Esther Rivera y Juan Carlos Rojas, personas de admirar y quienes se convirtieron en mis guías durante este camino.

A cada uno de los docentes de la universidad de Pamplona que me acompañaron y me impartieron sus conocimientos, quienes se convirtieron en amigos a lo largo de mi formación, en especial a la Profesora María Esther, por creer en mi desde el primer momento y acompañarme hasta en aquellos momentos donde sus palabras resultaron alentadoras, Dios la bendiga siempre.

A Ricardo Flórez, el mejor regalo que me hizo Dios y la Ingeniería Ambiental. Mi apoyo durante este camino y la persona que me demostró el verdadero valor de la amistad. A mis amigas Wen y Daya compañeras de trabajo, risas y momentos.

Tabla de contenido

Resumen 14
Abstract 15

Introducción 16
1. Planteamiento del Problema 17
2. Justificación 19
3. Objetivos 20
3.1. Objetivo General 20
3.2. Objetivos Específicos 20
4. Alcances y Limitaciones 21
4.1. Alcances 21
4.2. Limitaciones 21
5. Marco Referencial 22
5.1. Antecedentes 22
5.2. Marco Contextual 28
5.3. Marco Teórico 29
Cambio climático, clima y variabilidad climática 30
Aspectos meteorológicos y climáticos 32
Cobertura vegetal y usos del suelo 34
Indicadores de cambio climático y variabilidad climática 34
5.4. Marco Conceptual 37
5.5. Marco Legal 39

6. Metodología 41
6.1. Caracterización físico-morfométrica de la cuenca del Arroyo Alférez 41
6.2. Análisis de la cobertura vegetal y uso del suelo de la zona de estudio 41
6.3. Determinación del comportamiento temporal de las variables hidrometeorológicas 42
6.4. Análisis estadístico del comportamiento de las variables hidrometeorológicas con los indicadores de cambio climático. 45
7. Resultados y Discusión 46
7.1. Caracterización Físico-Morfométrica de la Cuenca del Arroyo Alférez. 46
7.2. Análisis de la Cobertura Vegetal, uso del Suelo de la Zona de Estudio 52
7.3. Determinación del comportamiento temporal de las variables hidrometeorológica 58
7.3.1 Análisis de Isoyetas en series de 5 años 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015, 2020 58
7.3.2 Análisis de isotermas en series de 5 años 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015, 2020 61
7.3.3 comportamiento temporal de las variables: Precipitación, Temperatura y Brillo Solar 63
7.3.4 Análisis de Anomalías para precipitación 70
7.3.5 Análisis de Anomalías para Temperatura 76
7.3.5 Comportamiento temporal Mensual Multianual de las variables 78

7.4. Análisis estadístico del comportamiento de las variables con los indicadores de cambio climático 83

7.4.1 Correlación de Pearson para valores de precipitación vs ONI 86

7.4.2 Correlación de Pearson para valores de Temperatura 92

7.4.3Correlación de Pearson para valores de Brillo Solar 94

8. Conclusiones 97

9. Recomendaciones 99

Referencias Bibliográficas 100

Anexos 107

Lista de Figuras

Figura 1 *Mapa de localización de la zona de estudio*..... 28

Figura 2 *Mapa de ubicación, Estaciones hidrometeorológicas presentes en la zona de estudio*..... 43

Figura 3 *Mapa de clasificación de Pendientes Cuenca del Arroyo Alférez* 50

Figura 4 *Curva Hipsométrica y Frecuencia de Altitudes, Cuenca del Arroyo Alférez* ... 51

Figura 5 *Perfil Longitudinal Cauce Principal Cuenca Arroyo Alférez*..... 52

Figura 6 *Mapa de cobertura vegetal y uso del suelo en la cuenca del Arroyo Alférez.* .. 54

Figura 7 *Mapas de distribución Espacio Temporal de la Precipitación 1995-2015*..... 59

Figura 8 *Mapa de distribución Espacio Temporal de la Precipitación 2020* 60

Figura 9 *Mapas de distribución Espacio Temporal de la Temperatura 1990-2015* 61

Figura 10 *Mapa de distribución Espacio Temporal de la Temperatura 2020* 62

Figura 11 *Comportamiento Temporal de la Precipitación acumulada, Estación El Carmen.*..... 63

Figura 12 *Comportamiento Temporal de la Temperatura Máxima, Mínima y Media en la Estación El Carmen.* 64

Figura 13 *Comportamiento Temporal de las Precipitaciones, Estación Monterrey Forestal*..... 65

Figura 14 *Comportamiento Temporal de la Precipitación acumulada, estaciones presentes en la zona de estudio.*..... 67

Figura 15 *Comportamiento Temporal del promedio de Brillo solar horario, Estación El*

Carmen. 68

Figura 16 *Comportamiento Temporal de la Temperatura, Estación Monterrey Forestal* 69

Figura 17 *Comportamiento Temporal del promedio de Brillo solar horario, Estación Zambrano* 70

Figura 18 *Comportamiento temporal de las anomalías de precipitación en las estaciones (a)El Carmen y (b)Casa de piedra* 73

Figura 19 *Comportamiento temporal de las anomalías en las estaciones (a)Indugan Hacienda y (b)San Cristóbal* 74

Figura 20 *Comportamiento temporal de las anomalías en las estaciones (a)Zambrano y (b)Cañonegro* 75

Figura 21 *Comportamiento temporal de las anomalías en la estación Monterrey Forestal* 76

Figura 22 *Comportamiento temporal de las anomalías de temperatura en las estaciones (a)El Carmen y (b)Monterrey Forestal* 77

Figura 23 *Comportamiento Temporal de la Precipitación Mensual Multianual de las estaciones (a) El Carmen y (b) Cañonegro* 78

Figura 24 *Comportamiento Temporal de la Precipitación Mensual Multianual de las estaciones (a) Indugan Hacienda y (b) Zambrano* 79

Figura 25 *Comportamiento Temporal de la Precipitación Mensual Multianual de las estaciones (a) Casa de piedra y (b) San Cristóbal* 80

Figura 26 *Comportamiento Temporal de la Precipitación Mensual Multianual de la estación Monterrey Forestal* 81

Figura 27 *Comportamiento Temporal de la Temperatura Mensual Multianual de las estaciones (a) El Carmen y (b) Monterrey Forestal* 82

Figura 28 *Comportamiento Temporal de la Brillo Solar Mensual Multianual de las estaciones (a) El Carmen y (b) Monterrey Forestal* 83

Figura 29 *ONI, Estación El Carmen* 86

Figura 30 *ONI, Estación San Cristóbal* 87

Figura 31 *ONI, Estación. Casa de Piedra* 88

Figura 32 *ONI, Estación Zambrano* 89

Figura 33 *ONI, Estación Indugan Hacienda* 90

Figura 34 *ONI, Estación Cañonegro* 91

Figura 35 *ONI, Estación Monterrey Forestal* 92

Figura 36 *ONI, Estación El Carmen* 93

Figura 37 *ONI, Estación Monterrey Forestal* 94

Figura 38 *ONI, Estación El Carmen* 95

Figura 39 *ONI, Estación Monterrey Forestal* 96

Lista de Tablas

Tabla 1 *Interpretación de anomalías de precipitación* 39

Tabla 2 *Normativa Colombiana aplicable en la investigación.* 39

Tabla 3 *Estaciones climatológicas e hidrometeorológicas presentes en la zona de estudio y utilizadas para el análisis de datos* 44

Tabla 4 *Resultados de los parámetros físico-morfométricos de la zona de estudio* 46

Tabla 5 *Clasificación de pastizales y valor en hectáreas presentes en municipio de El Carmen de Bolívar* 56

Tabla 6 *Clasificación de cobertura vegetal en zona de estudio por el método de Corine Land Cover* 57

Tabla 7 *Resultados de anomalía para precipitación* 72

Tabla 8. *Correlación de Pearson para valores de ONI en la Cuenca del Arroyo Alférez* 85

Lista de Anexos

Anexo A. *Cálculo de anomalías para temperatura*..... 107

Anexo B *Valores Índice Niño Oceánico*..... 108

Anexo C *Unidad de cobertura vegetal, municipio del Carmen de Bolívar*..... 109

Anexo D *Hidrología del municipio del Carmen de Bolívar*..... 110

Resumen

El Arroyo Alférez, el cual se constituye como el mayor recurso hídrico del municipio de El Carmen de Bolívar en Bolívar, recorriéndolo de Occidente a Oriente y alimentando al final de su recorrido la ciénaga de Zambrano y el río Magdalena. Hoy en día es notorio los niveles de deterioro que han venido presentando las cuencas a lo largo de los años como consecuencia de las acciones antrópicas. Así mismo, se atribuyen al cambio climático, responsable de provocar alteraciones en los ecosistemas, el incremento del nivel del mar, sequías, inundaciones, aumentos en la temperatura media en la superficie terrestre, etc.

En la presente investigación se analizó la relación del cambio climático con la Precipitación, Temperatura y Brillo solar, para ello, se realizó la caracterización fisicomorfométrica de la cuenca del Arroyo Alférez, Con el uso de imágenes satelitales gratuitas y el software QGIS (libre y gratuito), se obtuvieron los mapas del cambio de cobertura vegetal y los usos del suelo en la zona de estudio. Así mismo se analizó el comportamiento temporal de las variables hidrometeorológicas mencionadas mediante gráficas y elaboración de mapas de distribución de la precipitación y temperatura por periodos de cinco años. El análisis de la información hidrometeorológica se llevó a cabo mediante Excel e IBM Spss statistic.

Con el análisis estadístico se determinó la relación existente entre las variables hidrometeorológicas estudiadas y el ONI, además de corroborar el comportamiento mediante las anomalías presentadas en los distintos periodos debido a la variabilidad climática asociada al ENSO que indicaran la relación de este fenómeno global con las variables de estudio.

Palabras claves: ENSO, Arroyo, Cambio Climático, ONI, Anomalía, Usos del suelo.

Abstract

The stream Alférez, which is the largest water resource in the municipality of El Carmen de Bolívar in Bolívar, crossing it from West to East and feeding at the end of its route the Zambrano swamp and the Magdalena River. Nowadays, the levels of deterioration that the basins have been presenting over the years as a result of anthropic actions are notorious. Likewise, they are attributed to climate change, responsible for causing alterations in ecosystems, the increase in sea level, droughts, floods, increases in the average temperature on the earth's surface, etc.

In this research, the relationship of climate change with Precipitation, Temperature and solar brightness was analyzed, for this, the physicomorphometric characterization of the stream Alférez basin was carried out, with the use of free satellite images and QGIS software (free and free), maps of vegetation cover change and land use in the study area were obtained. Likewise, the temporal behavior of the aforementioned hydrometeorological variables was analyzed by means of graphs and development of distribution maps of precipitation and temperature for periods of five years. The analysis of the hydrometeorological information was carried out using Excel and IBM Spss statistic.

With the statistical analysis, the relationship between the hydrometeorological variables studied and the ONI was determined, in addition to corroborating the behavior through the anomalies presented in the different periods due to the climatic variability associated with the ENSO.

Keywords: ENSO, Stream, Climate change, ONI, Anomaly, ground uses

Introducción

El cambio climático es un fenómeno de escala mundial, y uno de los temas más topados que hace referencia a la variación global y regional del clima en la tierra a lo largo del tiempo. La organización Meteorológica Mundial lo define como una “fluctuación cuya escala temporal característica es larga y se manifiesta en la inconstancia de los valores normales de una variable para un periodo mínimo de 30 años”. El análisis en de los elementos del clima es importante en el estudio de una cuenca hidrográfica, dado que afecta el funcionamiento hidrológico de la misma y en consecuencia sus condiciones, teniendo en cuenta lo anterior se hace necesario este tipo de estudios que permitan tener una base del estado actual y del comportamiento que se viene presentando en esta cuenca.

La presente investigación se lleva a cabo en la cuenca del Arroyo Alférez al norte del departamento de Bolívar. El arroyo Alférez desemboca sus aguas en la ciénaga de Zambrano y el rio Magdalena de aquí se desprende su importancia, y además es considerado el mayor recurso hídrico del municipio del Carmen de Bolívar de acuerdo con la información presentada en el Plan Básico de Ordenamiento Territorial de este municipio.

La finalidad de este trabajo es determinar la relación que tiene el cambio climático sobre las variables Precipitación, Temperatura y Brillo Solar alrededor de la cuenca, mediante la obtención de evidencias de variabilidad y cambio climático en estas variables, además de la caracterización Físico- Morfométrica y análisis de cobertura vegetal y uso de los suelos en la zona de estudio.

1. Planteamiento del Problema

El cambio climático es uno de los temas más abordados en la actualidad, es un tema obligatorio en las preocupaciones que compete a todos como seres humanos responsables y en la agenda de cualquier gobierno. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1992) en el artículo 1, define el cambio climático como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observado durante períodos de tiempo.

Según Díaz (2012), al ritmo que vamos, vivir en el mundo va siendo cada vez más complicado. El cambio climático se presenta en eventos prolongados de precipitaciones, periodos largos de sequía, aumentos en la temperatura, cambios en la dirección del viento, cambio en la migración de los animales, aumentos en el nivel de mar y deshielo en los polos, haciendo que ese ambiente paradisiaco del que se tenía referencias desaparezca a una velocidad dañina para la supervivencia humana.

A nivel mundial y local muchos investigadores hablan de cambio climático para hacer referencia a la variación global o regional del clima en la Tierra a lo largo del tiempo. Científicamente este fenómeno es definido como la variabilidad observada respecto al clima promedio en escalas de tiempo que van de unas cuantas décadas a millones de años. Por ello, usar el término “cambio climático” en referencia exclusiva a los cambios ocurridos muy recientemente en la historia de la Tierra puede resultar confuso, especialmente considerando que el estudio del pasado terrestre demuestra que el clima ha cambiado siempre, constantemente y desde antes de que los humanos existiéramos.

Como describe Urías (2007), entender los factores que controlan el clima y las causas del cambio climático reciente permite evaluar cuánto de este cambio es producto de la variación natural del sistema climático y hasta dónde es una consecuencia de la actividad humana.

El cambio climático tiene consecuencias sobre cada una de las variables meteorológicas como prueba de esto, Cantor (2011) en su tesis realizó una evaluación y análisis espaciotemporal de tendencias de largo plazo en la hidroclimatológicas colombiana, desarrollando un diagnóstico detallado y actualizado de señales de cambio climático en variables hidroclimatológicas en Colombia, la evaluación de la existencia de tendencias de largo plazo en la media de series mensuales de precipitación, temperaturas medias y caudales medios en Colombia, así como la cuantificación de las tendencias detectadas, el análisis de la distribución espacial de las mismas.

En el Carmen de Bolívar y específicamente sobre el arroyo Alférez no existen muchos estudios sobre el estado de este a pesar que es considerado una de las mayores riquezas hídricas de este municipio, por lo tanto, mediante esta investigación se busca analizar principalmente la influencia del cambio climático en las variables hidrometeorológicas alrededor de esta cuenca y los cambios presentados a lo largo de un periodo de años no menor a treinta.

Con lo anterior surgen los siguientes interrogantes; ¿De qué manera se comporta esta cuenca con el cambio climático?, ¿Se encontrarán indicios de cambio climático en las variables hidrometeorológicas estudiadas alrededor de esta cuenca?,¿Cómo se comportan las variables?

2. Justificación

La presente investigación tiene como finalidad el análisis de la relación del cambio climático y las variables hidrometeorológicas en la cuenca del arroyo Alférez en el departamento de Bolívar en Colombia. Lo anterior, es de gran importancia para la comunidad científica y población general, debido que en la región de la costa Caribe no se cuenta con mucha información acerca del cambio climático y la consecuencia que tiene este para las cuencas del caribe. Contribuyendo a la generación de conocimientos y ser precursora de nuevos estudios.

Esta investigación sirve de base para la Alcaldía del municipio y la CAR, para estudios posteriores donde se requiera analizar más a fondo el estado de la cuenca del arroyo Alférez y la implementación de soluciones para mitigar el impacto del cambio climático sobre la misma. Además, aporta conocimiento a la misma comunidad local y científica, tales como los estudiantes de las diferentes universidades interesados en este tema .

3. Objetivos

3.1.Objetivo General

Analizar la relación del cambio climático y las variables hidrometeorológicas en la cuenca del Arroyo Alférez, Bolívar-Colombia.

3.2.Objetivos Específicos

- Caracterizar físico-morfométricamente la cuenca del Arroyo Alférez
- Analizar la cobertura vegetal, uso del suelo de la zona de estudio.
- Determinar el comportamiento temporal de las variables hidrometeorológicas
- Analizar estadísticamente el comportamiento de las variables con los indicadores de cambio climático.

4. Alcances y Limitaciones

4.1.Alcances

Con la presente investigación se analizó la relación del cambio climático y las variables hidrometeorológicas en la cuenca del Arroyo Alférez, Bolívar-Colombia. Se realizó la caracterización físico-morfométrica a partir de un modelo de elevación digital DEM, se identificó el tipo de cuenca y sus características para el relieve y la red de drenaje. Además, se determinó el tipo de cobertura vegetal y uso del suelo en la Cuenca del Arroyo Alférez, luego se analizó el comportamiento de las variables meteorológicas alrededor de la cuenca. Por último, haciendo uso de los datos representativos del Índice Oceánico basados en un umbral de +/- 0.5 º C para el Índice de Niño Oceánico (ONI), se realizó un análisis estadístico del comportamiento de las variables relacionadas con el cambio climático y variabilidad mediante una correlación.

4.2.Limitaciones

Dentro de las limitaciones que se tuvieron para el desarrollo de la presente investigación fue la falta de estaciones meteorológicas in situ, puesto que para el análisis de cambio climático es necesario conocer los eventos meteorológicos extremos principalmente relacionados con precipitaciones o temperaturas prolongadas alrededor de los años, además de los cambios presentados en ello.

5. Marco Referencial

5.1.Antecedentes

A continuación, se muestran algunos de los estudios muy similares con la presente investigación. Estos estudios fueron escogidos de manera que se brinde una explicación acerca de las diferentes metodologías que se pueden aplicar para el análisis de datos de variables hidrometeorológicas, el cambio en los suelos y estudio de los fenómenos que son producto del cambio climático.

Cantor Gómez, D. (2011), realizó una Evaluación y análisis espaciotemporal de tendencias de largo plazo en la hidroclimatología colombiana, desarrollando un diagnóstico detallado y actualizado de señales de cambio climático en variables hidroclimatológicas en Colombia. Para ello, realizó la evaluación de la existencia de tendencias de largo plazo en la media de series mensuales de precipitación, temperaturas medias y caudales medios en Colombia, así como la cuantificación de las tendencias detectadas, el análisis de la distribución espacial de las mismas y la evaluación y cuantificación de la magnitud de corrimientos de fase en el ciclo anual y semianual de las series analizadas, concluyendo que en las variables analizadas no se presenta un patrón claro en la relación de la magnitud de la tendencia con la elevación de la estación sobre el nivel del mar, excepto posiblemente en los caudales medios donde las tendencias positivas tienden a concentrarse en las regiones más bajas.

Pérez *et al*. (1998) y Mesa *et al*. (1997) implementaron algunas de las técnicas estadísticas utilizadas por Smith *et al*. (1996) e incluyeron algunas otras para identificar señales de cambio climático en registros de temperatura, presión de vapor, punto de rocío, precipitación

y caudal, en Colombia. Además, estudiaron cambios de fase y amplitud del ciclo anual y semianual de los registros analizados usando demodulación compleja, obteniendo claras tendencias crecientes en las series de temperatura mínima y media, las series de punto de rocío y presión atmosférica indicando aumento en la humedad atmosférica, es decir calentamiento. Las series de precipitación no presentaron señal clara de cambio y las principales cuencas de análisis mostraron tendencias decrecientes en sus caudales.

Por otra parte, Hurtado Montoya & Mesa Sánchez (2015), realizaron un estudio de Cambio climático y variabilidad espacio-temporal de la precipitación en Colombia, utilizando la reconstrucción histórica de la precipitación en Colombia, conformada por 384 mapas de precipitación mensual en el periodo 1975-2006 a una resolución espacial de 5 minutos de arco. consistió en la estimación y análisis de funciones ortogonales empíricas, componentes Principales y pruebas estadísticas de homogeneidad para la detección de cambios o tendencias en el tiempo de precipitación mensual en Colombia. Una de las conclusiones fue que las precipitaciones muestran una tendencia creciente en prácticamente toda Colombia, con excepción del Alto Cauca, Arauca y Casanare.

Girvetz, E.H., *et al*. (2009) desarrollaron un análisis del cambio climático a través de la herramienta Climate Wizard, explorando tendencias históricas y futuras desviaciones (anomalías) en temperatura y precipitación a nivel mundial, y dentro de zonas y países latitudinales específicos. Encontraron que los mayores aumentos de temperatura durante 1951-2002 ocurrieron en los países del hemisferio norte (especialmente durante enero-abril), pero la latitud del mayor cambio de temperatura varió a lo largo del año, oscilando sinusoidalmente

desde aproximadamente 50 ° N durante febrero-marzo hasta 10 ° N durante agosto-septiembre. Las disminuciones de las precipitaciones ocurrieron con mayor frecuencia en países entre 0 y 20 ° N, y los aumentos ocurrieron principalmente fuera de esta región latitudinal. Los resultados de estos análisis fueron consistentes con los reportados por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático.

En Medellín (Colombia), Cantor & Ochoa (2011) presentaron señales de cambio climático en series de lluvia, evaluando tendencias de largo plazo en series mensuales de lámina de lluvia, número de días de lluvia y series mensuales de la lámina de lluvia promedio diaria obtenidas al dividir la lámina de lluvia por el número de días lluviosos de cada mes, en 45 estaciones hidroclimatológicas distribuidas en Antioquia (Colombia). Asimismo, Brown, *et al.* (2015) en su artículo "El cambio climático y sus evidencias en las precipitaciones" realizado en la Habana (Cuba) analizaron una serie de 30 años de precipitaciones y número de días con lluvia desde 1977 al 2006 aplicando métodos de análisis de la serie temporal como porcentaje medio, promedios móviles y suavización exponencial. Determinaron las evidencias de cambio climático mediante anomalías climáticas, patrones de desplazamiento y la curva acumulada de las variables estudiadas

Arango, C. *et al.* (2014) llevaron a cabo un estudio de Variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada al Ciclo El Niño, la Niña–Oscilación del Sur (ENSO) estudiaron los principales índices que caracterizan el ciclo ENSO, así como su afectación sobre la precipitación por trimestres, mediante la aplicación del coeficiente de correlación de Pearson y su significancia estadística, para 1072 estaciones meteorológicas distribuidas en las regiones

naturales de Colombia. La metodología uso de la técnica del Análisis Compuesto, identificando los índices con más alta correlación en cada trimestre para cada una de las regiones naturales entre los resultados la región Andina mostró estar mejor correlacionada con la mayoría de los índices, mientras, la Orinoquía y la Amazonía, presentaron correlaciones bajas.

González, D. (2020), realizó una Estimación de la relación entre el índice de sequía y la variabilidad climática asociada a fenómenos ENSO en la quebrada Monteadentro, en el municipio de Pamplona, Norte de Santander. Para estimar la relación se llevó a cabo la determinación de los parámetros físico - morfométricos asociados al escurrimiento. De igual manera identificó los factores de carácter natural y antrópico que inciden en el comportamiento del nivel del agua y caudal de la quebrada. Por otra parte, evaluaron el comportamiento hidrológico de la quebrada mediante el software HEC-HMS y se determinó el Índice Estandarizado de Sequía Pluviométrica para la serie histórica de precipitación entre 1985 y 2020, y la correlación mediante el coeficiente de Pearson con fenómenos ENSO caracterizados a partir del índice Niño Oceánico. Se concluyó mediante la caracterización de la cuenca que es un cuerpo hídrico sedimentario que tiene tendencia a estado de madurez y con una forma y red de drenaje característica de respuesta rápida ante eventos como lluvias torrenciales, las actividades que se realizan en la zona son las responsables del comportamiento hídrico y la degradación del mismo, respecto a La variabilidad climática asociada a fenómenos ENSO DE la zona de estudio, está relacionada en un 54.29% con el índice Estandarizado de Sequia Pluviométrica, lo que traduce a que el último año de estudio se caracterice por bajas precipitaciones y se relaciona con los descensos de niveles y caudales presentado en la quebrada Monteadentro.

Así mismo Jaimes, J. (2020), en Pamplona- Norte de Santander determina el índice de

creciente y sequía en la Quebrada El Rosal. Determinaron los factores naturales y antrópicos que inciden en la disponibilidad del recurso hídrico de la zona de estudio y posteriormente realizó la caracterización física y morfométrica de la cuenca. Con la información hidrometeorológica proporcionada por el IDEAM se obtuvieron los factores hidrológicos e hidráulicos de la zona en estudio y el análisis estadístico de las precipitaciones máximas y mínimas de la zona, una las conclusiones de este estudio fue que el valor del índice de sequía mensual de la serie histórica 1990 - 2020, varió en valores desde sequía extrema a humedad extrema y las precipitaciones han presentado una disminución, las épocas de sequía se han venido presentando con mayor frecuencia. Por otro lado, infiere en que los factores naturales que inciden en la disponibilidad del recurso hídrico son las épocas con ausencia total o parcial de precipitaciones que se ven acompañadas por altas temperaturas, que se ven agravadas por eventos como el fenómeno del niño, que provocan una disminución del caudal desequilibrando la oferta y la demanda hídrica en la quebrada el Rosal.

De la Ossa, María & González, María (2011) en su tesis “Metodología para estimar hidrogramas de crecientes a partir de modelos lluvia-escorrentía empleando HYFRAN y HEC-HMS. Caso de estudio: cuenca del Arroyo Matute, localizado en el departamento de Bolívar (Colombia)” proponen una metodología basada en programas comerciales existentes y que, junto con la ayuda de información hidrometeorológica disponible, conlleven a obtener soluciones con herramientas computacionales de muy bajo costo para problemas que se presenten en los diversos casos de estudio hidrológicos. Con esto plantear una solución para la obtención de una modelación lluvia-escorrentía que genere información oportuna y a un costo prácticamente nulo. Para el caso Arroyo Matute se estimaron los hidrogramas de creciente asociados a diferentes

periodos de retorno utilizando los programas Hyfran y Hec-HMS, obteniendo los siguientes valores para caudal pico: para un periodo de retorno de 2.33 años y se recomendó la metodología de rutinas de sub-calibración.

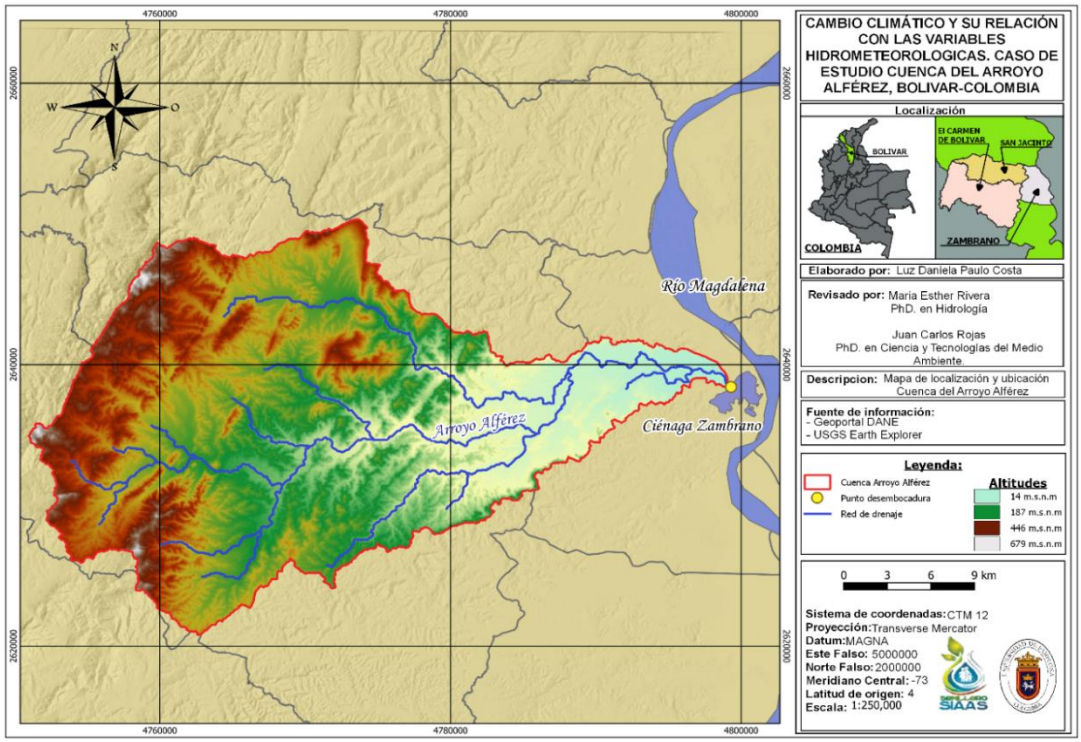
Mejía, A, Flores, J & Torres, V. (2007) a nivel local realizan un estudio sobre Nanofósiles calcáreos de la sección Arroyo Alférez (Carmen de Bolívar): una ozonificación preliminar para el Oligoceno – Mioceno en el medio del Norte de Colombia. Esta investigación consistió en el primer esquema biocronológico basado en Nanofósiles calcáreos del norte de Colombia, se presenta como resultado del análisis de 40 muestras de superficie de la sección Arroyo Alférez en el departamento de Bolívar, Colombia. La nanoflora está representada por Cyclicargolithus floridanus, Cyclicargolithus abisectus, Reticulofenestra minuta, Reticulofenestra minutula, Reticulofenestra media y Reticulofenestra pseudoumbilicus, con algunos niveles de Helicosphaera. Se reconocen las biozonas NP23 a NN5, según el esquema de Martini (1971) y CP18 a CN4 según el esquema de Bukry (1973, 1975). Esto indica que el intervalo analizado va desde el Oligoceno Temprano (Rupeliense) hasta el Mioceno Medio (Langhiense-Serravalliense). Esta biozonificación constituye el punto de partida para obtener un marco biocronológico del Cenozoico con base en Nanofósiles para el norte de Colombia y con aplicación directa a la explotación de hidrocarburos.

5.2.Marco Contextual

La Cuenca del arroyo Alférez (**Figura 1)**, ubicada en el departamento de Bolívar (Colombia). Sus límites son: al norte con el municipio de San Jacinto, al sur con el departamento de sucre, al Este con el departamento del Magdalena y de acuerdo con el Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT, 2002-2011) del municipio del Carmen, El Arroyo Alférez riega los municipios del Carmen de Bolívar (Bolívar) y Zambrano de Oeste a Este, alimentando al final de su recorrido la ciénaga de Zambrano y el río Magdalena.

Figura 1

Mapa de localización de la zona de estudio



Fuente: Paulo (2021)

Parte de la zona urbana del Carmen de Bolívar se haya construida en el valle estrecho de este arroyo, por ello en épocas de grandes avenidas existe un número considerable de

damnificados, ya que el arroyo trata de ocupar las áreas normales de inundación. Además, se conoce que recibe las vertientes de los arroyos el Iracal, Arena, San Isidro, Bajo Grande, Membrillal, Bonito, Carvajal, Las Piedras, Hato Nuevo, Piedra Azul, Las Burras, San Jacinto, cañada del Barro, arroyo Caracolí, Sabaneta, Poza. Es por ello que se hace necesario prestar atención al estado actual de esta cuenca.

5.3.Marco Teórico

Para López & Patrón (2013), las **cuencas hidrográficas** son espacios territoriales delimitados por un parteaguas (partes más altas de montañas) donde se concentran todos los escurrimientos (arroyos y/o ríos) que confluyen y desembocan en un punto común llamado también punto de salida de la cuenca, que puede ser un lago (formando una cuenca denominada endorreica) o el mar (llamada cuenca exorreica). Las cuencas hidrográficas permiten entender espacialmente el ciclo hidrológico, así como cuantificar e identificar los impactos acumulados de las actividades humanas o externalidades (sedimentos, contaminantes y nutrientes) a lo largo del sistema de corrientes o red hidrográfica, que afectan positiva o negativamente la calidad y cantidad del agua, la capacidad de adaptación de los ecosistemas y la calidad de vida de sus habitantes.

Para Gaspari, (2002) Su función hidrológica se asemeja al de un colector que recibe la precipitación pluvial y la convierte en escurrimiento. Esta transformación se produce en función de las condiciones climatológicas y físicas, aunada a la naturaleza del suelo y cobertura vegetal. De acuerdo con López, (1998) la influencia de estos factores es cuantificable para comprender e interpretar su comportamiento morfo dinámico y su respuesta hidrológica.

Según Garrido A., Pérez D.J.L. & Enríquez C. (2010) en función de la dinámica

hidrológica se pueden reconocer tres zonas funcionales distintas al interior de una cuenca: **1.** La zona de captación, de cabecera o cuenca alta. Son áreas aledañas a la divisoria de aguas o parteaguas en la porción altimétrica más elevada de la cuenca; abarca sistemas de montaña y lomeríos. En esta zona se forman los primeros escurrimientos (arroyos) luego que los suelos han absorbido y retenido toda el agua según su capacidad. **2.** La zona de almacenamiento, de transición o cuenca media. Es una zona de transición entre la cuenca alta y la cuenca baja, donde los escurrimientos iniciales confluyen aportando diferentes caudales cuyas concentraciones de sedimentos, contaminantes y materia orgánica diferirán en función de las actividades que se realizan en cada subcuenca; es un área de transporte y erosión. **3.** La zona de descarga, de emisión o cuenca baja. Es el sitio donde el río principal desemboca en el mar o bien en un lago. Se caracteriza por ser una zona de importantes ecosistemas, como los humedales terrestres y costeros, además de muy productiva para el uso agrícola y donde se acumulan los impactos de toda la cuenca.

Para caracterizar una cuenca hidrográfica, necesitamos cuantificar todos los parámetros que describen la estructura física y territorial con el fin de establecer las posibilidades y limitaciones de sus recursos, pero también para identificar problemas presentes y potenciales. La caracterización de una cuenca se inicia con la delimitación de su territorio, la forma, tamaño o área, pendiente media y pendiente del cauce principal, red de drenaje, etc. Algunos de estos "parámetros geomorfológicos" sirven de base para identificar la vulnerabilidad y considerar peligros a los desastres.

Cambio climático, clima y variabilidad climática

De acuerdo con el IDEAM (2019), el **cambio climático** es toda discrepancia de las predicciones a largo plazo de las variables meteorológicas para distintos tiempos, respecto a la

misma zona de influencia, sin depender de las causas físicas o estadísticas. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) lo define como ‘un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables’.

Para Melo, et al., (2018) se entiende por **clima** a las condiciones atmosféricas predominantes durante un período determinado sobre un lugar o una región. Ese período puede ser una semana, o de cinco-diez días, mes(es), años, siglos. Las condiciones predominantes generalmente se cuantifican con el promedio de temperatura del período, el acumulado de precipitación en el periodo o el número de fenómenos extremos ocurrido en el período. Las estaciones del año son la expresión más común del concepto clima. En la zona tropical, en donde se localiza Colombia, las estaciones están marcadas en la precipitación (estación lluviosa – estación seca). El clima regula la distribución de las condiciones meteorológicas y los fenómenos atmosféricos extremos. Así, debido a condiciones climáticas determinado tipo de fenómeno extremo (tornado, granizo, huracán, tormenta eléctrica) se registra o es más frecuente en determinada región en alguna época del año y no en otra. Por otro lado, Rivas (2018) menciona que el clima se puede conceptualizar como el conjunto de promedios del tiempo que se da en la atmósfera que guarda un carácter muy estable, que dura en un periodo; pero relativamente largo que puede ser (30 años), por lo cual ejerce su influencia sobre las demás condiciones ambientales.

Asimismo, el IDEAM, (2019) define **variabilidad climática** se refiere a las variaciones en el estado medio y otros datos estadísticos del clima en todas las escalas temporales y

espaciales, más allá de fenómenos meteorológicos determinados. La variabilidad se puede deber a procesos internos naturales dentro del sistema climático o a variaciones en los forzamientos externos antropogénicos. La CMNUCC distingue entre ‘cambio climático’ atribuido a actividades humanas que alteran la composición atmosférica y ‘variabilidad climática’ atribuida a causas naturales.

Aspectos meteorológicos y climáticos

De acuerdo con el IDEAM (2019), la **Precipitación** es el volumen de agua llovida que pasa por una superficie en un periodo determinado. Para Cadena (2005) citado por Mayorga & Hurtado (2006) representa la cantidad de lluvia en milímetros (mm), sumada por periodos de diez días, en el Método de Palmer o promediada mensualmente en el caso de los Deciles o el SPI. También, Rivas (2018) menciona que las precipitaciones tienen gran importancia en la vida humana y en las demás condiciones geográficas.

Al hablar de **Temperatura,** el IDEAM (2019) la define como la dimensión física que define el movimiento medio de las moléculas en un cuerpo físico; así mismo, en su monografía Rivas (2018) define la temperatura como un indicador del grado de calentamiento del aire, a mayor calentamiento del aire, mayor agitación molecular, es decir, mayor temperatura.

Para Rivas (2018), la **Humedad** es el vapor de agua presente en el aire, el vapor de agua proviene de la superficie por evaporación de las masas de agua, la humedad también constituye un importante elemento climático ya que existen varios derivados de la condensación del vapor de agua, destacando los celajes, que se asocian a las precipitaciones. Concepto que coincide con el de IDEAM, (2019) que define a la **Humedad** como el vapor de agua presente en el aire.

El viento de acuerdo con Rivas (2018) Es el desplazamiento del aire casi igual en sentido paralelo al espacio terrestre y sucede por el desigual calentamiento del aire y la distinta forma de presión atmosférica resultante de ellas.

Para IDEAM, (2019) el **Brillo Solar** es la medición de las horas de sol efectivo en el día (brillo solar o insolación), que se asocia a la cantidad de tiempo durante el cual la superficie del suelo es irradiada por la radiación solar directa (IDEAM)

Las nubes, son un conjunto de pequeñas partículas muy finas de líquido o de agua congelada que constituyen una concentración de vapor acuoso suspendida en toda la atmosfera según Rivas (2018), las nubes se integran por la condensación de la emanación (vapor) de agua existente en la atmósfera. Los motivos de dicha condensación pueden ser diversos, dando origen, por consiguiente, a diferentes tipos de nubes.

De acuerdo con el IDEAM (2019), la **Humedad relativa** es el porcentaje de la cantidad total de aire que habría si el aire estuviera saturado a una temperatura dada. Rivas (2018), la define como la cantidad de vapor que tiene el aire con el total que puede contener como máximo (aire saturado) y se expresa en porcentaje (%).

Rivas (2018) **el Relieve** en general juega un papel importante como factor climático que modifica las condiciones de ciertos elementos. Por ejemplo, la disposición de una zona montañosa influye en la insolación, en el desplazamiento de vientos y en las precipitaciones.

Así mismo Rivas (2018) expresa que la **Vegetación** tiene distintas funciones como moderador térmico, evitando los grandes vaivenes de temperatura, aporta en aumentar la mayor humedad posible para el aire, de esta forma funciona como filtro de las radiaciones del sol.

Cobertura vegetal y usos del suelo

De acuerdo con Hernández & Salamanca (2019), la cobertura vegetal es definida como la vegetación natural que cubre la superficie terrestre, y en donde se incluyen las zonas naturales como las antropogénicas. El tipo de cobertura vegetal que se tenga en una cuenca, es determinante en el comportamiento de los caudales debido a que controla la generación de inundaciones.

Para Rodríguez, *et al.,* (2010), los cambios de cobertura y uso del suelo en escalas locales están ligados a una combinación específica de factores económicos, tecnológicos, institucionales, culturales y demográficos, que dependen de cada lugar y de cada contexto histórico, así como a la ubicación geográfica, topografía, geología, suelo, clima y factores antropogénicos como la historia del uso del suelo. Los estudios sobre dinámicas de cambio de la cobertura y uso del suelo pueden orientar una toma de decisiones más acertada para el manejo de los ecosistemas, que va a depender de las diferencias intrarregionales que se dan en una región y se convierten en estudios claves del cambio ambiental global.

Indicadores de cambio climático y variabilidad climática

Pinilla & Pinzón (2012), infieren que la presencia de los fenómenos “El niño y La Niña” son indicadores de variabilidad meteorológica en la cual la precipitación es mayormente afectada. De igual manera mencionan que estos eventos se generan a raíz de los frentes fríos y

cálidos asociados al ENSO.

Molina, J.J.C. (1999) menciona que originalmente el niño designaba una débil contracorriente ecuatorial procedente del golfo de panamá que afectaba el litoral del Ecuador y norte del Perú durante el verano Austral, sin embargo, hoy día se refiere a un fenómeno océano atmosférico que altera las condiciones normales en la zona intertropical. Cada vez es más considerado un fenómeno a gran escala y complejo que, aunque se configura en las aguas Ecuatoriales del pacifico, sus impactos logran sentirse en todo el planeta, constituyendo así una de las principales causas de la variabilidad climática interanual.

Al conjunto de alteraciones en los patrones normales de la circulación en la atmosfera y el océano se le conoce como ENSO. Según Moreno, (2004) citado por Mayorga & Hurtado (2006), **la Oscilación del Sur y el Fenómeno de El Niño (ENSO)** resulta de la acumulación de aguas cálidas y aumento del nivel del mar y de la temperatura en el Pacífico Oriental puesto que se debilita los vientos Alisios, el afloramiento ecuatorial y las corrientes ecuatoriales norte y sur. Este fenómeno produce alteraciones a escala global, regional y local, influyendo en el comportamiento de la lluvia disminuyendo la precipitación en el territorio nacional.

WIRTKY, (1975) citado por Molina, J.J.C. (1999) refiere a que la caracterización de este fenómeno varía según los autores y la región del mundo, sin embargo, la mayoría de los investigadores consideran que el fenómeno ENSO se constituye como una oscilación de varios meses de amplitud que afecta al conjunto del océano pacifico intertropical.

Algunos autores como Francou & Pizarro, (1985); Caviedes & Waylen, (1987) caracterizan e identifican al ENSO por sus consecuencias locales como la aparición de sequía, inundaciones y malas cosechas. Finalmente, otros como Tapley & Wayln, (1990); Kahya & Dracup, (1993) citado por Molina, J.J.C. (1999) lo definen como la relación del fenómeno del

niño y la diferencia negativa del índice de la oscilación Sur.

De acuerdo con Montealegre (2007), el **Índice Niño Oceánico (ONI)** es la media móvil de tres puntos de la serie mensual de anomalías de la temperatura de la TSM en la Región Niño 3-4, para que se den las condiciones "El Niño", el ONI debe ser igual o superior a 0.5°C de anomalía. Ramírez, V. H., & Jaramillo, A. (2009) describe el índice niño oceánico como la desviación del promedio de la temperatura superficial del océano pacifico, la temperatura superficial del océano que se registra en el océano pacifico ecuatorial (5°S- 5°N; 170°W-120°W), se conoce como El niño 3.4, es una de las bases de datos más grande que registra este fenómeno. El ONI es la medida principal para seguimiento y predicción del ENSO, se compone de tres fases: El niño, que se caracteriza por valores positivos del ONI mayores o iguales a +0,5 °C durante tres meses continuos. La niña, que se caracteriza por valores negativos del ONI menores o iguales a -0,5°C durante tres meses continuos. Fase neutra, que presenta valores entre -0,5°C y +0,5°C

Moreno, (2004) citado por Mayorga & Hurtado (2006), Definen Fenómeno de la Oscilación del Atlántico Norte (OAN) como la diferencia de presión normalizada entre una estación sobre los Azores y otra sobre Islandia. Este es considerado uno de los mejores indicadores de variabilidad de la atmósfera del hemisferio norte caracterizado por su importancia el invierno porque ejerce un fuerte control sobre el clima del hemisferio norte. De acuerdo con Sánchez-Santillán, N., Signoret-Poillon, M., & Garduño-López, R. (2006) la Oscilación del Atlántico Norte (OAN) es un fenómeno atmosférico de ocurrencia periódica, cuya naturaleza es semejante a la del ENOS (El Niño–Oscilación del Sur), aunque mucho menos conocido, la primera descripción científica oficial de estos eventos se debe a la misma persona, el meteorólogo inglés Sir Gilbert Thomas Walter, quien lo publicó en un artículo en 1923.

IPCC, (u2001) menciona que la OAN impacta fuertemente al Océano Atlántico induciendo modificaciones sustanciales en los patrones de los vientos superficiales; de ese modo, altera el intercambio de calor entre la superficie del océano y el agua contenida dentro de la atmósfera.

(Bertacchi et al., 2000; Radi et al., 2001; Gibbins et al., 2002 y Hiscock et al., 2004) citado por Sánchez-Santillán, N., Signoret-Poillon, M., & Garduño-López, R. (2006) hacen referencia a que las alteraciones en la OAN tienen un amplio impacto sobre los ecosistemas marinos y terrestres, incluyendo la distribución a gran escala de las poblaciones de peces y crustáceos, zooplancton, el florecimiento de plantas, el crecimiento y reproducción de diversos animales terrestres.

5.4.Marco Conceptual

Guerrero, (2011). Define a los **Arroyos** como corrientes naturales de agua con escaso caudal, que fluyen de manera continua y suelen parecer un hilo de agua durante la época de estiaje. un arroyo urbano se podría definir como una corriente de agua superficial de tipo intermitente que atraviesa o rodea una ciudad urbana y cuya afectación (contaminación) está determinada por las actividades productivas propias de la ciudad (industrias, comercios, etc.) y por la concentración de la población (descargas domiciliarias y de residuos sólidos, etc.), transformándolos en focos de contaminación y posibles fuentes de enfermedades.

Para Gámez, (2010) el **ciclo hidrológico,** es la circulación interminable y natural de las partículas del agua en cualquier estado físico, el cual es llevado a cabo en la atmosfera, superficie terrestre, así como en los cuerpos de agua superficiales de la tierra.

De acuerdo con IDEAM, (2019) por Vertiente o **Cuenca hidrológica** se considera la zona drenada por una parte o la totalidad de uno o varios cursos de agua determinados.

Para la ONU (1994), citado por Paredes, Millano y Guevara (2008), la **sequía** es la condición que se produce cuando las precipitaciones son inferiores a los niveles registrados de estas, ocasionando un desequilibrio entre la oferta y la demanda del agua.

Normal Climática, en climatología se utilizan los valores promedios para definir y comparar el clima. La normal climática es una medida utilizada con este propósito y representa el valor promedio de una serie continua de observaciones de una variable climatológica, durante un periodo de por lo menos 30 años. Para fines prácticos, se han establecido por acuerdos internacionales periodos de 30 años a partir de 1901 (IDEAM, 2005).

Anomalía climática. Este término es usado para describir la desviación del clima desde el punto de vista estadístico, es decir, la diferencia entre el valor del elemento climático en un periodo de tiempo determinado, por ejemplo, un mes, con respecto al valor medio histórico o normal, de la variable climática correspondiente, durante el mismo lapso, en un lugar dado (IDEAM, 2005)

Tabla 1

Interpretación de anomalías de precipitación

AP (%)	Calificación
0 - 29	Muy por debajo de lo normal
30 - 59	Moderadamente por debajo de lo normal
60 - 89	Ligeramente por debajo de lo normal
90 - 109	Normal
110 - 139	Ligeramente por encima de lo normal
140 - 169	Moderadamente por encima de lo normal
>170	Muy por encima de lo normal

Fuente: IDEAM (2016)

5.5.Marco Legal

En la (Tabla 2) se muestran las diferentes Leyes, Resoluciones y Decretos que son aplicables en la presente investigación, rigiendo las diferentes normas y procesos, además de presentar los estándares requeridos para la adaptación al cambio climático.

Tabla 2

Normativa Colombiana aplicable en la investigación.

Normativa	**Aspecto/Descripción**
Decreto 298 de 2016	Establece la organización y funcionamiento del Sistema Nacional de Cambio Climático – SISCLIMA – es decir, el conjunto de entidades estatales, privadas y sin ánimo lucro, de políticas, normas, procesos, recursos, planes, estrategias, instrumentos, mecanismos, así como la información atinente al cambio climático, que se aplica de manera organizada para gestionar la mitigación de gases efecto invernadero

	y la adaptación al cambio climático en el país.
Ley 1931 de 2018	Por medio de la cual se establecen las directrices para la gestión del cambio climático en las decisiones de las personas públicas y privadas, la concurrencia de la Nación, Departamentos, Municipios, Distritos, Áreas Metropolitanas y Autoridades Ambientales principalmente en las acciones de adaptación al cambio climático.
Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones.
Decreto 1076 de 2015	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible
PNCC política nacional de cambio climático	Promueve una gestión del cambio climático incorporando la gestión del cambio climático en las decisiones públicas y privadas para avanzar en una senda de desarrollo resiliente al clima y baja en carbono, que reduzca los riesgos del cambio climático y permita aprovechar las oportunidades que este genera.

Fuente: Paulo (2021)

6. Metodología

Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo de tipo mixto, dado que busca analizar la relación entre algunas variables hidrometeorológicas de la zona de estudio con el cambio climático. Para llevar a cabo este proyecto se dividió la metodología en cuatro fases:

6.1.Caracterización físico-morfométrica de la cuenca del Arroyo Alférez

Para la caracterización físico-morfométrica de la zona de estudio se utilizó el software QGIS versión 3.16.3 libre y la herramienta Grass versión 7.8.5, se obtuvieron los parámetros físico-morfométricos de la zona de estudio, se delimito la cuenca del Arroyo Alférez Para esto, se descargó un modelo de elevación digital (DEM) de la plataforma de Servicio Geológico de Estados Unidos, por sus siglas en inglés USGS Nasa Earth Explorer, utilizando algunas herramientas del software QGIS versión libre 3.16.3: Combar, Qdraw, Fill sink, Strahler Order, Upsole, Ráster (para obtención de cuervas de nivel cada 30 metros), se generaron las curvas de nivel, clasificación de pendientes, orden de los ríos, tiempo de concentración, entre otros parámetros.

6.2.Análisis de la cobertura vegetal y uso del suelo de la zona de estudio

Se descargaron imágenes satelitales Landsat 8 a través de la plataforma Earth Explorer de la USGS, estas imágenes se importaron a QGIS versión libre 3.16.6 (software libre y gratuito) y la herramienta Grass versión 7.8.5. posterior a esto se realizó la corrección atmosférica (Pansharpening), para las bandas que componen esta imagen, se procedió a realizar una imagen compuesta, cambiando la composición de bandas en el orden 5-4-3, requerido para la identificación de coberturas. Para este nuevo Ráster se crearon los puntos de muestreo y se

procedió a clasificar la zona con la herramienta dsetzaka incorporada en el software, se extrajo la información aferente al área de estudio tomando en cuenta la metodología de Corine Land Cover (CLC). Posteriormente, se realizó el cálculo de las áreas donde se pudo identificar los tipos de cobertura en la cuenca de estudio. La información anterior, fue comparada y verificada con las imágenes encontradas en la plataforma Google y la cobertura vegetal y uso del suelo presente en él Tomo II del Plan Básico de Ordenamiento Territorial suministrado por la Oficina de planeación de la Alcaldía del Municipio de El Carmen de Bolívar.

6.3. Determinación del comportamiento temporal de las variables hidrometeorológicas

En la **Tabla 3** y (**Figura 2**) se describen las estaciones pertenecientes al IDEAM y ubicación en la zona de estudio, que se usarán para extraer los datos que se tendrán en cuenta en el análisis del comportamiento temporal de las variables hidrometeorológicas en la zona de estudio.

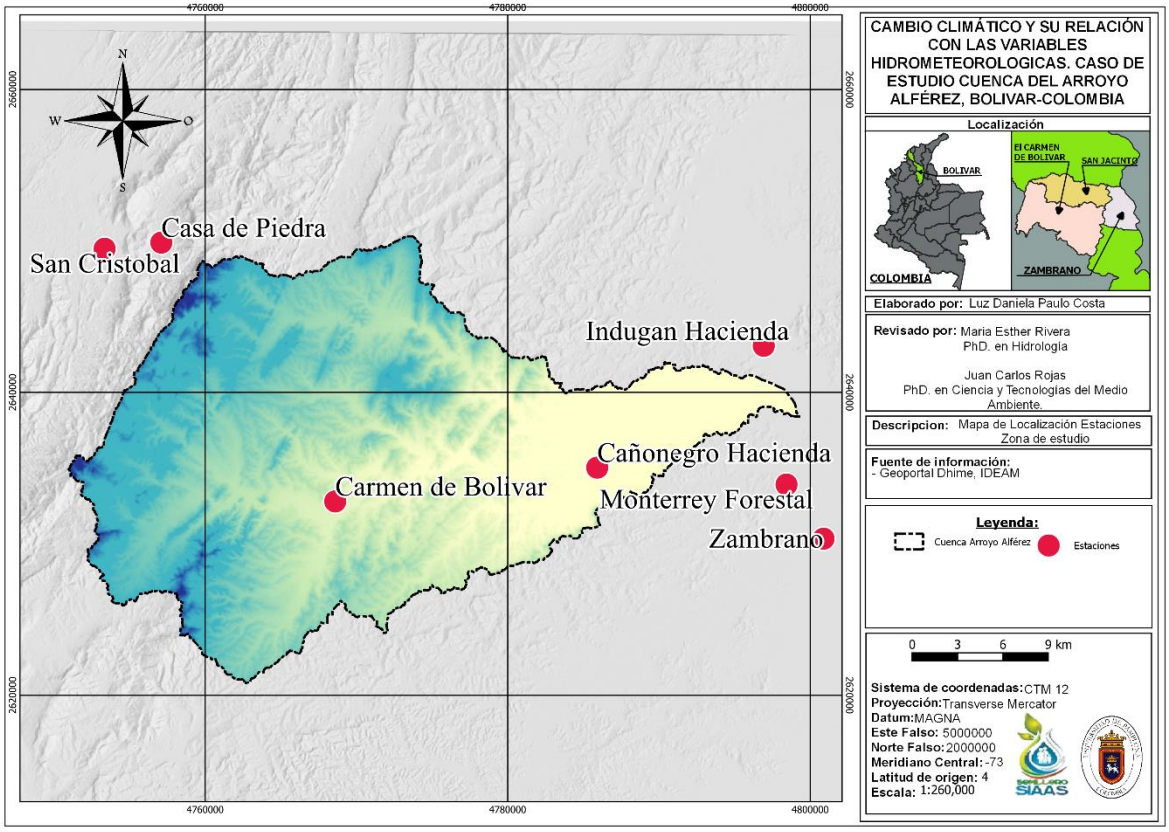
Para este procedimiento se hizo uso de los datos del Geoportal Dhime de la plataforma IDEAM para precipitación, Brillo solar y en el caso de las temperaturas se utilizaron datos ERA5 del software Climate Engine que permitieran la construcción de los mapas de temperatura. Se verifico que los datos estuvieran completos y en caso contrario se aplicó imputación de datos faltantes por regresión lineal con el Software IBM Spss Statistic (Licencia de prueba) tomando en cuenta que los datos faltantes no superaron más de cinco meses seguidos y método de los promedios para la variable Brillo Solar del cual solo se encontraron dos estaciones a lo largo de la cuenca, que no contaba con datos de los años 1990-1993.

Para la elaboración de las Isoyetas e Isotermas para las series de 1990, 1995, 2000, 2005,

2010, 2015 y 2020 se procesaron los datos haciendo uso del software QGIS versión 3.16.6 con la herramienta Interpolación IDW de la caja de herramientas de proceso, posterior a ello se generaron las curvas nivel de nivel con la herramienta Raster del Software.

Figura 2

Mapa de ubicación, Estaciones hidrometeorológicas presentes en la zona de estudio



Fuente: Paulo (2021)

Tabla 3

Estaciones climatológicas e hidrometeorológicas presentes en la zona de estudio y utilizadas para el análisis de datos

Nombre	Tipo	Latitud	Longitud	Periodo de registro	Administrador
Carmen de Bolívar [29015020]	Agro meteorológica	9,720	-75,110	1990-2020	IDEAM
Indugan Hacienda [29010130]	Pluviométrica	9,814	-74,852	1990-2020	IDEAM
Cañonegro Hacienda [29010120]	Pluviométrica	9,741	-74,952	1990-2020	IDEAM
Zambrano [29010050]	Climática principal	9,699	-74,815	1990-2020	IDEAM
Monterrey Forestal [25025020]	Climática principal	9,732	-74,838	1990-2020	IDEAM
San Cristóbal [29030150]	Pluviométrica	9,870	-75,25	1990-2020	IDEAM
Casa de Piedra [29030500]	Pluviografica	9,873	-75,215	1990-2020	IDEAM

Fuente: Paulo (2021)

Para el cálculo de las anomalías se procedió a utilizar la Metodología del Instituto de Estudios Ambientales y Meteorológicos (IDEAM), para la precipitación y la temperatura. Los valores de precipitación se presentaron siguiendo esta metodología en porcentajes de los cuales se presenta su debida interpretación para cada rango de valor.

6.4.Análisis estadístico del comportamiento de las variables hidrometeorológicas con los indicadores de cambio climático.

Para el análisis estadístico del comportamiento de las variables con indicadores de cambio climático, se descargaron datos de Climate Prediction Center- NOAA, se organizó la información mensual de forma trimestral en los datos para cada una de las estaciones con datos de las variables: temperatura, precipitación y brillo solar. Posterior a esto se correlaciono la información de los datos y las variables a analizar para el periodo 1990-2020 mediante la correlación de Pearson.

La correlación de Pearson se presenta en un umbral de +/- 0,5, el niño caracterizado por un ONI positivo mayor a +0,5 °C y la niña por un ONI negativo menor a -0,5°C. En el contexto histórico, para que el evento sea clasificado como El Niño o La Niña, tales umbrales deben ser excedidos por un período de al menos 5 trimestres móviles consecutivos permitiendo mediante esto conocer los fenómenos que se han venido presentando a lo largo de los años y comparando a su vez con cada una de las estaciones.

7. Resultados y Discusión

7.1.Caracterización Físico-Morfométrica de la Cuenca del Arroyo Alférez.

En la **Tabla 4** se muestra la caracterización físico-morfométrica del Arroyo Alférez, a partir del cual se infiere que el Arroyo Alférez se clasifica como cuenca. De acuerdo con CIDIAT, Marns (1978) citado por Aguirre (2007) al poseer un área de 71371.77 Ha y estar entre el rango de 60000-300000 Ha se adapta a esta clasificación. Campos, (1992) la clasifica con base en su magnitud como una cuenca intermedia-grande, con una longitud axial de 48.389 Km y un perímetro de 202.758 Km.

Para Chow (1962) citado por Aguirre (2007), se considera como parte integrante de la Región Hidrológica. Se define como un área natural donde el agua de lluvia es captada y desalojada o depositada en un almacenamiento natural; por un sistema de drenaje, definido por medio de líneas divisorias, topográficamente llamadas parte-aguas.

Tabla 4

Resultados de los parámetros físico-morfométricos de la zona de estudio

Tipos de parámetros	Parámetro	Símbolo	valor	Unidad
Físicos	Área	A	71371.77	Ha
			713.72	Km^2
	Perímetro	P	202.758	Km
	Ancho máximo de la cuenca	I	31.516	Km
	Longitud Axial	La	48.389	Km
	Ancho promedio	Ap	14.75	Km
Morfométricos	Coeficiente de compacidad (Gravelius)	Kc	2.13	Adimensional
	Coeficiente de forma (Hortón)	Kf	0.3	Adimensional
	Índice de alargamiento	Ia	1.54	Adimensional

	Índice de circularidad de Miller	Ic	0.2816	Adimensional
Características del relieve	Cota máxima de la cuenca	HM	679	m.s.n.m
	Cota mínima de la cuenca	Hm	14.1685	m.s.n.m
	Diferencia de elevación de la cuenca	Es	665	m.s.n.m
	Altitud media de la cuenca	Hm	233.7	m.s.n.m
	Pendiente media de la cuenca	S	15.339	%
	Coeficiente de masividad	Cm	0.0003274	Km/Km^2
	Coeficiente orográfico	O	0.0000765	Adimensional
	Factor Topográfico	Ls	0.30	Adimensional
Características de la red de drenaje	Densidad de drenaje	Dd	0.3	Km/Km^2
	Longitud de todos los cauces	Ltc	193.27	Km
	Longitud del cauce principal	Lcp	67.5003	Km
	Longitud de cauces secundarios	Lcs	125.77	Km
	Orden de la corriente	Oc	3	Adimensional
	Número total de escurrimientos	Nesc	13	Adimensional
	Numero de drenajes de orden 1	#	8	Adimensional
	Numero de drenajes de orden 2	#	5	Adimensional
	Cota máxima del cauce	HMc	350	m.s.n.m
	Diferencia de elevación del cauce	Ecp	335.8	m.s.n.m
	Pendiente media del cauce principal	Sc	0.5	%
	coeficiente de Torrencialidad	Ct	0.0112	$1/km^2$
	Numero de rugosidad	nr	0.09094	Km^3
	Tiempo de concentración (Kirpich)	Tc	13.03	Horas
	Frecuencia de drenajes	F	0.01821	Km^2

Fuente: Paulo (2021)

De acuerdo con Aguirre (2007), los parámetros morfométricos de una cuenca integran un conjunto de estimaciones realizadas, en la mayoría de los casos, al iniciar un estudio hidrológico, con fines de aprovechamiento o control; sobre todo cuando la cuenca en análisis no cuenta con información hidrométrica como en este caso. González D, (2020) menciona que los parámetros

morfométricos de una cuenca, son importantes para determinar el funcionamiento de un sistema hidrológico, además de determinar las condiciones biofísicas de la misma. En la **Tabla 4** se obtuvo un coeficiente de compacidad (Kc) de 2.13 de manera que la cuenca del Arroyo Alférez de acuerdo con Rivas & Moreno (2019), se ubica en la clase III y posee una forma oval-oblonga a rectangular oblonga generando drenaje con tendencia a las crecidas.

Para Lux (2006), la morfométria de una cuenca hidrográfica interviene principalmente en los eventos de avenidas máximas, condicionando la velocidad de escurrimiento superficial y la generación de una respuesta a eventos climáticos. El coeficiente de forma (Kf) de la cuenca del Arroyo Alférez presento un valor de 0.30 indicando que es una cuenca ligeramente alargada, a su vez el índice de alargamiento (I) con un valor de 1.54 muestra que es una cuenca moderadamente alargada con susceptibilidad a las avenidas, el Índice de circularidad de Miller (Ic) con un valor de 0.218 indica que es estrecha, este tipo de cuenca presentan alta peligrosidad a las crecidas cuando la tormenta se mueve en la dirección aguas abajo y producción sostenida de caudal en épocas fuertes de lluvia, información que corrobora el PBOT (2002-2011) del municipio de El Carmen de Bolívar.

De la **Tabla 4** se infiere que la longitud del cauce principal es de 67.50 Km, así mismo, la zona de estudio presenta un cauce caracterizado de tercer orden con un número de escurrimientos de 13, y una longitud total de todos los cauces de 193.27 Km. De acuerdo con Aguirre (2007), los parámetros de red de drenaje afectan directamente la formación y rapidez del drenaje y los escurrimientos permiten reconocer características relacionadas con las condiciones físicas del suelo y de la superficie de la cuenca.

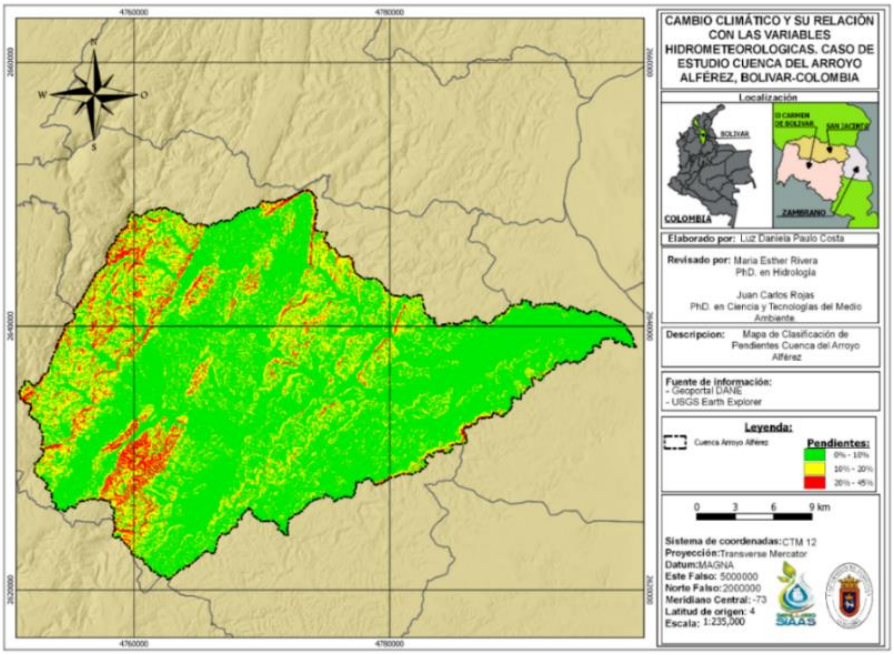
Camino, M. et al (2018), indica que las variables climatológicas como la precipitación y

algunos aspectos físicos como la topografía condicionan la red de drenaje, en la cuenca del arroyo Alférez se obtuvo un valor de 3.0 Km/Km2 para la red de drenaje, para Maidment (1993) este valor es un indicador de drenaje moderado, por lo tanto, la respuesta del Arroyo Alférez eventos de precipitación es moderada.

Teniendo en cuenta la pendiente media de la Cuenca del Arroyo Alférez se obtuvo un valor de 15,339% lo cual según la clasificación de López Cadenas (1998), representa un relieve de tipo accidentado al estar entre el 12% y 20%, a su vez menciona que el proceso de degradación al que se ve sometida una cuenca hidrográfica está muy influenciado por la configuración topográfica. De igual forma en la **(Figura 3**)se muestra el mapa de clasificación de pendientes de la zona de estudio, del cual se infiere que las pendientes entre el 20 y 45% corresponden a la parte alta de la cuenca, caso contrario a la parte baja donde se hallaron pendientes del 0 al 10% esta característica del relieve es común en la región Caribe al encontrarse cerca del nivel del mar.

Figura 3

Mapa de clasificación de Pendientes Cuenca del Arroyo Alférez



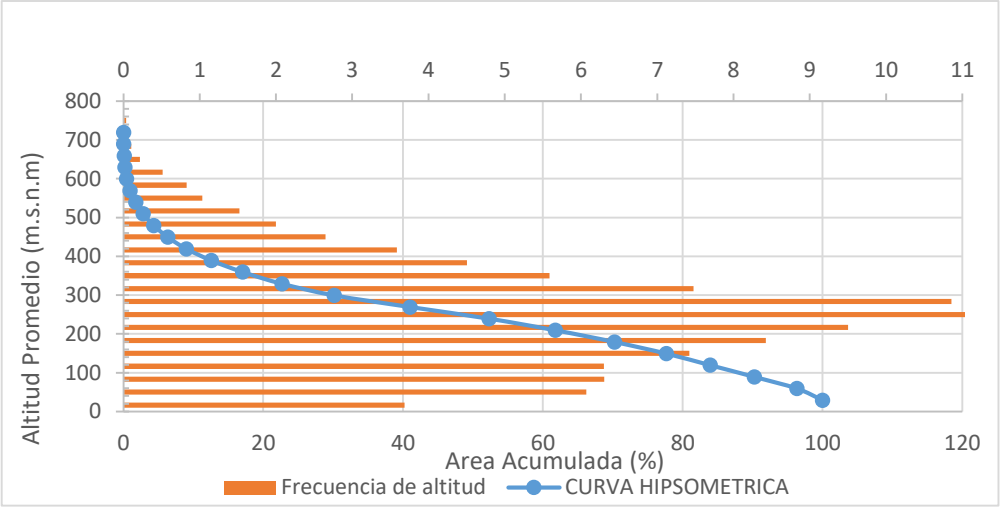
Fuente: Paulo (2021)

Para Díaz *et al.*, (1999) la curva hipsométrica refleja con precisión el comportamiento global de la altitud de la cuenca y la dinámica del ciclo de erosión, es además la representación gráfica del relieve de la cuenca en función de las superficies correspondientes, referente a la curva hipsométrica y a la frecuencia de altitudes de la cuenca del Arroyo Alférez en **la Figura 4,** se observa que la cuenca no presenta gran variación altitudinal, los valores altitudinales oscilan entre los 29,15 y 713,51 m.s.n.m. Según Brieva (2018), la curva obtenida para la cuenca del Arroyo Alférez es de tipo B, indicando lo que para Rivas & Moreno (2019) es una curva con comportamiento maduro, en estado de equilibrio o fase de madurez que tiene respuesta moderada a crecientes. Para González, D. (2020) es una cuenca que se encuentra en una etapa de estabilización o equilibrio respecto a los procesos erosivos. Se puede inferir también respecto al

área acumulada, que el mayor porcentaje de área acumulada de la cuenca se encuentra a los 239,15 m.s.n.m con un porcentaje del 11,30%.

Figura 4

Curva Hipsométrica y Frecuencia de Altitudes, Cuenca del Arroyo Alférez

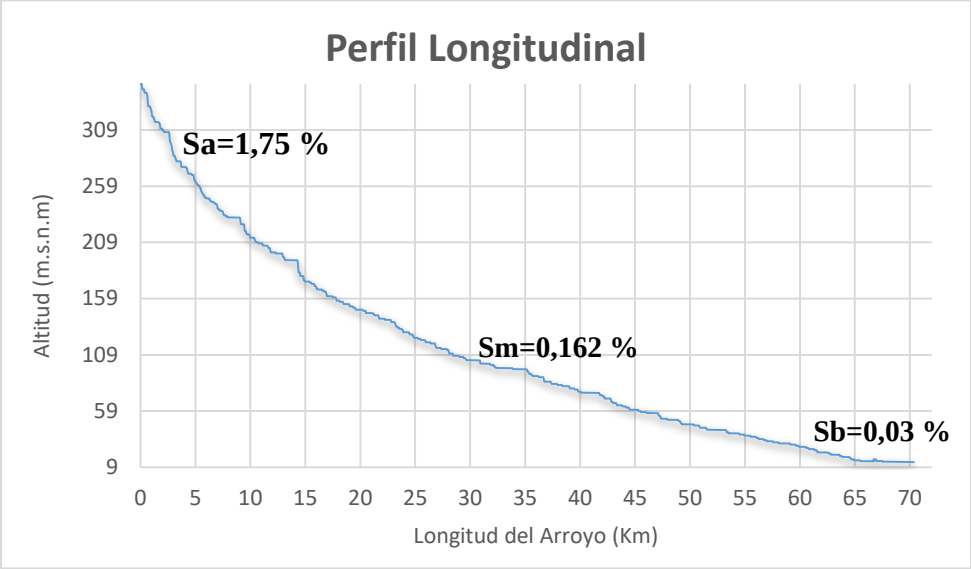


Fuente: Paulo (2021)

Respecto al perfil longitudinal del cauce principal de la Cuenca del Arroyo Alférez, el inicio de la corriente es a una elevación de 350,018 y desemboca a 13,45 metros sobre el nivel del mar, misma que se presenta en la (**Figura 5**) Dada la longitud, pendiente y sección longitudinal del cauce, se tiene que los primeros kilómetros de recorrido con una pendiente en la parte alta de 1.7% se presenta una mayor velocidad de flujo que disminuye gradualmente hasta los 14 km donde se presenta una curvatura en el cauce, lo que hace que disminuya la velocidad en la parte media donde la pendiente en el tramo de 30 a 35 km disminuye a 0,162%, y en la parte baja (0,03%) lo cual hace que, aunque la velocidad sea menor, el cauce en épocas de lluvia pueda fluir con fuerza.

Figura 5

Perfil Longitudinal Cauce Principal Cuenca Arroyo Alférez



Fuente: Paulo (2021)

7.2.Análisis de la Cobertura Vegetal, uso del Suelo de la Zona de Estudio.

Para la oficina de planeación de la Alcaldía Municipal del Carmen de Bolívar la cobertura vegetal es producto de la acción de los factores ambientales sobre el conjunto interactuante de las especies que cohabitan en un espacio continuo y de la acción del hombre sobre el medio. Es decir, la cobertura vegetal refleja factores bióticos y antrópicos que se producen en una zona o región dada.

De acuerdo con Lambin (1994), la mayor parte de los cambios que ocurren en los ecosistemas de los suelos terrestres se deben a: 1) Conversión en la cobertura del terreno, 2) degradación de la tierra y 3) intensificación en el uso del suelo. Para (Verburg, Kok, Veldkamp, Bouma & De Koning, 1999) los cambios en el uso del suelo son resultado de una compleja

interacción entre el ser humano y el medio que actúan sobre un amplio rango de escalas espaciales y temporales.

En la **(Figura 6)** y **Tabla 6** se identificaron los tipos de cobertura vegetal para la cuenca del Arroyo Alférez, los cuales se dividieron en 7 grupos: Bosques de frondosas, bosque mixto, espacios con vegetación escasa, prados y praderas, pastizales y matorral boscoso de transición. Se encontró que el 57,14% del área total de la cuenca está cubierto por bosques de frondosas. Para Del castillo *et al*., (2016) este tipo de bosque pueden tener dinámicas hidrológicas que no son fáciles de predecir al existir complejas interacciones entre la fisiología de las distintas especies, y factores espaciales y temporales.

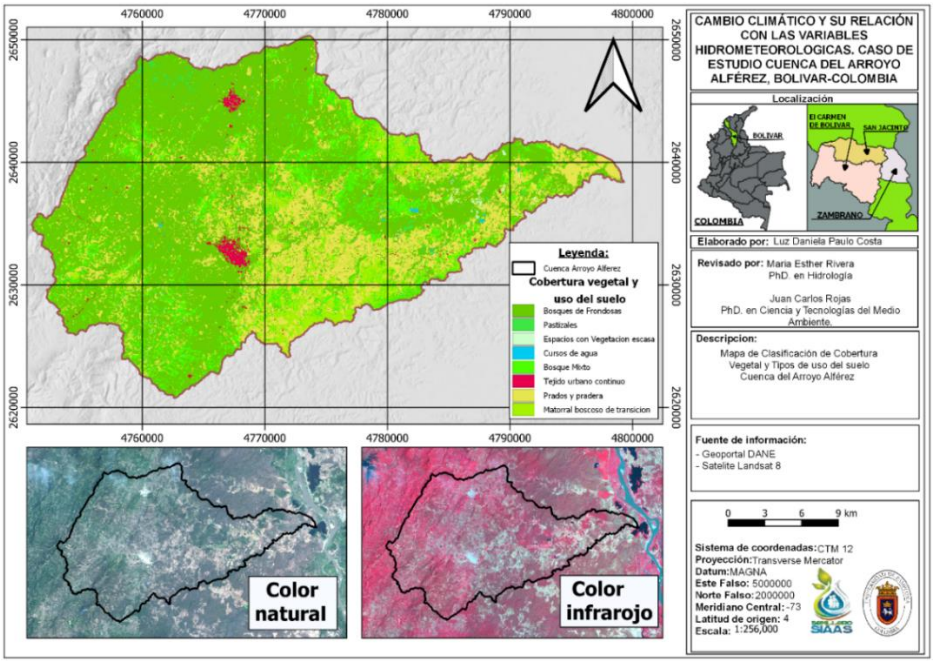
Así mismo para la unidad de bosques se encontró un porcentaje del 11,53% del área total de la cuenca cubierto con bosque mixto. Creed *et al.*, (2014) menciona que los bosques mixtos y de frondosas son uno de los tipos de bosques que presentan mayor capacidad para mantener sus funciones hidrológicas en su respuesta al cambio climático, y los que mantendrán una producción de agua más estable. Para Viviroli & Weingartner (2004) los bosques pueden interceptar de manera activa niebla y nubes, creando las llamadas “torres de agua” que consisten en zonas forestales a altitudes elevadas que atrapan agua y niebla al condensarse éstas sobre las superficies de las plantas que componen el dosel arbóreo.

De acuerdo con la FAO (2009) los bosques juegan un papel importante en la regulación de las inundaciones, aunque la capacidad de prevención y reducción de los impactos de las mismas depende de la intensidad y frecuencia con la que ocurren este tipo de eventos. Así mismo FAO (2006), menciona que el cambio climático y los bosques están íntimamente ligados, por una parte, los cambios que se producen en el clima mundial están afectando a los bosques debido a que las temperaturas medias anuales son más elevadas, a la modificación de las pautas pluviales

y a la presencia cada vez más frecuente de fenómenos climáticos extremos.

Figura 6

Mapa de cobertura vegetal y uso del suelo en la cuenca del Arroyo Alférez.



Fuente: Paulo (2021)

Para zonas agrícolas, se encontró un porcentaje del 20,54% del área total de la cuenca correspondiente a Prados y praderas. Según Ferrer, C., San Miguel, A., & Olea, L. (2011) los prados son una Comunidad vegetal espontánea densa y húmeda, siempre verde que puede presentar un cierto agostamiento en verano, producida por el hombre o la acción del pastoreo o la ganadería. Los pastizales son un cultivo polifito constituidos por gramíneas y leguminosas, que puede ser aprovechado para pastoreo y ganadería de forma indistinta. En general son plurianuales puesto que, con el paso del tiempo pueden naturalizarse (las especies sembradas son sustituidas), transformándose en prados o pastizales, en función de la humedad.

Según el Plan Básico de ordenamiento territorial (PBOT) del municipio de El Carmen de Bolívar los pastizales o tierras en pastos presentes se subdividen en:

***Pastos mejorados – Pm*:** Son pastos introducidos en la región para desarrollar pastoreo en forma extensiva y semintensiva, ocupan una extensión de 18.080 hectáreas. Entre las especies que se manejan en el Carmen de Bolívar de Bolívar se determinaron entre otros el pangola (*Digitaria decumens*), guinea (*Panicum maximun*), elefante (*Paspalum conjugatun*) y algunas brachiarias (*Brachiaria spp*).

Pastos naturales – Pn: Es toda aquella vegetación herbácea no leñosa. Ocupan una superficie de 10.614 hectáreas que representa una alta incidencias en el uso y cobertura del suelo.

Pastos con rastrojo – Pr: Son pastos mal manejados, con manchas de rastrojo que surge cuando se interviene la cobertura vegetal nativa, para su establecimiento no se han realizado labores de cultivo y manejo, son áreas utilizadas para pastoreo extensivo, ocupan una extensión de 17.581 hectáreas.

***Pastos, rastrojos y cultivos de pancoger – Mi**:* Son pastos donde se combinan actividades de producción de cultivos de subsistencia de la población y además con ciertas áreas en rastrojos. Ocupan una extensión de 19.444,7 hectáreas.

Tabla 5

Clasificación de pastizales y valor en hectáreas presentes en municipio de El Carmen de Bolívar

Pastizal	*Unidad*	*Hectáreas (Ha)*
Pastos Mejorados	Pm	18.080
Pastos Naturales	Pn	10.614
Pastos con Rastrojo	Pr	17.581
Pastos Rastrojos y Cultivos de Pancoger	Mi	19.444,7
	Total	65.719,70

Fuente: Paulo (2021) elaborado a partir de información del PBOT (2002-2011)

Se identificó para el análisis de cobertura y uso del suelo de la cuenca del arroyo Alférez para este tipo de vegetación un porcentaje del 0,824% del área total de la cuenca, el cual corresponde a 587,984 hectáreas actualmente, valor que en el PBOT (2002-2011) corresponde a 65,719,70 hectáreas para pastizales hasta la fecha en el municipio de El Carmen de Bolívar y por ende para el área de la cuenca ubicada en este municipio, tomando en cuenta que la cuenca del arroyo alférez recorre este municipio,

Tabla 6

Clasificación de cobertura vegetal en zona de estudio por el método de Corine Land Cover

Nivel 1	Nivel 2	Cobertura de la tierra y uso del suelo (CLC)	Código	Área (Ha)	% Área
Superficies artificiales	Zonas urbanas	Tejido urbano continuo	111	645,775	0,905
Zonas forestales con vegetación natural y espacios abiertos	Bosques	Bosques de frondosas	311	40768,063	57,142
		Bosque mixto	313	8228,4519	11,533
	Espacios de vegetación arbustiva y o herbácea	Pastizales	321	587,9845	0,824
		Matorral boscoso de transición	324	5961,669	8,356
	Espacios abiertos con poca o sin vegetación	Espacios con vegetación escasa	333	183,903	0,258
Zonas agrícolas	Prados y praderas	Prados y praderas	231	14653,973	20,540
Superficies de agua	Aguas continentales	Cursos de agua	511	315,416	0,442

Fuente: Paulo (2021)

Meijide Méndez, A. (2012) define el Matorral boscoso de transición como Vegetación arbustiva o herbácea con árboles dispersos. Puede tratarse de una degradación forestal o de una regeneración forestal. Generalmente son zonas de desarrollo natural de bosques, praderas y pastos abandonados o estadios degenerativos. El PBOT (2002-2011) hace alusión a este tipo de vegetación arbustiva presente en la zona de estudio para el municipio de El Carmen de Bolívar.

Rastrojo – Ra: Cobertura vegetal con estrato dominante compuesta por especies de poca altura y tronco leñoso o semileñoso delgado, se extiende en un área de 6.314,90 hectáreas.

Rastrojo con pasto – Rp: Cobertura vegetal en el que predomina los arbustos no utilizables en ninguna actividad, con pequeñas extensiones de pasto. Tiene una superficie

aproximada de 2.935,3 hectáreas. Para la cuenca del arroyo Alférez se encontró un porcentaje de 8,36%, que corresponde a 5961,669 hectáreas.

Por otro lado, se encontró 0,258 % de espacios con vegetación escasa en la zona de estudio. Albaladejo *et al*., (1998) menciona que al perder los suelos su cobertura natural se presenta, en seguida, una serie de cambios que repercuten de manera negativa en la fertilidad y la productividad natural del suelo; se ha demostrado la importancia de la cubierta vegetal en la conservación de los suelos. Por otro lado, Stocking y Murnaghan (2003) infiere que La pérdida de la cubierta vegetal es el primer paso del proceso de deterioro del suelo; si éste no se controla a tiempo, provocará que el paisaje se desertifique.

Para FAO (2006) La pérdida de vegetación debido al cambio climático hará que se deforesten nuevos terrenos actualmente bajo cobertura natural o seminatural.

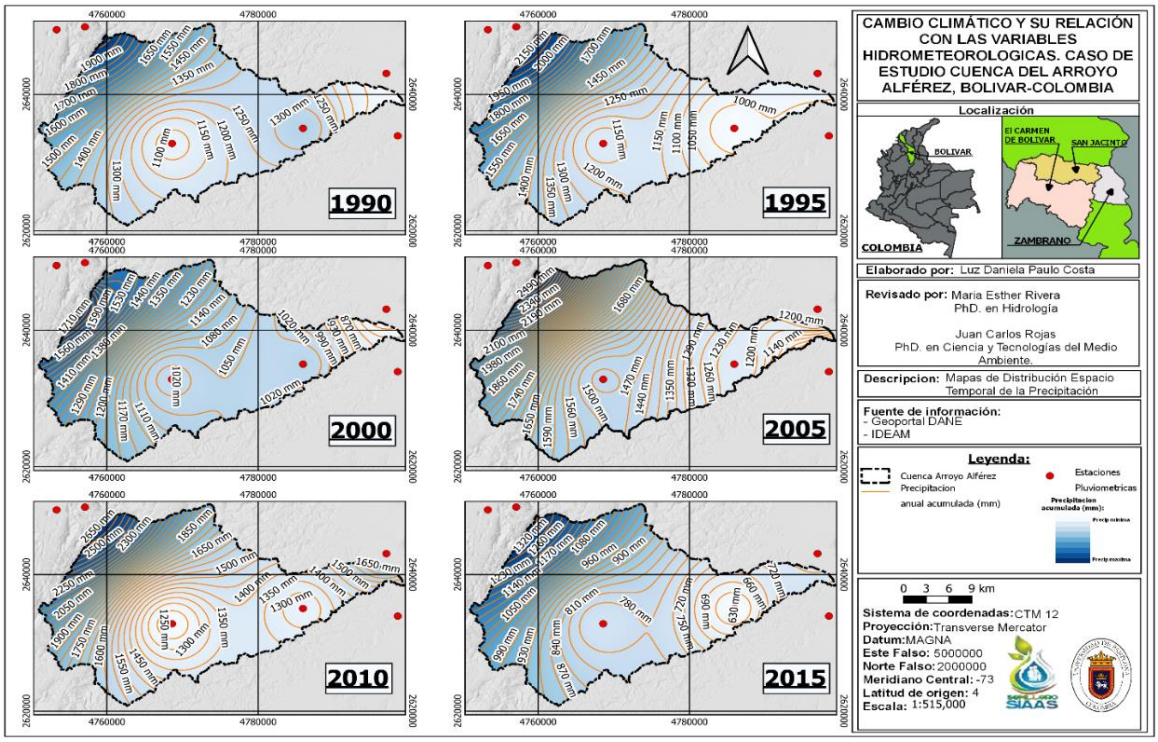
7.3.Determinación del comportamiento temporal de las variables hidrometeorológica

7.3.1 Análisis de Isoyetas en series de 5 años 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015, 2020

La distribución espacial y temporal de las precipitaciones es importante para el manejo de cuenca hidrográficas, en la parte alta de la cuenca (**Figura 7)** se muestra una distribución con mayores precipitaciones, sobre todo para el año 1995, 2005 y 2010. Para 2020 se presentan mayores precipitaciones en la parte baja de la cuenca que en la parte alta con respecto al comportamiento que se viene presentando de los años anteriores.

Figura 7

Mapas de distribución Espacio Temporal de la Precipitación 1995-2015



Fuente: Paulo (2021)

2010 es uno de los años donde se presenta el fenómeno de la niña, los valores de precipitación alcanzan 2650 mm de precipitación anual acumulada pasando de 2490 mm para la serie de 2005, teniendo en cuenta lo que menciona Bocanegra, J. E. M. (2014), el fenómeno de la niña se refleja en excedentes de precipitación, siendo esta la variable más afectada por este tipo de fenómenos, caso contrario para las variaciones de la precipitación durante la ocurrencia de un fenómeno típico de El Niño se presenta con reducciones moderadas en los valores de las lluvias.

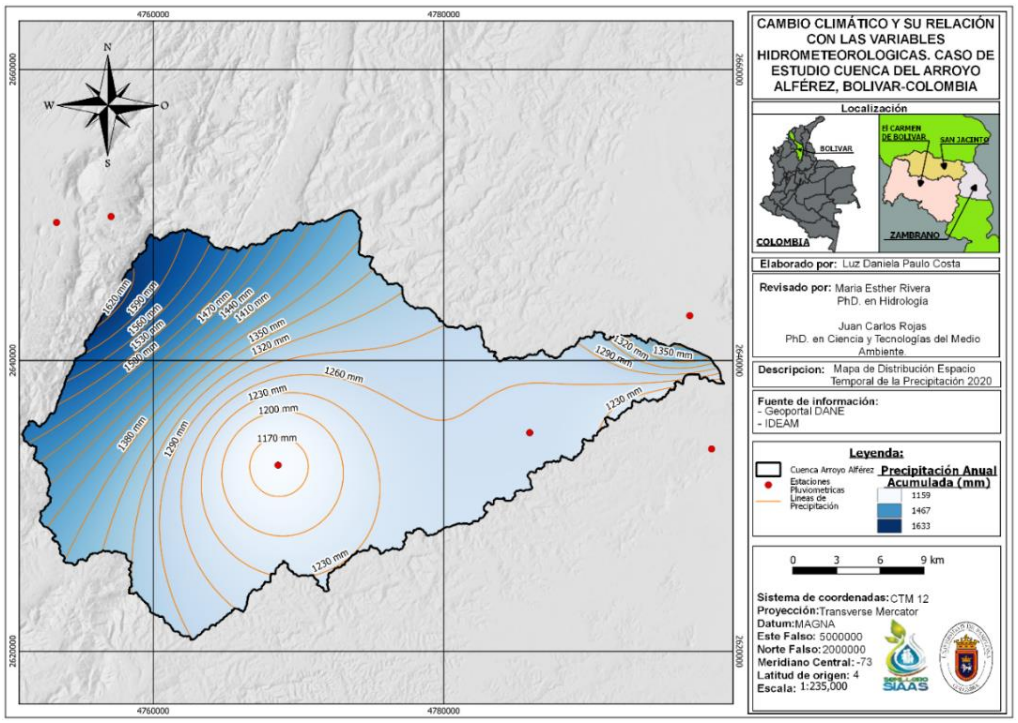
2000 y 2015 representan épocas con grandes sequías o precipitaciones muy bajas en comparación con los demás, sobre todo 2015, donde las precipitaciones alcanzan los valores más

bajos registrados durante el periodo de estudio.

El mapa de 2020 (**Figura 8**), no muestra la presencia de ninguno de los dos fenómenos macro climáticos en sí, pues se mantiene estable. Sin embargo, el aumento de precipitaciones en la parte baja de la cuenca puede estar relacionado con los cambios en cobertura vegetal y/o usos del suelo (mayor arborización).

Figura 8

Mapa de distribución Espacio Temporal de la Precipitación 2020



Fuente: Paulo (2021)

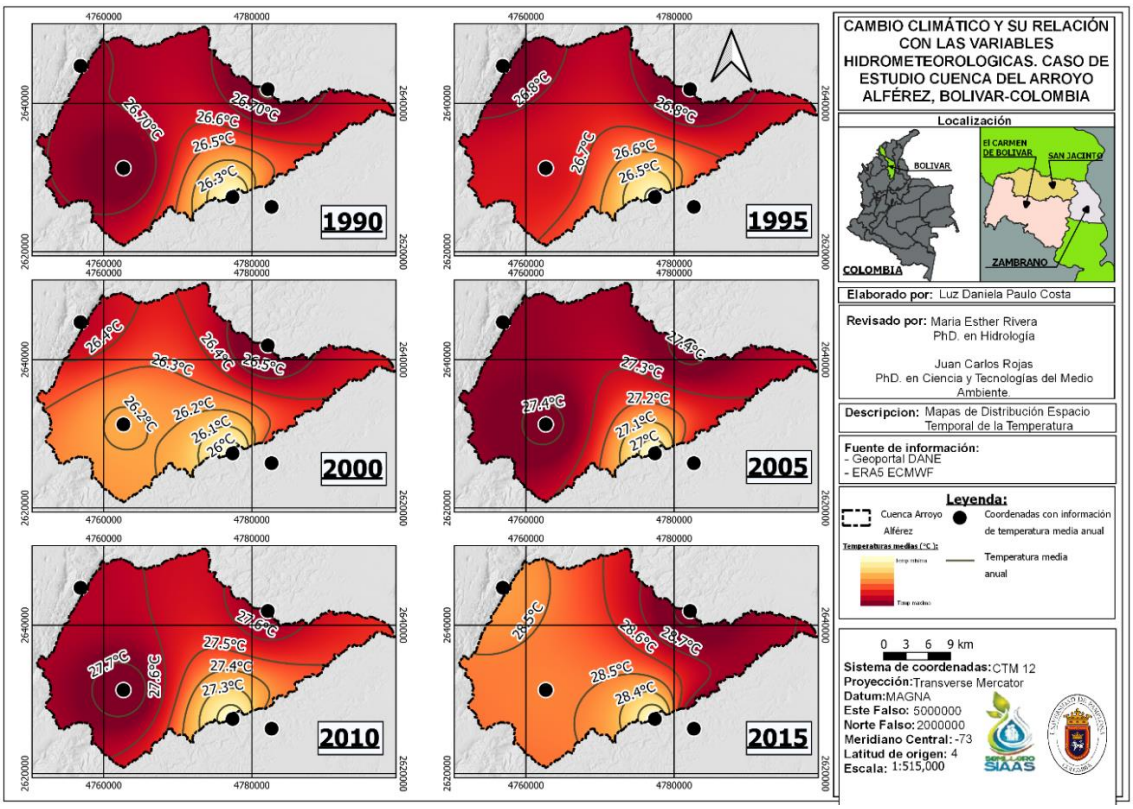
Se puede observar un comportamiento homogéneo o similar en la distribución de la variable a lo largo del período de estudio, pues tienen la misma tendencia en todas las Isoyetas, ya sea con aumentos o disminución del valor de la precipitación (misma distribución espacial)

7.3.2 Análisis de isotermas en series de 5 años 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015, 2020

Los mapas de las series de 5 años desde 1990 a 2020 evidencian cambios en la temperatura media anual, en especial para el año 2015, el cual presenta un incremento de casi un grado centígrado, pasando así de 27,6 °C en el año 2010 a 28,7 °C para el año 2015.

Figura 9

Mapas de distribución Espacio Temporal de la Temperatura 1990-2015



Fuente: Paulo (2021)

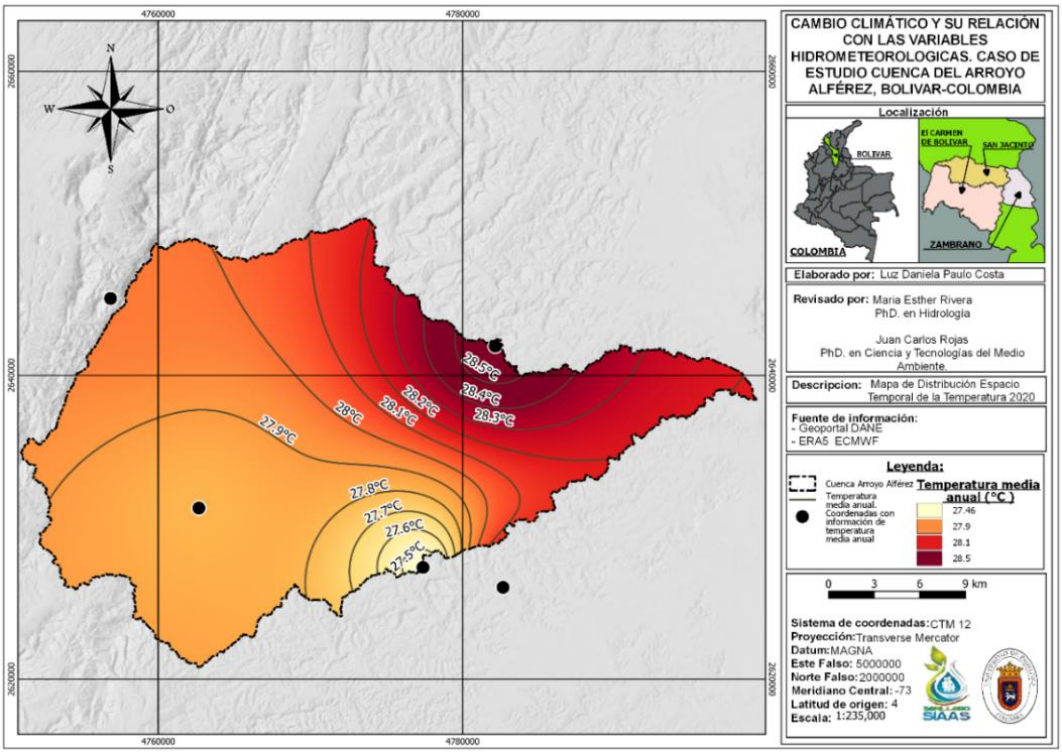
El análisis de los cambios en la temperatura y su distribución permite determinar un comportamiento de la variable en partes específicas de la cuenca. La parte alta de la cuenca es

donde generalmente se presentan los valores máximos de temperatura, para Chiles Arévalo, G. V. (2020) esto es importante porque es la zona de recarga hídrica y puede afectar toda la cuenca en su conjunto, a excepción del 2015 donde además de presentarse el valor más alto de temperatura registrado en las series se da en la parte baja de la cuenca.

El año 2020 (**Figura 10)** no presenta gran diferencia respecto a la serie anterior, se mantiene estable y conserva el aumento de temperatura en la parte baja de la cuenca, comportamiento similar al de la precipitación para este año (**Figura 8),** mostrando un incremento gradual de esta variable.

Figura 10

Mapa de distribución Espacio Temporal de la Temperatura 2020



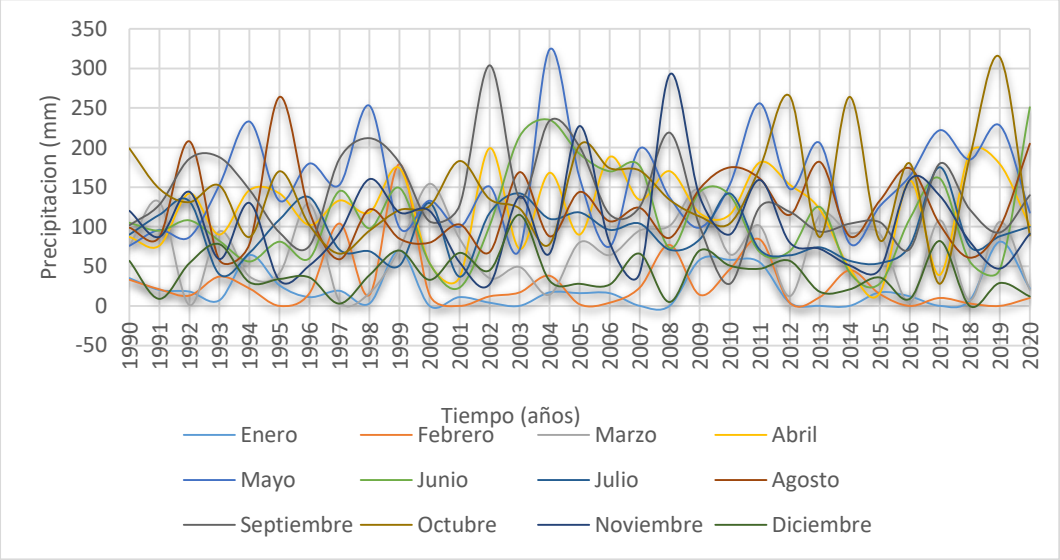
Fuente: Paulo (2021)

7.3.3 comportamiento temporal de las variables: Precipitación, Temperatura y Brillo Solar

El comportamiento temporal de la precipitación (**Figura 11)** presenta los valores acumulados de precipitación para la estación El Carmen, En la cual se puede observar un aumento en las precipitaciones registradas para la serie del mes de mayo con un valor máximo de 324 mm para el año 2004 y en el mes de octubre se destaca con un registro de 314 mm para el año 2009. Los meses de enero y febrero presentan los registros menores de esta variable para la mayoría de los años a lo largo de la serie con valores de hasta cero milímetros, lo cual indica que en el mes no hubo precipitación, como se muestra en los años 1995, 2001, 2003, 2007.

Figura 11

Comportamiento Temporal de la Precipitación acumulada, Estación El Carmen.

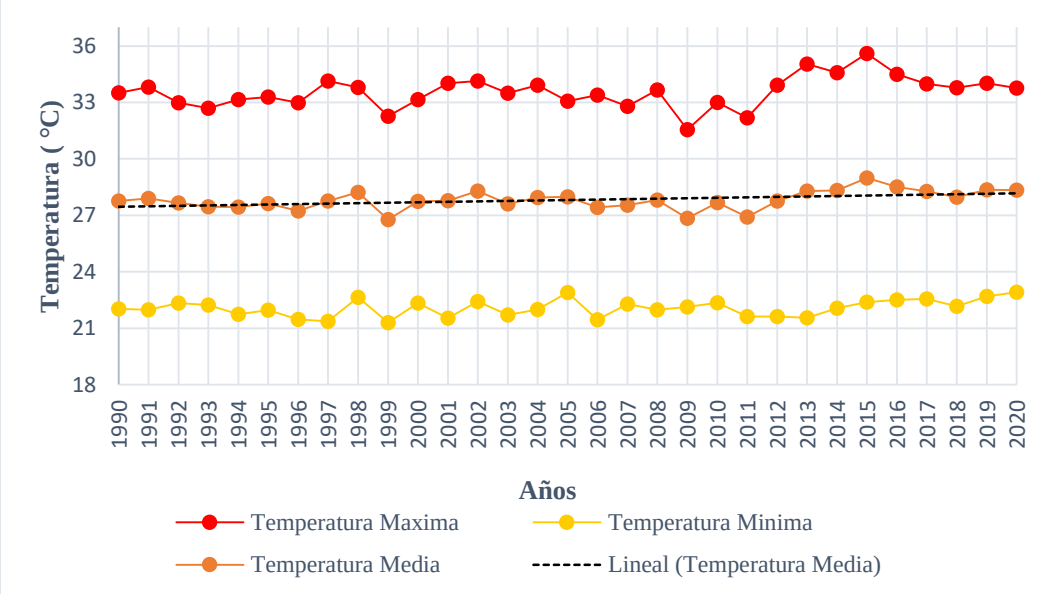


Fuente: Paulo (2021), elaborado a partir de información suministrada por el Geoportal DHIME, IDEAM

Respecto a la estación El Carmen (**Figura 12**), en la temperatura máxima se encuentra una variación mayor en los registros de valores máximos, con una máxima registrada de 35,59 °C para el año 2015 y una mínima de 31,55 °C en el año 2009. Además, en esta estación se encuentra una variación en los registros de valores medios, con una máxima registrada de 28,99 °C en el año 2015 y una mínima de 26,78 °C en el año 1999. De igual forma se encuentra en los registros de valores mínimos, con una máxima registrada de 22,92 °C en el año 2020 y una mínima de 21,29 °C en el año 1999.

Figura 12

Comportamiento Temporal de la Temperatura Máxima, Mínima y Media en la Estación El Carmen.



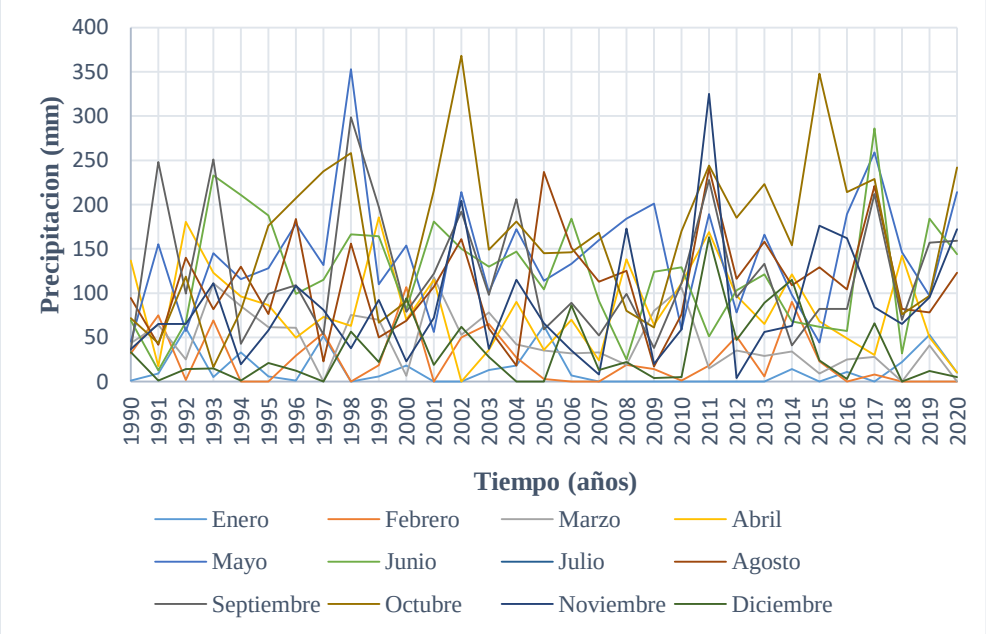
Fuente: Paulo (2021), elaborado a partir de información suministrada por el Geoportal DHIME, IDEAM

En la (**Figura 13**) se describe el comportamiento temporal de las precipitaciones para la estación Monterrey Forestal en el municipio de Zambrano. Del cual se puede inferir que las menores precipitaciones se presentan en el mes de enero, febrero y diciembre presentando meses donde no se registró precipitación para los años 1995, 1998, 2001, 2005, 2006, entre otros.

En esta estación la precipitación también tiene los valores máximos para el mes de octubre, en el cual se logra registrar un valor máximo de 368 mm en el año 2002, mayo con un registro de 353 mm para el año 1998, seguido de noviembre quien presenta un valor de 325 mm para el año 2011.

Figura 13

Comportamiento Temporal de las Precipitaciones, Estación Monterrey Forestal



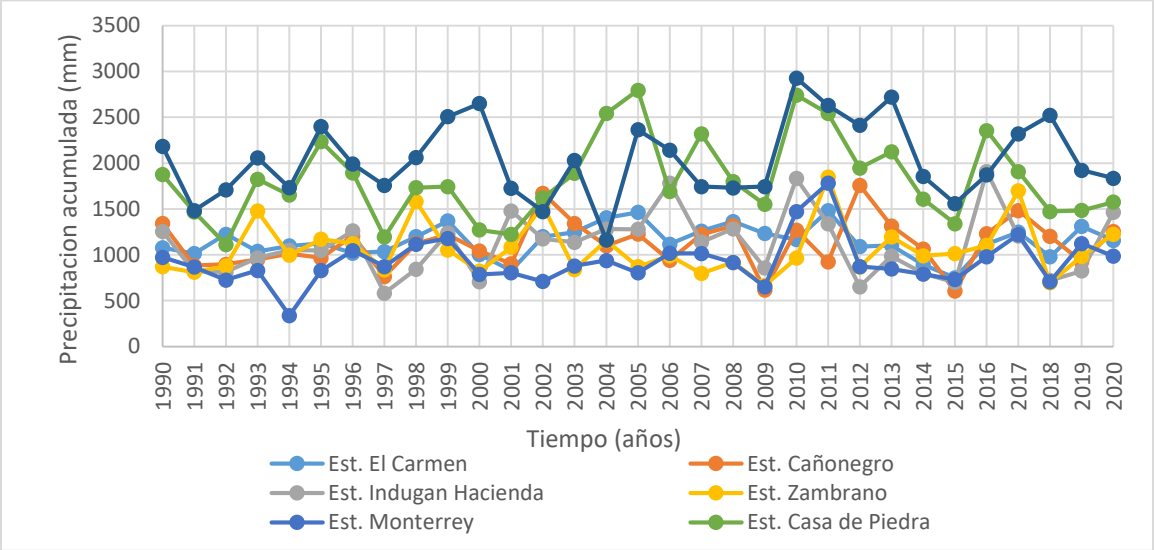
Fuente: Paulo (2021), elaborado a partir de información suministrada por el Geoportal Dhime, IDEAM

El comportamiento temporal de las precipitaciones utilizadas en esta investigación y descritas en la **Tabla 3** se muestran en la (**Figura 14**), del comportamiento de estas se puede inferir que las mayores precipitaciones registradas para la zona de estudio se encuentran en la estación San Cristóbal y la estación casa de piedra, ambas se encuentran en la parte alta de la cuenca, lo cual explicaría el comportamiento de la precipitación en las Isoyetas para las distintas series de años en esta zona.

La estación Monterrey Forestal, ubicada en el municipio de Zambrano presenta el menor registro de precipitación histórica para la serie con un valor de 339,1 mm de precipitación acumulada para el año 1994, seguido de la estación Indugan Hacienda con un valor de 583 mm en el año 1997. Para algunos años se hace evidente los aumentos y descensos para todas las estaciones por ejemplo el año 2010 donde las estaciones presentan aumentos en sus valores, caso contrario para el año 2015 donde todas las estaciones presentan un descenso, comportamiento que se explica con el aumento de la temperatura para este mismo año en la (**Figura 9)** debido a que estas variables son inversamente proporcionales, aunque su comportamiento puede estar en algunos casos condicionados a factores como la cobertura vegetal, la altitud, entre otros.

Figura 14

Comportamiento Temporal de la Precipitación acumulada, estaciones presentes en la zona de estudio.

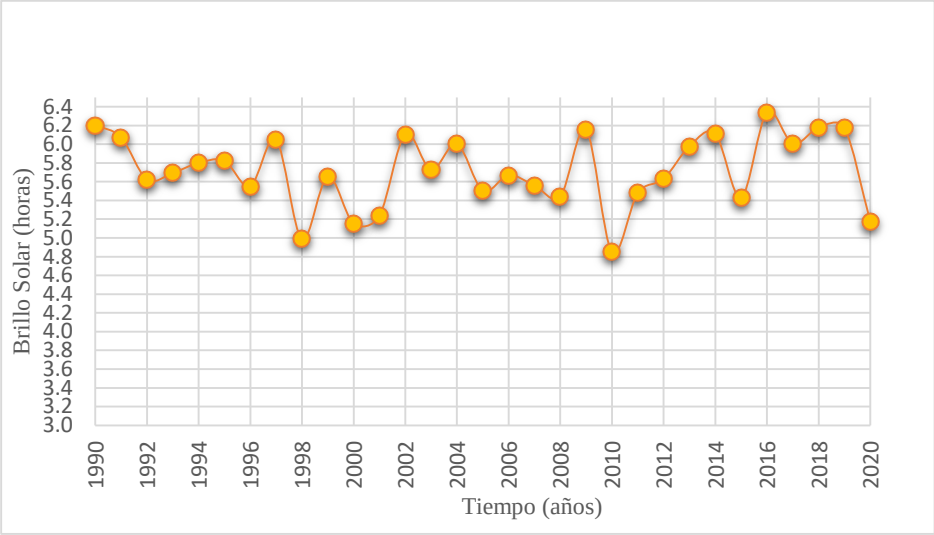


Fuente: Paulo (2021), elaborado a partir de información suministrada por el Geoportal Dhime, IDEAM

Esteves Acuña, J. C., & Ortiz Villarreal, J. F. (2018) mencionan que el brillo solar hace referencia al número de horas en las que se puede aprovechar la radiación solar en un día. Para la estación El Carmen (**Figura 15**) se encuentra que en la serie de estudio 1990-2020 los valores oscilan entre 4 y 6.5 horas promedio de sol, para el año 2010 se presentó el promedio más bajo de brillo solar del registro histórico con un valor de 4,84 horas y 6.33 horas promedio como valor máximo en el año 2016.

Figura 15

Comportamiento Temporal del promedio de Brillo solar horario, Estación El Carmen.



Fuente: Paulo (2021), elaborado a partir de información suministrada por el Geoportal Dhime, IDEAM

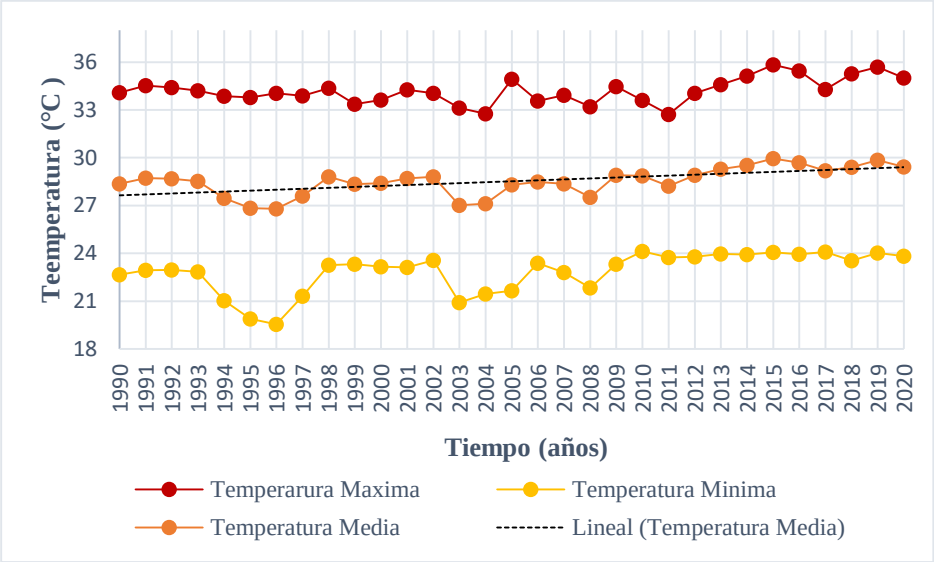
La (**Figura 16)** muestra el comportamiento temporal de la temperatura en la estación Monterrey Forestal. Para la temperatura máxima se presenta una variación mayor en los registros de valores máximos, con una máxima registrada de 35,82 °C para el año 2015 y una mínima de 32,70 °C en el año 2011.

En esta estación se encuentra una variación en los registros de valores medios, con una máxima registrada de 29,94 °C en el año 2015 y una mínima de 26,79 °C en el año 1996.

De igual forma en los registros de valores mínimos, con una máxima registrada de 24,11 °C en el año 2010 y una mínima de 19,54 °C en el año 1996

Figura 16

Comportamiento Temporal de la Temperatura, Estación Monterrey Forestal

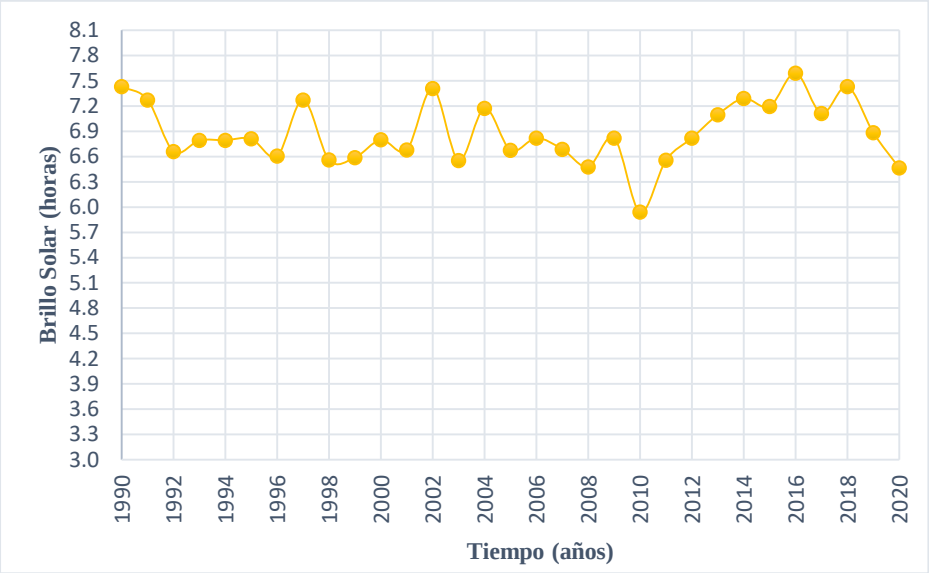


Fuente: Paulo (2021), elaborado a partir de información suministrada por el Geoportal Dhime, IDEAM

El brillo solar mensual multianual en la estación Zambrano (**Figura 17**) presenta valores máximos de esta variable para los años 1990 y 2010 con valores de 7.49 horas y 7.59horas respectivamente, la nubosidad influye en esta variable puesto que cuando se registran días despejados se presentan valores mayores de brillo solar. Ramírez, V. H., Jaramillo, Á., Peña, A. J., & Valencia, J. A. (2013). Asocian la reducción del brillo solar con el aparecimiento del fenómeno de la niña, en el caso de la estación Zambrano el año 2010 presenta el menor de los registros que fue de 5,94 lo cual puede indicar que ese año se pudo presentar este fenómeno.

Figura 17

Comportamiento Temporal del promedio de Brillo solar horario, Estación Zambrano



Fuente: Paulo (2021), elaborado a partir de información suministrada por el Geoportal Dhime, IDEAM

7.3.4 Análisis de Anomalías para precipitación

Para González O. C. y Buitrago, C.E. (2012) La anomalía de la precipitación es el principal indicador del comportamiento de la precipitación en un determinado periodo y un determinado lugar, es un parámetro que mide la desviación en porcentaje de la precipitación de un periodo determinado con relación al valor medio histórico de un periodo de referencia. En la **Tabla 7** se presenta el comportamiento de la anomalía de precipitación en porcentajes, teniendo en cuenta la metodología IDEAM y la interpretación mostrada en la **Tabla 1**.

se puede inferir que las precipitaciones presentes en las estaciones de estudio no estuvieron “Muy por debajo de lo normal” puesto que ninguna se encuentra por debajo del 29%.

Para algunos años como 1994 en la estación Monterrey Forestal, 1997 y 2012 en la estación Indugan, 2004 en San Cristóbal, 2009 y 2015 en Cañonegro se presentaron anomalías "Moderadamente por debajo de lo normal" lo cual implica que los porcentajes en la anomalía de precipitación se encontraron entre el 30-59%.

La mayor parte de las estaciones presentan anomalías entre el 60- 89% "Ligeramente por debajo de lo normal". Para el año 1991 a excepción de Monterrey Forestal, el resto de las estaciones presentan valores de anomalía que oscilan en este porcentaje. De acuerdo con González O. C. y Buitrago, C.E. (2012) esto puede ser tomado como indicador de sequías meteorológicas, al señalar los lugares en los que la precipitación fue anormalmente baja es decir valores menores a 90%, posibilitando estimar lugares que pudieron sufrir sequías capaces de impactar las actividades socioeconómicas.

1998, 2002, 2005, 2006, 2010, 2012 y 2017 presentan valores "Moderadamente por encima de lo normal" con anomalías entre 140-169%, tanto esto como los valores de anomalías para 2011 y 2016 que se encuentran "Muy por encima de lo normal" con anomalías >169% puede estar asociado al Fenómeno de la Niña, el cual se manifiesta principalmente como un aumento de las precipitaciones.

Tabla 7

Resultados de anomalía para precipitación

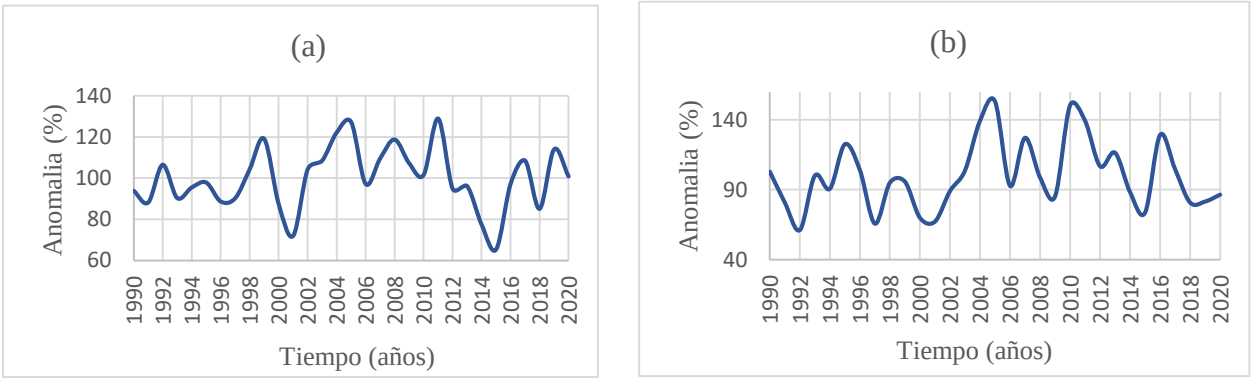
Anomalía para Precipitación AP (%)							
	Estación						
Año	El Carmen	Casa de piedra	San Cristóbal	Zambrano	Indugan Hacienda	Cañonegro	Monterrey Forestal
1990	94	103	107	82	113	120	105
1991	88	81	73	76	74	79	93
1992	107	61	84	82	73	80	78
1993	90	100	101	139	87	85	89
1994	95	91	85	93	95	90	36
1995	98	123	118	110	94	86	89
1996	89	104	98	105	114	108	113
1997	90	66	86	78	52	68	94
1998	104	95	101	148	76	100	120
1999	119	96	123	99	111	109	127
2000	87	70	130	77	64	93	85
2001	72	67	85	102	133	80	86
2002	104	89	72	144	106	149	76
2003	109	104	100	79	102	120	95
2004	122	139	57	108	115	98	101
2005	127	153	116	82	115	109	87
2006	97	93	105	93	160	84	109
2007	110	127	85	75	103	109	109
2008	119	99	85	86	116	117	99
2009	107	85	86	62	77	55	70
2010	102	150	144	90	165	113	158
2011	129	139	129	173	121	82	192
2012	95	107	118	81	59	157	94
2013	96	116	133	112	89	117	91
2014	77	88	91	93	72	95	85
2015	65	73	76	95	63	54	79
2016	97	129	92	103	172	110	106
2017	109	105	114	159	109	132	131
2018	85	81	124	65	65	107	76
2019	114	81	94	92	74	82	121
2020	101	86	90	115	132	112	106

Fuente: Paulo (2021)

La (**Figura 18)** muestra el comportamiento temporal de las anomalías de precipitación para la estación El Carmen y la estación Casa de Piedra. Para la estación el Carmen se presenta una anomalía máxima de 129% para el año 2011 que indica que para este año la precipitación estuvo ligeramente por encima de lo normal, y una anomalía de 65% en el año 2015 que significa que estuvo ligeramente por debajo de lo normal, entendiendo la anomalía como la desviación del orden normal (Glantz, 1998) para la estación Casa de piedra se muestra una anomalía moderadamente por encima de lo normal para el año 2005, lo cual podría explicar los valores de precipitación en la parte alta presentados en los mapas de distribución en la para este mismo año. Por otro lado, para los años 1992, 1997, 2001, 2015 y 2018 estuvieron presentes las anomalías más bajas en esta estación con valores que oscilaron entre 60-89% es decir ligeramente por debajo de lo normal. De acuerdo con Bocanegra, J. E. M. (2014) el Niño ocurrido entre 1991-92, tuvo un significativo impacto económico, particularmente en el sector hidro-energético del país.

Figura 18

Comportamiento temporal de las anomalías de precipitación en las estaciones (a)El Carmen y (b)Casa de piedra



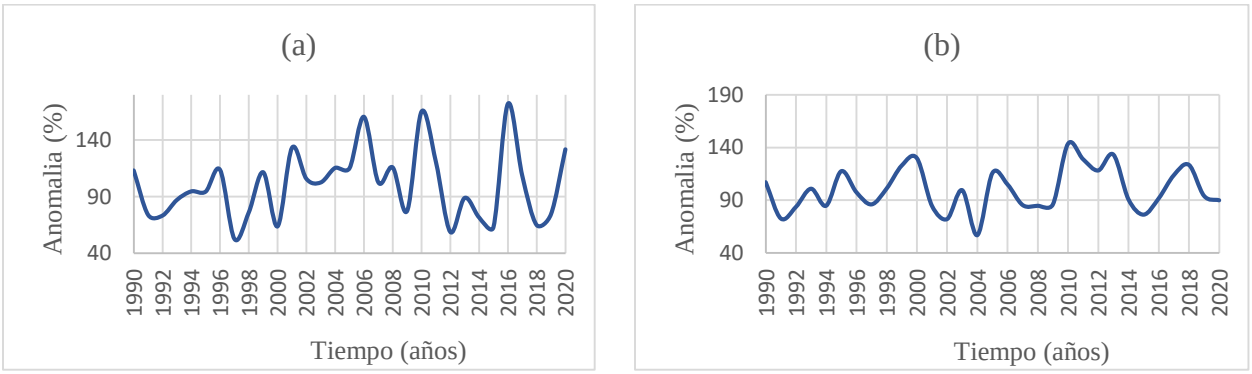
Fuente: Paulo (2021), a partir de información obtenida en Geoportal Dhime, IDEAM

Los eventos extremos se asocian con la variabilidad climática asociada a fenómenos ENSO, en la (**Figura 19**) se presenta el comportamiento temporal de las anomalías para las estaciones Indugan y San Cristóbal. La primera presenta un valor de anomalía “muy por encima de lo normal” para el año 2010 de 165% y 2016 de 172% y un valor mínimo de 52% para el año 1997 que indica que las lluvias estuvieron moderadamente por debajo de lo normal, de igual forma se presentan valores de 65% para el año 2018.

La estación San Cristóbal presenta los valores más bajos de anomalías de todas las estaciones estudiadas en la zona de estudio, para esta la mayoría de los valores se mantuvieron en rangos de anomalía normal a excepción del año 2010 donde se presentó un valor de 144% moderadamente por encima de lo normal, es decir para esta estación, en este año se presentaron los valores de precipitación más altos.

Figura 19

Comportamiento temporal de las anomalías en las estaciones (a)Indugan Hacienda y (b)San Cristóbal

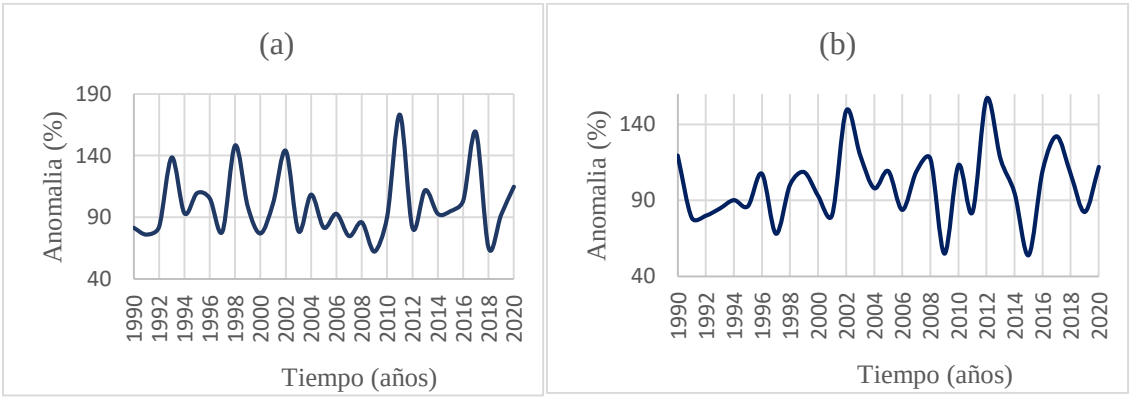


Fuente: Paulo (2021) a partir de información obtenida en Geoportal Dhime (IDEAM)

En la (**Figura 20**) se muestra el comportamiento de las anomalías a lo largo de los años para la estación Zambrano y Cañonegro, la estación Zambrano muestra un valor de anomalía muy por encima de lo normal de 173% para el año 2011 y una anomalía de 62% en el año 2009 que podría indicar una época seca de acuerdo a la interpretación en los valores de esta variable. La estación Cañonegro logra un valor por encima de lo normal para el año 2012 de 157% y una anomalía de 54% para el año 2015, año en el cual a lo largo del estudio se ha mostrado como el de mayor aumento en la temperatura, situación que podría explicar el porqué de estos valores que alertan a que la zona de estudio puede estar pasando por una época de sequias que puede afectar el comportamiento de la cuenca y cambiar sus condiciones.

Figura 20

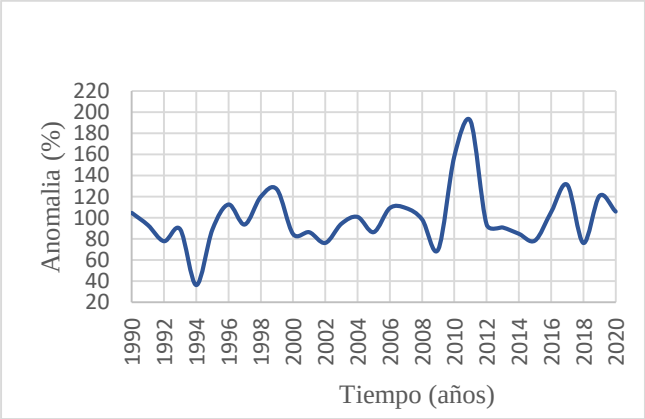
Comportamiento temporal de las anomalías en las estaciones (a)Zambrano y (b)Cañonegro



Fuente: Paulo (2021) a partir de información obtenida en Geoportal Dhime, IDEAM

Figura 21

Comportamiento temporal de las anomalías en la estación Monterrey Forestal



Fuente: Paulo (2021) a partir de información obtenida en Geoportal Dhime, IDEAM

Finalmente, la (**Figura 21**) describe el comportamiento de las anomalías en la estación Monterrey Forestal, perteneciente al municipio de Zambrano, donde se encuentra la parte baja de la cuenca del Arroyo Alférez, esta estación presenta el porcentaje más alto de anomalía para todas las estaciones en el año 2011 con un porcentaje de 192% es decir un valor muy por encima de lo normal y un valor moderadamente por debajo de lo normal de 36% para el año 1994.

7.3.5 Análisis de Anomalías para Temperatura

En la (**Figura 22)** se resaltan los datos de anomalías para la temperatura en las estaciones de El Carmen y Monterrey Forestal presentes en la zona de estudio y calculadas en el **Anexo A**, de las cuales se puede observar una tendencia de aumento similar en las anomalías.

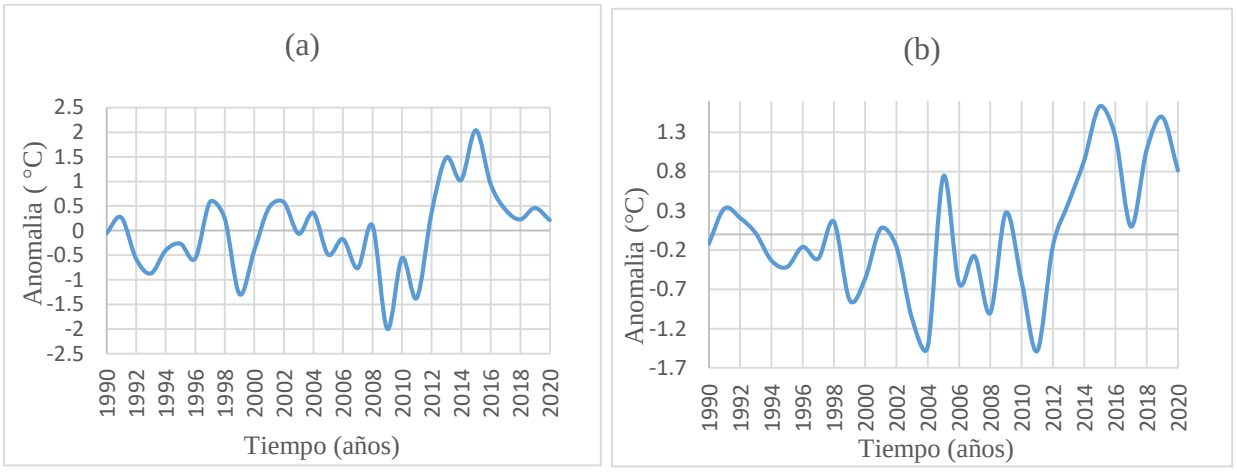
El año 2015 sobresale para ambas estaciones con anomalías positivas lo cual indica que

su valor para este año estuvo por encima de su valor normal 2 °C por encima del valor normal para la estación El Carmen y 1,63°C para la estación Monterrey Forestal. valores que se corroboran con aumentos en la temperatura en los mapas de distribución de esta variable.

Así mismo para estas estaciones se encuentran valores por debajo de la media para los años 2009 con una anomalía negativa de -1,99 °C para la estación El Carmen y los años 2004 y 2011 para la estación Monterrey Forestal con anomalías negativas de -1,4 °C para ambos años.

Figura 22

Comportamiento temporal de las anomalías de temperatura en las estaciones (a)El Carmen y (b)Monterrey Forestal



Fuente: Paulo (2021) a partir de información obtenida en Geoportal Dhime, IDEAM

7.3.5 Comportamiento temporal Mensual Multianual de las variables

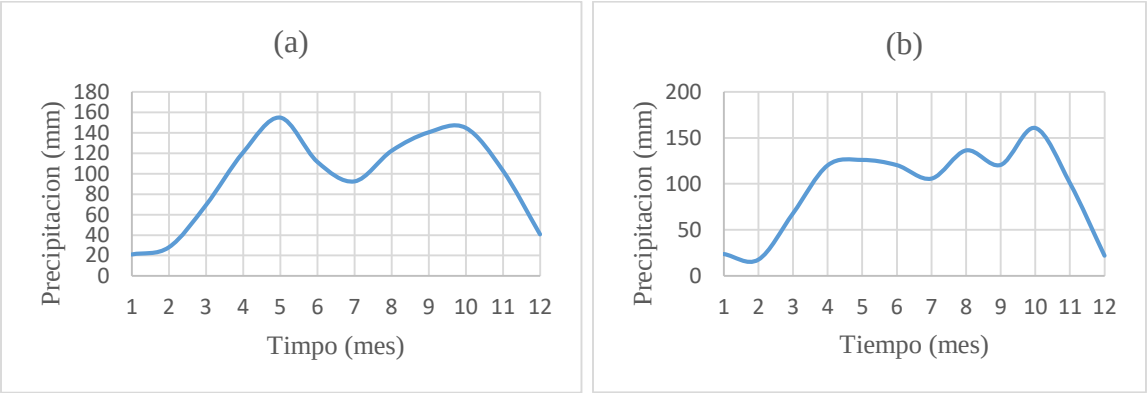
- **Precipitación**

En la (**Figura 23**), (**Figura 24**) y (**Figura 25**) se muestra el comportamiento mensual multianual de la precipitación para las estaciones presentes en la zona de estudio. La estación el Carmen (**Figura 23**) presenta un comportamiento bimodal, puesto que en el mes de mayo y octubre se encuentran las frecuencias más altas de precipitación con valores de 155mm y 145 mm respectivamente.

La estación Cañonegro presenta un comportamiento multimodal que se refleja en los meses de mayo, agosto y octubre con valores de 126 mm, 136 mm y 161mm respectivamente.

Figura 23

Comportamiento Temporal de la Precipitación Mensual Multianual de las estaciones (a) El Carmen y (b) Cañonegro



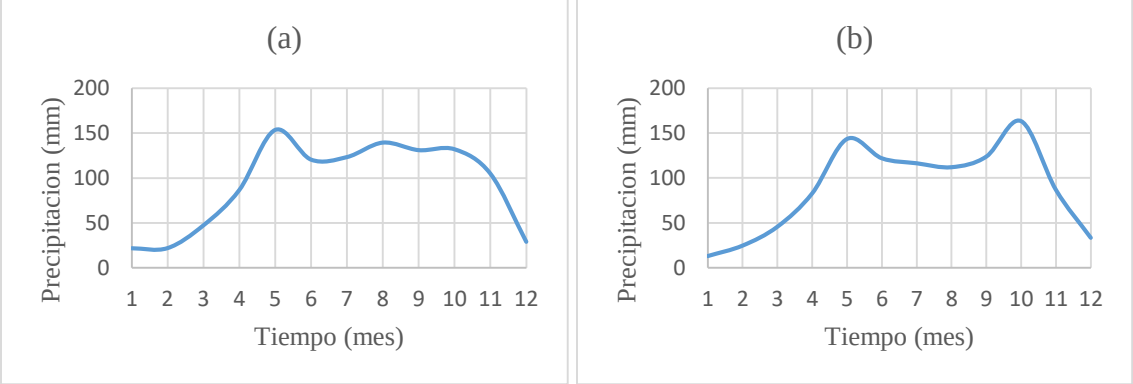
Fuente: Paulo (2021) a partir de información obtenida en Geoportal Dhime, IDEAM

En La (**Figura 24**), se muestra el comportamiento de la estación Zambrano la cual presenta el mismo comportamiento bimodal que la estación El Carmen para los meses de mayo y

octubre con frecuencias altas de 143mm y 163mm de precipitación respectivamente y una asimetría negativa en los meses desde enero a mayo. Para la estación Indugan Hacienda se puede inferir que presenta asimetría negativa desde los meses de enero a mayo es decir los valores más alejados de la media de precipitación, y un valor máximo de precipitación también para el mes de mayo de 154mm.

Figura 24

Comportamiento Temporal de la Precipitación Mensual Multianual de las estaciones (a) Indugan Hacienda y (b) Zambrano



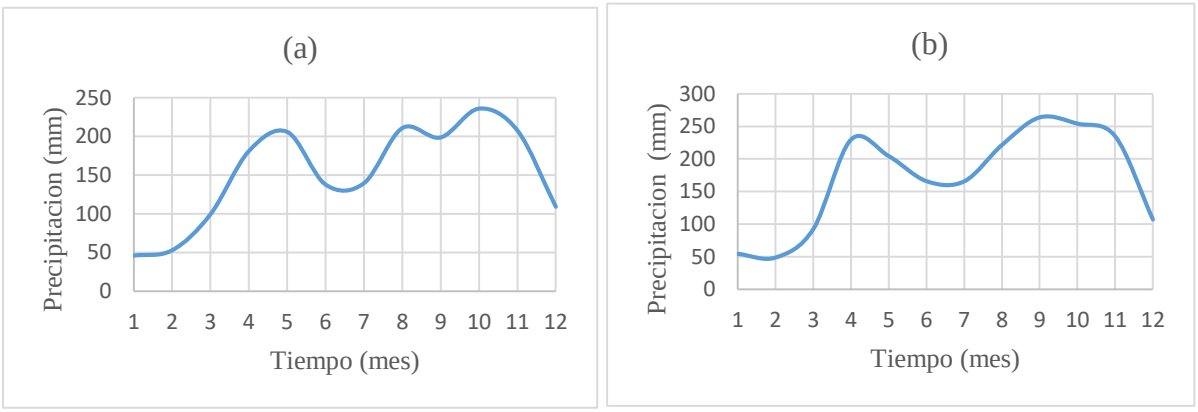
Fuente: Paulo (2021) a partir de información obtenida en Geoportal Dhime, IDEAM

Las estaciones Casa de Piedra y San Cristóbal (**Figura 25**), muestran asimetrías negativas desde los meses de enero a mayo para la estación Casa de piedra, y de enero a abril en la estación San Cristóbal. El comportamiento multimodal de la estación casa de piedra se ve reflejado con valores máximos para los meses de agosto y octubre con 211 mm y 236 mm respectivamente.

La estación San Cristóbal presenta los valores más altos de precipitación para los meses de abril, septiembre y noviembre, de los cuales destaca septiembre con el valor máximo de 264 mm de precipitación. El comportamiento de estas estaciones llama la atención debido a que, del total de las utilizadas para esta investigación, estas han sido las que presentan los valores más altos de precipitación en comparación al resto.

Figura 25

Comportamiento Temporal de la Precipitación Mensual Multianual de las estaciones (a) Casa de piedra y (b) San Cristóbal



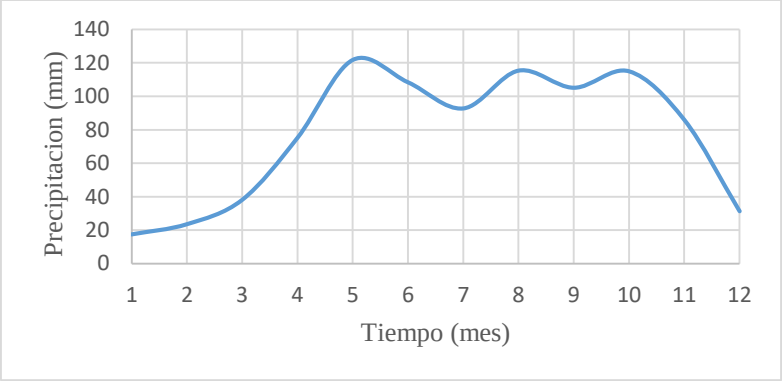
Fuente: Paulo (2021) a partir de información obtenida en Geoportal Dhime

La (**Figura 26**) muestra que la precipitación a lo largo del tiempo en la estación Monterrey Forestal es de tipo multimodal, inicia con una asimetría negativa que va desde los meses de enero a mayo, y una asimetría positiva desde septiembre a diciembre, es decir muchas puntuaciones bajas en la precipitación para estos meses. El valor máximo se presenta en el mes

de mayo con una precipitación de 122 mm.

Figura 26

Comportamiento Temporal de la Precipitación Mensual Multianual de la estación Monterrey Forestal



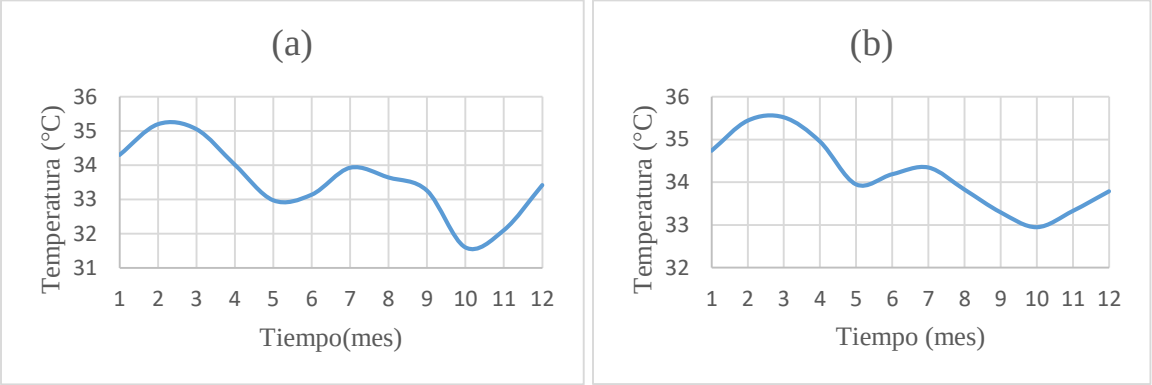
Fuente: Paulo (2021) a partir de información obtenida en Geoportal Dhime

- **Temperatura**

En la (**Figura 27**) se presenta el comportamiento temporal multianual de la temperatura en las estaciones disponibles con estas variables en la zona de estudio, de la cual se muestra un comportamiento bimodal para ambas estaciones que presentan un comportamiento similar y asimetrías positivas para los meses de enero a mayo en ambos casos.

Figura 27

Comportamiento Temporal de la Temperatura Mensual Multianual de las estaciones (a) El Carmen y (b) Monterrey Forestal



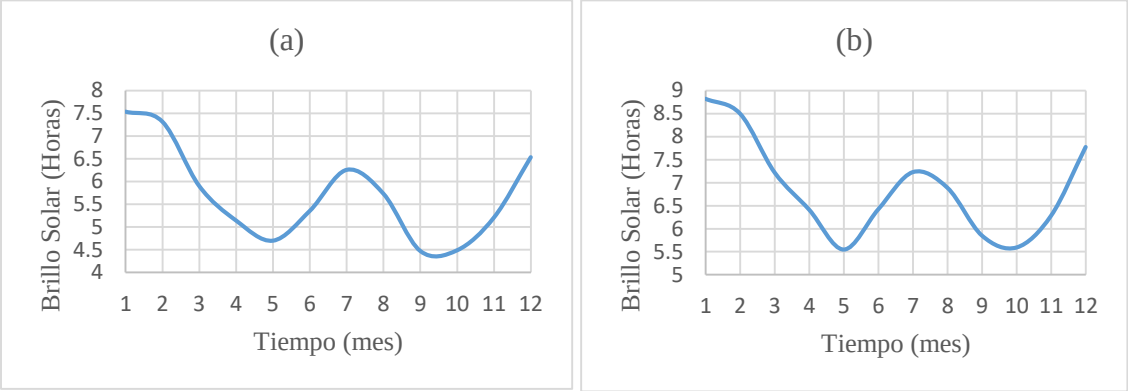
Fuente: Paulo (2021) a partir de información obtenida en Geoportal Dhime

- **Brillo Solar**

De acuerdo IDEAM (2005) otra forma de conocer la radiación del Sol es a través de la medición del brillo solar o insolación, que se asocia a la cantidad de tiempo durante el cual la superficie del suelo es irradiada por la radiación solar directa, estos datos son importante y mayormente utilizados en el sector agrícola. En la (**Figura 28**) se muestra el comportamiento del Brillo Solar para la estación El Carmen y Monterrey Forestal, las cuales presentan un comportamiento muy similar, especialmente porque para ambas los valores promedios más bajos de brillo solar se presentan para los meses de mayo y octubre, bimodal y además con asimetría negativa para los meses de enero a mayo y asimetría negativa desde octubre a diciembre.

Figura 28

Comportamiento Temporal de la Brillo Solar Mensual Multianual de las estaciones (a) El Carmen y (b) Monterrey Forestal



Fuente: Paulo (2021) a partir de información obtenida en Geoportal Dhime

7.4. Análisis estadístico del comportamiento de las variables con los indicadores de cambio climático

Mediante la correlación lineal de Pearson, se estimó la relación de las variables de estudio, respecto a la variabilidad climática presentada en estas. La correlación se realizó con los valores promedio trimestrales de cada variable para el periodo de 1990-2020 junto con los valores del ONI presentes en el **Anexo B**.

La interpretación de los datos se considera tomando los valores del ONI iguales o superiores a 1 Para el fenómeno del niño (Rojo), igual o menores a -1 para el evento de la niña (Azul) y el resto de valores que no se encuentran en el umbral de +/- 0,5 muestran condiciones neutras.

En la **Tabla 8** se presentan las correlaciones de Pearson para valores del ONI en las variables hidrometeorológicas estudiadas en la cuenca del Arroyo Alférez y descritas en las figuras anteriores.

Concorde con Euscátegui, C., & Hurtado, G. (2011). El efecto de “La Niña” en nuestro país se caracteriza por un aumento considerable de las precipitaciones (anomalías positivas) y una disminución de las temperaturas (anomalías negativas) en las regiones Andina, Caribe y Pacífica. Para explicar el comportamiento de las precipitaciones que se presentó en el año 2010, Arrieta y Galván, (2017) mencionan que es necesario tener en cuenta que durante este periodo se registraron grandes eventos de lluvia, siendo catalogados como fenómeno de “La Niña” y que sucedieron simultáneamente y durante un tiempo prolongado en diferentes regiones del departamento de Córdoba, Sucre y Bolívar, generando así un impacto de orden ambiental y socioeconómico, La temporada de lluvias en Colombia en 2010-2011 se presentó como una anomalía marcada respecto a las temporadas de lluvias “normales”, con precipitaciones e inundaciones muy superiores a las observadas históricamente (CEPAL, 2012)

Para la cuenca del Arroyo Alférez, se presentó el año 2010 este fenómeno, pero la particularidad se encuentra en el comportamiento de las demás variables, El brillo solar y la temperatura en la estación El Carmen, esto se debe a los valores bajos de temperatura que registra el ONI para este año, en todo caso la relación seria inversa.

El año 1996 presenta valores de correlación para eventos secos en todas las estaciones, al igual que el año 2001 y 2008, para los casos la relación es inversa respecto a las demás variables, 1990, 1999, 2000, 2012, 2014 y 2015 son años en que se presentaron eventos secos en por lo menos 4 estaciones de precipitación y su relación es inversa con las variables siguientes, estas tienden a decrecer.

Tabla 8.

Correlación de Pearson para valores de ONI en la Cuenca del Arroyo Alférez

	ONI-Precipitación							ONI-Brillo Solar		ONI-Temperatura	
	Estación							Estación		Estación	
Año	El Carmen	San Cristóbal	Casa de piedra	Zambrano	Indugan Hacienda	Caño negro	Monterrey Forestal	El Carmen	Monterrey Forestal	El Carmen	Monterrey Forestal
1990	0,62	0,58	0,63	0,26	0,68	0,48	0,31	-0,56	-0,44	-0,52	-0,47
1991	-0,15	0,13	0,18	-0,25	-0,32	-0,19	0,08	-0,31	-0,31	-0,85	-0,83
1992	-0,76	-0,69	-0,37	-0,47	-0,55	-0,32	-0,43	0,22	0,29	0,84	0,87
1993	0,18	-0,05	-0,19	0,55	0,17	-0,04	-0,34	-0,45	-0,54	0,71	0,66
1994	0,09	-0,04	0,12	-0,25	0,29	-0,30	-0,36	-0,81	-0,87	-0,60	-0,62
1995	-0,40	-0,48	-0,43	-0,33	-0,20	-0,38	-0,54	0,56	0,67	0,94	0,93
1996	0,77	0,80	0,81	0,83	0,91	0,71	0,89	-0,86	-0,82	-0,12	-0,38
1997	0,14	0,55	0,88	0,48	0,60	-0,05	0,39	-0,13	-0,33	-0,18	-0,11
1998	-0,66	-0,87	-0,89	-0,53	-0,81	-0,27	-0,49	0,76	0,62	0,98	0,98
1999	0,57	0,69	-0,27	0,80	0,46	0,79	0,69	-0,09	-0,24	0,59	0,59
2000	0,81	0,56	0,56	0,50	0,32	0,28	0,16	-0,87	-0,74	0,15	0,09
2001	0,51	0,55	0,66	0,68	0,74	0,65	0,74	-0,46	-0,54	-0,01	0,13
2002	0,36	0,55	0,21	0,85	-0,01	0,01	0,04	-0,35	-0,55	-0,71	-0,64
2003	-0,60	-0,65	-0,69	-0,60	-0,85	-0,39	-0,68	0,78	0,84	0,37	0,42
2004	-0,33	0,49	0,45	0,20	-0,24	0,22	-0,09	-0,02	-0,05	-0,83	-0,82
2005	-0,55	-0,71	-0,47	-0,36	-0,21	-0,17	-0,41	0,26	0,39	0,90	0,87
2006	0,38	0,48	-0,19	0,50	-0,05	-0,23	0,38	-0,53	-0,39	-0,83	-0,85
2007	-0,24	-0,79	-0,82	-0,24	-0,51	-0,09	-0,30	0,55	0,49	0,88	0,87
2008	0,59	0,92	0,67	0,69	0,87	0,75	0,90	-0,83	-0,79	-0,80	-0,84
2009	0,47	0,80	0,21	-0,25	-0,24	0,44	-0,13	-0,52	-0,61	-0,36	-0,50
2010	-0,30	-0,89	-0,85	-0,55	-0,81	-0,63	-0,86	-0,57	-0,65	-0,51	0,99
2011	0,53	-0,09	-0,18	0,38	0,58	0,07	-0,76	-0,50	-0,47	0,52	0,20
2012	0,76	0,79	0,80	0,61	0,61	0,21	0,29	-0,56	-0,39	-0,72	-0,69
2013	-0,14	0,52	0,50	0,26	0,08	0,03	0,27	-0,50	-0,34	-0,63	-0,61
2014	0,43	0,67	0,78	0,52	0,72	0,57	0,48	-0,64	-0,74	-0,60	-0,70
2015	0,38	0,88	0,62	0,80	0,31	0,30	0,53	0,22	-0,69	0,87	0,88
2016	-0,77	-0,83	-0,86	-0,86	-0,85	-0,69	-0,84	0,66	0,66	0,92	0,94
2017	0,42	0,14	0,09	0,31	0,19	0,30	0,42	-0,42	-0,43	0,52	0,32
2018	0,42	0,61	0,18	0,18	0,11	0,44	0,29	-0,55	-0,37	-0,67	-0,61
2019	-0,27	-0,81	-0,48	-0,79	-0,79	-0,56	-0,78	0,46	0,51	0,59	0,56
2020	-0,29	-0,43	-0,69	-0,72	-0,56	-0,58	-0,78	0,46	0,56	0,96	0,96

Fuente: Paulo (2021) a partir de la información obtenida de Geoportal Dhime / Climate Prediction Center

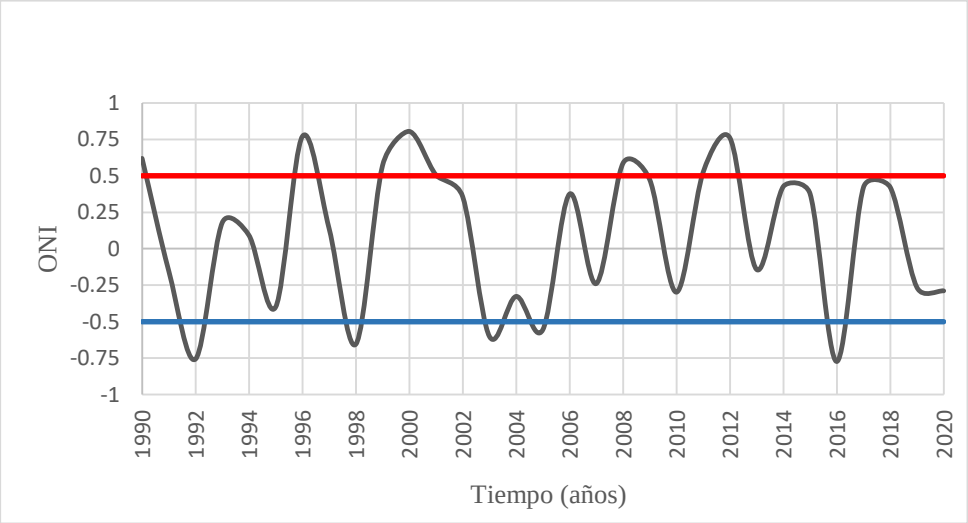
7.4.1 Correlación de Pearson para valores de precipitación vs ONI

La (**Figura 29**) muestra la correlación del ONI para los datos de Precipitación de esta estación, se encontraron 5 eventos cálidos con valores superiores a +0,5 para la serie 1990, 1996, 2008, 2012, el más alto se presentó en el año 2000 con un valor de +0.80.

Por otro lado, para los años 1992, 1998, 2003, 2005 y 2016 se muestran los eventos fríos, de los cuales el de mayor significancia se presentó en 2016 con un valor de -0,77.

Figura 29

ONI, Estación El Carmen

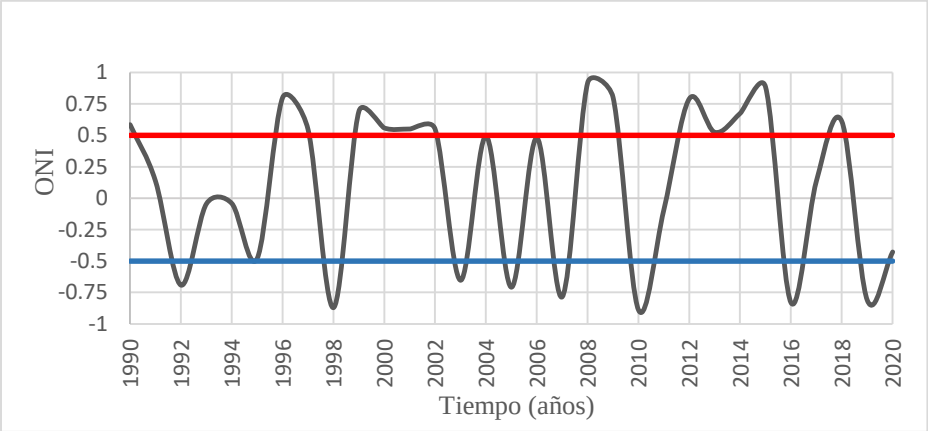


Fuente: Paulo (2021) a partir de la información obtenida de Geoportal Dhime / Climate Prediction Center

Para la estación San Cristóbal **(Figura 30)** se presentan 8 eventos secos para la serie de años 1990, 1996, 1999, 2002, 2008, 2012, 2015 y 2018. Con un máximo para el año 2008 de +0,91 y mínimo de +0,54 para el año 2002. También se muestran 8 eventos fríos y con el de mayor significancia para el año 2010 con un valor de -0,89.

Figura 30

ONI, Estación San Cristóbal

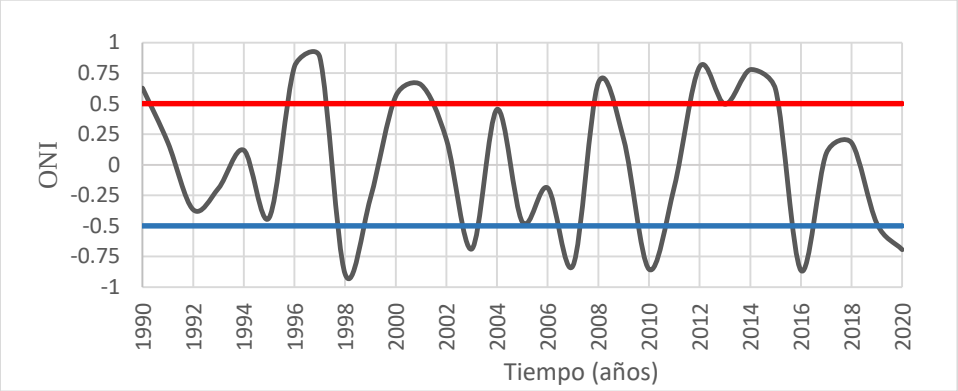


Fuente: Paulo (2021) a partir de la información obtenida de Geoportal Dhime / Climate Prediction Center

La (**Figura 31**) muestra 8 eventos secos para la serie de los años 1990, 1996, 1997, 2000, 2001, 2008, 2012 y 2014. Con un máximo de +0,88 para 1997 y el menor de +0,62 para el año 1990. Se presentan también 6 eventos fríos del cual 1998 presenta el de mayor significancia con un valor de -0,89.

Figura 31

ONI, Estación. Casa de Piedra

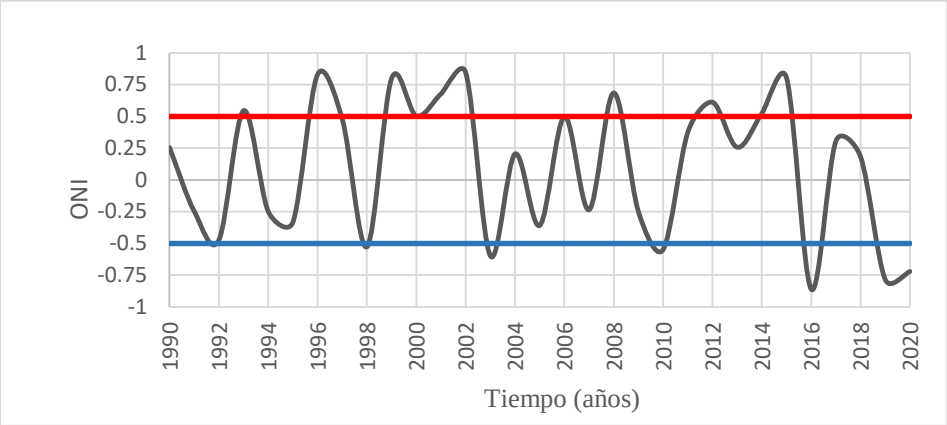


Fuente: Paulo (2021) a partir de la información obtenida de Geoportal Dhime / Climate Prediction Center

La estación Zambrano (**Figura 32**) presenta 10 eventos secos para los años 1993, 1996, 1999, 2000, 2001, 2002, 2008, 2012, 2014, 2015. El evento seco más significativo se presenta en el año 2002 con un valor de +0,84, lo cual indicaría que las precipitaciones para este año podrían ser históricamente las más bajas en esta estación. Se presentan además 6 eventos fríos del cual 2016 presenta mayor significancia con un valor de -0,86.

Figura 32

ONI, Estación Zambrano

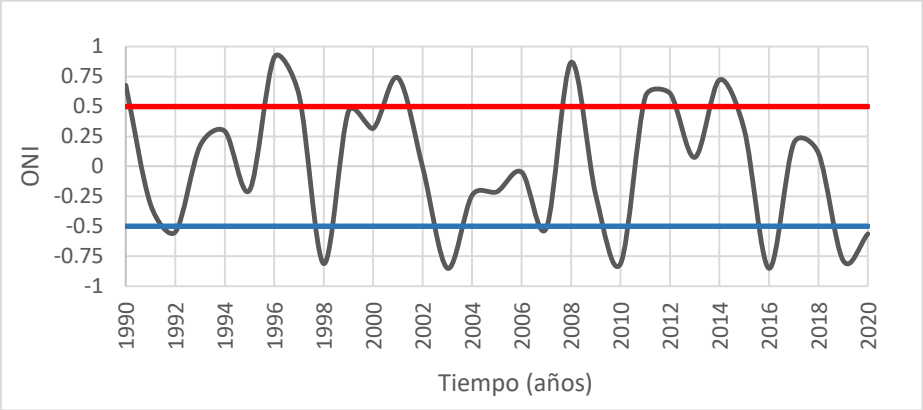


Fuente: Elaboración propia (2021) a partir de la información obtenida de Geoportal Dhime / Climate Prediction Center

En la (**Figura 33**), se muestra los valores de correlación del ONI para la estación Indugan Hacienda, presenta 7 eventos secos para los años 1990, 1996, 2001, 2008, 2011,2012 y 2014. De los cuales se puede inferir que la correlación con mayor significancia se presentó en el año 1996 con un valor de +0,91, es decir para el resto de años se presentó una disminución en las precipitaciones, pero no tan significativa como la del año mencionado. Por otro lado, esta misma estación presenta 8 eventos fríos del cual destaca 2016 con un valor de -0,85.

Figura 33

ONI, Estación Indugan Hacienda

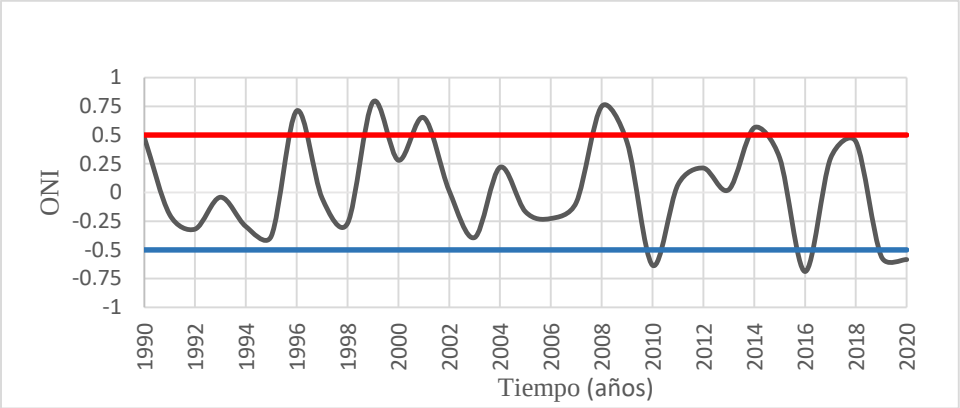


Fuente: Paulo (2021) a partir de la información obtenida de Geoportal Dhime / Climate Prediction Center

La estación Cañonegro (**Figura 34**) muestra 5 eventos cálidos en los años 1996,1999,2001,2008 y 2014 y 4 eventos fríos en los años 2010, 2016, 2019 y 2020. En los eventos de cálidos sobresale el año 1999 con un valor de +0,79 y para los eventos fríos de esta estación y el año 2016 con una significancia no tan alta de -0,69 lo cual implicaría que las lluvias para esta estación en este año fueron las más significativas, pero a la vez moderadas.

Figura 34

ONI, Estación Cañonegro



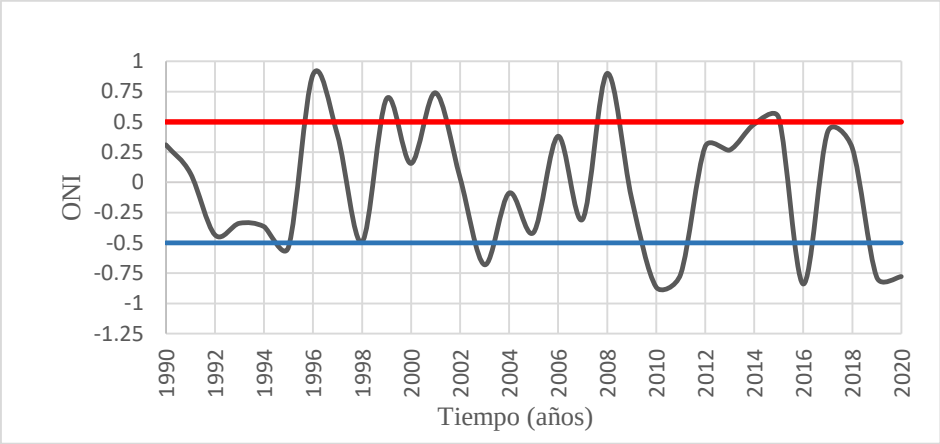
Fuente: Paulo (2021) a partir de la información obtenida de Geoportal Dhime / Climate Prediction Center

Para finalizar las correlaciones de precipitación, en la (**Figura 35**) se muestra el comportamiento del ONI y la precipitación de la estación Monterrey Forestal al correlacionar los datos, presenta 5 eventos cálidos para los años 1996, 1999, 2001, 2008 y 2015. El valor de correlación más significativo estuvo en el año 2008 con un valor de +0,90

Esta misma estación presenta 6 eventos fríos para los años 1995, 2003, 2010, 2016, 2019 y 2020. El año 2010 presenta el valor más significativo de eventos fríos en esta estación con un valor de -0,86.

Figura 35

ONI, Estación Monterrey Forestal



Fuente: Paulo (2021) a partir de la información obtenida de Geoportal Dhime / Climate Prediction Center

7.4.2 Correlación de Pearson para valores de Temperatura

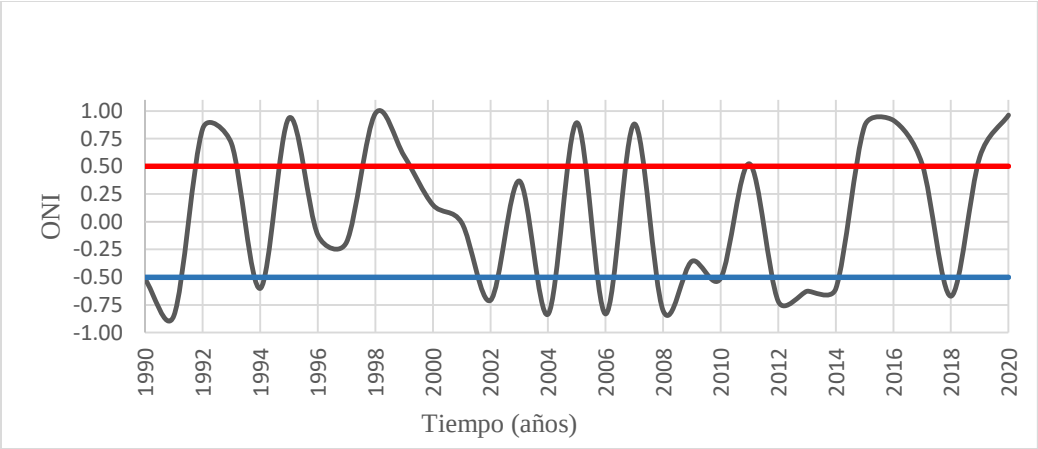
En las (**Figura 36**) y (**Figura 37**) muestran los valores de correlación del ONI con las estaciones disponibles y que contenían datos de temperatura en toda la zona de estudio, para este caso la estación El Carmen y la estación Zambrano. Gráficamente estas estaciones muestran un comportamiento similar que varía en las correlaciones solo por décimas.

Para la estación El Carmen se encontraron 4 eventos cálidos con la mayor significancia cercanos a 1(fenómeno del niño) el año 1995, 1998, 2016, 2020 y sus valores respectivamente de +0,93, +0,97, +0,91 y +0,96, la estación Zambrano también presenta los mismos años con valores más significativos y solo varia de los datos anteriores en el año 2016 con un valor de +0,93 y 2010 quien presenta un valor de correlación de +0,99.

Los eventos fríos en ambas estaciones se comportan igual que en los cálidos, los mismos años con alguna variación diferente en alguno de ellos, para la estación El Carmen destacan los años 1991, 200, 2006 y 2010 con valores de -0,83, -0,83 y -0,84 en la estación Zambrano ocurre esto mismo, pero a diferencia de la estación el Carmen a esta se le suma el año 2004 con un valor de -0,82.

Figura 36

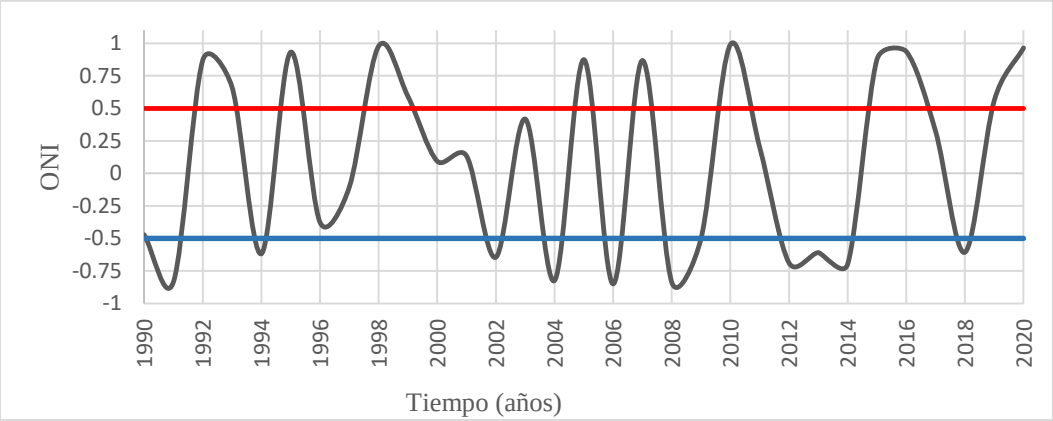
ONI, Estación El Carmen



Fuente: Paulo (2021) a partir de la información obtenida de Geoportal Dhime / Climate Prediction Center

Figura 37

ONI, Estación Monterrey Forestal



Fuente: Paulo (2021) a partir de la información obtenida de Geoportal Dhime / Climate Prediction Center

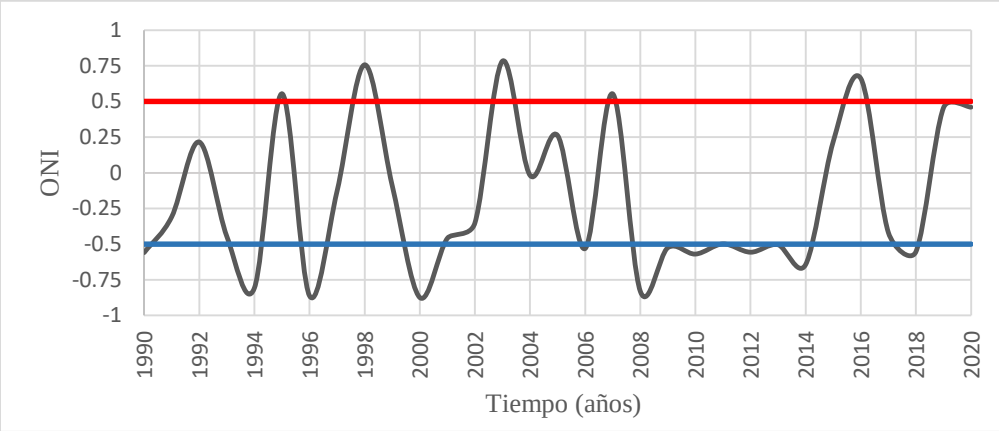
7.4.3Correlación de Pearson para valores de Brillo Solar

De acuerdo con IDEAM, (2005) La radiación solar es la energía emitida por el sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. Esa energía es el motor que determina la dinámica de los procesos atmosféricos y el clima. Además, la costa caribe puede presentar en promedio valores superiores a las 6 horas de radiación solar diarias.

En la (**Figura 38**) y (**Figura 39**) se presenta la correlación para los datos de Brillo solar en la estación El Carmen y la estación Monterrey Forestal, ambas estaciones presentan mucha similitud en su comportamiento gráfico.

Figura 38

ONI, Estación El Carmen



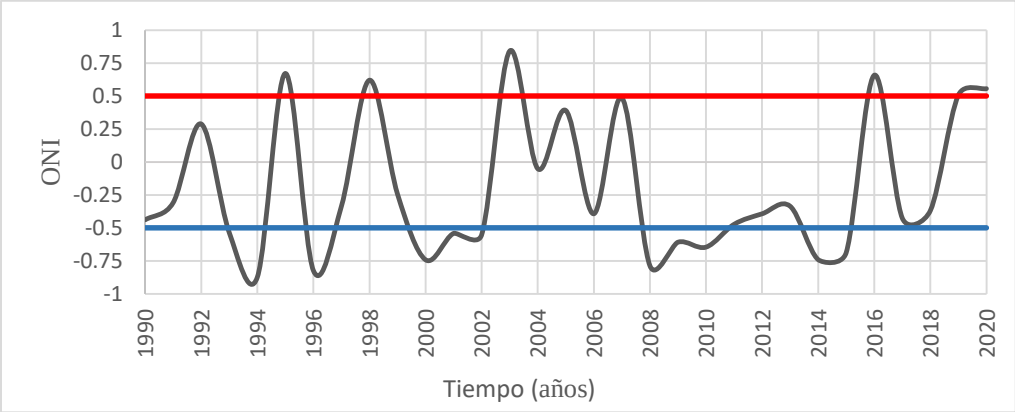
Fuente: Paulo (2021) a partir de la información obtenida de Geoportal Dhime / Climate Prediction Center

Para los valores positivos o eventos cálidos en la estación El Carmen se presenta el máximo en el año 2008 con un valor de +0,75 en el año 1998 y el año 2003 en la estación Monterrey Forestal de + 0,84. El comportamiento entre los años 2008 al 2014 en ambas estaciones hace que difiera una estación de la otra gráficamente.

Los eventos fríos de brillo solar que permiten que este valor de variable disminuya significativamente sobresale para el año 2000 con un valor de -0,87 en la estación el Carmen y el año 1994 también con -0,87 para la estación Monterrey Forestal.

Figura 39

ONI, Estación Monterrey Forestal



Fuente: Paulo (2021) a partir de la información obtenida de Geoportal Dhime / Climate Prediction Center

8. Conclusiones

Mediante la caracterización físico-morfométrica se determinó que el Arroyo Alférez es una cuenca con tendencia a madurez, su forma y red de drenaje hace que presente alta peligrosidad a las crecidas en épocas de invierno, su factor topográfico muestra que es una cuenca con tendencia a erosión que se puede explicar por la estrechez y crecidas del mismo, en épocas de lluvia el movimiento del agua que circula por el cauce produce el desprendimiento.

El tipo de cobertura vegetal presente en la zona de estudio, en especial los bosques juegan un papel importante a nivel ambiental en la cuenca de estudio, las presencias de estos representan un impacto positivo en especial los bosques de frondosa y mixtos porque tienen respuesta rápida para mantener las funciones hidrológicas en respuesta al cambio climático, las zonas de vegetación escasa presente en esta son producto en parte de la variabilidad climática presente.

Respecto al comportamiento temporal de las variables se pudo establecer que en la mayoría de estaciones la variable precipitación presenta un comportamiento multimodal, la temperatura y brillo solar muestran un comportamiento bimodal y muy similar en ambas estaciones para estas variables a pesar de no estar ubicadas en el mismo municipio. La precipitación se ve distribuida en mayor proporción en la parte alta de la cuenca (zona de recarga hídrica), esto permite que la cuenca mantenga en equilibrio sus funciones hidrológicas.

De acuerdo con los resultados de la correlación de Pearson para el análisis estadístico del comportamiento temporal de las variables con el ONI se presentaron anomalías para la precipitación, temperatura y brillo solar con valores fuera del rango normal, en la precipitación se presentaron aumentos para años específicos en porcentajes considerables de frecuencia de aparición para todas las estaciones, 71,4% para los años 1998, 2003, 2019 y 2020. 85,7 % para el año 2010 y 100% en el 2016 a su vez descensos para los años 1990 y 2000 de 57,4%, 1999 y 2012 de 71,4% y el 100% en los años 1996, 2001 y 2008.

En la temperatura se presentaron 11 eventos con aumentos de temperatura con porcentaje de frecuencia de aparición del 100% para ambas estaciones y 10 eventos con descensos en esta variable con un porcentaje de frecuencia de 100%. El brillo solar muestra un comportamiento similar a la temperatura e inverso a la precipitación muestra 6 eventos con el comportamiento del fenómeno La niña con una frecuencia de aparición de 100% en las estaciones de estudio y 4 eventos con esta misma frecuencia de aparición para fenómeno El niño, en el resto se presentan o no eventos tanto para una estación como la otra, estos resultados en la serie de estudio muestran la presencia de la variabilidad climática en la zona de estudio para todas las variables, sin embargo, no se presentan eventos que indiquen un cambio en adelante con respecto a las variables, por lo cual se desestima la ocurrencia del cambio climático con respecto a la cuenca del Arroyo Alférez.

9. Recomendaciones

Se recomienda a la Alcaldía Municipal del Carmen de Bolívar, la oficina de planeación del mismo, la actualización del PBOT el cual cumplió su vigencia para el periodo 2002- 2011. Teniendo en cuenta que es necesario contar con este tipo de documento como apoyo para llevar a cabo este tipo de investigaciones y en la toma de decisiones junto con los programas, objetivos, políticas y normas que orientan el desarrollo físico del territorio y la utilización o usos del suelo.

Al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales **IDEAM,** se recomienda la instalación de estaciones meteorológicas en esta zona que permitan la realización de mejores observaciones y mediciones en los parámetros y las variables, con el fin de establecer de forma más adecuada el comportamiento atmosférico en este territorio.

A la comunidad Científica, población en general y estudiantes de diferentes universidades a seguir investigando respecto a esta cuenca y el tema de esta investigación de la misma con el fin de monitorear el comportamiento de esta cuenca en el tiempo.

Se recomienda a los organismos de control a estar atentos a los procesos erosivos que puedan ocurrir en la cuenca del Arroyo Alférez, debido a que la cuenca muestra tendencia a la etapa de madurez, por ende, los procesos erosivos se encuentran en busca de su fase de equilibrio.

Referencias Bibliográficas

Aguirre, N. (2007). Manual para el manejo sustentable de cuencas hidrográficas. Universidad Nacional de Loja. Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables. Ingeniera Forestal. Recuperado de: http://arcgeek.com/descargas/MCuencas.pdf

Albaladejo, M. J., R. Martínez-Mena, and V. Castillo. 1998. Soil degradation and desertification induced by vegetation removel in a semiarid environment. Soil Use Manage. 14: 1-5.

Arrieta Segura, E. J., & Galván López, E. M. (2017). COMPORTAMIENTO ESPACIO TEMPORAL DE LAS INUNDACIONES EN EL DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA Y SU RELACIÓN CON LA PRECIPITACIÓN. PERIODO 1938–2015.

Bocanegra, J. E. M. (2014). Actualización del componente Meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño Y La Niña en Colombia.

Bocanegra, J. E. M. (2014). Actualización del componente Meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño Y La Niña en Colombia.

Brieva, Carlos (2018). Caracterización y análisis multidisciplinario de la información hidrológicas en cuencas, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/caracterizacion_de_cuencas_0.pdf

Brown Manrique, O., Gallardo Ballat, Y., Correa Santana, A., & Barrios García, S. (2015). El cambio climático y sus evidenciasen las precipitaciones. Ingeniería hidráulica y Ambiental, 36(1), 88-101.

Campos, A. Procesos del ciclo hidrológico. 2ed., México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, pp. 33-34, 1992.

Cantor Gómez, D. (2011). Evaluación y análisis espaciotemporal de tendencias de largo plazo en la hidroclimatología colombiana. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente.

Cantor, D. C., & Ochoa, A. (2011, March). Señales de cambio climático en series de lluvia en Antioquia. In IX Congreso Colombiano de Meteorología y Conferencia Internacional "200 años de la meteorología y de la climatología en América Latina.

Chiles Arévalo, G. V. (2020). Caracterización de la variabilidad climática de la cuenca hidrográfica del río Mira en el período 1981-2010, con base en la información hidrometeorológica disponible (Master's thesis, Quito, EC: Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador).

CLIMATICO, S. E. C. (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, & Instituto de Hidrologia, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2005). Atlas climatológico de Colombia. Ideam (Instituto de Hidrologia, Meteorología y Estudios Ambientales).

Cordero, G. D. (2012). El cambio climático. Ciencia y sociedad, 37(2), 227-240.

Creed, I.F., Spargo, A.T., Jones, J.A., Buttle, J.M., Adams, M.B., Beall, F.D., Booth, E.G., Campbell, J.L. et al. 2014. Changing forest water yields in response to climate warming: resuls from long-term experimental watershed sites across North America. Global Change Biology 20, 3191- 3208

Cruz, G. P. (2014). Variables hidrometeorologicas asociadas al cambio climático en Girardot y la Región del Alto Magdalena. Ambiente y Desarrollo, 18(35), 134-147.

Del Castillo, J., Comas, C., Voltas, J., Ferrio, J.P. 2016. Dynamics of competition over wáter in a mixed oak-pine Mediterranean forest: spatiotemporal and physiological components. Forest Ecology and Management 2016, 214-224.

Estéves Acuña, J. C., & Ortiz Villarreal, J. F. (2018). Identificación de los factores críticos para la implementación de sistemas solares fotovoltaicos en Colombia.

Euscátegui, C., & Hurtado, G. (2011). Análisis del impacto del fenómeno La Niña 2010-2011 en la hidroclimatología del país. Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia–IDEAM. Recuperado de http://www. ideam. gov. co/documents/21021/418818/An% C3% A1lisis+ Impact o+ La+ Ni% C3% B1a. pdf/640a4a18-4a2a-4a25-b7d5-b3768e0a768a.

FAO 2006. Los bosques y el cambio climático. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Roma, Italia.

FAO 2009. Los bosques y el agua. Estudio FAO Montes 155. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Roma, Italia.

Ferrer, C., San Miguel, A., & Olea, L. (2011). Nomenclátor básico de pastos en España. Pastos, 31(1), 7-44.

Forcada, S. J. R., & Requena, M. G. (1991). Correlación entre las temperaturas y las precipitaciones de las estaciones meteorológicas de Valencia-Viveros y la Devesa de l'Albufera. Cuadernos de geografía, (49), 15-25.

Gámez, William (2010). *Texto Básico de Hidrología.* Universidad Nacional Agraria. Nicaragua. [fecha de Consulta 1 de agosto de 2020]. ISBN: 978-99924-1-009-7.

Garrido A., Pérez D.J.L. y Enríquez C. (2010). “Delimitación de zonas funcionales de las cuencas hidrográficas de México”. En: Cotler H. (Coord.) Las cuencas hidrográficas de México.

Diagnóstico y priorización. México: Instituto Nacional de Ecología/Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P.

Gaspari, F. J. Ordenamiento territorial en cuencas serranas. Aplicación de Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.). Argentina: Ediciones Cooperativas. 147 pp., 2002.

Geraldi, A., Píccolo, M., & Perillo, G. (2010). Anomalías de precipitación y temperatura en Las Encadenadas del Oeste. Buenos Aires, Argentina. Revista Geográfica, (148), 137-149. Retrieved June 26, 2021, from http://www.jstor.org/stable/40996833

Glantz M.H., (1998): Corrientes de cambio: El impacto de El Niño sobre el clima y la sociedad. Ed. Oficina de asistencia para desastres de Estados Unidos. IDEAM, (1997): Posibles efectos naturales y socio-económicos del fenómeno El Niño en el período 1997-1998 en Colombia. Santa Fe de Bogotá D.C., Julio-1997, 39 páginas + anexos.

González O. C. y Casallas I.M. (2014). Hoja metodológica del indicador Anomalía de precipitación (Versión 1,10). Informe del Estado del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Servicio de Información Ambiental. Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. 9 p

González, D. (2020). Estimación de la relación entre el índice de sequía y la variabilidad climática asociada a fenómenos ENSO en la quebrada Monteadentro, Pamplona-Norte de Santander.

Guerrero, P. (2011). Arroyo | La guía de Geografía. Retrieved June 9, 2017, from http://geografia.laguia2000.com/general/arroyo

Hernández, Luisa, & Salamanca, Julián (2019). *Análisis Multitemporal del Cambio de Cobertura Vegetal y su Influencia en la Generación de Caudales Pico de la Cuenca Sardinata, del Departamento de Norte de Santander – Colombia.* (Tesis de Posgrado). Universidad Católica

de Colombia. [fecha de Consulta 10 de agosto de 2020]. Disponible en: https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23391/1/Proyecto_v2_EDITADO.pdf

IDEAM. (2005). Protocolo para el control de calidad de la información meteorológica en las etapas de obtención, evaluación, verificación, calculo y procesamiento. Bogotá.

Jaimes, J. (2020). Determinación del índice de Creciente y Sequia en la quebrada El Rosal, Pamplona-Norte de Santander

López Cadenas de Llano, F. Restauración hidrológica forestal de cuencas y control de la erosión. Ingeniería medioambiental. España: Mundi Prensa-TRAGSATEC-Min. Medio Ambiente. 945 pp., 1998.

López, R. F. P., & Patrón, E. R. (2013). Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión.

Mayorga & Hurtado (2006). La Sequía en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM –METEO/004-2006

Meijide Méndez, A. (2012). Cambios multitemporales del futuro" Parque Nacional de las Cumbres de la Sierra de Guadarrama" mediante la teledetección.

Mejía, A. E., Flores, J. A., & Torres, V. (2007). Nanofósiles Calcáreos de la Sección Arroyo Alférez (Carmen de Bolívar): una biozonificación preliminar para el Oligoceno–Mioceno medio del Norte de Colombia. *Boletín de Geología*, *29*(2).

Melo Franco, J. Y., Ruíz Murcia, J. F., Pabón Caicedo, J. D., Sanchez Rodriguez, I. C., Guzman Lugo, D. M., Armenta Porras, G. E., & Lecanda Garcia, X. (2018). La variabilidad climática y el cambio climático en Colombia. ().

Mesa, O., G. Poveda, L.F. Carvajal. 1997. Introducción al Clima de Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Santa Fe de Bogotá, D.C., Colombia.

Molina, J.J.C. (1999). El fenomeno ENSO (El niño. Oscilación del sur) en 1997-1998: alteraciones climáticas inducidas en el mundo. Nimbus: Revista de climatología, meteorología y paisaje, (3), 37-62.

Paredes, Franklin, & Millano, Jorge, & Guevara, Edilberto (2008). Análisis espacial de las sequías meteorológicas en la región de Los Llanos de Venezuela durante el período 1961-1996. Revista de Climatología, vol. 8 (2008):15-27. [fecha de Consulta 1 de agosto de 2020]. ISSN 1578-8768. Disponible en: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7417226

Pérez, C.A., G. Poveda, O.J. Mesa, L.F. Carvajal, A. Ochoa. 1998. Evidencias del Cambio Climático en Colombia: Tendencias y Cambios de Fase y Amplitud de los Ciclos Anual y Semianual. Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines, 27(3), 537-546.

Ramírez, V. H., & Jaramillo, A. (2009). Relación entre el índice oceánico de El Niño y la lluvia en la región andina central de Colombia.

Ramírez, V. H., Jaramillo, Á., Peña, A. J., & Valencia, J. A. (2013). *El brillo solar en la zona cafetera colombiana durante los eventos El Niño y La Niña*. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé).

Rivas, D., & Moreno, M. (2019). Delimitación hidrográfica y caracterización morfométrica de la cuenca del río Metica, Auxiliar de investigación (Tesis de grado). Universidad Cooperativa de Colombia sede Villavicencio.

Rivas, Daniel (2018). *El Clima, Caracteres, Causas, Clasificación, Fenómenos y Alteraciones Climáticas. Aplicación Didáctica.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle. [fecha de Consulta 10 de agosto de 2020].

Rodríguez Eraso, N., Pabón Caicedo, J. D., Bernal Suárez, N. R., & Martínez Collantes, J. (2010). Cambio climático y su relación con el uso del suelo en los Andes colombianos.

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Sánchez-Santillán, N., Signoret-Poillon, M., & Garduño-López, R. (2006). La Oscilación del Atlántico Norte: un fenómeno que incide en la variabilidad climática de México. Ingeniería, investigación y tecnología, 7(2), 85-95.

Stocking, M. y N. Murnaghan. (2003). Manual para la evaluación de campo de la degradación de la tierra. Trad. al español por C. Padilla y J. Abadejo. Mundi-Prensa. Madrid, España. Disponible en:

Subdirección de meteorología (2019). Glosario Meteorológico. Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. Bogotá. Colombia. [fecha de Consulta 1 de agosto de 2020].

Urías, F. S. (2007). Cambio climático: interpretando el pasado para entender el presente. CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva, 14(3), 345-351.

Viviroli, D., Weingartner. R. 2004. The hydrological significance of mountains: from regional to global scale. Hydrology and Earth System Science 8, 1017-1030.

Anexos

Anexo A.

Cálculo de anomalías para temperatura

Anomalía de Temperatura		
	Estación	
Año	El Carmen	Monterrey
1990	-0,051	-0,118
1991	0,268	0,330
1992	-0,571	0,210
1993	-0,870	0,015
1994	-0,400	-0,330
1995	-0,265	-0,415
1996	-0,566	-0,158
1997	0,584	-0,308
1998	0,251	0,162
1999	-1,291	-0,832
2000	-0,401	-0,561
2001	0,469	0,078
2002	0,578	-0,157
2003	-0,062	-1,073
2004	0,361	-1,430
2005	-0,487	0,739
2006	-0,172	-0,622
2007	-0,761	-0,277
2008	0,103	-1,000
2009	-1,997	0,277
2010	-0,556	-0,590
2011	-1,368	-1,484
2012	0,365	-0,151
2013	1,486	0,400
2014	1,031	0,938
2015	2,042	1,631
2016	0,946	1,246
2017	0,427	0,100
2018	0,229	1,075
2019	0,461	1,495
2020	0,214	0,814

Fuente: Paulo (2021), elaborado a partir de información obtenida de Geoportal Dhime (IDEAM)

Anexo B

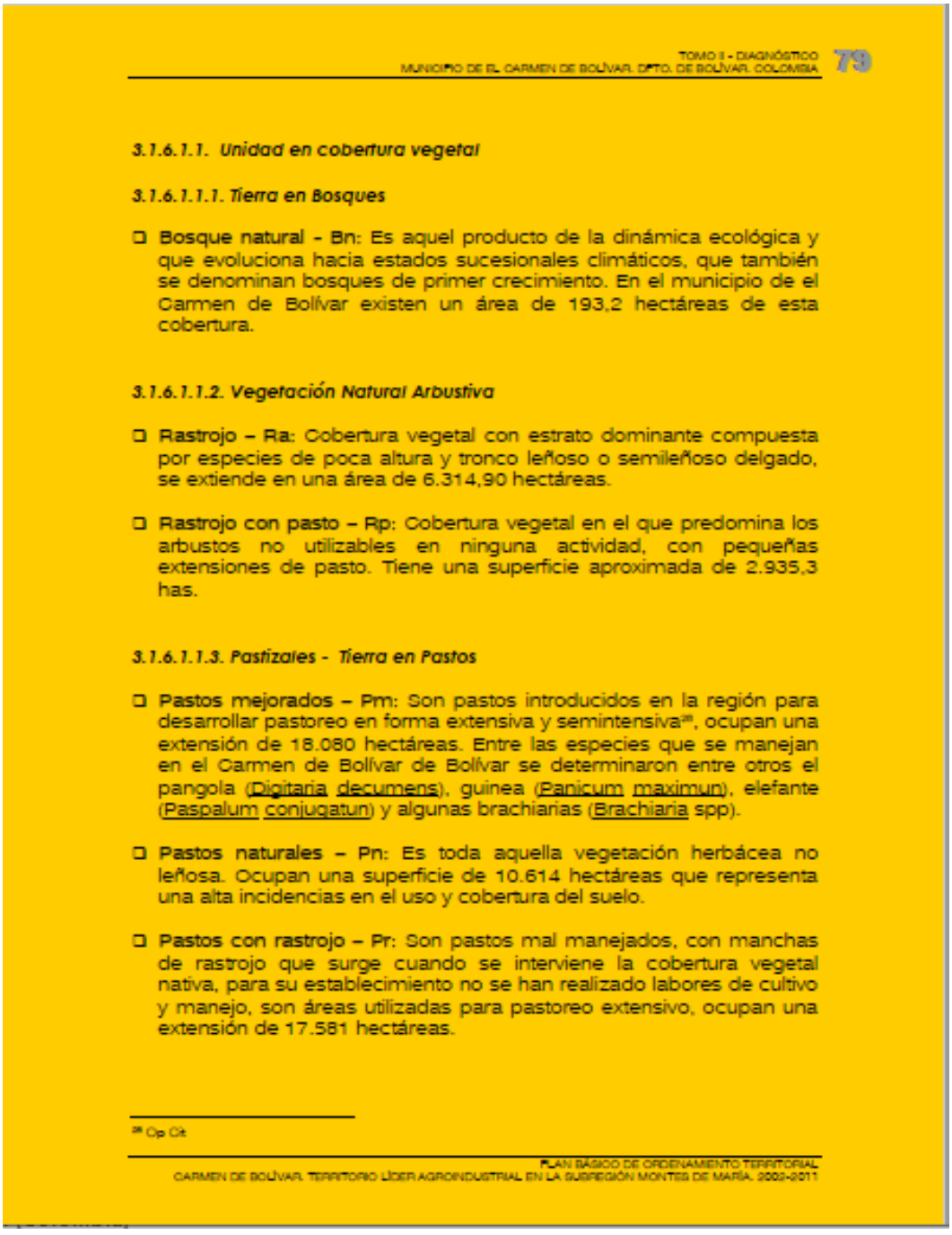
Valores Índice Niño Oceánico

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1990	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4
1991	0,4	0,3	0,2	0,3	**0,5**	**0,6**	**0,7**	**0,6**	**0,6**	**0,8**	**1,2**	**1,5**
1992	**1,7**	**1,6**	**1,5**	**1,3**	**1,1**	**0,7**	0,4	0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,1
1993	0,1	0,3	0,5	0,7	0,7	0,6	0,3	0,3	0,2	0,1	0	0,1
1994	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	**0,6**	**0,7**	**1**	**1,1**
1995	**1**	**0,7**	**0,5**	0,3	0,1	0	-0,2	**-0,5**	**-0,8**	**-1**	**-1**	**-1**
1996	**-0,9**	**-1**	**-0,6**	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5
1997	-0,5	-0,4	-0,1	0,3	**0,8**	**1,2**	**1,6**	**1,9**	**2,1**	**2,3**	**2,4**	**2,4**
1998	**2,2**	**1,9**	**1,4**	**1**	**0,5**	-0,1	**-0,8**	**-1,1**	**-1,3**	**-1,4**	**-1,5**	**-1,6**
1999	**-1,5**	**-1**	**-1,1**	**-1**	**-1**	**-1**	**-1,1**	**-1,1**	**-1,2**	**-1,3**	**-1,5**	**-1,7**
2000	**-1,7**	**-1**	**-1,1**	**-0,8**	**-0,7**	**-0,6**	**-0,6**	**-0,5**	**-0,5**	**-0,6**	**-0,7**	**-0,7**
2001	**-0,7**	**-1**	-0,4	-0,3	-0,3	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3
2002	-0,1	0	0,1	0,2	0,4	**0,7**	**0,8**	**0,9**	**1**	**1,2**	**1,3**	**1,1**
2003	**0,9**	**0,6**	0,4	0	-0,3	-0,2	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4
2004	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	**0,5**	**0,6**	**0,7**	**0,7**	**0,7**	**0,7**
2005	**0,6**	**0,6**	0,4	0,4	0,3	0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,3	**-0,6**	**-0,8**
2006	**-0,9**	**-1**	**-0,6**	-0,4	-0,1	0	0,1	0,3	**0,5**	**0,8**	**0,9**	**0,9**
2007	**0,7**	0,2	-0,1	-0,3	-0,4	**-0,5**	**-0,6**	**-0,8**	**-1,1**	**-1,3**	**-1,5**	**-1,6**
2008	**-1,6**	**-2**	**-1,3**	**-1**	**-0,8**	**-0,6**	-0,4	-0,2	-0,2	-0,4	**-0,6**	**-0,7**
2009	**-0,8**	**-1**	**-0,6**	-0,3	0	0,3	**0,5**	**0,6**	**0,7**	**1**	**1,4**	**1,6**
2010	**1,5**	**1,2**	**0,8**	0,4	-0,2	**-0,7**	**-1**	**-1,3**	**-1,6**	**-1,6**	**-1,6**	**-1,6**
2011	**-1,4**	**-1**	**-0,9**	**-0,7**	**-0,6**	-0,4	**-0,5**	**-0,6**	**-0,8**	**-1**	**-1,1**	**-1**
2012	**-0,9**	**-1**	**-0,6**	**-0,5**	-0,3	0	0,2	0,4	0,4	0,3	0,1	-0,2
2013	-0,4	-0,4	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3
2014	-0,4	-0,5	-0,3	0	0,2	0,2	0	0,1	0,2	**0,5**	**0,6**	**0,7**
2015	**0,5**	**0,5**	**0,5**	**0,7**	**0,9**	**1,2**	**1,5**	**1,9**	**2,2**	**2,4**	**2,6**	**2,6**
2016	**2,5**	**2,1**	**1,6**	**0,9**	0,4	-0,1	-0,4	**-0,5**	**-0,6**	**-0,7**	**-0,7**	**-0,6**
2017	-0,3	-0,2	0,1	0,2	0,3	0,3	0,1	-0,1	-0,4	**-0,7**	**-0,8**	**-1**
2018	**-0,9**	**-1**	**-0,7**	**-0,5**	-0,2	0	0,1	0,2	**0,5**	**0,8**	**0,9**	**0,8**
2019	**0,7**	**0,7**	**0,7**	**0,7**	**0,5**	**0,5**	0,3	0,1	0,2	0,3	0,5	0,5
2020	0,5	0,5	0,4	0,2	-0,1	-0,3	-0,4	**-0,6**	**-0,9**	**-1,2**	**-1,3**	**-1,2**

Fuente: Climate Prediction Center-NOAA (2021)

Anexo C

Unidad de cobertura vegetal, municipio del Carmen de Bolívar



3.1.6.1.1. Unidad en cobertura vegetal

3.1.6.1.1.1. Tierra en Bosques

- **Bosque natural – Bn:** Es aquel producto de la dinámica ecológica y que evoluciona hacia estados sucesionales climáticos, que también se denominan bosques de primer crecimiento. En el municipio de el Carmen de Bolívar existen un área de 193,2 hectáreas de esta cobertura.

3.1.6.1.1.2. Vegetación Natural Arbustiva

- **Rastrojo – Ra:** Cobertura vegetal con estrato dominante compuesta por especies de poca altura y tronco leñoso o semileñoso delgado, se extiende en una área de 6.314,90 hectáreas.

- **Rastrojo con pasto – Rp:** Cobertura vegetal en el que predomina los arbustos no utilizables en ninguna actividad, con pequeñas extensiones de pasto. Tiene una superficie aproximada de 2.935,3 has.

3.1.6.1.1.3. Pastizales - Tierra en Pastos

- **Pastos mejorados – Pm:** Son pastos introducidos en la región para desarrollar pastoreo en forma extensiva y semintensiva[28], ocupan una extensión de 18.080 hectáreas. Entre las especies que se manejan en el Carmen de Bolívar de Bolívar se determinaron entre otros el pangola (Digitaria decumens), guinea (Panicum maximun), elefante (Paspalum conjugatun) y algunas brachiarias (Brachiaria spp).

- **Pastos naturales – Pn:** Es toda aquella vegetación herbácea no leñosa. Ocupan una superficie de 10.614 hectáreas que representa una alta incidencias en el uso y cobertura del suelo.

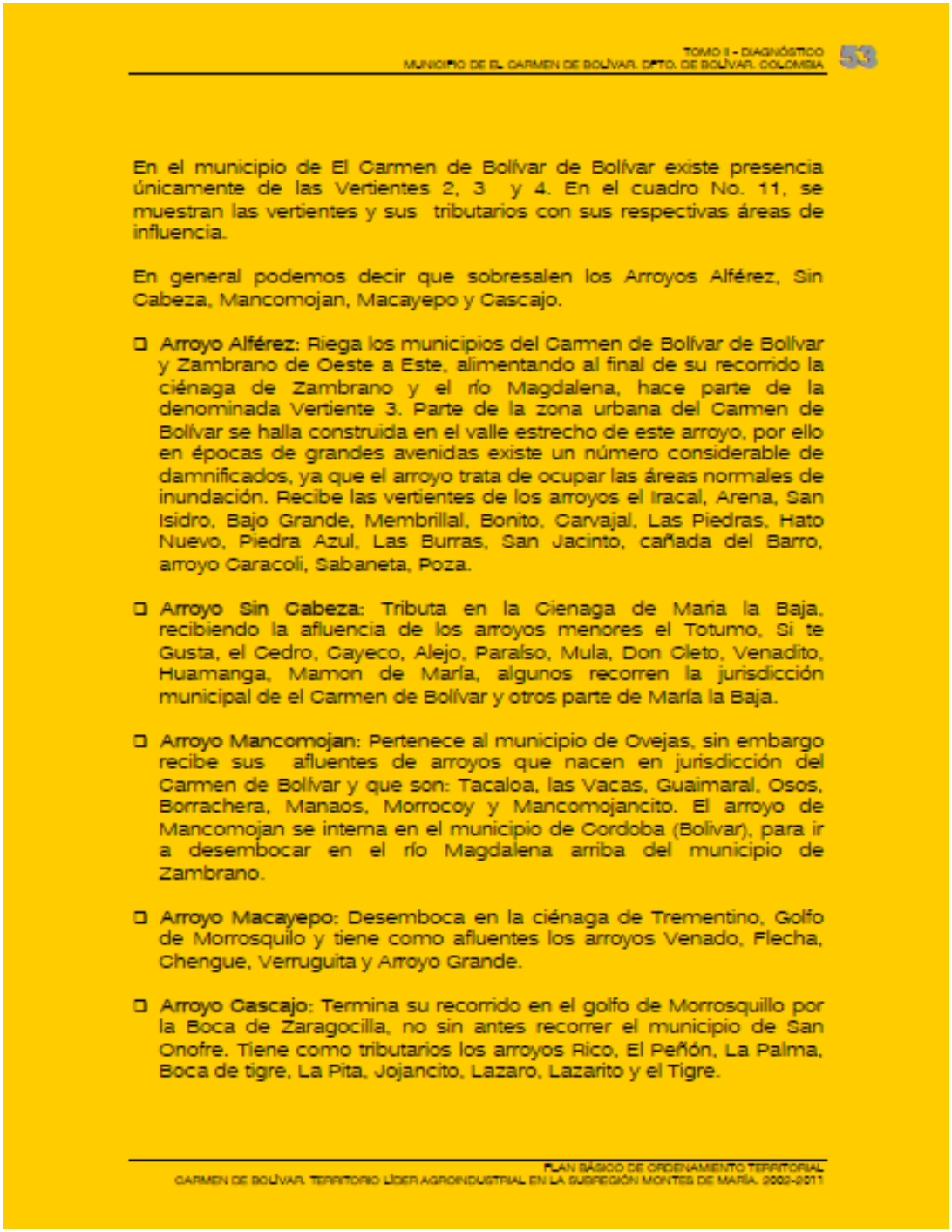
- **Pastos con rastrojo – Pr:** Son pastos mal manejados, con manchas de rastrojo que surge cuando se interviene la cobertura vegetal nativa, para su establecimiento no se han realizado labores de cultivo y manejo, son áreas utilizadas para pastoreo extensivo, ocupan una extensión de 17.581 hectáreas.

[28] Op Cit

Fuente: PBOT (2002-2011)

Anexo D

Hidrología del municipio del Carmen de Bolívar



En el municipio de El Carmen de Bolívar de Bolívar existe presencia únicamente de las Vertientes 2, 3 y 4. En el cuadro No. 11, se muestran las vertientes y sus tributarios con sus respectivas áreas de influencia.

En general podemos decir que sobresalen los Arroyos Alférez, Sin Cabeza, Mancomojan, Macayepo y Cascajo.

- **Arroyo Alférez:** Riega los municipios del Carmen de Bolívar de Bolívar y Zambrano de Oeste a Este, alimentando al final de su recorrido la ciénaga de Zambrano y el río Magdalena, hace parte de la denominada Vertiente 3. Parte de la zona urbana del Carmen de Bolívar se halla construida en el valle estrecho de este arroyo, por ello en épocas de grandes avenidas existe un número considerable de damnificados, ya que el arroyo trata de ocupar las áreas normales de inundación. Recibe las vertientes de los arroyos el Iracal, Arena, San Isidro, Bajo Grande, Membrillal, Bonito, Carvajal, Las Piedras, Hato Nuevo, Piedra Azul, Las Burras, San Jacinto, cañada del Barro, arroyo Caracoli, Sabaneta, Poza.

- **Arroyo Sin Cabeza:** Tributa en la Cienaga de Maria la Baja, recibiendo la afluencia de los arroyos menores el Totumo, Si te Gusta, el Cedro, Cayeco, Alejo, Paralso, Mula, Don Cleto, Venadito, Huamanga, Mamon de Maria, algunos recorren la jurisdicción municipal de el Carmen de Bolívar y otros parte de María la Baja.

- **Arroyo Mancomojan:** Pertenece al municipio de Ovejas, sin embargo recibe sus afluentes de arroyos que nacen en jurisdicción del Carmen de Bolívar y que son: Tacaloa, las Vacas, Guaimaral, Osos, Borrachera, Manaos, Morrocoy y Mancomojancito. El arroyo de Mancomojan se interna en el municipio de Cordoba (Bolívar), para ir a desembocar en el río Magdalena arriba del municipio de Zambrano.

- **Arroyo Macayepo:** Desemboca en la ciénaga de Trementino, Golfo de Morrosquilo y tiene como afluentes los arroyos Venado, Flecha, Chengue, Verruguita y Arroyo Grande.

- **Arroyo Cascajo:** Termina su recorrido en el golfo de Morrosquillo por la Boca de Zaragocilla, no sin antes recorrer el municipio de San Onofre. Tiene como tributarios los arroyos Rico, El Peñón, La Palma, Boca de tigre, La Pita, Jojancito, Lazaro, Lazarito y el Tigre.

Fuente: PBOT (2002-2011)