

**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**

Daniela Ximena González Acuña

**Universidad de Pamplona
Facultad de Ingenierías y Arquitectura
Programa de Ingeniería Ambiental
Pamplona
2020**

**Estimación de la relación entre el índice de sequía y variabilidad climática asociada a
fenómenos ENSO en la quebrada Monteadentro, Pamplona- Norte de Santander**

Daniela Ximena Gonzalez Acuña

1094282961

**Trabajo de grado presentado como como requisito para optar el título de
Ingeniero Ambiental**

DIRECTOR(A)

María Esther Rivera

PhD en Hidrología

Universidad de Pamplona

Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Programa de Ingeniería Ambiental

Pamplona

2020

Dedicatoria

*A mi madre; mi razón de ser, mi amor
eterno de mirada dulce y sonrisa
compasiva, por su valioso existir en mi
vida, su entrega y esfuerzo diario.*

Agradecimientos

A mis padres, mi hermano y mi sobrina, por ser la paz de mi alma, el refugio de mi ser y por ser quienes siempre confiaron en mis sueños, me cuidaron y guiaron hasta el fin.

A mis tíos Nubia y Jesús por su cariño, afecto y por haber sido el pilar para mi desarrollo y fortalecimiento académico.

A la familia Sandoval Villamizar, por su comprensión, amabilidad y apoyo incondicional.

A cada uno de los profesores de la Universidad de Pamplona por imponer sus conocimientos sobre mí en el transcurso de mi formación profesional, especialmente a mi directora; María Esther Rivera por convertirse en mi brújula orientadora hacía los imanes del conocimiento y sabiduría.

A Don Gerardo Carvajal; guardabosques del municipio de Pamplona, por su servicio y acompañamiento a la zona de estudio.

A la Alcaldía del municipio y la empresa EMPOPAMPLONA E.S.A E.S. P, principalmente a la ingeniería Rosa Margarita Espinel y la ingeniera Liseth Amparo López, por su acompañamiento, liderazgo e información suministrada.

Tabla de contenido

Capítulo 1.....	18
Introducción	18
Planteamiento del problema	20
Justificación.....	22
Objetivos	24
Objetivo general	24
Objetivos específicos	24
Alcances y limitaciones	25
Alcances	25
Limitaciones.....	25
Capítulo 2.....	26
Marco referencial.....	26
Marco contextual	26
Antecedentes	28
Marco teórico	32
<i>Parámetros morfométricos generales.....</i>	<i>32</i>
<i>Parámetros morfométricos asociados a la forma de la cuenca.....</i>	<i>33</i>
<i>Parámetros morfométricos asociados al relieve</i>	<i>35</i>
<i>Parámetros morfométricos asociados a la red de drenajes</i>	<i>36</i>
<i>Método del S.C.S (Mockus, V. 1964).....</i>	<i>37</i>
<i>Capacidad de infiltración- Método Kostiaikov (1932).....</i>	<i>38</i>

<i>Curvas IDF (método Gustavo Silva)</i>	38
<i>Variabilidad climática</i>	39
<i>Aspectos meteorológicos y climáticos</i>	39
<i>Aspectos hidrológicos</i>	40
<i>Tipos de sequías</i>	42
<i>Características de la sequía</i>	42
<i>Aspectos de cobertura vegetal, uso del suelo, geología</i>	43
Marco legal	44
<i>Resolución 0865 de 2004</i>	44
<i>Decreto 1323 de 2007</i>	44
<i>Decreto 1931 de 2018</i>	44
<i>Ley 1523 de 2012</i>	44
Capítulo 3	45
Metodología	45
Caracterización físico-morfométrica de la microcuenca Monteadentro	45
Factores naturales y/o antrópicos que inciden en el comportamiento del nivel del agua de la zona de estudio	46
Comportamiento hidrológico de la fuente hídrica en estudio	46
Análisis de las variables meteorológicas que inciden en el índice de sequía	47
Capítulo 4	48
Resultados y análisis	48
Caracterización físico-morfométrica de la microcuenca Monteadentro	48

Factores naturales y/o antrópicos que inciden en el comportamiento del nivel del agua de la zona de estudio	58
Evaluación del comportamiento hidrológico de la fuente hídrica en estudio.....	72
Análisis de las variables meteorológicas que inciden en el índice de sequía.....	84
Conclusiones	107
Recomendaciones	108
Bibliografía	109
Anexos	121

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Valores interpretativos del factor de forma</i>	33
Tabla 2 <i>Clasificación de la red hidrográfica según índice de compacidad</i>	34
Tabla 3 <i>Valores de densidad de drenaje</i>	36
Tabla 4 <i>Caracterización Físico-morfométrica de la Quebrada Monteadentro</i>	48
Tabla 5 <i>Tiempos de concentración de la Quebrada Monteadentro</i>	55
Tabla 6 <i>Factores Antrópicos y Naturales Observados y su Incidencia en el Comportamiento de la Quebrada Monteadentro</i>	58
Tabla 7 <i>Habitantes por Vivienda de la Vereda Monteadentro</i>	62
Tabla 8 <i>Usos Específicos del Agua en la Vereda Monteadentro</i>	62
Tabla 9 <i>Tipo de Cultivos en la Vereda Monteadentro</i>	63
Tabla 10 <i>Sistema de Captación de Agua en la Vereda Monteadentro</i>	65
Tabla 11 <i>Sistema de Acumulación de Agua en la Vereda Monteadentro</i>	66
Tabla 12 <i>Afectación de las Condiciones Climáticas en las Actividades de la Vereda Monteadentro</i>	66
Tabla 13 <i>Eventos Climatológicos Evidenciados en el Último Año</i>	67
Tabla 14 <i>Eventos Climatológico con Mayor Repercusión en la Vereda Monteadentro</i>	67
Tabla 15 <i>Consideración de los Habitantes sobre las Temperaturas Vs Cambio Climático</i>	68
Tabla 16 <i>Definición de Variabilidad Climática</i>	68
Tabla 17 <i>Consideración sobre Cambios en la Vereda Monteadentro a Partir de la Variabilidad Climática</i>	69

Tabla 18 <i>Origen de las Sequías</i>	70
Tabla 19 <i>Inconvenientes a Raíz de la Sequía en el año 2020</i>	70
Tabla 20 <i>Perdidas de Cultivos en la Vereda Monteadentro</i>	71
Tabla 21 <i>Clasificación de Suelos y Número de Curva para la Microcuenca Monteadentro</i>	72
Tabla 22 <i>Umbral de Escorrentía (Po) para la Microcuenca Monteadentro</i>	73
Tabla 23 <i>Determinación de Capacidad de Infiltración de la Quebrada Monteadentro-Método de Kostiakov (1932)</i>	75
Tabla 24 <i>Valores a Reemplazar en la Ecuación Kostiakov (1932)</i>	77
Tabla 25 <i>Valores Característicos del Evento de Precipitación en la Quebrada Monteadentro</i> .	80
Tabla 26 <i>Caudal Medio y Mínimo en la Quebrada Monteadentro</i>	83
Tabla 27 <i>Precipitación Diaria y Acumulada Octubre/Noviembre de la Quebrada Monteadentro</i>	85
Tabla 28 <i>Frecuencia de Eventos Secos y húmedos en la Quebrada Monteadentro/1985-2020</i> ..	98
Tabla 29 <i>Valores IESP Mensuales-Multianuales de la Quebrada Monteadentro</i>	100
Tabla 30 <i>Valores de Índice de Oceanic Niño (ONI)</i>	101
Tabla 31 <i>Correlación de Pearson para Valores ONI e IESP de la Microcuenca Monteadentro</i>	103

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Mapa de Ubicación y Localización de la Microcuenca Monte dentro</i>	27
Figura 2 <i>Clasificación de los Ríos de acuerdo a la Curva</i>	35
Figura 3 <i>Parte alta, media y baja de la Quebrada Monte dentro</i>	51
Figura 4 <i>Parte alta, media y baja de la Quebrada Monte dentro</i>	51
Figura 5 <i>Mapa de Pendientes de la Microcuenca Monte dentro</i>	52
Figura 6 <i>Curva Hipsométrica de la Microcuenca Monte dentro</i>	53
Figura 7 <i>Perfil Longitudinal de la Microcuenca Monte dentro</i>	54
Figura 8 <i>Mapa de Geología de la Microcuenca Monte dentro</i>	56
Figura 9 <i>Mapa de Cobertura Vegetal de la Microcuenca Monte dentro</i>	57
Figura 10 <i>Estado de las Mangueras de Captación de la Quebrada Monte dentro</i>	60
Figura 11 <i>Captaciones Improvisadas a lo Largo de la Quebrada Monte dentro</i>	60
Figura 12 <i>Tala de árboles alrededor en la Vereda Monte dentro</i>	61
Figura 13 <i>Habitantes por Vivienda en la Vereda Monte dentro</i>	62
Figura 14 <i>Usos Específicos del Agua en la Vereda Monte dentro</i>	62
Figura 15 <i>Tipo de Cultivos en la Vereda Monte dentro</i>	63
Figura 16 <i>Cultivos de Papa y Fresa de la Vereda Monte dentro</i>	64
Figura 17 <i>Cultivos de Apio y Alverja de la Vereda Monte dentro</i>	64
Figura 18 <i>Cultivos de Ajo y Tomate de Árbol de la Vereda Monte dentro</i>	65
Figura 19 <i>Sistema de Captación de Agua en la Vereda Monte dentro</i>	65
Figura 20 <i>Sistema de Acumulación de Agua en la Vereda Monte dentro</i>	66
Figura 21 <i>Afectación de las Condiciones Climáticas en las Actividades de la Vereda</i>	66

Figura 22 <i>Eventos Climatológicos Evidenciados en el Último Año</i>	67
Figura 23 <i>Eventos Climatológicos con Mayor Repercusión en la Vereda Monteadentro</i>	67
Figura 24 <i>Consideración de los Habitantes sobre las Temperaturas Vs Cambio Climático</i>	68
Figura 25 <i>Definición de Variabilidad Climática y sus Consecuencias</i>	68
Figura 26 <i>Consideración sobre Cambios en la Vereda Monteadentro a Partir de la Variabilidad Climática</i>	69
Figura 27 <i>Origen de las Sequías</i>	70
Figura 28 <i>Inconvenientes a Raíz de la Sequía en el año 2020</i>	70
Figura 29 <i>Perdidas de Cultivos en la Vereda Monteadentro</i>	71
Figura 30 <i>Medición de Lámina de infiltración-Infiltrómetro de Doble Anillo</i>	74
Figura 31 <i>Comportamiento de la Lámina de Infiltración en la Quebrada Monteadentro</i>	76
Figura 32 <i>Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia para Períodos de retorno de 5, 10, 15, 20 y 25 años</i>	77
Figura 33 <i>Hietograma de Diseño-Quebrada Monteadentro</i>	78
Figura 34 <i>Esquema de los modelos confeccionados en el programa HEC-HMS 4.3-Quebrada Monteadentro</i>	78
Figura 35 <i>Hietograma e Hidrograma Representativos del Comportamiento Hidrológico de la Quebrada Monteadentro</i>	79
Figura 36 <i>Trazado de la Sección en la Parte Alta de la Quebrada Monteadentro</i>	81
Figura 37 <i>Trazado de la Sección en la Parte Media de la Quebrada Monteadentro</i>	81
Figura 38 <i>Trazado de la Sección en la Parte Baja de la Quebrada Monteadentro</i>	82
Figura 39 <i>Caudales Presentados en la Quebrada Monteadentro / Período 2013-2020</i>	83
Figura 40 <i>Pluviómetro Digital instalado en la Parte Baja de la Microcuenca Monteadentro</i> ...	84

Figura 41 <i>Precipitación Diaria en la Quebrada Monteadentro</i>	86
Figura 42 <i>Precipitación Acumulada en la Quebrada Monteadentro</i>	86
Figura 43 <i>Temperatura Máxima, Media y Mínima Anual-Microcuenca Monteadentro</i>	87
Figura 44 <i>Distribución Normal de Temperaturas Máximas -Quebrada Monteadentro</i>	88
Figura 45 <i>Diagrama de Caja de Bigotes de las Series Anuales de Precipitación de la Quebrada Monteadentro</i>	89
Figura 46 <i>Amplitud Térmica período 1985-2020/Enero-Junio</i>	90
Figura 47 <i>Amplitud Térmica período 1985-2020/Julio-diciembre</i>	91
Figura 48 <i>Climograma Representativo de la Microcuenca Monteadentro</i>	91
Figura 49 <i>EISP de la Microcuenca Monteadentro/1985-1989</i>	93
Figura 50 <i>EISP de la Microcuenca Monteadentro/1990-1994</i>	94
Figura 51 <i>EISP de la Microcuenca Monteadentro/1995-1999</i>	94
Figura 52 <i>EISP de la Microcuenca Monteadentro/2000-2004</i>	95
Figura 53 <i>EISP de la Microcuenca Monteadentro/2005-2009</i>	95
Figura 54 <i>EISP de la Microcuenca Monteadentro/2010-2014</i>	96
Figura 55 <i>EISP de la Microcuenca Monteadentro/2015-2019</i>	96
Figura 56 <i>EISP de la Microcuenca Monteadentro/2019-2020</i>	97
Figura 57 <i>Diagrama de Frecuencias de Eventos Secos y húmedos en la Quebrada Monteadentro/1985-2020</i>	98
Figura 58 <i>Comparación IESP de enero-Febrero/ 1985-2020, con el ONI</i>	104
Figura 59 <i>Comparación IESP de marzo-abril/ 1985-2020, con el ONI</i>	104
Figura 60 <i>Comparación IESP de mayo-junio/ 1985-2020, con el ONI</i>	105
Figura 61 <i>Comparación IESP de julio-agosto/ 1985-2020, con el ONI</i>	105

Figura 62 <i>Comparación IESP de Sept-Oct/ 1985-2020, con el ONI</i>	106
Figura 63 <i>Comparación IESP de Nov-Dic/ 1985-2020, con el ONI</i>	106

Lista de Anexos

Anexo A Valor inicial del umbral de escorrentía Po (mm). Simplificado de Ministerio de Fomento (2016).....	121
Anexo B Identificación de factores naturales y antrópicos que influyen en el comportamiento de la Quebrada Monteadentro.....	123

Resumen

De acuerdo con la literatura, los diferentes tipos de sequía están directamente relacionados con el comportamiento de condiciones meteorológicas extremas que se presentan en una región y que su estudio conforma un elemento clave para prevenir daños de carácter ambiental, social y económico. A raíz de la sequía hidrológica evidenciada por las empresas EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P y la Alcaldía municipal principalmente en el año 2020 en la microcuenca Monteadentro; el objetivo de esta investigación fue estimar la relación existente entre el índice de sequía y la variabilidad climática asociada a fenómenos ENSO. Para ello, se determinaron parámetros físico-morfométricos asociados al escurrimiento. Así mismo, se identificaron factores de carácter natural y antrópico que inciden en el comportamiento del nivel del agua y caudal de la zona de estudio y se aplicó una encuesta a los habitantes para conocer su opinión frente a la problemática actual. Por otra parte, se evaluó el comportamiento hidrológico de la quebrada mediante el programa HEC-HMS y posteriormente, se determinó el Índice Estandarizado de Sequía Pluviométrica (IESP) para la serie histórica 1985-2020, el cual se correlaciono mediante el coeficiente de Pearson con fenómenos ENSO caracterizados a partir del índice Niño Oceánico (ONI).

Como resultados, se obtuvo que el tipo de suelo y permeabilidad de la zona de estudio, son factores que condicionan el escurrimiento y por ende el caudal de la quebrada. Por otra parte, se obtuvo que, para el período de estudio se ha presentado mayormente eventos húmedos y que en el año 2020 sí existe una relación directa entre el IESP con respecto a la variabilidad climática asociada a fenómeno ENSO El Niño.

Palabras claves: Variabilidad climática, IESP, fenómenos ENSO, escurrimiento, Índice Niño Oceánico (ONI).

Abstract

According to the literature, the different types of drought are directly related to the behavior of extreme meteorological conditions that occur in a region and that their study constitutes a key element to prevent environmental, social and economic damage. As a result of the hydrological drought evidenced by the companies EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P and the municipal mayor's office mainly in 2020 in the Monteadentro micro-basin; The objective of this research was to estimate the relationship between the drought index and the climatic variability associated with ENSO phenomena. For this, physico-morphometric parameters associated with runoff were determined. Likewise, natural and anthropic factors that influence the behavior of the water level and flow of the study area were identified and a survey was applied to the inhabitants to find out their opinion regarding the current problem. On the other hand, the hydrological behavior of the stream was evaluated through the HEC-HMS program and later, the Standardized Rainfall Drought Index (IESP) was determined for the historical series 1985-2020, which was correlated by means of the Pearson coefficient with ENSO phenomena characterized from the Oceanic Child Index (ONI).

As results, it was obtained that the type of soil and permeability of the study area are factors that condition the runoff and therefore the flow of the stream. On the other hand, it was obtained that, for the study period, there have been mostly wet events and that in 2020 there is a direct

relationship between the IESP with respect to the climate variability associated with the ENSO El Niño phenomenon.

Keywords: Climate variability, IESP, ENSO phenomena, runoff, Oceanic Child Index (ONI).

Capítulo 1

Introducción

El aumento de las temperaturas, disminución de precipitaciones y de caudales alrededor del mundo son unas de las muchas problemáticas asociadas a la variabilidad climática que dan origen a la presencia de sequías; fenómeno que trae consigo mismo un alto grado de repercusiones para una población, en especial cuando las afectaciones son directamente sobre las fuentes hídricas dispuestas para el abastecimiento de agua de una región ya sea para consumo o para el desarrollo de cualquier otro tipo de actividad. Fundamentado en lo anterior, se considera indispensable realizar seguimiento a los cuerpos hídricos en los que se puede evidenciar el descenso de niveles de tal manera que se establezca las posibles causas y se tomen decisiones mediante las cuales se busque contrarrestar daños colaterales sean estos, de tipo ambiental y/o socioeconómicos.

La vereda Monteadentro es considerada una de las regiones más productivas del municipio de Pamplona, caracterizada principalmente por su biodiversidad, condiciones topográficas y climáticas; propias de zona Andina, es en este lugar donde se encuentra localizada la quebrada en estudio; red hidrográfica que provee de agua al municipio. Sin embargo; la demanda de este recurso no solo está ligada al consumo humano sino que está sujeta a otros usos de tipo agrícola y pecuario, por lo cual dicho cuerpo hídrico se considera ser víctima de múltiples factores ambientales, antrópicos y naturales que han ocasionado la disminución de su caudal, alertando así a las empresas prestadoras del servicio puesto que la capacidad de abastecimiento de agua potable por parte de la planta Cariongo depende en gran escala de los niveles suministrados por la Quebrada Monteadentro. De acuerdo a lo anterior, la cuestión central que

se tratará de resolver en esta investigación es realizar la estimación del índice de sequía en la Quebrada Monteadentro y su relación con respecto a la variabilidad climática de tal manera que las empresas prestadoras de servicios públicos como EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P y la Alcaldía municipal, ejerzan sobre esta, acciones necesarias para minimizar este fenómeno, con el fin garantizar a la comunidad un servicio adecuado e integro.

A lo largo de este trabajo la estructuración de la información hace referencia de la siguiente manera: 1. Planteamiento del Problema, en el cual se plasma la situación actual de la Quebrada Monteadentro 2. Justificación, mediante la cual se expone las razones necesarias por las que se realiza está investigación primando el beneficio común. 3. Objetivos: a través de los cuales se establece un orden para llevar a cabo cada una de las acciones a corto, mediano y largo plazo. 4. Alcances y limitaciones. 5. Marco referencial: el cual dispone del marco contextual, antecedentes, marco teórico, marco conceptual y marco legal. 6. Metodología: donde se especifica la sección de técnicas o estrategias empleadas para el desarrollo del proyecto. 7. Resultados y conclusión. 8. Conclusiones y recomendaciones.

Planteamiento del problema

Desde el área de la hidrología, la sequía es el resultado de la incidencia de fenómenos climáticos, meteorológicos, naturales y antrópicos, los cuales se evidencian en la disminución de los niveles del río, quebrada y/o arroyo, incremento de la temperatura, disminución de la precipitación; produciéndose en una cuenca hidrográfica, lo que se conoce como aridez y en casos extremos, provocando la desertificación de una zona determinada. Además, es considerada una de las principales causas de las problemáticas ambientales, sociales y económicas, siendo los sectores agrícolas y agropecuarios los más afectados.

Para Meza, Corso y Soza (2010), la sequía puede afectar el abastecimiento de agua de las diferentes actividades antrópicas hasta tal punto que se ven obligados a realizar transvases de otras cuencas, emigrar, causar hambrunas, e incluso muerte de personas.

De tal manera que, al ser las sequías consideradas como una de las consecuencias de la variabilidad climática y cambio climático, su estudio es difícil de definir, más, sin embargo, existen estudios que han permitido determinar indicadores de información climática, por ejemplo, Vicente (2015) citado por Vega (2019), hace mención de variables como la precipitación, caudales e impactos observados.

Gelvez (2020), determinó que la quebrada Monteadentro presenta la disminución de los niveles de agua ocasionando un desabastecimiento para la población de Pamplona, lo anterior puede deberse a causas del cambio climático, factores antrópicos y naturales.

Actualmente, en el municipio de Pamplona se evidencia el descenso de caudales en las quebradas Monteadentro y Volcán, lo cual conlleva a una problemática ambiental y social

importante debido a que se presentan racionamientos intensivos en diferentes barrios del municipio, motivo por el cual la empresa de servicios público EMPOPAMPLONA S.A.S.P y la alcaldía municipal consideran que es necesario determinar el índice de sequía y su relación con la variabilidad climática presentada en la zona de estudio.

Con base en lo anterior, se plantean los siguientes interrogantes ¿Cómo es el comportamiento de la sequía de la quebrada Monteadentro? ¿Cuáles son los factores hidrológicos que inciden en la zona para que se produzca la sequía? ¿Qué variables climatológicas han incidido en la escasez y/o desabastecimiento de la quebrada Monteadentro? ¿Existe alguna relación entre el índice de la quebrada Monteadentro y la variabilidad climática?

Justificación

Ravelo, Sanz y Douriet (2014), indican que los pronósticos de las condiciones hídricas pueden hacerse para toda una región o una cuenca en particular mediante el uso de un sistema de información geográfica y un índice de sequía, de igual manera; para Martínez y Carvacho (2013), el estudio de una serie temporal de varios años podría colaborar en la detección de eventuales situaciones de sequías prolongadas, comprender su desarrollo espacial en la región y ayudar a encontrar soluciones que mitiguen esos efectos ante sucesos futuros.

La entidad CORPONOR, ha expresado ante la alcaldía municipal su preocupación sobre la disminución de la oferta hídrica de las diferentes fuentes abastecedoras del municipio a raíz del cambio climático, puesto que actualmente se han evidenciado presencia paulatina de lluvias de larga duración y cambios en el comportamiento de los parámetros meteorológicos, sumado a esto, existe alto grado de explotación forestal y agrícola.

El desarrollo de esta investigación, permite profundizar en los factores detonantes enfatizando en las variables climatológicas que con llevan a los descensos de los niveles de agua que se evidencia actualmente en la quebrada Monte dentro, beneficiando a las entidades encargadas del monitoreo de esta fuente hídrica como EMPOPAMPLONA S.A.E.S.P junto con la Alcaldía del Municipio, debido a que su misión es asegurar el correspondiente abastecimiento del recurso hídrico a la planta de tratamiento de agua potable y por ende a la población.

La estimación del índice de sequía y su relación con la variabilidad climática, será base para la toma de decisiones en el ámbito ambiental, puesto que permite conocer el déficit hídrico en la zona de estudio generando alternativas de conservación de las condiciones de flora y fauna y evitando cambios irreversibles en el entorno natural, de igual manera, este estudio permite el

análisis de la información climática, meteorológica e hidrológica, para establecer planes de contingencia con medidas que eximan en lo posible la presencia de las sequías.

Por otro lado, se contribuye en el mejoramiento de la administración de abastecimiento del sistema de acueducto permitiendo un manejo y prestación de servicio integrado, donde cada uno de los habitantes del municipio sea el beneficiado.

Objetivos

Objetivo general

Estimar la relación entre los cambios de niveles y la variabilidad climática presentada en la quebrada Monteadentro, Pamplona- Norte de Santander.

Objetivos específicos

Realizar la caracterización física y morfométrica de la microcuenca Monteadentro.

Determinar los factores naturales y/o antrópicos que inciden en el comportamiento del nivel del agua de la zona de estudio.

Evaluar el comportamiento hidrológico de la fuente hídrica en estudio.

Analizar las variables meteorológicas que inciden en el índice de sequía.

Alcances y limitaciones

Alcances

Dentro del análisis de las variables climatológicas se utilizaron las bases de datos denominadas: Global Climate Monitor y Meteoblue, los cuales, a partir de modelos meteorológicos numéricos, permitieron la visualización y descarga de datos climáticos a nivel local, obteniendo así las precipitaciones y temperaturas a partir 1985 hasta 2020, además se realizó la instalación de un pluviómetro digital marca Misol en la parte baja de la Quebrada Monteadentro.

Por otro lado, se descargaron los datos representativos del índice Oceánico de El Niño (ONI) para la región Niño 3.4, a partir de la plataforma del Centro Regional del Clima para el Oeste de Sudamérica.

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 la variabilidad climática es necesario conocer los eventos meteorológicos extremos principalmente relacionados con precipitaciones o temperaturas prolongadas alrededor de los años.

Capítulo 2

Marco referencial

Marco contextual

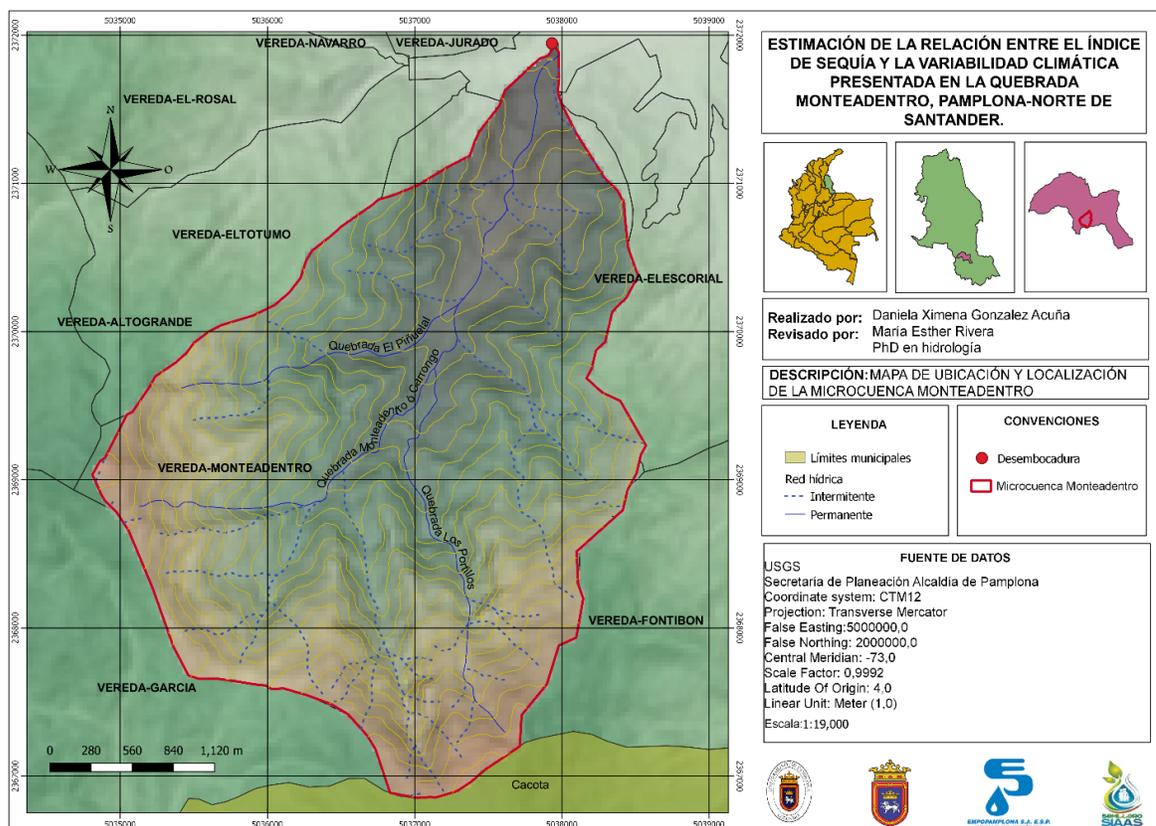
De acuerdo al Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT, 2015); el municipio de Pamplona está localizado sobre la cordillera central al Nororiente de Colombia, con coordenadas geográficas correspondientes al suroccidente con 07° 22' 41" de latitud Norte, 72° 39' 09" de longitud Oeste y altitud de 2.300 msnm, con una población aproximada a 66.000 habitantes, además posee una temperatura promedio de 15.4 °C. Es un municipio caracterizado entre muchos otros aspectos por la gran variedad de pisos térmicos y ríos principalmente el Pamplonita. Esta región del país ha sido una de las consideradas afectadas en las últimas décadas por fenómenos hidrometeorológicos que inciden en el funcionamiento de los ecosistemas, los cuales han sido evidenciados con la presencia de avalanchas y sequías alrededor del tiempo (Chaux, 2007).

Dentro del municipio se encuentra ubicada la empresa prestadora de servicios, EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P., la cual tiene por objeto la prestación de servicios públicos domiciliarios de alcantarillado, aseo y acueducto siendo esta última, la red que se dispone de la planta de tratamiento de agua potable abastecida principalmente por la quebrada Monte dentro, pues la misma, junto a otras quebradas como “*El Rosal*”, son consideradas con una adecuada disponibilidad del recurso, de tal manera que se encargan de suplir las necesidades de la población principalmente el suministro de agua potable para todo el municipio de Pamplona.

La microcuenca quebrada Monte dentro tiene su origen al Sur Oriente del municipio de Pamplona, en la naciente el chorro de las Pavas, a una altura aproximada de 3200 msnm, con coordenadas geográficas en la parte baja (Antes de la captación) con $7^{\circ}21'18''N$, $72^{\circ}39'33''W$, es una microcuenca geológicamente madura, su forma es redonda a oval-redonda, con un relieve poco accidentado y pendientes pronunciadas en su parte alta. De acuerdo con las apreciaciones del guardabosques; Don Gerardo Carvajal, está conformada por cinco afluentes que reciben el nombre de Quebrada Teorama, Potrillos, El Piñuelal, Cerrajones y Corcova. Al Norte limita con la vereda, Jurado y Navarro, al Noreste con la vereda Escorial, y Noroeste con la vereda el totumo, rosál y Alto-grande, al Sur limita con el municipio de Cacota, al Sureste con la vereda Fontibón y al Suroeste con la vereda García (Figura 1).

Figura 1

Mapa de Ubicación y Localización de la Microcuenca Monte dentro



Fuente: González, D. (2020) mediante software libre QGIS versión 3.10.10

La vereda Monte dentro cuenta con una dinámica económica basado principalmente en actividades de tipo agrícola y pecuario, estos cultivos son: papa, tomate de árbol, curuba, alverja, apio, zanahoria entre otros.

Antecedentes

Endara (2015), plantea una metodología para el seguimiento y monitoreo de la sequía a corto plazo mediante la aplicación de diferentes índices, dentro de los cuales está: el índice de sequía de sensoramiento remoto de múltiples sensores de microondas integrado, índice de condición de vegetación (VCI), índice de condición de precipitación (PCI) e índice de condición de la temperatura (TCI). Las validaciones se realizaron a partir de comparaciones espaciales, correlaciones de Pearson, donde se identificaron alrededor de 9 regiones climáticas donde se evaluó el peso de cada uno de los índices anteriormente mencionados.

Por otra parte, Troyo, E. et al., (2013), a partir de características termo-pluviométricas determinaron los indicadores de disponibilidad hídrica y sequía hidro ambiental para determinar la brecha hídrica presente en Baja California Sur, a partir de lo cual constituyen este tipo de análisis como una herramienta adecuada para identificar tendencias a cambio climático y sus impactos.

Vicente, S. et al. (2012), realizaron una comparación de los índices SPI, PDSI y SPEI con el fin de establecer los impactos en el medio ambiente y el sector productivo a diferentes escalas temporales, a lo cual obtuvieron que SPEI, permitió establecer un mejor análisis con respecto a los demás al analizar el período estival, es decir donde se registró mayor impacto de sequía.

Así mismo, Velasco & Aparicio (2004), determinaron la presencia recurrente y persistente de sequía y la deficiencia de humedad en el suelo de las cuencas de afluentes del río Bravo/Grande a partir la aplicación del Índice de Precipitación Estandarizada (SPI), y el índice de severidad de sequía de Palmer (PDSI). En cuanto a Vega (2019), la estimación del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI), y el Índice Estandarizado de Precipitación-Evapotranspiración (SPEI), junto el Índice de agua per-cápita (WCI) permitieron establecer que alrededor del 80% de la población fue afectada por el déficit hídrico presentado.

Por otro lado, Ramos & Pacheco (2019), realizaron un estudio hidrológico e hidráulico en el departamento del Magdalena, en el cual determinaron que los cambios físicos que se generan en el río son a raíz de la configuración geométrica del mismo al igual que las actividades de carácter agrícola y ganadero que modifican los números de curva, produciendo un mayor grado de escorrentía de los afluentes hacía el río.

García & Rodríguez (2014), evaluaron el comportamiento de las sequías en el Norte de Sudamérica, mediante la aplicación del SPI y el PDSI a partir de mallas interpoladas UD-ATP con series mensuales de precipitación y promedios de temperatura. Mediante este estudio se determinó la correlación existe entre la ocurrencia de las sequías y el fenómeno ENSO. A nivel nacional encontraron la presencia de sequías a final y principio de año y su respectiva intensidad.

Por otro lado, 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 de ver mayormente afectada. Igualmente mencionan que estos eventos se generan a raíz de los frentes fríos y cálidos asociados al ENSO.

Según Quintero, M., Carvajal, Y., Aldunce, P., (2012), la adaptación y la gestión del riesgo, son factores que deben asociarse a fin de reducir la vulnerabilidad de la sociedad antes eventos de carácter meteorológico, además es indispensable la formulación de ideas que busquen mitigar el cambio climático, ya que de esta manera se cómo se plantea la comunidad científica poder disminuir la generación de nuevos factores de riesgo que alteren y degraden cada vez más.

Fundamentado en lo anterior, Ravelo & Pascale (1997), establecieron una correlación entre los índices meteorológico y de vegetación (NDVI) en Buenos Aires y Córdoba, en la cual se evaluaron las variabilidades temporales y espaciales de las sequías, y donde se determinó que el NDVI, es un indicador de ocurrencia de las sequías y que puede contribuir en disminución de los efectos adversos a raíz de las sequías, dentro de los cuales están las pérdidas de producciones agrícolas

A nivel regional existen diferentes estudios como el realizado por Álzate, D., et al. (2014), en el cual determinaron que las temperaturas medias de las cuencas de los ríos Zulia y Pamplonita han oscilado entre 0,1 y 0,4°C y la precipitación ha incrementado entre 0 a 250mm/década. Así mismo, Fernández, Suarez & Pérez (2007), a partir de tres modelos dinámicos para el estudio de la gestión del agua establecieron dos escenarios para demanda y oferta del recurso en la parte alta del río Pamplonita. En cuanto al modelo de oferta se obtuvo que para la población proyectada al 2025 deben tomarse medidas de contingencia o de lo contrario el agua alcanzaría su límite alrededor del año 2012.

Así mismo, Infante & Ortiz (2008), implementado un ajuste metodológico en el índice de escases de agua para el río Pamplonita, mejoró la resolución de la información de la oferta hídrica superficial y la demanda hídrica. Igualmente, indicó la alarmante necesidad de establecer planes de contingencia para el abastecimiento del recurso hídrico.

A nivel local existen estudios de carácter social, económico y ambiental, p.ej. Atencia (2007), quien halló los efectos de la contaminación como consecuencia de los vertimientos de aguas residuales domésticas y la disposición inadecuada de residuos sólidos domésticos sobre la microcuenca Monteadentro. Así mismo, Hernández (2010), determinó que la cobertura vegetal es un factor extremadamente importante para la producción del recurso hídrico, por su papel al interceptar y retener el agua. De igual manera, infiere que, al cambiar la cobertura vegetal, la producción de agua disminuye dada la función de los suelos del bosque al absorber el agua en periodos lluviosos para mantener el balance hídrico en el tiempo seco y que en ausencia de la cobertura vegetal provoca desequilibrios como el aumento de escorrentía.

Por otra parte, Bacheloth (2017), a partir del software Hydrus 1-D, construyó un modelo y simulación del transporte de plaguicidas e insecticidas en suelos de cultivo de fresa en una finca en la parte media de la microcuenca Monteadentro.

Velandia (2018) citado en Gelvez (2020), teniendo en cuenta las estrategias de planificación integral social y económica para el desarrollo de una UPRA en la vereda Monteadentro, analizó las dinámicas comerciales que propone el sector rural al crecimiento urbano; como reinterpretación de la arquitectura rural hacia un factor de desarrollo sustentable y sostenible a sus miembros y usuarios.

Por último, Gelvez (2020), realizó el diagnóstico del sistema de suministro de agua potable del municipio de Pamplona. Así mismo, obtuvo la valoración de las amenazas a las que está expuesta la cuenca de estudio. Por último, estableció riesgos de carácter natural y antrópico que inciden en la calidad del agua de la quebrada Monteadentro e infiere que la actividad antrópica es el factor considerado con mayor incidencia en la calidad del agua debido al uso de agroquímicos en los cultivos de la vereda. Por otra parte, indica que la ocurrencia de precipitación en la zona,

propicia el arrastre de sustancias de distinto origen que también altera la calidad del agua de la fuente hídrica.

Marco teórico

De acuerdo a Rivas & Moreno (2019), existen una serie de parámetros cuantitativos y cualitativos que permiten realizar la caracterización morfométrica de una zona determinada los cuales se relacionan con el relieve y el drenaje de la cuenca, se clasifican así:

Parámetros morfométricos generales

Área (A). Indica la zona que comprende toda la superficie que está delimitada por la línea divisoria de aguas de la zona de estudio. De acuerdo a, Aguirre (2007), existen una serie de criterios recomendados por el Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Suelos (CIDIAT-MARNS, 1978) donde se establece un sistema de clasificación de acuerdo a el área que posea la zona en estudio, es decir: Sistemas hidrográficos (> 300.000 ha), Cuencas (60.000-300.000 ha), Subcuencas (10.000-60.000 ha), Microcuenca (<10.000 ha).

Perímetro (P). Hace referencia a longitud del contorno del área de estudio.

Longitud (L). Se establece a partir de la longitud del cauce principal, y se refiere a la distancia existente desde el origen o nacimiento del río hasta la desembocadura. Es un parámetro determinante para la generación de escorrentía por lo que es esencial para la determinación de los diferentes índices morfométricos.

Ancho (AC). Determinado a partir de la relación ente el área y la longitud de la cuenca ver ecuación 1.

$$AC = A/L$$

Ecuación 1

Dónde, A: área de la cuenca (Km² o m²), L: Longitud de la cuenca (Km o m)

Parámetros morfométricos asociados a la forma de la cuenca

Factor de forma de Horton (Kf). Es determinada bajo la relación del área y el cuadrado de la longitud como lo indica la ecuación 2. Donde la forma de la zona de estudio está dada por la tabla 1. Las cuencas que se clasifican como ensanchadas; indican que existe en ellas una mayor susceptibilidad a crecidas que el tiempo requerido para el recorrido del agua de un punto a otro es menor, caso contrario a las cuencas alargadas; puesto que el tiempo de recorrido es mayor lo que origina crecidas menos súbitas.

$$Kf = \frac{A}{L^2} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde, A: área de la cuenca (Km² o m²), L: longitud axial (Km)

Tabla 1

Valores interpretativos del factor de forma

Valores Aproximados	Forma de la Cuenca
< 0.22	Muy alargada
0.22 - 0.300	Alargada
0.300 - 0.37	Ligeramente alargada
0.37 - 0.450	Ni alargada ni ensanchada
0.45 - 0.60	Ligeramente ensanchada
0.60 - 0.80	Ensanchada
0.80 - 1.20	Muy ensanchada
> 1.200	Rodeando el desagüe

Fuente: Horton (1932)

Factor de compacidad (Kc). Está relacionado con el perímetro de la cuenca y el perímetro (Ecuación 3). En la tabla 2 se muestra la clasificación de la red de acuerdo al valor del índice.

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde, P: Perímetro de la cuenca (Km), A: área de la cuenca (Km²)

Tabla 2

Clasificación de la red hidrográfica según índice de compacidad

Clase de forma	índice de compacidad	Forma de la cuenca
Clase I	1.0 a 1.25	Casi redonda a oval-redonda
Clase II	1.26 a 1.50	Oval-Redonda a oval oblonga
Clase III	1.51 o más de 2	Oval-oblonga a rectangular-oblonga

Fuente: Rivas & Moreno (2019)

Coefficiente orográfico (Co). Se expresa en la ecuación 4. Farfán *et al* (2010), infiere que el relieve esta definido en dos cuencas distintas, para lo cual indica que si $Co > 6$, el relieve se clasifica como accidentado y si $Co < 6$, es poco accidentado.

$$C_o = H_m * C_m \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde, Hm: altura media de la cuenca, Cm: coeficiente de masividad

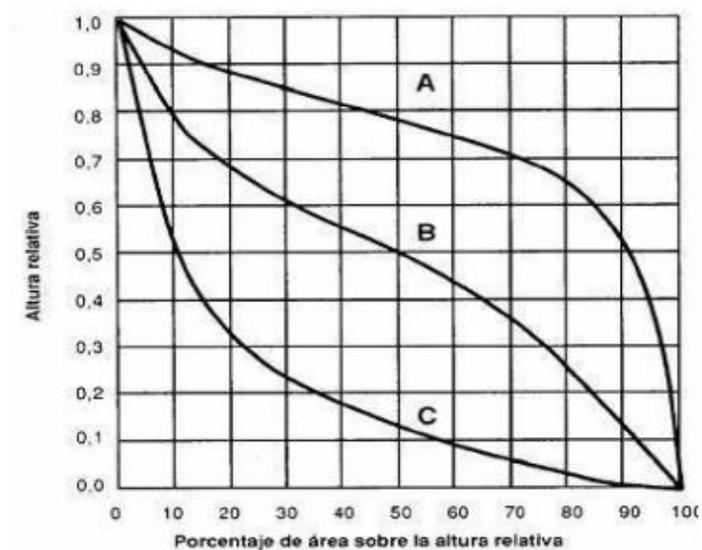
Parámetros morfométricos asociados al relieve

La importancia de los parámetros asociados al relieve radica en son aquellos los cuales inciden en la concentración de la red de drenaje y afluentes del cauce principal, los más empleados son:

Curva hipsométrica. Establece el porcentaje de área o superficie de la cuenca existente por encima de una cota determinada. La relación la tendencia de la curva con la edad del río se debe tener en cuenta la figura 2, donde la curva A; indica una cuenca con gran potencial erosivo y se encuentra en fase de juventud, la curva B; indica una cuenca sedimentaria, y una fase de madurez y la curva C; indica una cuenca sedimentaria en fase de vejez.

Figura 2

Clasificación de los Ríos de acuerdo a la Curva



Fuente: Características físicas de cuencas hidrográficas, Rivas & Moreno (2019)

Parámetros morfométricos asociados a la red de drenajes

Orden de los cauces. Es el parámetro que indica el orden de bifurcación de la cuenca. Para este trabajo se empleó el método de Horton, el cual indica que: las corrientes de primer orden son aquellas corrientes fuertes, portadoras de aguas de nacimiento que no tienen afluentes. Al estar unidas dos corrientes de primer orden, se constituye una de segundo orden, del mismo modo cuando una corriente de segundo orden se une con otra de orden mayor, resulta una corriente que conserva el mayor orden.

Longitud total de los cauces (Lt). Indica el total del recorrido de los distintos cursos de agua por los cuales está conformada de la red hídrica de la zona de estudio.

Densidad de drenaje (D). Se rige mediante la relación de la longitud total de los cursos de agua y su área total, como lo indica la ecuación 5. Este parámetro infiere que una $D \leq 0$ es indicador de una cuenca mal drenada y para una $D \geq 3$ una cuenca bien drenada (Tabla 3).

$$D = \frac{\sum LC}{A} \qquad \text{Ecuación 5}$$

Donde, $\sum LC$: suma de las longitudes de los cursos que se integran en la cuenca (Km), A: área de la cuenca en Km²

Tabla 3

Valores de densidad de drenaje

Rangos de Densidad	Clases
0, 1 - 1, 8	Baja
1, 9 - 3, 6	Moderada
3, 7 - 5, 6	Alta

Fuente: Maidment (1993)

Tiempo de concentración (Tc). Para Gálvez & Pimiento (2015), el país, el área de la cuenca y el sistema de unidades, son factores por los cuales varían las ecuaciones del tiempo de concentración. Para esta investigación se exploran dos de las ecuaciones más utilizadas en Colombia y además las que se ajustan al contexto del área de estudio, estas son:

Kirpich (1940).

$$tc = 0,000323 * \left(\frac{L^{0,77}}{S^{0,385}}\right) \quad \text{Ecuación 6}$$

Bransby-Williams.

$$tc = 21,3 * \left(\frac{1}{A^{0,1} * S^{0,2}}\right) \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde, L: longitud del cauce principal (Km), A: área de la cuenca (Km²), S: pendiente media de la cuenca (m/m)

Método del S.C.S (Mockus, V. 1964)

Según Sánchez (s.f), este método se basa en la suposición de que, al caer cierta cantidad de precipitación, cierta cantidad va a ser retenida por el suelo y las abstracciones disminuirán.

Umbral de escorrentía (Po). Este parámetro está tabulado en el Anexo A, es determinado a partir de características asociadas de al uso de la superficie, pendiente y tipo hidrológico del suelo.

Precipitación neta (Pn). Indica la precipitación que genera escorrentía directa y se determina a partir de la ecuación 8.

$$Pn = \frac{(P-Po)^2}{P+4Po} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde, Pn: Precipitación neta (mm), Po: precipitación inicial o umbral de escorrentía, P: precipitación total registrada (mm)

Capacidad de infiltración- Método Kostiakov (1932).

De acuerdo a lo dispuesto en tecnología de tierras y aguas 1, el método de Kostiakov está definido partir de la formula empírica en la que se relaciona la lámina infiltrada para un tiempo determinado y el tiempo (Ecuación 9).

$$f = nc * t^{n-1} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde, F: capacidad de infiltración (mm/h) ó (cm/h), nc: parámetros a determinar con datos experimentales, t: tiempo (horas o minutos)

Curvas IDF (método Gustavo Silva)

Para Garzón & Trivales (2020) el cálculo de las curvas IDF se realizar por medio del método de cálculo del método simplificado de Gustavo Silva, mostrado en la ecuación 10.

$$I = \frac{K}{(t+b)^n} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde, I: intensidad de precipitación (mm/h), k: constante de precipitación máxima en 24 horas, t: tiempo en minutos, b y n: constantes para Colombia (b =10; n =0,5)

Variabilidad climática

Según Moreno, (2004) citado por Mayorga & Hurtado (2006), la sequía está asociada a los siguientes fenómenos climáticos, los cuales tienen implicaciones sobre los patrones climáticos mundiales, regionales y locales:

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.

Fenómeno de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO). Definido como la diferencia de presión normalizada entre una estación sobre los Azores y otra sobre Islandia, considerado uno de los mejores indicadores de variabilidad de la atmósfera del hemisferio norte caracterizado por su importancia el invierno puesto que ejerce un fuerte control sobre el clima del hemisferio norte.

Índice Niño Oceánico (ONI). De acuerdo a Montealegre (2007), 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, donde las condiciones El Niño (La Niña), el ONI debe ser igual ó superior a 0.5°C de anomalía.

Aspectos meteorológicos y climáticos

De acuerdo a Cadena (2005), citado por Mayorga & Hurtado (2006), existen parámetros climáticos que, a partir de distintos métodos de cálculo, permiten establecer la intensidad, duración y la zona afectada por el fenómeno de la sequía, dichas variables son referidas a continuación por diferentes autores.

Precipitación (P). Para Cadena (2005), citado por Mayorga & Hurtado (2006), Representa la cantidad de lluvia en milímetros (mm), sumada por periodos de diez días (décadas), en el Método de Palmer o promediada mensualmente en el caso de los Deciles o el SPI.

La evapotranspiración potencial o de referencia (Teo). Es el agua perdida por la vegetación debido a ilimitada cantidad suministrada al suelo (IDEAM, 2000).

Temperatura del Aire (Ta). Parámetro utilizado en la determinación de la evapotranspiración. Así mismo, esta variable se utiliza para la medición de evaporación dentro del índice de sequía (Cadena, 2005 citado por Mayorga & Hurtado, 2006).

Humedad del Aire (Hr). Diferentes estudios han permitido determinar a partir de índices de humedad y mediciones de déficit de saturación, los indicadores de la potencia de la sequía, dentro de los cuales esta las relaciones del tipo Delton y la relación Popov (1948) .

Velocidad del Viento (Vv). Variable que incide en la sequía atmosférica, y es un término utilizado para indicar una sequía anormal del aire (OMM, 1975).

Aspectos hidrológicos

Índices de sequía. De acuerdo a Mayorga & Hurtado (2006), factores como la distribución temporal, geográfica y variedad de escalas necesarias para determinar la sequía en una región hacen sus cálculos relativamente difíciles, sin embargo, existen índices basados en diferentes parámetros climatológicos e hidrometereológicos mencionados a continuación:

Índices de lluvia. Existen diferentes índices que permiten cuantificar a partir de datos meteorológicos e hidrológicos, la sequía en una zona determinada, p.ej. el Índice de Deciles de Precipitación (IDP), el cual fue desarrollado por Gibbs y Maher en 1967 y consiste en utilizar las

curvas de frecuencia acumulada determinando los deciles de lluvia para cada serie. Así mismo, el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI), el cual fue desarrollado por McKee (1993) y se basa únicamente en la precipitación y es un método utilizado por el Centro de Mitigación de la Sequía de Estados Unidos (NDMC) para monitorear la sequía. Por otra parte está, el índice Estandarizado de Sequía Pluviométrica (IESP), formulado por Pita (2001) y se basa en el cálculo de anomalías mensuales acumuladas, donde los valores negativos corresponden a meses secos y los valores positivos a meses húmedos (ecuación 11).

$$IESP = \frac{APAc_i - \overline{APARc}}{\sigma_{APAc}} \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde, $APAc_i$: Anomalía pluviométrica acumulada del mes i , \overline{APARc} : Valor medio de las anomalías pluviométricas acumuladas de todos los meses de la serie, σ_{APAc} : Desviación típica de las anomalías pluviométricas acumuladas de todos los meses de la serie

Índices de balance hídrico. Son utilizados para evaluar la sequía agrícola y están basados en el balance entre la oferta y la demanda de un sistema, está conformado por el Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI), el cual está fundamentado en el balance hídrico seriado. Por otro lado, se encuentra el Índice de Disponibilidad Hídrica (IDH), que de acuerdo a Hurtado & Cadena (2002), citado por Mayorga & Hurtado (2006), es similar al empleado por Thornthwaite, con una variación en el valor de los coeficientes y en la forma de cálculo del balance hídrico, y se determina mediante la ecuación 12.

$$I = \frac{2*ESC - 10*DEF}{ETP} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde, ESC: Escorrentía decadal o mensual, DEF: Déficit en el mismo periodo, ETP: Evapotranspiración.

Tipos de sequías

Según el NDMC (2003), citado por Mayorga & Hurtado (2006), de acuerdo a las condiciones geográficas, de la región o la situación la sequía se clasifica en las siguientes clases:

Sequía Meteorológica. Esta sequía está basada en un solo parámetro, la cantidad de precipitación que se registra debido a unas condiciones atmosféricas dadas; si hay reducción de la precipitación existió sequía meteorológica.

Sequía Agrícola. Se presenta cuando el agua con la que se cuenta, ya sea por precipitación o por almacenamiento en el suelo o en los diferentes cuerpos de agua, no es suficiente para que los cultivos puedan crecer y desarrollarse de manera adecuada.

Sequía Hidrológica. Está asociada con los efectos de los periodos de baja precipitación sobre el abastecimiento de aguas superficiales o subterráneas. La frecuencia y severidad de esta sequía es a menudo definida por el nivel de los ríos u otras escalas.

Sequía estacional. Sequía con estaciones lluviosas o secas bien definidas y es típica de las regiones tropicales.

Sequía contingente. Provocada por una distribución muy irregular y variable de la lluvia, sucede durante periodos más o menos prolongados en los cuales las lluvias son considerablemente menores a lo normal.

Características de la sequía

De acuerdo con Uriarte (2020), la sequía puede darse en diversos momentos y en ciclos reconocibles, o de manera totalmente inesperada:

Sequía temporal. Aquella que coincide con algún tiempo prolongado en una región, en la que la falta de agua prolongada suele ser la norma.

Sequía estacional. Aquella que ocurre durante una estación o período climático puntual y que una vez terminado es sustituido por períodos de lluvia.

Sequía impredecible. Aquella que se debe a fenómenos puntuales no climáticos y que puede aparecer en estaciones en las que debería haber abundancia hídrica.

Sequía invisible. Aquella en la que la temperatura de los suelos es tal, que el agua de la lluvia se evapora antes o a los pocos segundos de tocar el suelo, dejándolo tan seco como antes de que lloviera.

Aspectos de cobertura vegetal, uso del suelo, geología

Para Aldás (2013), la cobertura vegetal posee importantes funciones dentro de la naturaleza, es allí donde se encuentra la formación del nicho ecológico que a su vez es el encargado de sostener otras formas de vida y brindar diferentes servicios ambientales como la limpieza de la atmosfera, el suministros y regulación del ciclo del agua y la conservación del suelo. López (2006), citado por Pineda (2011), establece que la capa vegetal está ligada a factores biofísicos, como son el clima, topografía, tipo de suelos, disponibilidad de agua y el tipo de vegetación.

De acuerdo con Elizalde, S., et al., (2012), en las regiones cuya vegetación no es propia y está asociada a cambios en el uso del suelo, se presenta modificaciones en sus características generando laderas inestables. Al disminuir su capacidad de retención, la escorrentía superficial se ve acelerada y como consecuencia, en periodos en los que se produzcan grandes avenidas, éstas no podrán ser reguladas por la cobertura vegetal. Sin embargo, no sólo se asocian problemas de inundación, existe la desertificación, fenómeno considerado como consecuencia de la perdida de masas arbóreas y erosión de los suelos bajo interacciones físicas, biológicas, sociales, culturales y económicas.

Velázquez *et al.* (2002), citado por García, J., *et al.*, (2012), relaciona la pérdida de cubierta vegetal, con la pérdida del potencial de uso en bienes y servicios ambientales que proporcionan los ecosistemas para el bienestar humano, de igual manera repercute en la alteración de los ciclos hidrológicos y biogeoquímicos, el exterminio de las especies nativas y la pérdida de hábitat.

Marco legal

A continuación, se muestran las diferentes Leyes, Resoluciones y Decretos aplicables en la presente investigación, rigiendo las diferentes normas y procesos, además de presentar los estándares requeridos para la estimación del índice de sequía.

Resolución 0865 de 2004

Por la cual se adopta la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales a que se refiere el Decreto 155 de 2004 y se adoptan otras disposiciones

Decreto 1323 de 2007

Por el cual se crea el Sistema de Información del Recurso Hídrico -SIRH.

Decreto 1931 de 2018

Por la cual se establecen directrices para la gestión del cambio climático

Ley 1523 de 2012

Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones

Capítulo 3

Metodología

Para el desarrollo de esta investigación se predispuso de una serie de análisis, los cuales incluyen factores morfométricos, hidrometeorológicos y climatológicos. La metodología propuesta fue dividida en diferentes fases de acuerdo a lo planteado en los objetivos específicos y para su cumplimiento se predispuso de las siguientes actividades:

Caracterización físico-morfométrica de la microcuenca Monteadentro

Los parámetros físico morfométricos se obtuvieron mediante el software libre QGIS, utilizando un DEM de la zona de estudio, descargado de la plataforma de Servicio Geológica de Estados Unidos, por sus siglas en inglés (USGS). De igual manera, se utilizó información sobre datos vectoriales que hacían referencia a: Límites municipales, veredales, geología y cobertura vegetal del PBOT (2015), suministrados por la Alcaldía municipal de Pamplona. Posteriormente, se aplicaron las siguientes herramientas del software Qgis versión libre: Combar, Qdraw, Fill sink (Obtención del área de estudio), Strahler Order, Upslope (Obtención de la red de drenaje y delimitación de la cuenca), Ráster (Obtención de curvas de nivel cada 50 metros), Clip (Extracción de capas vectoriales al área de la cuenca) y Pendiente.

Por último, se determinaron los parámetros de forma, relieve, y drenaje de la microcuenca.

Factores naturales y/o antrópicos que inciden en el comportamiento del nivel del agua de la zona de estudio

Se realizó un análisis visual a lo largo de la Quebrada Monteadentro, mediante las salidas de campo, en el cual se determinó algunos tipos de actividades que inciden en el comportamiento de la fuente hídrica. De igual manera, se aplicó una encuesta (Anexo B) a los habitantes de la zona con el fin de conocer los factores antrópicos y naturales que inciden en el comportamiento del nivel de agua de la Quebrada y la opinión de los habitantes con respecto a la variabilidad climática y las consecuencias que se han evidenciado en los últimos años en la zona de estudio.

Comportamiento hidrológico de la fuente hídrica en estudio

Para el evaluar el comportamiento hidrológico de la microcuenca Monteadentro se tuvo en cuenta los parámetros físico-morfométricos de la zona de estudio y la precipitación de la serie histórica 1985 a 2020 descargada de Global Climate Monitor. Se implementó el método SCS hidrograma unitario y pérdidas constantes iniciales para los cuales se empleó la precipitación inicial o umbral de escorrentía (P_o), precipitación neta (P_n) determinada a partir del método del S.C.S. y pérdidas por infiltración obtenidas a partir de un infiltrómetro de doble anillo (anillo de Munz). Además, se realizaron las curvas intensidad, duración y frecuencia (IDF) por el método Gustavo Silva y el hietograma correspondiente a un período de retorno de 25 años. Los anteriores datos fueron ingresados al programa de HEC-HMS en el cual se obtuvo el hietograma de diseño para definir pérdidas por infiltración, conversiones en escorrentía y caudal pico por precipitación. Finalmente, se solicitó información a EMPOPAMPLONA S.A E.S.P sobre

caudales registrados en la zona de estudio y mediante un correntómetro marca global wáter se determinó el caudal los cuales fueron posteriormente graficados.

Análisis de las variables meteorológicas que inciden en el índice de sequía

Las variables climatológicas como temperaturas y precipitación fueron suministradas por Meteoblue y Global Climate Monitor para el período de 1985-2020. Además, se instaló un Pluviómetro marca Misol en la zona de estudio. Posteriormente se realizó el análisis de consistencia y homogeneidad a través del software Clic-MD (Licencia de prueba) y se obtuvo, distribuciones y tendencias anuales y mensuales, amplitud térmica, climogramas, clasificación climática de la zona de estudio y el índice de sequía IESP.

Para la relación de los índices de sequía y la variabilidad climática asociada a fenómenos ENSO, se descargaron datos a través de Climate Prediction Center- NOAA, basados en un umbral de +/- 0.5 °C para el Índice de Niño Oceánico, (Siglas en inglés ONI), con la descripción Media móvil de 3 meses de anomalías de TSM ERSST.v5 en la región del Niño 3.4 (5 o N-5 o S, 120 o - 170 o W), basado en periodos base de 30 años centrados actualizados cada 5 años. Una vez recopilada la información anterior mediante la correlación de Pearson se estableció la relación entre el IESP y el ONI a un nivel de significancia 0,05

Capítulo 4

Resultados y análisis

Caracterización físico-morfométrica de la microcuenca Monteadentro

De acuerdo a la tabla 4 se infiere que la Quebrada Monteadentro se clasifica como microcuenca, y de acuerdo con Chow (1962) citado por Aguirre (2007), corresponde a una unidad hidrográfica básica de operación muy pequeña, es decir; que la cantidad y distribución del escurrimiento presentados en la zona de estudio son factores que pueden verse afectados por las actividades a las que es sometido el suelo y la cobertura debido a las alteraciones de las condiciones físicas en cada uno de estos. Así mismo, Méndez & Marcucci (2006), consideran que la superficie contribuidora de escorrentía superficial en la microcuenca Monteadentro, es pequeña y en la ocurrencia de una tormenta de larga duración, toda el área se activa y contribuye agua.

Tabla 4

Caracterización Físico-morfométrica de la Quebrada Monteadentro

	Parámetros	Símbolo	Valor	Unidades			
	Parámetros Morfométricos	Área	1073.6738	ha			
			10.735292	Km			
Físicos		Perímetro	P	14.235424	Km		
			Longitud axial	La	5.181848	Km	
				Ancho promedio	Ap	2.0717111	Km
				Ancho máximo	Amáx	3.061281	Kilómetros

Parámetros Morfométricos	Parámetros	Símbolo	Valor	Unidades
	Altura máxima	H	3347	msnm
	Altura mínima	h	2330	msnm
	Altura media	Hmed	2852	msnm
	Longitud máxima de la cuenca	Lmáx	4.965442	Kilometros
	Longitud total de curvas de nivel	LTc	100.705917	Kilometros
	Curva mayor de la cuenca	CNmay	3374	Metros
	Curva menor de la cuenca	CNmen	2331	Metros
	Diferencia de la elevación de la cuenca	ΔE	1043	Metros
	Relieve máximo	Rm	1017	msnm
	Número de rugosidad	Nr	3.115015448	
	Factor de forma	Kf	0.399801595	Adimensional
	Factor de compacidad	Kc	1.225627634	Adimensional
Forma	Coefficiente de masividad	Cm	265.6658058	msnm/km ²
	Coefficiente orográfico	Co	0.757678878	Adimensional
	índice de alargamiento	Ia	1.622014444	Adimensional
	Pendiente media de la cuenca	Smed	46.9	%

Parámetros Morfométricos	Parámetros	Símbolo	Valor	Unidades
	Pendiente media del cauce	Smc	18.22	%
	Orden de la corriente		3	-
	Número de escurrimientos	-	8	-
	Longitud de todos los cauces	LTc	32.881613	Kilómetros
	Longitud del cauce principal	Lcp	5.031065	Kilómetros
Red de drenaje	Longitud de los cauces secundarios	Lcs	27.850548	Kilómetros
	Alejamamiento medio	Am	1.535511232	Kilómetros
	Densidad del drenaje	D	3.062945377	Km/km ²

Fuente: González, D. (2020)

De acuerdo con el POMCA de la cuenca Río La Vieja (2018), los parámetros establecidos en la caracterización morfométrica están ampliamente asociados al régimen hidrológico de una cuenca o microcuenca, conformada por distintos factores dentro de los cuales hace parte el clima y la forma del terreno. Los valores de perímetro, longitud y ancho indicaron un crecimiento longitudinal en lugar de lateral, aspecto evidenciado durante las salidas a campo (figura 3).

Figura 3

Parte alta, media y baja de la Quebrada Monteadentro



Fuente: Gonzalez, D. (2020)

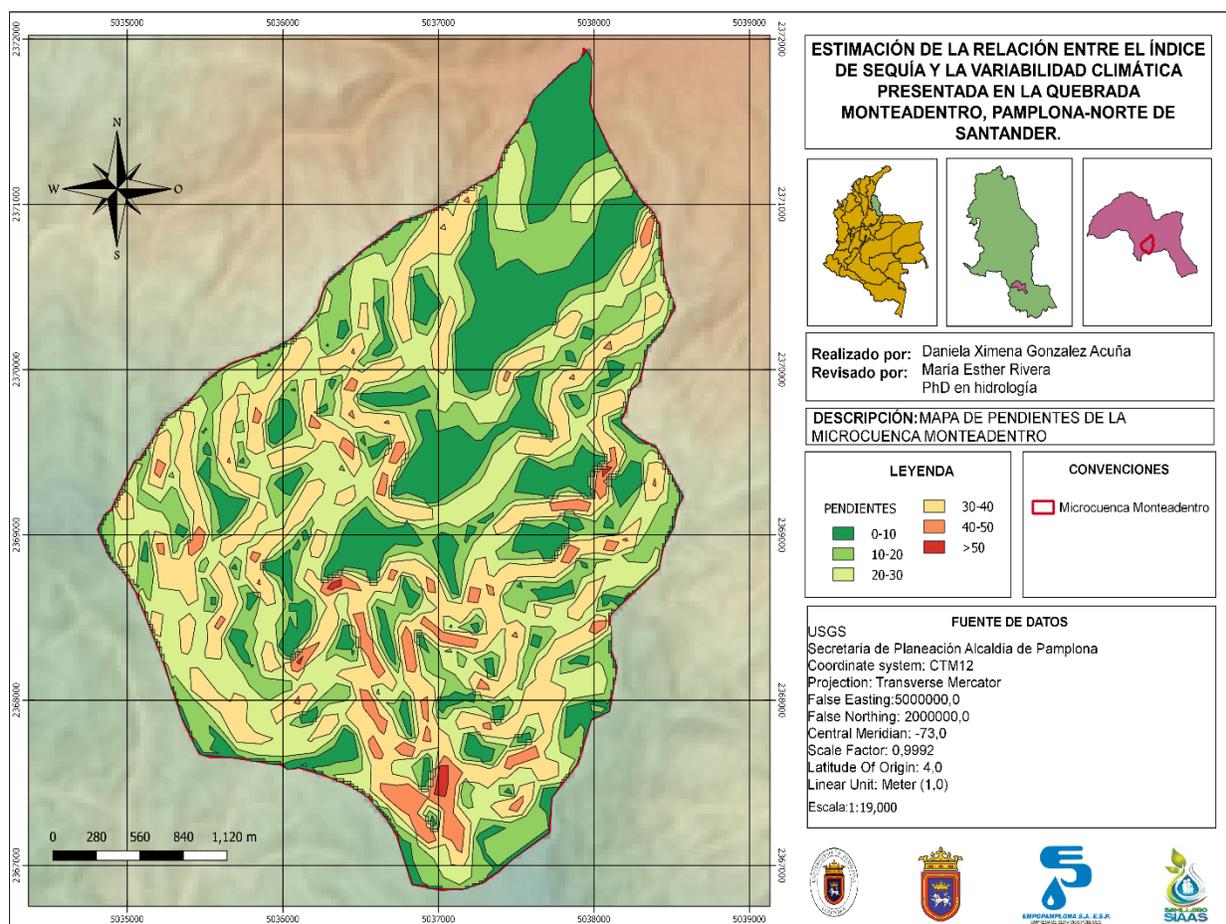
Para Lux (2006), la forma de una cuenca interviene principalmente en los eventos de avenidas máximas, condicionando la velocidad de escurrimiento superficial. Se obtuvo un factor de forma de Horton (K_f) de 0.399, de manera que la Quebrada Monteadentro, tiene una forma ni alargada ni ensanchada y presenta baja susceptibilidad a las avenidas cuando se presenta lluvias torrenciales. Así mismo, el factor de compacidad (K_c) con un valor de 1,23 indicó que la zona de interés presenta una forma redonda a oval-redonda, por lo tanto; existe la tendencia a concentrar volúmenes de agua de escurrimiento. El coeficiente orográfico con valor de 0.75, permitió definir el relieve como poco accidentado.

Teniendo en cuenta la pendiente media de la microcuenca Monteadentro se obtuvo un valor de 46,9% lo cual, según Cruz, B. *et al.*, (2015), representa un relieve muy fuerte, de modo que existe una baja duración de concentración de aguas de escorrentía en la red de drenaje y los afluentes de la microcuenca en estudio. De igual forma en la figura 5 se muestra el mapa de

pendientes de la zona de estudio, del cual se infiere que las pendientes mayores al 50% corresponden a la parte alta, contrario a la parte baja de la cuenca, donde se hallaron pendientes de 0 a 20%.

Figura 5

Mapa de Pendientes de la Microcuenca Monteadentro



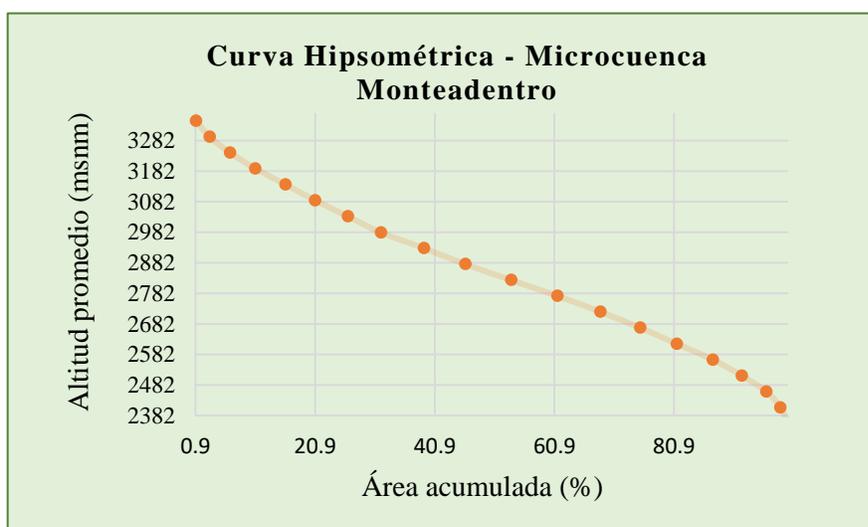
Fuente: González, D. (2020) a partir de la información procesada mediante software libre QGIS

versión 3.10.10

En la figura 6 se observa la curva hipsométrica con valores altitudinales elevados sobre 3200 msnm los cuales se estabilizan aproximadamente en 2300 msnm, por lo cual se estableció que la microcuenca Monte dentro tiende a encontrarse en la etapa de equilibrio (figura 2), lo que en efecto se considera geológicamente madura.

Figura 6

Curva Hipsométrica de la Microcuenca Monte dentro

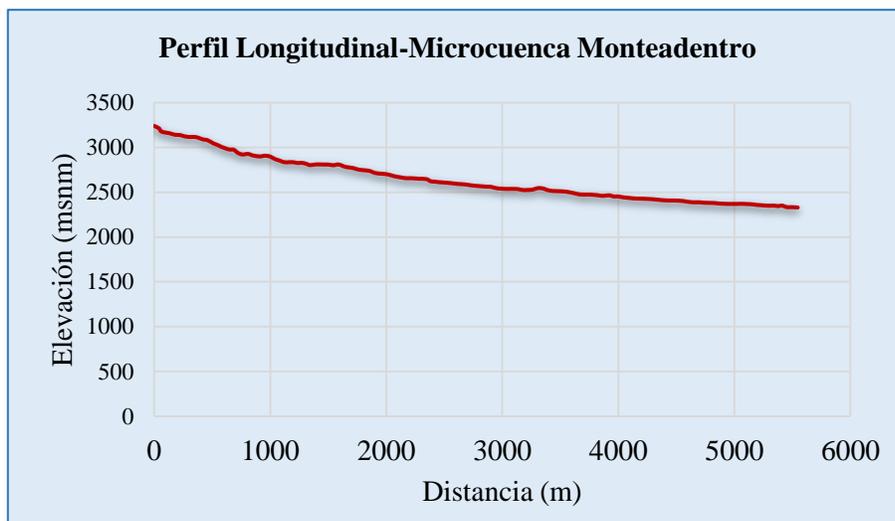


Fuente: González, D. (2020)

Desde el área de la geomorfología, la figura 7 representa la tendencia a un perfil de equilibrio para la Quebrada Monte dentro, por lo cual no erosiona ni genera depósitos. A partir de lo anterior, López (2016), deduce que la energía para el transporte de la carga de materiales es justamente la necesaria, sin embargo, hace referencia a la existencia de condiciones climáticas o geológicas que pueden generar cambios en el curso y por ende incidir en el comportamiento del perfil longitudinal.

Figura 7

Perfil Longitudinal de la Microcuenca Monte dentro



Fuente: González, D. (2020)

De la tabla 4 se infiere que la pendiente media del cauce principal es de 18.22% y longitud de 5.03 Km. Así mismo, un cauce caracterizado de tercer orden con un número de escurrimientos de 8, y una longitud total de a 27.85 Km y de acuerdo con Aguirre (2007), estos parámetros inciden directamente en la formación y rapidez de drenado de los escurrimientos, además permiten reconocer características relacionadas con las condiciones físicas del suelo y de la superficie de la cuenca. Por otra parte, Fuentes Junco (2004), citado por Camino, M. *et al* (2018), indica que existen variables climatológicas como precipitación y aspectos físicos como la topografía que condicionan la red de drenaje para la zona de estudio se obtuvo un valor de 3.06 Km/Km² que relacionado con la tabla 3, es un indicador de drenado alto, por lo tanto, la respuesta de la microcuenca Monte dentro ante eventos de precipitación es muy rápida.

Los tiempos de concentración para la microcuenca Monte dentro varían aproximadamente 6 minutos de acuerdo al método matemático empleado (Tabla 5). El tiempo de concentración promedio corresponde a 25.35 minutos, sin embargo, se opta principalmente por el método de Kirpich puesto que es principalmente diseñado para suelos dedicados al cultivo y además el más utilizado en Colombia (Núñez, s.f).

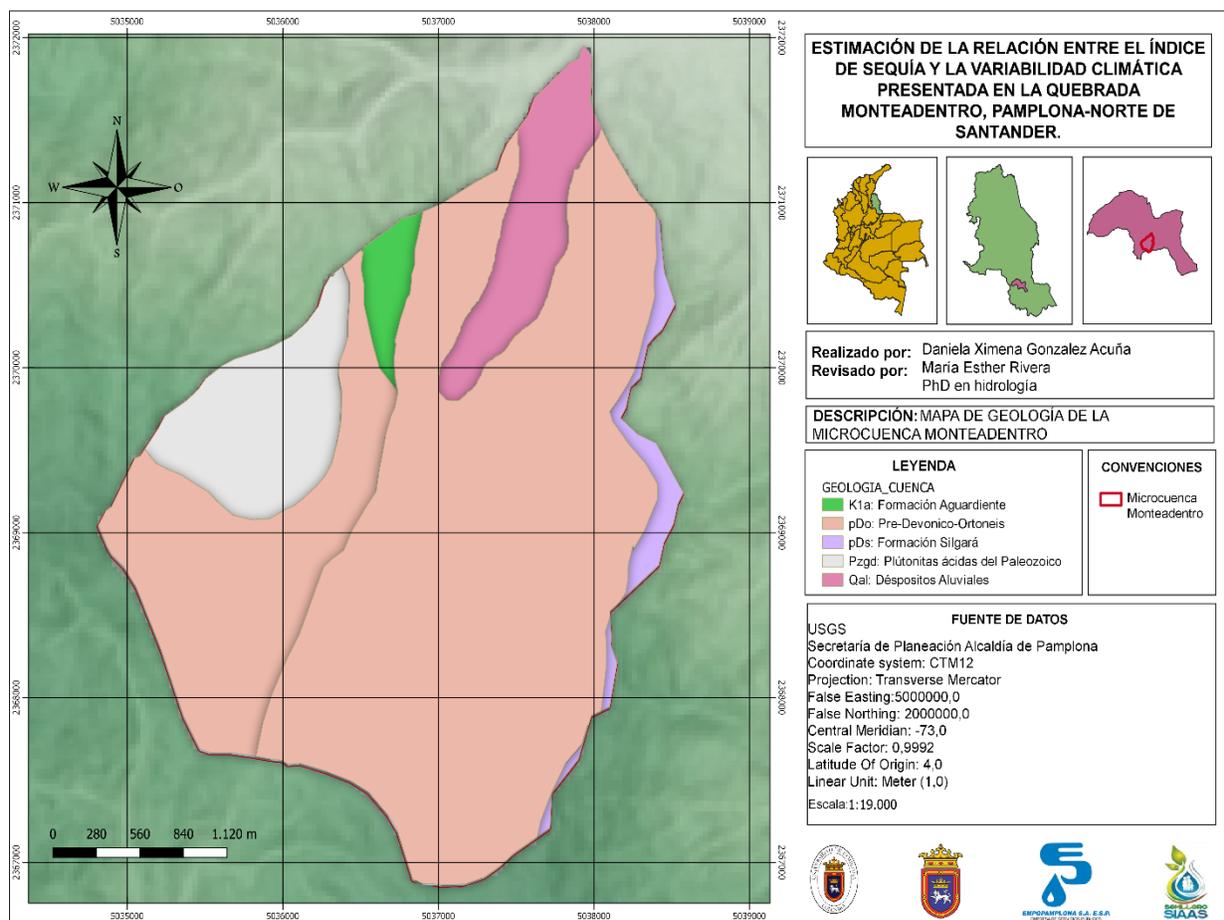
Tabla 5

Tiempos de concentración de la Quebrada Monte dentro

Tipo de Ecuación	Tiempo de Concentración	Unidades
Kirpich	28.50	Minutos
Bransby-Williams	22.14	Minutos
Promedio	25.35	Minutos

Fuente: Elaboración propia (2020)

Con respecto a las formaciones geológicas en la zona de estudio (figura 8). Se encontraron 5 que de acuerdo a Ward *et al* (1973) citado por CORPONOR (2018) la formación Aguardiente (K1a); se constituye por areniscas de cuarzo grises a frises claras, de grano fino, medio y grueso, glauconíticas con estratificación cruzada e intercalaciones delgadas de lodolitas grises a negras, carbonosas micáceas. Así mismo, Nolasco (2017), describe las formaciones Ortoneis (pDo) y Silgará (pDs) dentro de la época denominada Pre-Devónico, donde pDo presenta una litología Neis cuarzo Monzonítico y granodiorítico y pDs, una litología Filita, esquistos y cuarcitas. De igual manera, refiere los depósitos aluviales (Qal), como cantos guijos y guijarros redondeados polimícticos en matriz arenolodosa.

Figura 8*Mapa de Geología de la Microcuenca Monteadentro*

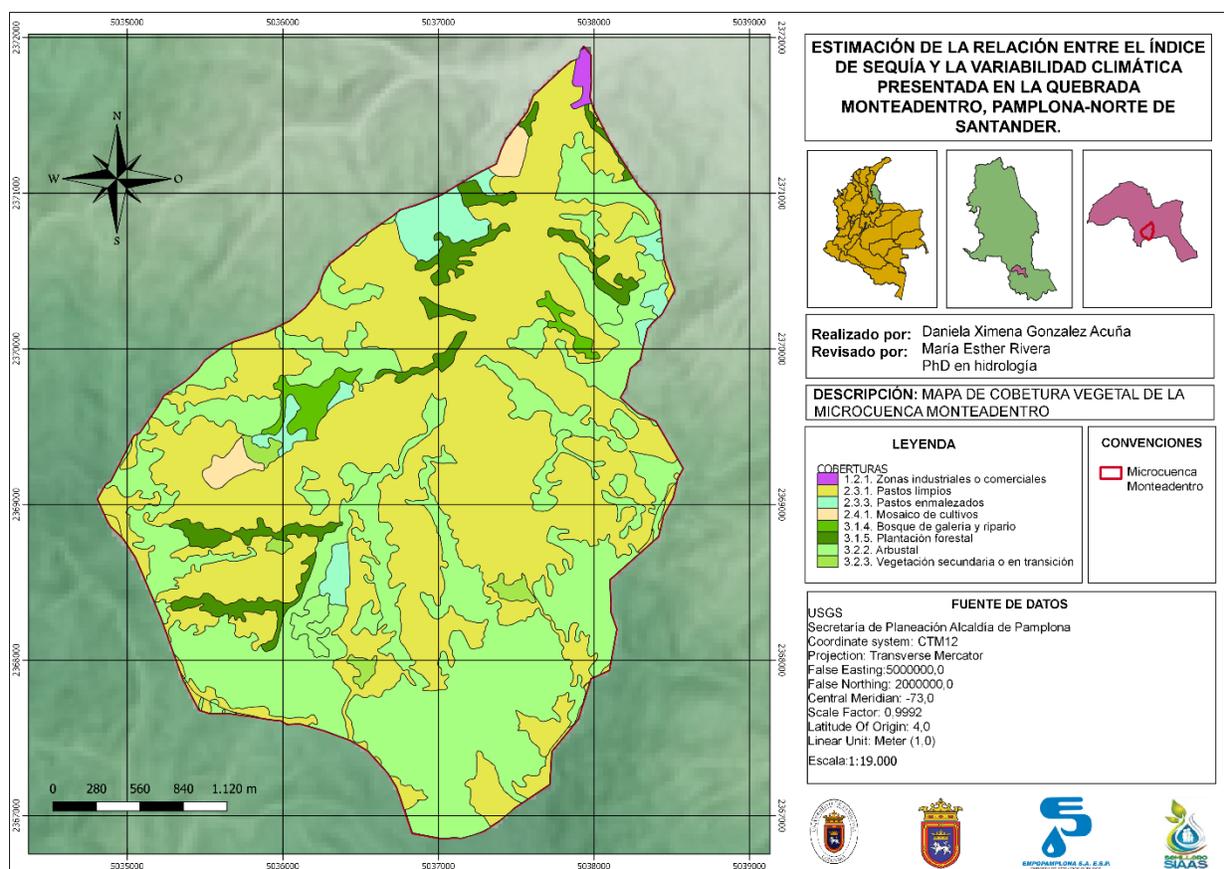
Fuente: González, D. (2020) mediante software libre QGis versión 3.10.10, a partir de información contenida en el PBOT (2015)

En la figura 9, se muestran los tipos de cobertura vegetal para la microcuenca Monteadentro, los cuales son: zonas industriales o comerciales en la parte baja de la quebrada (desembocadura), áreas que conforman pastos limpios y enmalezados, mosaico de cultivos, bosque de galería y ripario, plantación forestal, arbustal y vegetación secundaria o en transición y de acuerdo con García *et al.*, (2013), el déficit hídrico es un factor que puede afectar

enormemente la vegetación, principalmente en la fase de crecimiento, por lo cual el IGAC (2015), señala dos estrategias a emplear para la conservación de los suelos en épocas de esta sequía como son: conservar las coberturas vegetales y el alto porcentaje de materia orgánica, puesto que son factores resilientes frente a este fenómeno.

Figura 9

Mapa de Cobertura Vegetal de la Microcuenca Monteadentro



Fuente: González, D. (2020) mediante software libre QGis versión 3.10.10 a partir de información contenida en el PBOT (2015)

Factores naturales y/o antrópicos que inciden en el comportamiento del nivel del agua de la zona de estudio

De las salidas de campo se observó que en la microcuenca Monte dentro existen factores de origen natural y antrópico que desencadenan una serie de efectos que pueden alterar el comportamiento de la fuente hídrica (Tabla 6). Ongley (s.f), relaciona la sobreexplotación con la descarga de residuos agroquímicos que alteran las condiciones físicas y químicas del suelo causando problemáticas de erosión, salinización y anegamiento de terrenos de regadío. En la vereda Monte dentro se observó la práctica extensiva de agricultura, donde los principales efectos sobre la fuente son la contaminación directa por fertilizantes, pesticidas y además el aumento de la demanda de agua, que a su vez reduce la capacidad de almacenamiento de agua y por ende el descenso de niveles y caudales de la Quebrada.

Tabla 6

Factores Antrópicos y Naturales Observados y su Incidencia en el Comportamiento de la Quebrada Monte dentro

Origen	Actividades	Efectos
Antrópicos	Sobre explotación agrícola	Erosión del suelo y contaminación por residuos agroquímicos
	Riego excesivo	Degradación del ecosistema, escasez de agua y exceso de humedad en el suelo

Origen	Actividades	Efectos
	Daños en las tuberías	Desperdicio de agua
	Construcción de captaciones improvisada	Desvío del cauce y disminución de niveles y caudales
	Tala de árboles	Erosión y desestabilización de las capas impermeables acumuladas en el suelo
Naturales	Variaciones estacionales	temperaturas altas, ausencia de lluvia y baja humedad en el ambiente
	Lluvias de alta intensidad	Aumento de niveles y caudales

Fuente: González, D. (2020)

En la figura 10 se muestra el estado de algunas mangueras de aproximadamente 2 pulgadas, que extraen el agua de la Quebrada para el abastecimiento de predios de la vereda, lo cual son fugas que generan pérdidas del recurso, así mismo se observó a lo largo del curso de agua, la construcción improvisada de captaciones (figura 11) también con fines de abastecimiento, principalmente para la producción agrícola. Estas acciones influyen directamente en la disminución de los caudales que se presentan actualmente en la Quebrada lo cual se convierte en una problemática para la empresa prestadora del servicio de agua potable EMPOPAMPLONA S.A.E.S.P debido a que la cantidad necesaria para el abastecimiento del municipio de Pamplona es insuficiente. Así mismo, se observó otro tipo de actividades como la

tala de árboles (figura 12) que de acuerdo con Jara (2015), este tipo de prácticas conlleva a eventos de inundaciones o sequías a partir de la alteración de las características físicas y químicas que produce este tipo de actividad, dando lugar procesos de erosión y desestabilización de las capas impermeables acumuladas en el suelo.

Figura 10

Estado de las Mangueras de Captación de la Quebrada Monteadentro



Fuente: Gonzalez, D. (2020)

Figura 11

Captaciones Improvisadas a lo Largo de la Quebrada Monteadentro



Fuente: Gonzalez, D. (2020)

Figura 12

Tala de árboles alrededor en la Vereda Monteadentro



Fuente: González, D. (2020)

Así mismo, es necesario resaltar condiciones alusivas a períodos largos de lluvia y/o de sequía que inciden en el incremento de niveles y caudales de la Quebrada, siendo esta última la encargada de aumentar los niveles de vapor de agua y haciendo menos predecible la disponibilidad de agua, lo cual genera efectos negativos, principalmente para la comunidad puesto que sus actividades económicas y productivas dependen a gran escala de disponibilidad de agua existen. De acuerdo a lo anterior y la encuesta (anexo B) aplicada a los habitantes de la vereda Monteadentro se obtuvo que alrededor del 56% de las viviendas están conformadas por 1 a 3 habitantes como se muestra en la tabla 7, figura 13. Además, en la tabla 8, figura 14, se representa el uso al cual se destina el recurso hídrico, indicando que aproximadamente el 76% del agua se destina a labores domésticas y actividades agropecuarias, distribuidas así: 5 viviendas para uso doméstico y 9 entre uso doméstico y agropecuario. Según Gómez (2018), en informes de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), se considera que la principal causa de escasez de agua está ampliamente relacionada con los cultivos en el campo, ya que alrededor del 70% de las extracciones del recurso hídrico es

representado por este tipo de actividad. Lo anterior, indica que una posible causa del descenso de niveles y caudales evidenciado en la quebrada Monteadentro podría estar ligada a las actividades de agricultura que se realizan en los diferentes predios.

Tabla 7

Habitantes por Vivienda de la Vereda

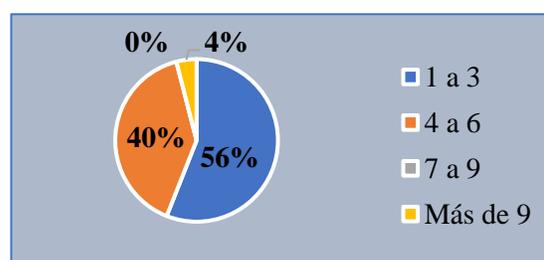
Monteadentro

Opción	Cantidad	Porcentaje
1 a 3	14	56%
4 a 6	10	40%
7 a 9	0	0%
Más de 9	1	4%

Figura 13

Habitantes por Vivienda en la Vereda

Monteadentro



Fuente: González, D. (2020)

Tabla 8

Usos Específicos del Agua

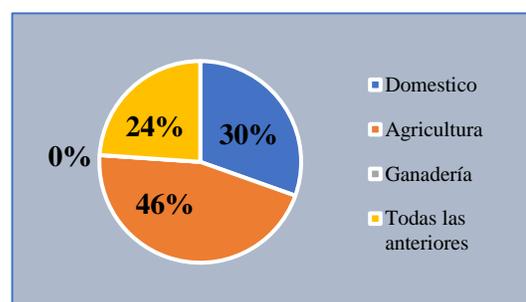
en la Vereda Monteadentro

Opción	Cantidad	Porcentaje
Domestico	14	30%
Agricultura	9	46%
Ganadería	0	0%
Todas las anteriores	11	24%

Figura 14

Usos Específicos del Agua en la Vereda

Monteadentro



Fuente: Gonzalez, D. (2020)

Los resultados obtenidos con respecto a los cultivos que se producen en la zona estudio se muestran en la tabla 9, figura 15. Sin embargo, durante el período de estudio solo se observó cultivos de papa, fresa (figura 16), apio, alverja (figura 17), tomate de árbol, ajo y zanahoria (figura 18). Según la FAO (2018), los cultivos de papa demandan aproximadamente de 500 a 700 mm de agua durante los días 120 a 150 de desarrollo, de lo contrario la producción disminuye, por lo tanto; al existir meses de bajas precipitaciones en la zona de estudio, el contenido de humedad del suelo es relativamente bajo lo que consecuentemente predispone a los habitantes a la extracción indiscriminada del agua de la Quebrada Monteadentro.

Tabla 9

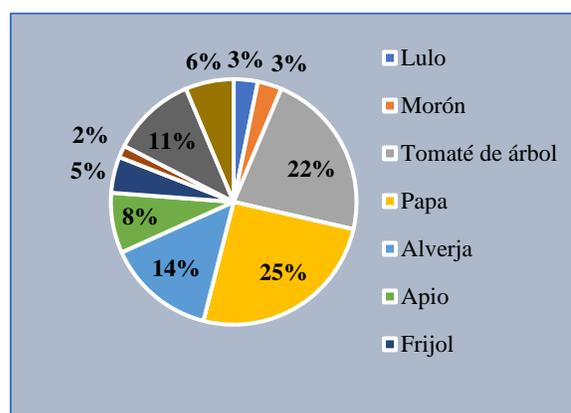
Tipo de Cultivos en la Vereda

Monte adentro

Opción	Cantidad	Porcentaje
Lulo	2	3%
Morón	2	3%
Tomate de árbol	14	22%
Papa	16	25%
Alverja	9	14%
Apio	5	8%
Frijol	3	5%
Todos los anteriores	1	2%
Otros	7	11%
No posee	4	6%

Figura 15

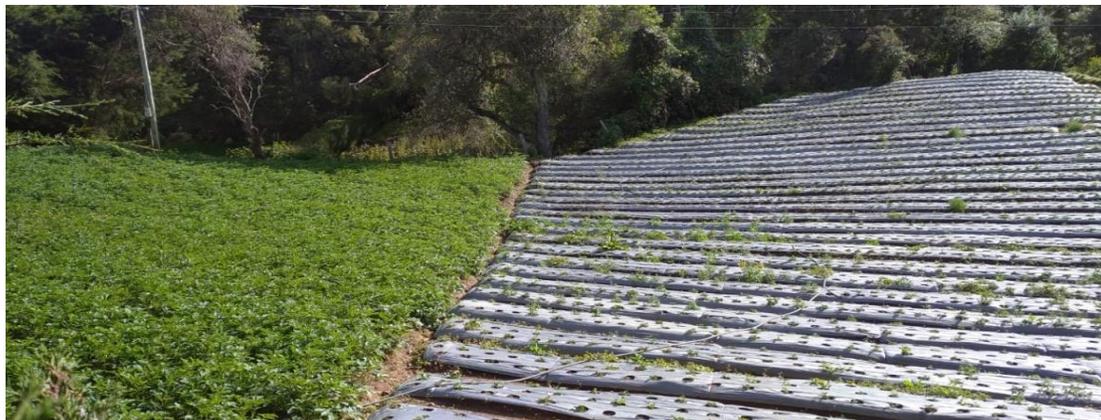
Tipo de Cultivos en la Vereda Monte adentro



Fuente: González, D. (2020)

Figura 16

Cultivos de Papa y Fresa de la Vereda Monteadentro



Fuente: González, D. (2020)

Figura 17

Cultivos de Apio y Alverja de la Vereda Monteadentro



Fuente: González, D. (2020)

Figura 18

Cultivos de Ajo y Tómate de Árbol de la Vereda Monteadentro



Fuente: González, D. (2020)

El 100% de los habitantes encuestados respondieron que el tipo de capacitación que utilizan es superficial (Tabla 10, figura 19). Así mismo, la tabla 11, figura 20 representa el sistema de acumulación que utilizan, donde el 38% posee sistema de acumulación por reservorio y estanque, distribuido así: 5 viviendas poseen reservorio y 1 posee reservorio y estanque. Lo cual indica que 62% restante no posee estos sistemas que sirven para mitigar problemáticas de sequía.

Figura 19

Sistema de Captación de Agua en la Vereda Monteadentro

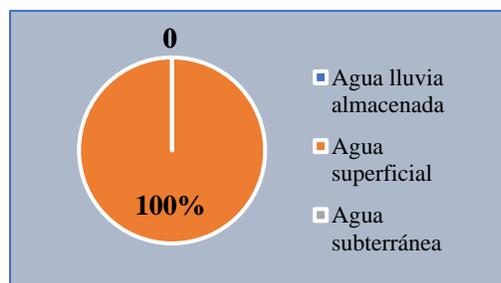


Tabla 10

Sistema de Captación de Agua en la Vereda Monteadentro

Opción	Cantidad	Porcentaje
Agua lluvia almacenada	0	0
Agua superficial	25	100%
Agua subterránea	0	0

Fuente: González, D. (2020)

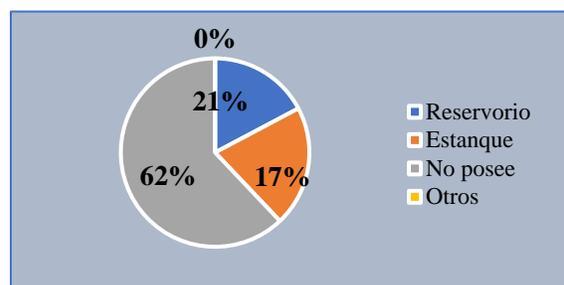
Tabla 11

Sistema de Acumulación de Agua en la Vereda Monteadentro

Opción	Cantidad	Porcentaje
Reservorio	6	21%
Estanque	5	17%
No posee	18	62%
Otros	0	0%

Figura 20

Sistema de Acumulación de Agua en la Vereda Monteadentro



Fuente: González D. (2020)

El 80% de la población consideró que las condiciones climatológicas sí repercuten en las diferentes actividades que se realizan a diario, especialmente las de tipo agrícola (tabla 12, figura 21), alrededor del 68% opinó que el fenómeno más pronunciado en el actual año ha sido las sequías (Tabla 13, figura 22), y el 73% coinciden que cualquier evento climatológico sea creciente o sequía generan problemáticas en la región (Tabla 14, figura 23).

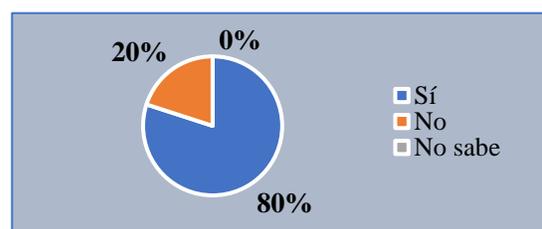
Tabla 12

Afectación de las Condiciones Climáticas en las Actividades de la Vereda Monteadentro

Opción	Cantidad	Porcentaje
Sí	20	80%
No	5	20%
No sabe	0	0%

Figura 21

Afectación de las Condiciones Climáticas en las Actividades de la Vereda



Fuente: González, D. (2020)

Figura 22

Eventos Climatológicos Evidenciados en el Último Año

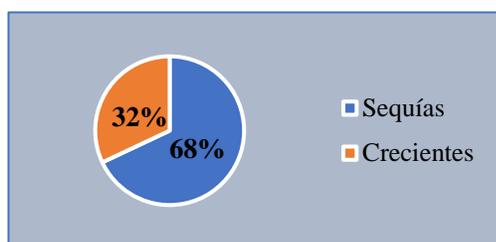


Tabla 13

Eventos Climatológicos Evidenciados en el Último Año

Opción	Cantidad	Porcentaje
Sequías	17	68%
Crecientes	8	32%

Fuente: González, D. (2020)

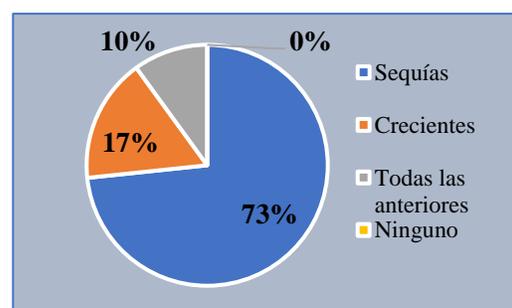
Tabla 14

Eventos Climatológico con Mayor Repercusión en la Vereda Monteadentro

Opción	Cantidad	Porcentaje
Sequías	22	73%
Crecientes	5	17%
Todas las anteriores	3	10%
Ninguno	0	0%

Figura 23

Eventos Climatológicos con Mayor Repercusión en la Vereda Monteadentro



Fuente: González, D. (2020)

Referente a la pregunta si considera que el cambio climático supone altas temperaturas el 76% respondió que sí (tabla 15, figura 24), así mismo, el 64% de los encuestados conocen la

definición de variabilidad climática (tabla 16, figura 25) y el 60% reconoce los cambios que se generan en el planeta a partir de estos estos fenómenos (tabla 17, figura 26), lo cual es un indicador de la sensibilización y concienciación ambiental por parte de la comunidad de la vereda.

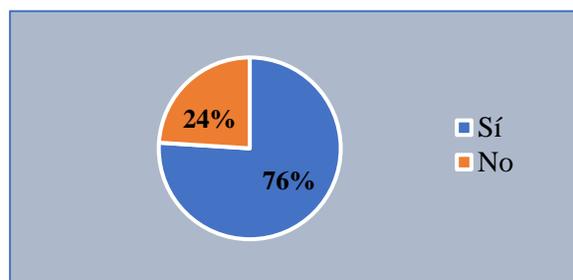
Tabla 15

Consideración de los Habitantes sobre las Temperaturas Vs Cambio Climático

Opción	Cantidad	Porcentaje
Sí	19	76%
No	6	24%

Figura 24

Consideración de los Habitantes sobre las Temperaturas Vs Cambio Climático



Fuente: González, D. (2020)

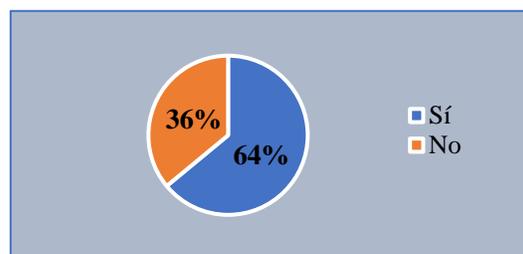
Tabla 16

Definición de Variabilidad Climática y sus Consecuencias

Opción	Cantidad	Porcentaje
Sí	16	64%
No	9	36%

Figura 25

Definición de Variabilidad Climática y sus Consecuencias



Fuente: González, D. (2020)

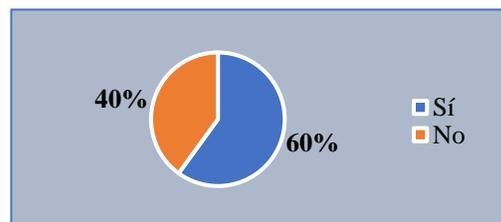
Tabla 17

*Consideración sobre Cambios en la Vereda
Monte dentro a Partir de la Variabilidad
Climática*

Opción	Cantidad	Porcentaje
Sí	15	60%
No	10	40%

Figura 26

*Consideración sobre Cambios en la Vereda
Monte dentro a Partir de la Variabilidad
Climática*

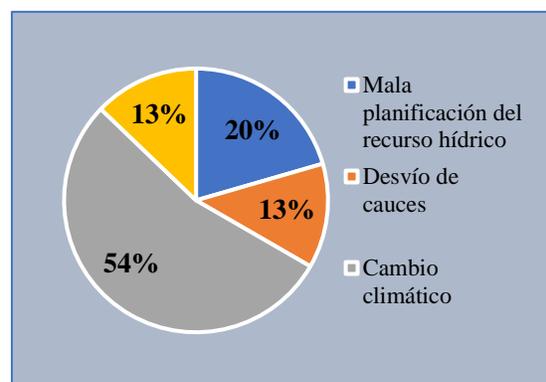


Fuente: González, D. (2020)

Con respecto a la tabla 18, figura 27, se conoció la opinión de los habitantes frente a posible causa de la presencia de sequías en la zona de estudio. El 33% se distribuye de la siguiente manera: 4 encuestados respondieron que es la mala planificación del recurso hídrico, 8 consideran que la mala planificación y el cambio climático influyen y el 67% restante opinaron que se debe al cambio climático y otros factores degradantes del ecosistema como la deforestación.

Tabla 18*Origen de las Sequías*

Opción	Cantidad	Porcentaje
Mala planificación del recurso hídrico	8	20%
Desvío de cauces	5	13%
Cambio climático	21	54%
Otros	5	13%

Figura 27*Origen de las Sequías*

Fuente: González, D. (2020)

Por último, se evidenció que a pesar de la disminución de los caudales de la Quebrada Monte dentro, el 60% de los hogares no ha presentado inconvenientes para satisfacer las necesidades básicas (ducharse, lavar, cocinar) (tabla 19, figura 28). No obstante, se obtuvo que el 20% de los habitantes encuestados, han tenido pérdidas de cultivos, argumentando principalmente la pérdida de: fresa (pérdida del 50% del total del cultivo), zanahoria (pérdida 70% del total del cultivo) y papa (pérdida 60% del total del cultivo) (Tabla 20, figura 29).

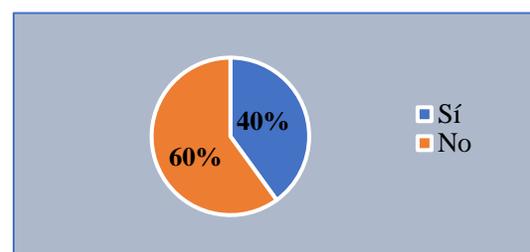
Tabla 19

Inconvenientes a Raíz de la Sequía en el año 2020

Opción	Cantidad	Porcentaje
Sí	10	40%
No	15	60%

Figura 28

Inconvenientes a Raíz de la Sequía en el año 2020



Fuente: González, D. (2020)

Tabla 20

Perdidas de Cultivos en la Vereda

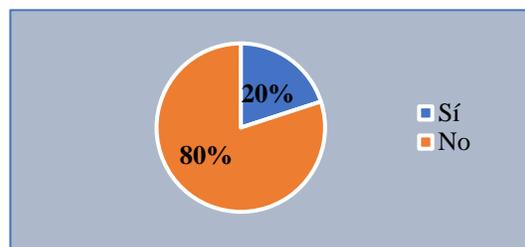
Monte dentro

Opción	Cantidad	Porcentaje
Sí	5	20%
No	20	80%

Figura 29

Perdidas de Cultivos en la Vereda

Monte dentro



Fuente: González, D. (2020)

Evaluación del comportamiento hidrológico de la fuente hídrica en estudio.

En las tablas 21, 22 se muestra la categorización hidrológica del suelo, el número de curva y el umbral de esorrentía de la microcuenca Monte dentro a partir de condiciones referentes a cobertura vegetal (figura 8), donde se obtuvo suelos de mayor permeabilidad (Grupo A), de permeabilidad moderada (Grupo B) y de poca permeabilidad (Grupo C) lo cual, de acuerdo con Villegas (2017), los suelos que pertenecen al grupo A representan un potencial de escurrimiento mínimo. Así mismo, el proceso de infiltración se divide en tres partes: A y B corresponden a rápido a moderado, y el grupo C bueno a moderado e imperfecto.

Tabla 21

Clasificación de Suelos y Número de Curva para la Microcuenca Monte dentro

Grupo Hidrológico	Tipo de Cobertura	Área	Número de Curva	Total
A	Pastos limpios	0.278049	68	18.907332
	Arbustal	0.975053	48	46.802544
	Vegetación en transición	0.001536	48	0.073728
B	Vegetación secundaria o en transición	0.090669	74	6.709506
	Arbustal	2.932322	77	225.788794
	Plantación forestal	0.330018	66	21.781188
	Bosque de galería y ripario	0.145353	66	9.593298
	Mosaico de cultivos	0.080765	73	5.895845
	Pastos enmalezados	0.25145	79	19.86455
	Pastos limpios	4.501419	79	355.612101
C	Tejido urbano discontinuo	0.000049	82	0.004018

Grupo Hidrológico	Tipo de Cobertura	Área	Número de Curva	Total
	Zonas industriales o comerciales	0.031842	82	2.611044
	Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	0.000177	86	0.015222
	Pastos limpios	0.003394	86	0.291884
	Pastos enmalezados	0.083055	86	7.14273
	Mosaico de cultivos	0.023505	82	1.92741
	Plantación forestal	0.078938	77	6.078226
	Arbustal	0.100795	77	7.761215
Promedio Número de Curva				41

Fuente: Elaboración propia (2020) a partir de información contenida en el anexo A.

Tabla 22

Umbral de Escorrentía (Po) para la Microcuenca Monteadentro

Grupo Hidrológico	Tipo de Cobertura	Área	Umbral de escorrentía (Po)	Total
A	Pastos limpios	0.278049	70	19.46343
	Arbustal	0.975053	76	74.104028
	Vegetación en transición	0.001536	60	0.09216
B	Vegetación secundaria o en transición	0.090669	24	2.176056
	Arbustal	2.932322	34	99.698948
	Plantación forestal	0.330018	34	11.220612
	Bosque de galería y ripario	0.145353	47	6.831591
	Mosaico de cultivos	0.080765	20	1.6153
	Pastos enmalezados	0.25145	14	3.5203
	Pastos limpios	4.501419	33	148.546827
C	Tejido urbano discontinuo	0.000049	8	0.000392
	Zonas industriales o comerciales	0.031842	3	0.095526
	Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	0.000177	1	0.000177

Grupo Hidrológico	Tipo de Cobertura	Área	Umbral de escorrentía (Po)	Total
	Pastos limpios	0.003394	18	0.061092
	Pastos enmalezados	0.083055	8	0.66444
	Mosaico de cultivos	0.023505	12	0.28206
	Plantación forestal	0.078938	19	1.499822
	Arbustal	0.100795	22	2.21749
Promedio Umbral de Escorrentía Po				21

Fuente: González, D. (2020)

Para el método de pérdidas por constante inicial, se obtuvo una precipitación neta (P_n) de 110,42 mm de la precipitación total cuyo valor fue 197,22 mm. Así mismo, con un infiltrometro de doble anillo (figura 30) y aplicando el método de Kostiakov, (tabla 23) se determinó las pérdidas por infiltración de alrededor de 70.40 mm/h (Figura 31, ecuación 13).

Figura 30

Medición de Lámina de infiltración-Infiltrometro de Doble Anillo



Fuente: González, D. (2020)

Tabla 23

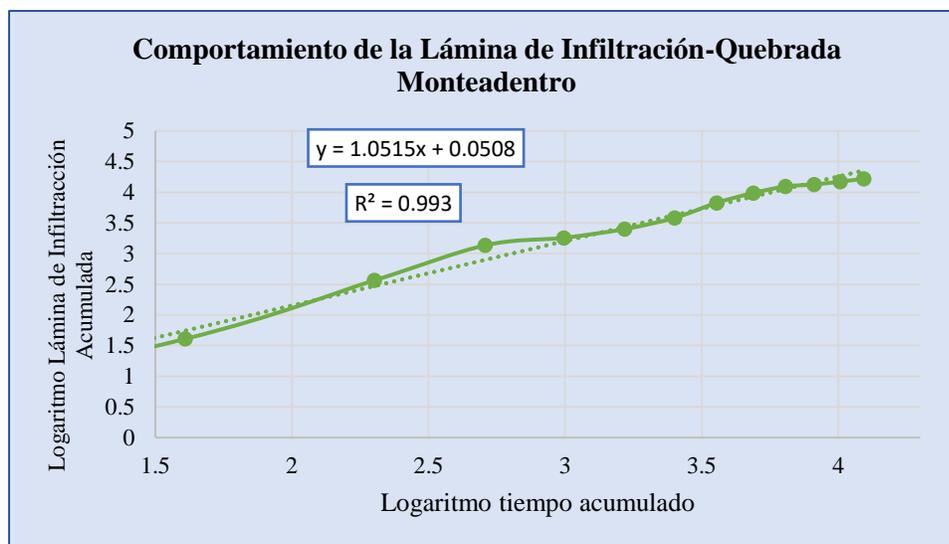
Determinación de Capacidad de Infiltración de la Quebrada Monteadentro-Método de Kostiakov (1932)

Lectura N°	Tiempo parcial		Tiempo acumulado	Logaritmo tiempo acumulado	Lectura	Enrase	Laminas Parciales	Laminas acumuladas	Lamina acumulada	Log de lámina de infiltración acumulada
	Hora	Minutos	Minutos		Cm	Cm	Cm	Cm	Mm	(mm)
1	12:00	0	0	0	10 cm =10Lts		-	0	0	0
2	12:05	5	5	1.60943791	9.5		0.5	0.5	5	1.609437912
3	12:10	5	10	2.30258509	9.2		0.8	1.3	13	2.564949357
4	12:15	5	15	2.7080502	9	10 cm	1	2.3	23	3.135494216
	12:20	5	20	2.99573227	9.7		0.3	2.6	26	3.258096538
5	12:25	5	25	3.21887582	9.6		0.4	3	30	3.401197382
6	12:30	5	30	3.40119738	9.4	10 cm	0.6	3.6	36	3.583518938
	12:35	5	35	3.55534806	9		1	4.6	46	3.828641396
8	12:40	5	40	3.68887945	9.2		0.8	5.4	54	3.988984047
9	12:45	5	45	3.80666249	9.4	10 cm	0.6	6	60	4.094344562
	12:50	5	50	3.91202301	9.8		0.2	6.2	62	4.127134385
11	12:55	5	55	4.00733319	9.7		0.3	6.5	65	4.17438727
12	13:00	5	60	4.09434456	9.7		0.3	6.8	68	4.219507705

Fuente: González, D. (2020)

Figura 31

Comportamiento de la Lámina de Infiltración en la Quebrada Monteadentro



Fuente: González, D. (2020)

En la tabla 24 se presentan los valores obtenidos a partir de la figura 31, los cuales fueron reemplazados en la ecuación 11 para determinar la capacidad de infiltración en la Quebrada Monteadentro teniendo como referencia un tiempo de 60 minutos (ecuación 13). Por otra parte, la figura 32 muestra las curvas IDF realizadas a partir de los datos de precipitación del período 1985 a 2020 descargados de la plataforma Global Climate Monitor, para períodos de retorno de 5, 10, 15, 20 y 25 años. En la figura 33 se muestra el hietograma de precipitaciones teniendo como referencia el período de retorno de 25 años.

Tabla 24

Valores a Reemplazar en la Ecuación Kostiakov (1932)

Ecuación Kostiakov	
Log(nc)	-0.0508
(n-1)	1.0515
n	2.0515
nc	0.9504
c	0.4633

$$F = 0.9504 * t^{(2.0515-1)}$$

Ecuación 13

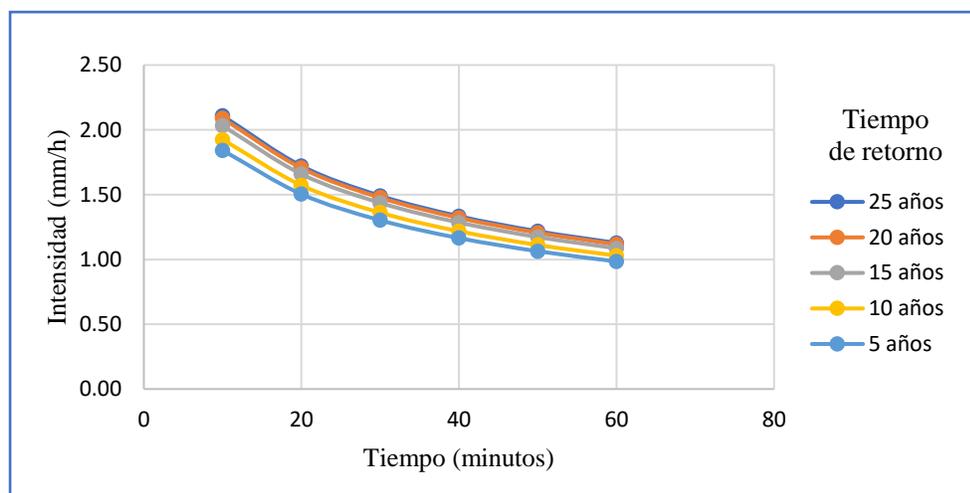
Reemplazando un tiempo de 60 minutos (1 hora):

$$F = 70.40 \text{ mm/hora}$$

Fuente: González, D. (2020)

Figura 32

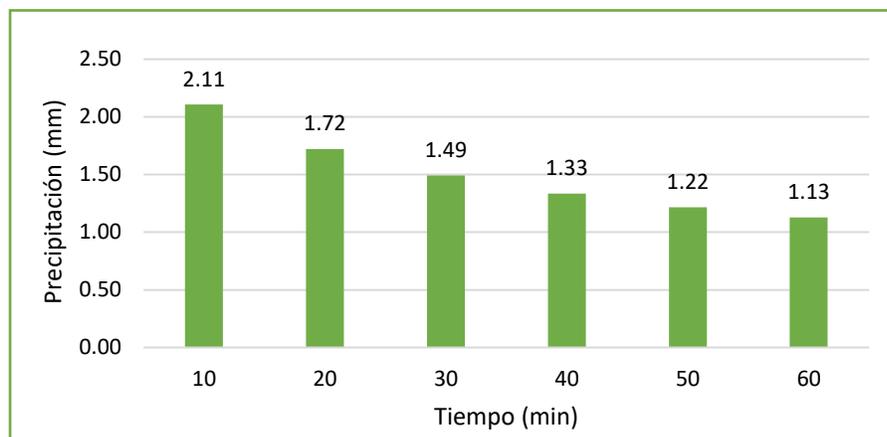
Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia para Períodos de retorno de 5, 10, 15, 20 y 25



Fuente: González, D. (2020) a partir de información obtenida de Climate Global Monitor

Figura 33

Hietograma de Diseño-Quebrada Monteadentro

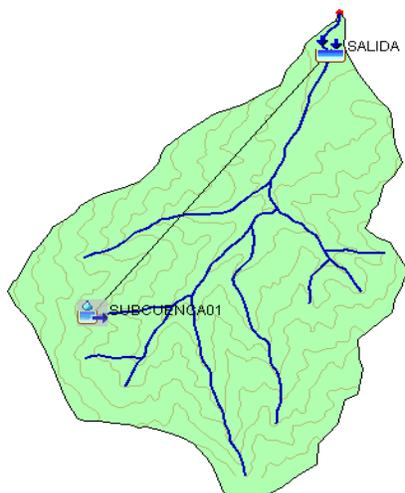


Fuente: González, D. (2020) a partir de información obtenida de Global Climate Monitor

En la figura 34 se muestra la conceptualización del modelo confeccionado en el software HEC-HMS versión 4.3, el cual contiene tres elementos como, la subcuenca, el tramo del cauce y punto de salida o desembocadura, conectados entre sí, aguas abajo

Figura 34

Esquema de los modelos confeccionados en el programa HEC-HMS 4.3-Quebrada Monteadentro

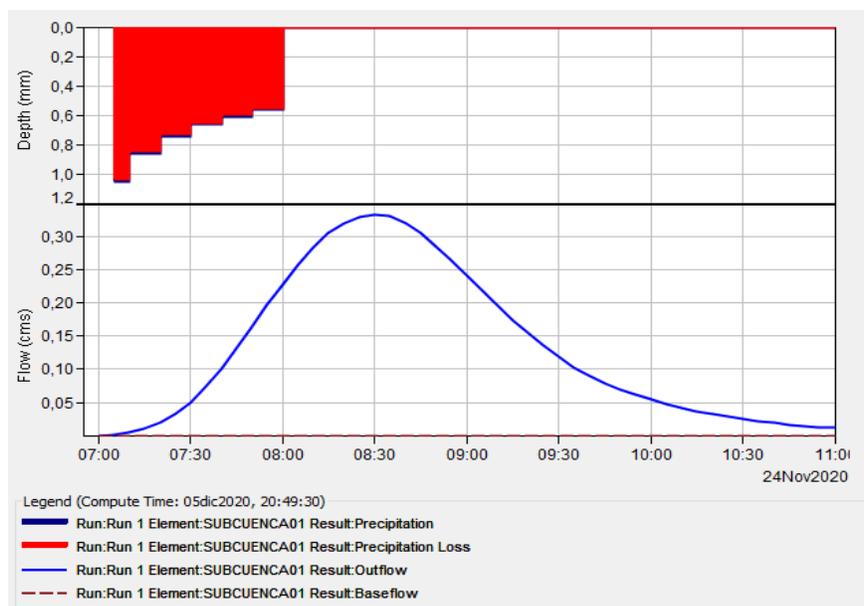


Fuente: González, D. (2020) a partir de la información procesada en el programa HEC-HMS

En la figura 35, se muestran el comportamiento de la precipitación con respecto al tiempo (hietograma) generado en el proceso de calibración. La estructura representa un comportamiento constante de perdidas por infiltración con respecto a la precipitación inicial (P_o). Así mismo, se muestra el hidrograma unitario curvilíneo, que indicó un caudal pico de $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$ para una duración del evento de precipitación de 3 horas (Tabla 25). Se obtuvo que alrededor del 56% genera escorrentía directa, y el 35.6 % es atribuida a perdidas por infiltración. De acuerdo a López, J. *et al.*, (2012), el número de curva (CN) es el parámetro más sensible afectando grandemente al valor de caudal que se simula, de igual forma, manifiesta que para las pérdidas iniciales (P_o), influye directamente en el volumen de escorrentía.

Figura 35

Hietograma e Hidrograma Representativos del Comportamiento Hidrológico de la Quebrada



Fuente: Gonzalez, D. (2020) a partir de la información procesada en el programa HEC-HMS

Tabla 25

Valores Característicos del Evento de Precipitación en la Quebrada Monte dentro

Parámetro	Valor	Unidades
Caudal pico	0.3	m/s
Volumen de precipitación	9	mm
Volumen perdido	8.82	mm
Exceso de volumen	0.18	mm
Volumen descargado	0.18	mm

Fuente: Gonzalez, D. (2020)

En la figura 36, 37, 38 se muestra el trazado de secciones en tres puntos estratégicos de quebrada Monte dentro (Parte alta, media y baja). Se observó que a medida que se acerca a la desembocadura las longitudes y profundidades aumentan. Para la parte alta, se obtuvo un ancho de 88 cm y profundidad máxima de 11 cm, en la parte media un ancho de 100 cm y una profundidad máxima de 14 cm y en la parte baja de la quebrada (antes de la captación) un ancho de 200 cm y una profundidad máxima de 16 cm. Dichas secciones

Figura 36

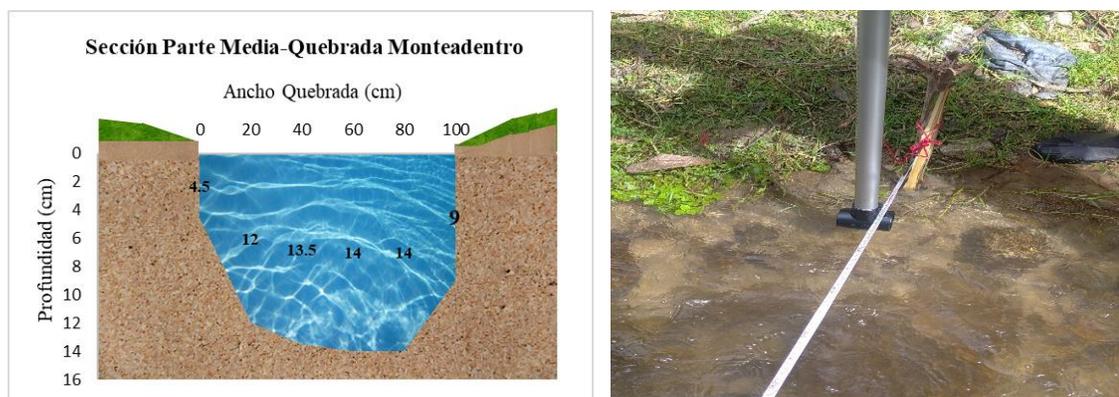
Trazado de la Sección en la Parte Alta de la Quebrada Monteadentro



Fuente: González, D. (2020)

Figura 37

Trazado de la Sección en la Parte Media de la Quebrada Monteadentro



Fuente: González, D. (2020)

Figura 38

Trazado de la Sección en la Parte Baja de la Quebrada Monte dentro



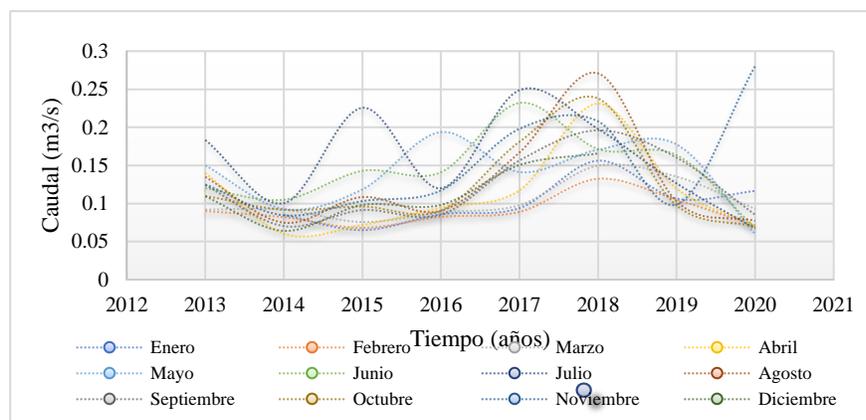
Fuente: González, D. (2020)

Por otra parte, a partir del método propuesto por Sandoval Erazo & Aguilera Ortiz (2014), se determinó el caudal medio, para los datos de precipitaciones del período en estudio, los resultados se presentan en la tabla 26. Así mismo, la figura 39, muestra los caudales obtenidos desde el año 2013 a 2020 junto a los obtenidos a partir de aforos realizados con un correntómetro de hélice, marca Global Water. Se puede observar que el caudal pico para la serie histórica se encuentra en el año 2020 correspondiente al mes de noviembre y que de acuerdo a la Organización Meteorológica Mundial (OMM) (2020), el último boletín sobre El Niño/La Niña de la OMM destaca la “alta probabilidad” (90 %) de que la temperatura de la superficie del océano Pacífico tropical se mantenga en los niveles propios de La Niña hasta finales de 2020, y tal vez hasta el primer trimestre de 2021 (55 % de probabilidad).

Tabla 26*Caudal Medio y Mínimo en la Quebrada Monteadentro*

Parımetro	Símbolo	Valor	Unidad
Precipitación anual promedio de la cuenca	Pprom	141.571481	mm
Modulo específico de escorrentía	Mo	0.0008754	(m ³ /s) /Km ²
Coefficiente de escorrentía	C	1.05	-
Caudal medio de la cuenca	Qo	0.05004955	m ³ /s
		50.0495461	Lt/s

Fuente: González, D. (2020) a partir del método Sandoval Erazo & Aguilera Ortiz (2014)

Figura 39*Caudales Presentados en la Quebrada Monteadentro / Período 2013-2020*

Fuente: Elaboración propia (2020) a partir de información suministrada por

Empopamplona E.S.A.E.S.P

Análisis de las variables meteorológicas que inciden en el índice de sequía.

EL pluviómetro se instaló en la parte baja de la microcuenca (figura 40) bajo las normas establecidas por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) donde se registró los datos cada 24 horas (tabla 27, figura 41) obteniendo de esta manera una precipitación acumulada para un período de aproximadamente un mes de 290.25 mm/día (figura 42). Además, se observó que en el mes de noviembre se produjo un aumento de lluvias lo cual se relaciona con lo publicado por Colprensa (2020) sobre los pronósticos informados por el IDEAM, en los que prevé lluvias con registros superiores hasta en un 60% más de los registrados hasta el 2010, igualmente Ruiz (2020), señala que en la cuenca centro oriental de pacifico las condiciones climáticas se asocian al fenómeno ENOS-La Niña y que dicho evento persistirá entre diciembre de 2020 y febrero de 2021.

Figura 40

Pluviómetro Digital instalado en la Parte Baja de la Microcuenca Monteadentro



Fuente: González, D. & Rivera, M.E. (2020)

Tabla 27*Precipitación Diaria y Acumulada Octubre/Noviembre de la Quebrada Monteadentro*

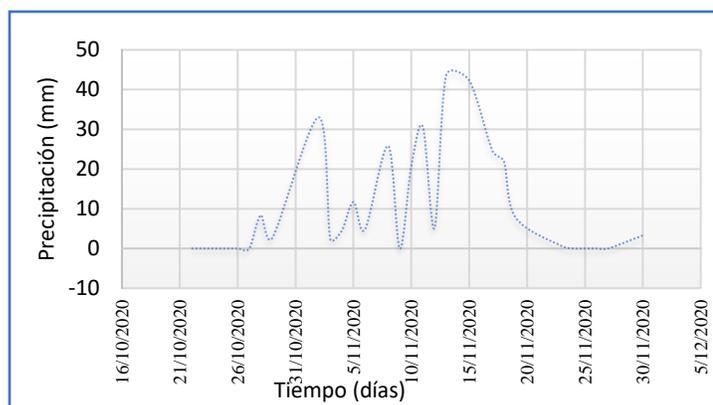
Fecha	Hora	Precipitación (mm)	
		Acumulada	Diaria
22/10/2020	9:00 AM	0	0
23/10/2020	9:00 AM	0	0
24/10/2020	9:00 AM	0	0
25/10/2020	9:00 AM	0	0
26/10/2020	9:00 AM	0	0
27/10/2020	3:00 PM	0	0
28/10/2020	3:00 PM	8.4	8.4
29/10/2020	3:00 PM	11.1	2.7
2/11/2020	3:00 PM	44.1	33
3/11/2020	3:00 PM	46.5	2.4
4/11/2020	3:00 PM	51	4.5
5/11/2020	3:00 PM	62.7	11.7
6/11/2020	3:00 PM	67.5	4.8
8/11/2020	3:00 PM	93.3	25.8
9/11/2020	3:00 PM	93.3	0
10/11/2020	3:00 PM	114	20.7
11/11/2020	3:00 PM	144.6	30.6
12/11/2020	4:00 PM	149.7	5.1
13/11/2020	1:00 PM	193.2	43.5
15/11/2020	3:00 PM	235.5	42.3
17/11/2020	3:00 PM	260.1	24.6
18/11/2020	3:00 PM	282	21.9
19/11/2020	3:00 PM	289.8	7.8
23/11/2020	3:00 PM	290.4	0.6
24/11/2020	3:00 PM	290.4	0
25/11/2020	3:00 PM	290.4	0
26/11/2020	3:00 PM	290.4	0

Fecha	Hora	Precipitación (mm)	
		Acumulada	Diaría
27/11/2020	3:00 PM	290.4	0
30/11/2020	3:00 PM	293.7	3.3

Fuente: González, D. & Rivera, M.E (2020)

Figura 41

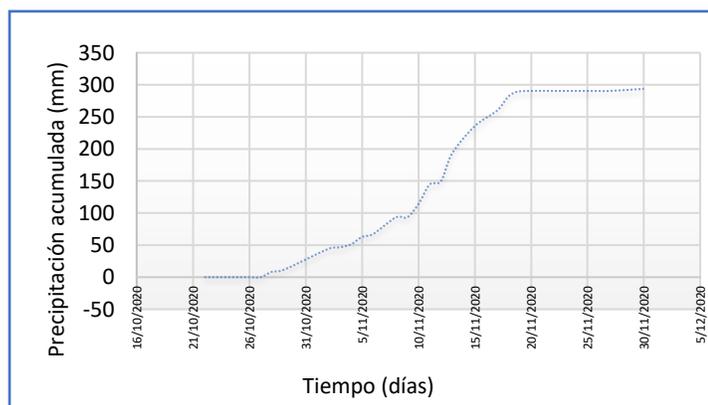
Precipitación Diaria en la Quebrada Monteadentro



Fuente: González, D. & Rivera, M.E. (2020)

Figura 42

Precipitación Acumulada en la Quebrada Monteadentro

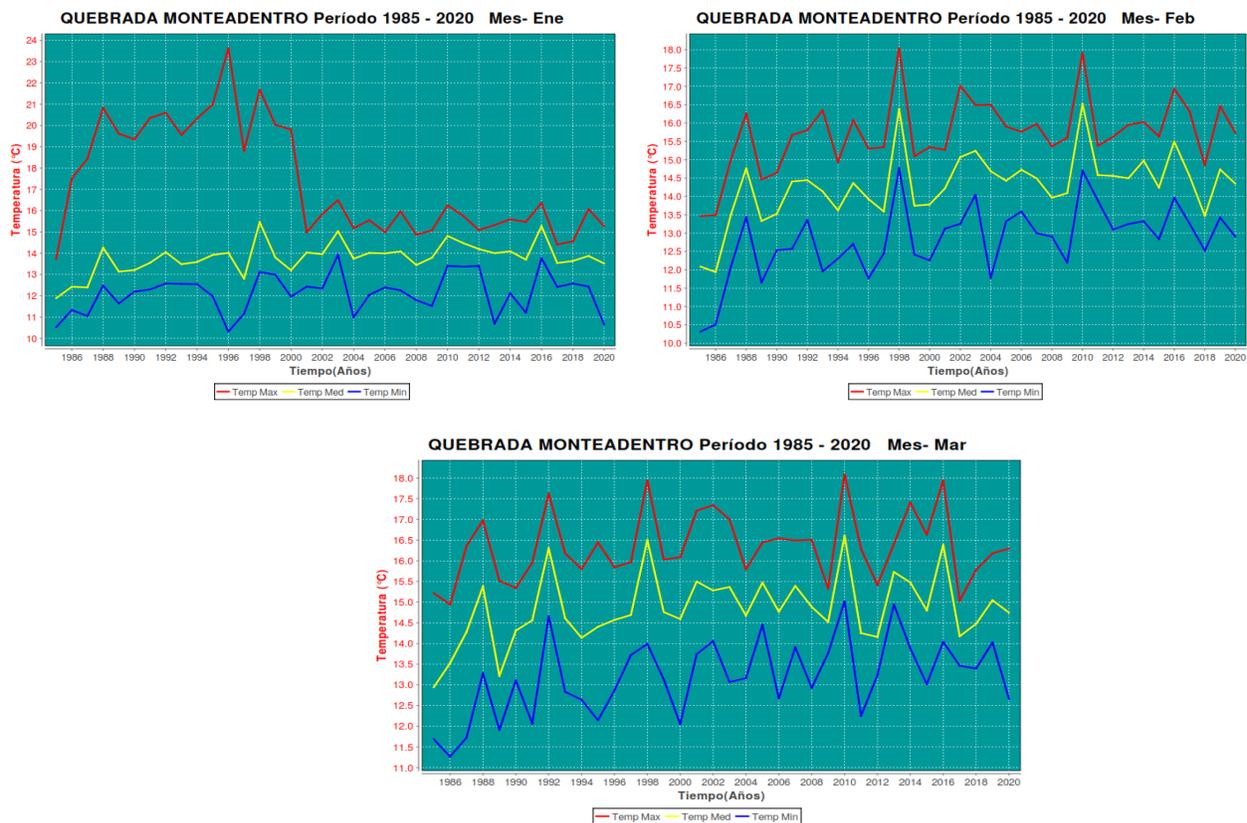


Fuente: González, D. & Rivera, M.E. (2020)

Por otra parte, para el mes de diciembre se estimó los datos faltantes a partir de un promedio de 5 años anteriores mediante el software Clic-MD. Así mismo, se obtuvo los gráficos de tendencia anual de las precipitaciones máximas, medias y mínimas en los cuales se observó que en los años 1996 a 1998 se presentaron las temperaturas más elevadas y cuyos meses corresponden principalmente al primer trimestre EFM (figura 45) y de acuerdo con la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres-Colombia (2016) estas temperaturas coinciden con el Fenómeno del Niño que se presentó en el período 1997-1998 y el evento tardío categorizado como moderado en el 2006-2007.

Figura 43

Temperatura Máxima, Media y Mínima Anual-Microcuenca Monteadentro



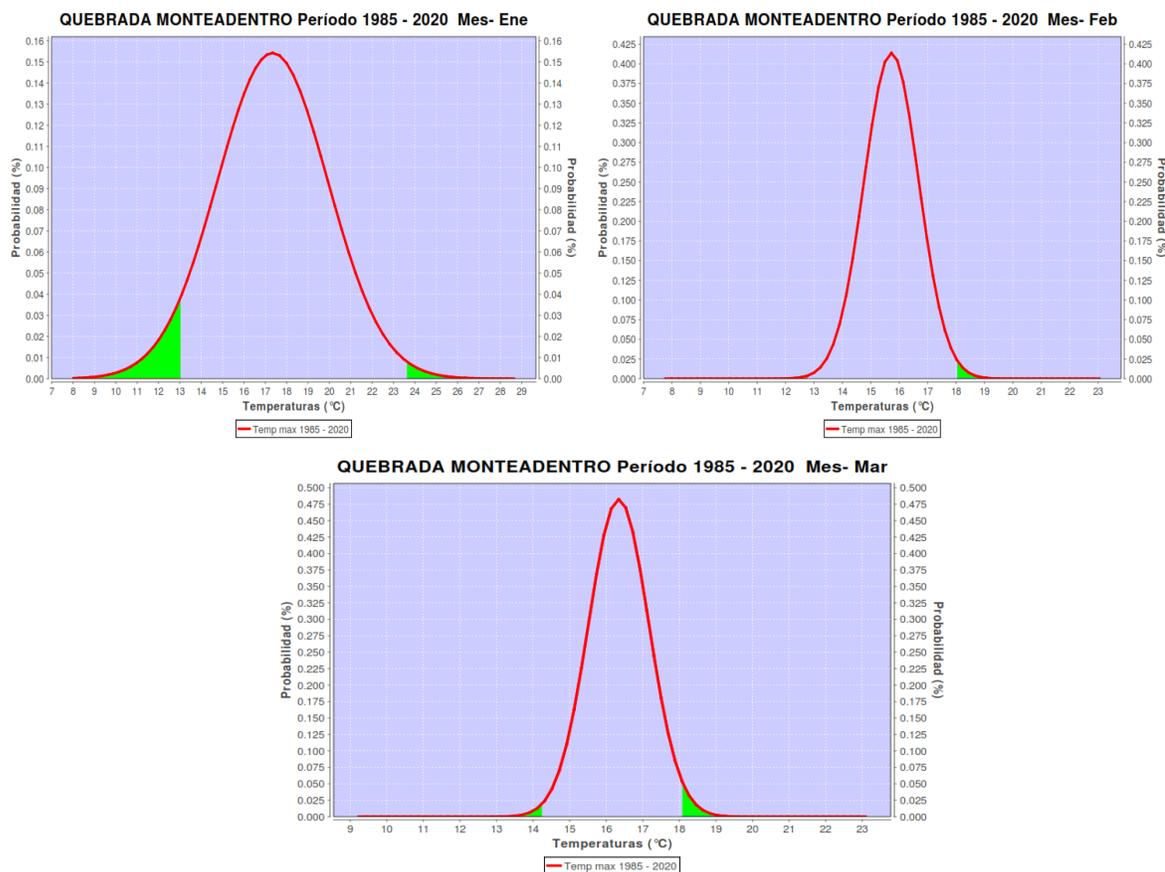
Fuente: González, D. (2020) mediante el software Clic-MD, a partir de información obtenida de

Meteoblue

De igual manera, se analizó la distribución normal para los meses anteriores de la serie multianual 1985-2020 y teniendo en cuenta a Cedeño (2013), para este registro de información se presentó una simetría respecto a la media. Además, se obtuvo una probabilidad de que el 3.5% de los años presentan temperaturas máximas en el intervalo de 9 a 13°C en el mes de enero, en el mes de febrero, una probabilidad de un 2.5% temperaturas mayores a 18°C y para el mes de marzo hay un 1.25% de temperaturas de 13 a 14°.

Figura 44

Distribución Normal de Temperaturas Máximas -Quebrada Montadentro

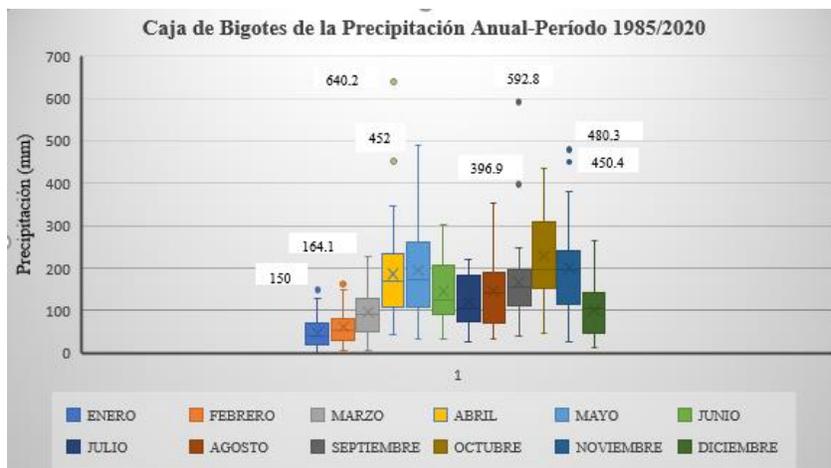


Fuente: González, D. (2020) mediante el software Clic-MD, a partir de información obtenida de Meteoblue

La figura 45 muestra el diagrama de cajas y bigotes de las series anuales de precipitación, donde se estima que los valores medios anuales están alrededor de 100 y 200 mm/año. Así mismo, se puede apreciar la asimetría de la distribución, así como los valores extremos o datos atípicos por encima de 400 mm/año, a lo cual Perea (s.f), considera que estos datos pueden ser producto de acontecimientos extraordinarios como errores de toma o de muestreo, también recalca, que puede tratarse de los denominados “Outliers verdaderos” donde pertenecen al objeto en estudio, pero difieren de los demás por la variabilidad inherente, además indica que, al no ser tratados consecuentemente, podría encontrarse distorsión en los resultados y/o afectar la normalidad.

Figura 45

Diagrama de Caja de Bigotes de las Series Anuales de Precipitación de la Quebrada Monteadentro

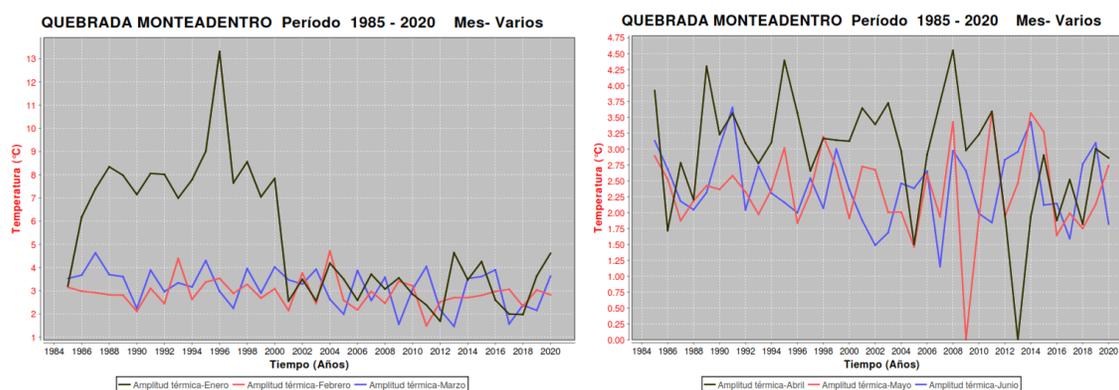


Fuente: González, D. (2020) a partir de información obtenida de Global Climate Monitor

Siguiendo las consideraciones mencionadas por García, E (s.f), las amplitudes térmicas (figura 46 y 47) se clasifican dentro de bajas y muy bajas. Por otro lado, el climograma obtenido permite identificar temperaturas que oscilan entre 10 y 20°C y sus líneas son más altas en los laterales que en el centro, con temperaturas máximas en enero y temperaturas mínimas alrededor de los meses junio y julio. Para las precipitaciones se observa que las mayores cantidades se dan alrededor del mes de octubre, con valores por encima de 30 mm lo cual es característico del denominado “clima oceánico”. Así mismo, las temperaturas de verano se clasifican como frescas ya que se encuentran por debajo de los 22°C y de invierno como suaves. Por otra parte, se observa que aparénteme no existe estiaje en relación de las dos variables y tampoco existencia de aridez pues las líneas de temperatura están por debajo de las barras de las precipitaciones (figura 48). De acuerdo a lo anterior y la clasificación del clima de Köppen-Geiger es Cb(m)(f)(i)g, es decir; es Oceánico templado (verano suave).

Figura 46

Amplitud Térmica período 1985-2020/Enero-Junio

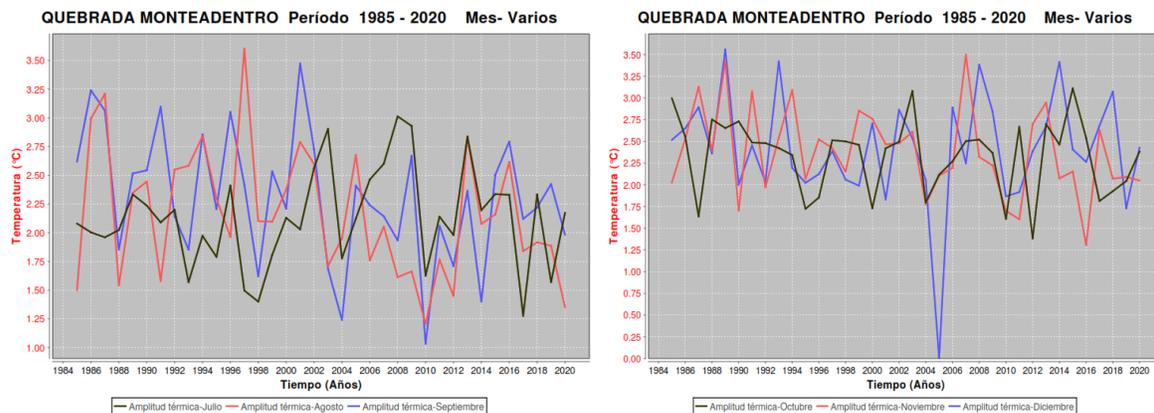


Fuente: González, D. (2020) mediante el software Clic-MD, a partir de información obtenida de

Meteoblue

Figura 47

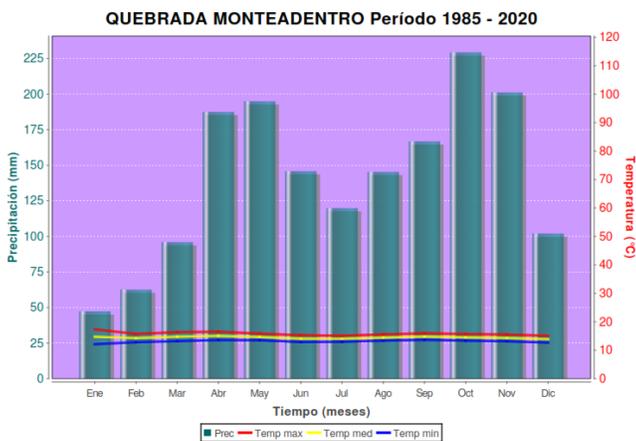
Amplitud Térmica período 1985-2020/Julio-diciembre



Fuente: González, D. (2020) mediante el software Clic-MD, a partir de información obtenida de Meteoblue

Figura 48

Climograma Representativo de la Microcuenca Monteadentro



Fuente: Elaboración propia (2020) mediante el software Clic-MD, a partir de información obtenida de Meteoblu y Global Climate Monitor

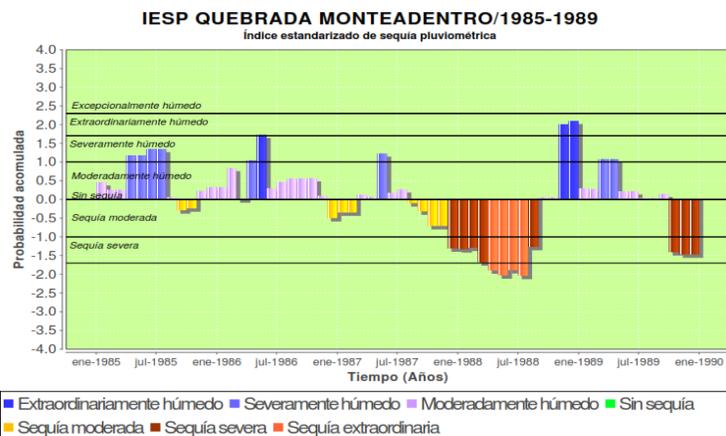
Para la caracterización de los eventos secos y húmedos presentados en el período de 1985 a 2020 se utilizó el Índice Estandarizado de Sequía Pluviométrica (IESP) y que, de acuerdo a Peña, M. *et al.* (2016), la aplicación de este índice en áreas con elevadas variabilidades interanuales de las precipitaciones, responde a la necesidad de identificar aquellos episodios secos registrados a partir de la sucesión de meses lluviosos. En la figura 49 se obtuvo que en los años 1985 a 1989 predominan los eventos húmedos en un 63,33% con intensidades extraordinaria, severa y moderadamente húmedas, seguido de eventos secos en un 35% con intensidades características de sequías moderadas, severas y extraordinarias y 1,7% conformado por un mes sin sequía (marzo de 1986). Para el período 1990 a 1994 (figura 50), se determinó una igualdad de períodos secos y húmedos con un 30% cada uno, las intensidades correspondientes fueron sequías de intensidad moderada y severa; y períodos excepcional, extraordinaria, severa y moderadamente húmedos. Así mismo, en la serie de años de 1995 a 1999 (figura 51), predominó eventos húmedos en un 55% con intensidades extraordinaria, severa y moderadamente y el porcentaje restante de 45%, correspondió a períodos secos principalmente severos. De igual manera, en el período 2000 a 2004 (figura 52), se observa el predominio de intensidades secas en un 51.66% únicamente moderadas y severas; en cuanto eventos húmedos fue conformado por el 46.66% y se muestra intensidades mayores de 3, sin embargo, en esta serie de tiempo se encontró un 1.67% de sin sequía correspondiente al mes de enero de 2001. Para los años 2005 a 2009 (figura 53), se presentó equivalencia de eventos, es decir; 30 y 30% para períodos húmedos y secos, donde las intensidades del primero llegaron a severamente húmedos y los segundos, a sequías severas. Por otra parte, en la figura 54, se determinó prevalencia de eventos secos en un 56.67% de solo intensidades moderadas y severas, mientras

que el 43.33% restante se caracterizó por intensidades húmedas, recalcando finales de 2010 e inicios de 2011 donde se presentaron periodos excepcionalmente húmedos.

De igual manera, para la serie de años de 2015 a 2019 (figura 55), sobresalen eventos húmedos en un 51.67% con intensidades extraordinarias, severas y moderadamente húmedas. El 48.33% estuvo conformado por intensidades negativas y/o períodos secos; este período es relevante ya que en octubre del 2016 se evidenció la ocurrencia de una sequía excepcional. Por último, se observó que en el año 2020 (figura 56), se han presentado intensidades negativas, características a sequías moderadas y severas. A partir de lo anterior, Guevara (2016), señala que según el grado de intensidad de estos eventos existe la probabilidad de pérdidas en cultivos o pastos, además de un alto riesgo de incendios y por supuesto la escasez de agua que genera alternativas de racionamiento.

Figura 49

EISP de la Microcuenca Monteadentro/1985-1989

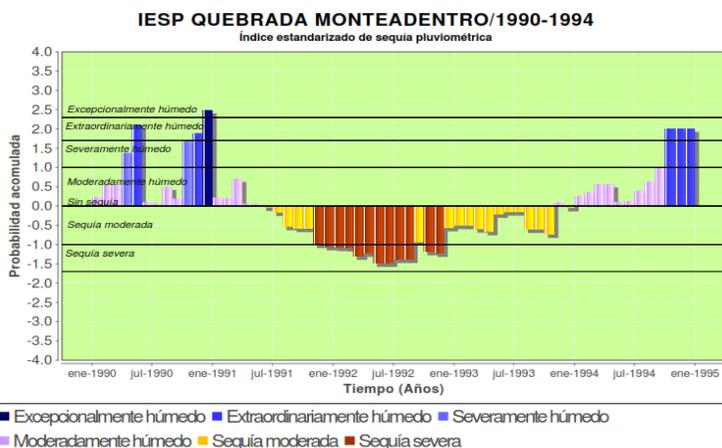


Fuente: González, D. (2020) mediante el software Clic-MD, a partir de información obtenida de

Global Climate Monitor

Figura 50

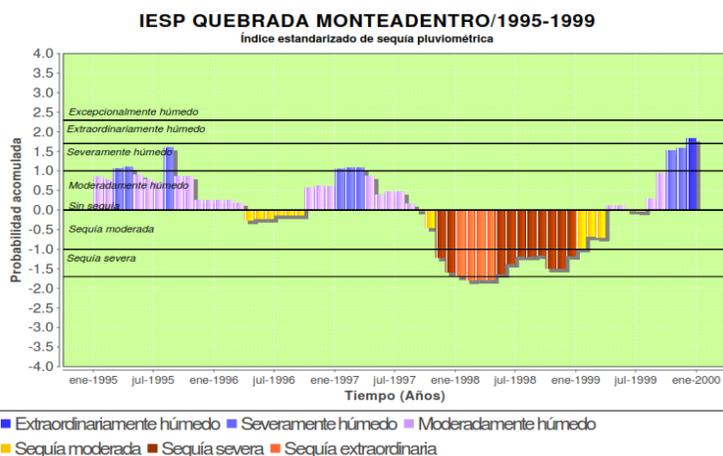
EISP de la Microcuenca Monteadentro/1990-1994



Fuente: González, D. (2020) mediante el software Clic-MD, a partir de información obtenida de Global Climate Monitor

Figura 51

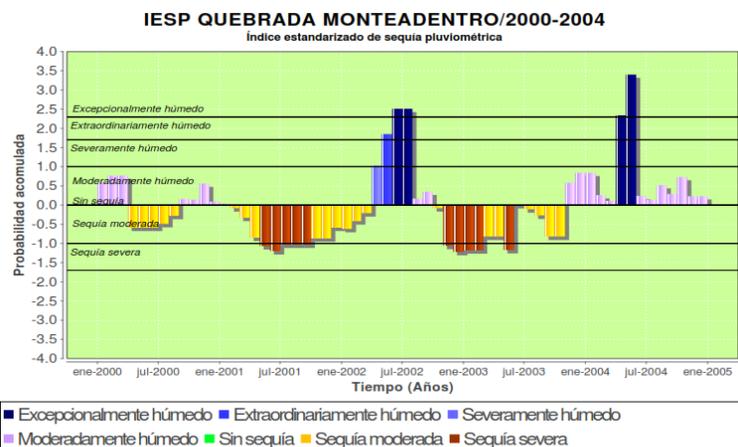
EISP de la Microcuenca Monteadentro/1995-1999



Fuente: González, D. (2020) mediante el software Clic-MD, a partir de información obtenida de Global Climate Monitor

Figura 52

EISP de la Microcuenca Monteadentro/2000-2004

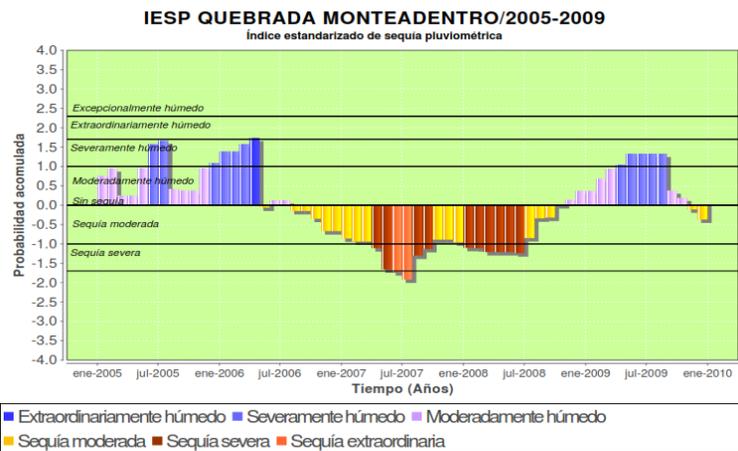


Fuente: González, D. (2020) mediante el software Clic-MD, a partir de información obtenida de

Global Climate Monitor

Figura 53

EISP de la Microcuenca Monteadentro/2005-2009

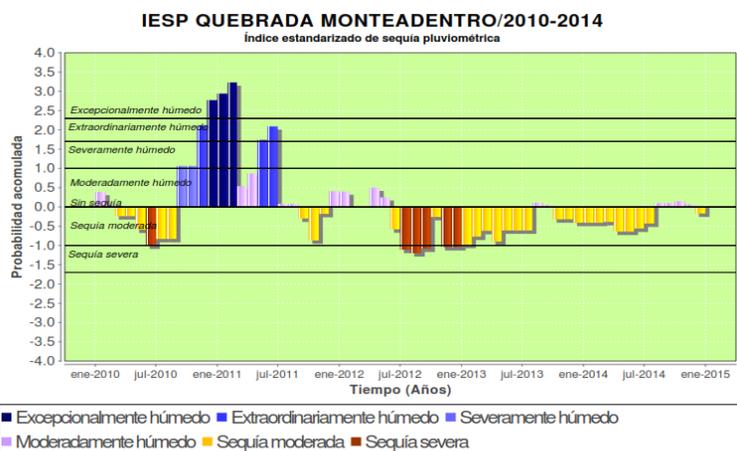


Fuente: González, D. (2020) mediante el software Clic-MD, a partir de información obtenida de

Global Climate Monitor

Figura 54

EISP de la Microcuenca Monteadentro/2010-2014

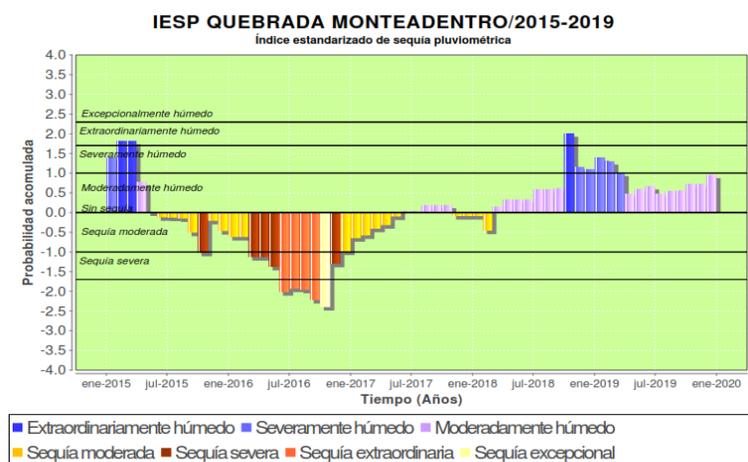


Fuente: González, D. (2020) mediante el software Clic-MD, a partir de información obtenida

Global Climate Monitor

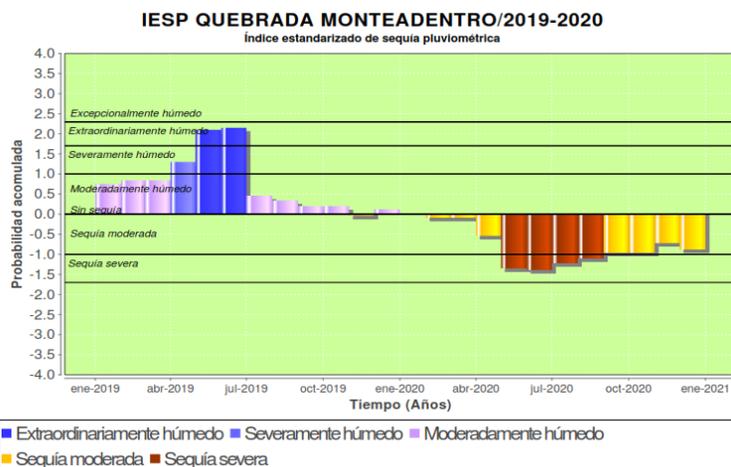
Figura 55

EISP de la Microcuenca Monteadentro/2015-2019



Fuente: González, D. (2020) mediante el software Clic-MD, a partir de información obtenida

Global Climate Monitor

Figura 56*EISP de la Microcuenca Monteadentro/2019-2020*

Fuente: González, D. (2020) mediante el software Clic-MD, a partir de información obtenida

Global Climate Monitor

La tabla 28, figura 57 se muestran las frecuencias de intensidades húmedas y secas para el período estudiado, en el 50% de los casos se presentaron sequías con diferentes grados de intensidad, encontrando las mayores frecuencias en las categorías de moderada y severa, constituyendo un 46% del total de los casos, el 4% fueron sequías extraordinarias, excepcionales y solo un 0.2% sin sequías. Sin embargo, los eventos húmedos representaron el 50% restante de las series analizadas, obteniendo de este modo, una equivalencia entre casos secos y húmedos. El 35% del total estuvo representado por índice moderadamente húmedos, mientras el 15% restante lo conforman períodos excepcional, extraordinaria y moderadamente húmedos.

Tabla 28

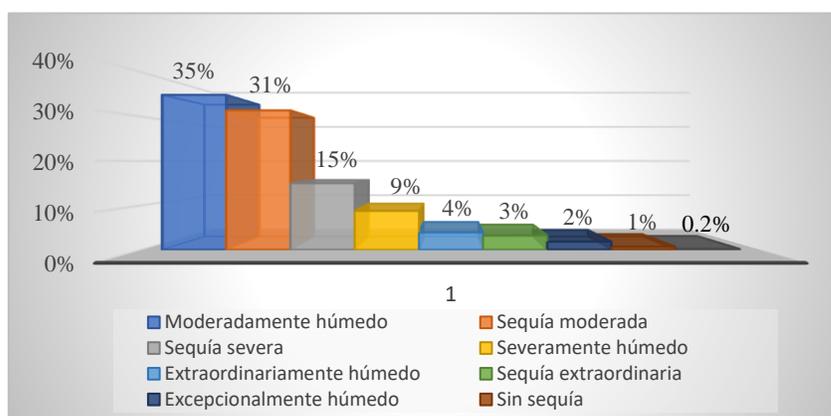
Frecuencia de Eventos Secos y húmedos en la Quebrada Monteadentro/1985-2020

Condición	Cantidad de meses	Porcentaje
Excepcionalmente húmedo	8	2%
Extraordinariamente húmedo	17	4%
Severamente húmedo	38	9%
Moderadamente húmedo	151	35%
Sin sequía	3	1%
Sequía moderada	136	31%
Sequía severa	65	15%
Sequía extraordinaria	14	3%
Sequía excepcional	1	0.2%
Total	433	100%

Fuente: González, D (2020)

Figura 57

Diagrama de Frecuencias de Eventos Secos y húmedos en la Quebrada Monteadentro/1985-2020



Fuente: González, D (2020) a partir de información obtenido de Global Climate Monitor

A través de la correlación Lineal de Pearson se estimó la relación del Índice de sequía con respecto a la variabilidad climática; dicha correlación se realizó entre los valores resumidos en la tabla 28 referentes al índice Estandarizado de Precipitación Pluviométrica del período en estudio, junto a los valores de la tabla 29 donde se considera los valores del ONI iguales o mayores a 1 para el caso de El Niño (color rojo), igual o menores a -1 para eventos de La Niña (color azul) e igualmente, valores que indican condiciones neutras o normales (color negro), cabe resaltar que estos valores solo estuvieron disponibles hasta el mes de octubre de 2020. Según Thielen, D. (2015), el valor de la correlación es igual a 1 o -1 si la covariación es de intensidad máxima y se va acercando hacia el 0 cuanto más pequeña sea la intensidad de la misma, de igual forma, el índice arroja signo positivo cuando la covariación es directa e índice negativo cuando es inversa. La tabla 30, muestra las covariaciones respectivas del coeficiente de Pearson determinado para el período de estudio donde se obtuvo que alrededor del 34.29% de las variables se correlacionan en sentido inverso, puesto que son valores negativos, por lo cual se infiere que están asociados a eventos La Niña. El 20% indico correlaciones positivas, es decir; a valores altos de una, le corresponden valores altos de la otra y viceversa, destacándose los 3 últimos años, puesto que su valor se aproxima a correlaciones casi perfectas, asociadas a eventos El Niño, lo cual, según Martínez, P. & Diaz, D. (2018), se deduce la existencia de una relación entre las condiciones de sequía y la variabilidad climática asociada a fenómenos ENSO, principalmente en el año 2020.

Por último, se obtuvo que el 48.57% son condiciones de humedad y sequía no relacionadas a la variabilidad climática y que ningún período de tiempo fue netamente 0, por lo tanto, no existe variables incorrelacionadas.

Tabla 29*Valores IESP Mensuales-Multianuales de la Quebrada Monteadentro*

Año/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic
1985	0.46	0.26	0.26	1.18	1.18	1.35	1.35	0.06	-0.29	-0.2	0.23	0.33
1986	0.33	0.84	0	1.05	1.73	0.3	0.47	0.56	0.56	0.57	0.1	-0.5
1987	-0.35	-0.35	0.13	0.07	1.23	0.18	0.27	-0.1	-0.32	-0.7	-0.7	-1.31
1988	-1.33	-1.29	-1.68	-1.9	-2.03	-1.89	-2.04	-1.27	0.06	0.06	2.01	2.1
1989	0.3	0.28	1.08	1.08	0.22	0.22	0.04	0.04	0.15	-1.4	-1.5	-1.47
1990	0.24	0.55	0.55	1.38	2.1	0.1	0.07	0.5	0.19	1.69	1.89	2.49
1991	0.22	0.21	0.71	0.06	0.06	-0.04	-0.17	-0.54	-0.59	-0.6	-1	-1.06
1992	-1.08	-1.09	-1.31	-1.23	-1.49	-1.49	-1.39	-1.39	-0.94	-1.2	-1.2	-0.57
1993	-0.51	-0.51	-0.6	-0.67	-0.22	-0.16	-0.16	-0.61	-0.61	-0.7	0.1	-0.05
1994	0.27	0.36	0.57	0.57	0.11	0.13	0.4	0.64	1	2.01	2.01	2.01
1995	0.86	0.79	1.07	1.11	0.91	0.79	0.7	1.61	0.87	0.87	0.26	0.26
1996	0.26	0.26	0.19	-0.27	-0.23	-0.23	-0.14	-0.14	-0.14	0.58	0.63	0.61
1997	1.06	1.09	1.09	0.88	0.4	0.48	0.48	0.17	-0.03	-0.5	-1.2	-1.6
1998	-1.7	-1.8	-1.79	-1.79	-1.64	-1.38	-1.19	-1.19	-1.16	-1.5	-1.5	-1.18
1999	-0.99	-0.68	-0.71	0.12	0.12	-0.03	-0.04	0.3	0.95	1.53	1.59	1.84
2000	0.59	0.77	0.77	-0.59	-0.59	-0.59	-0.49	-0.28	0.16	0.14	0.56	0.09
2001	0.04	-0.08	-0.33	-0.85	-1.07	-1.2	-1.03	-1.03	-1.03	-0.9	-0.9	-0.59
2002	-0.62	-0.42	-0.21	1.03	1.85	2.51	2.51	0.17	0.35	-0.1	-1.1	-1.22
2003	-1.18	-1.18	-0.82	-0.82	-1.17	0	-0.11	-0.27	-0.82	-0.8	0.58	0.84
2004	0.84	0.26	0.11	2.34	3.4	0.24	0.14	0.52	0.29	0.73	0.23	0.23
2005	0.76	0.95	0.25	0.25	0.96	1.58	1.67	0.42	0.38	0.38	0.96	1.09
2006	1.39	1.39	1.58	1.74	-0.06	0.13	0.13	-0.15	-0.15	-0.4	-0.7	-0.67
2007	-0.86	-0.94	-0.94	-1.11	-1.66	-1.73	-1.92	-1.3	-1.13	-0.9	-0.9	-0.96
2008	-1.1	-1.11	-1.21	-1.21	-1.21	-1.24	-0.85	-0.34	-0.32	-0	0.14	0.37
2009	0.37	0.69	0.94	1.05	1.33	1.33	1.33	1.33	0.38	0.19	-0.1	-0.37
2010	0.39	0.06	-0.24	-0.24	-0.59	-1	-0.83	-0.83	1.06	1.06	2.11	2.77
2011	2.94	3.23	0.54	0.87	1.74	2.09	0.08	0.08	-0.3	-0.9	-0.2	0.41
2012	0.4	0.02	0.02	0.5	0.25	-0.58	-1.11	-1.2	-1.08	-0.3	-1	-1.04
2013	-0.98	-0.77	-0.62	-0.9	-0.61	-0.61	-0.61	0.11	0.05	-0.3	-0.3	-0.41

Año/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic
2014	-0.41	-0.41	-0.39	-0.64	-0.64	-0.56	-0.43	0.1	0.1	0.15	0.06	-0.17
2015	1.4	1.82	1.82	0.78	-0.01	-0.12	-0.13	-0.15	-0.51	-1	-0.2	-0.47
2016	-0.62	-0.62	-1.13	-1.13	-1.38	-2.02	-1.93	-1.96	-2.22	-2.4	-1.3	-0.99
2017	-0.65	-0.58	-0.41	-0.32	-0.1	0.04	0.04	0.19	0.19	0.19	-0.1	-0.09
2018	-0.09	-0.46	0.15	0.33	0.33	0.33	0.59	0.59	0.62	2.01	1.16	1.1
2019	1.4	1.3	1.01	0.48	0.6	0.67	0.48	0.55	0.56	0.73	0.73	0.96
2020	0.01	-0.09	-0.09	-0.54	-1.35	-1.39	-1.22	-1.1	-0.96	-1	-0.7	-0.88

Fuente: González, D. (2020) a partir de información obtenida de Global Climate Monitor

Tabla 30

Valores de Índice de Oceanic Niño (ONI)

Año	Índice Niño Oceánico (ONI)											
	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDE
1985	-1	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.6	-0.5	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4
1986	-0.5	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.2	0.4	0.7	0.9	1.1	1.2
1987	1.2	1.2	1.1	0.9	1.0	1.2	1.5	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1
1988	0.8	0.5	0.1	-0.3	-0.9	-1.3	-1.3	-1.1	-1.2	-1.5	-1.8	-1.8
1989	-1.7	-1.4	-1.1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1
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	0.1
1994	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.7	1.0	1.1
1995	1.0	0.7	0.5	0.3	0.1	0.0	-0.2	-0.5	-0.8	-1	-1	-1
1996	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5

Año	Índice Niño Oceánico (ONI)											
	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDE
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	0.5	-0.1	-0.8	-1.1	-1.3	-1.4	-1.5	-1.6
1999	-1.5	-1.3	-1.1	-1	-1	-1	-1.1	-1.1	-1.2	-1.3	-1.5	-1.7
2000	-1.7	-1.4	-1.1	-0.8	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7
2001	-0.7	-0.5	-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	0.1	0.2	0.4	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.1
2003	0.9	0.6	0.4	0.0	-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	-0.8	-0.7	-0.5	-0.3	0.0	0.0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	0.9
2007	0.7	0.3	0.0	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5	-0.8	-1.1	-1.4	-1.5	-1.6
2008	-1.6	-1.4	-1.2	-0.9	-0.8	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.6	-0.7
2009	-0.8	-0.7	-0.5	-0.2	0.1	0.4	0.5	0.5	0.7	1.0	1.3	1.6
2010	1.5	1.3	0.9	0.4	-0.1	-0.6	-1	-1.4	-1.6	-1.7	-1.7	-1.6
2011	-1.4	-1.1	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.5	-0.7	-0.9	-1.1	-1.1	-1
2012	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.3	0.3	0.2	0.0	-0.2
2013	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.4	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.2	0.1	0.0	0.2	0.4	0.6	0.7
2015	0.6	0.6	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.5	2.6
2016	2.5	2.2	1.7	1.0	0.5	0.0	-0.3	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6
2017	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.4	0.4	0.2	-0.1	-0.4	-0.7	-0.9	-1
2018	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.1	0.1	0.1	0.2	0.4	0.7	0.9	0.8
2019	0.8	0.8	0.8	0.7	0.6	0.5	0.3	0.1	0.1	0.3	0.5	0.5
2020	0.5	0.6	0.5	0.3	0.0	-0.2	-0.4	-0.6	-0.9	-	-	-

Fuente: Climate Prediction Center-NOAA (2020)

Tabla 31

Correlación de Pearson para Valores ONI e IESP de la Microcuenca Monteadentro

Año	Correlación de Pearson	Covariación	Año	Correlación de Pearson	Covariación
1985	-0.4	inversa	2003	-0.5	inversa
1986	-0.1	inversa	2004	-0.5	inversa
1987	-0.3	inversa	2005	0.02	directa
1988	-0.6	inversa	2006	-0.9	inversa
1989	-0.6	inversa	2007	-0.1	inversa
1990	0.4	directa	2008	0.5	directa
1991	-0.9	inversa	2009	-0.4	inversa
1992	-0.2	inversa	2010	-0.4	inversa
1993	0.1	directa	2011	-0.1	inversa
1994	0.9	directa	2012	-0.8	inversa
1995	0.4	directa	2013	-0.1	inversa
1996	-0.4	inversa	2014	0.4	directa
1997	-0.9	inversa	2015	-0.9	inversa
1998	-0.7	inversa	2016	0.5	directa
1999	-0.4	inversa	2017	-0.3	inversa
2000	-0.6	inversa	2018	0.9	directa
2001	-0.9	inversa	2019	0.7	directa
2002	0.6	directa	2020	0.8	directa

Fuente: Elaboración propia (2020) a partir de la información obtenida de Global Climate

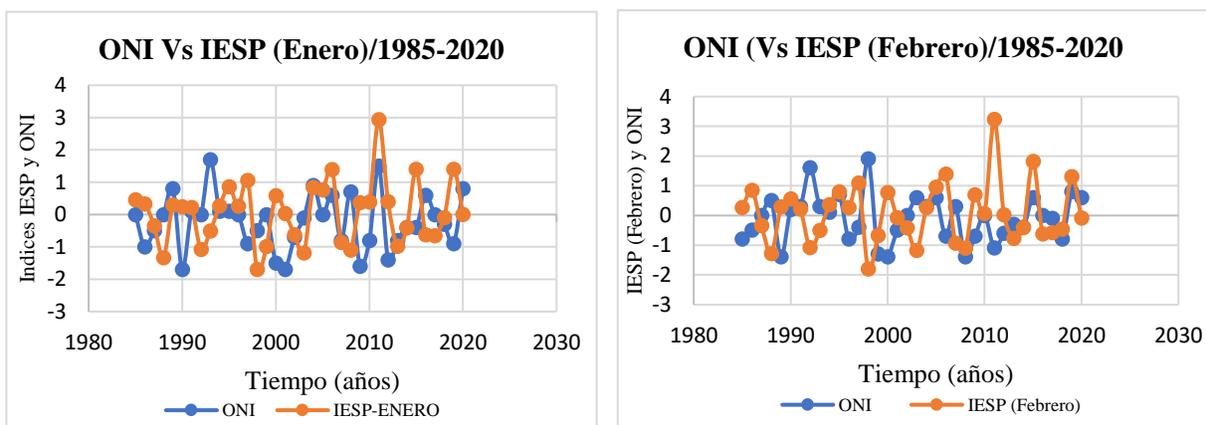
Monitor Y Climate Prediction Center-NOAA

Por otra parte, se graficó los valores de ONI mensuales multianuales y los datos obtenidos para el IESP de la microcuenca Monteadentro (Figura 58 a la 61). En cada uno de los meses se observa una correlación alta para los eventos de exceso de humedad o sequías. Sin

embargo, en este estudio se estimó que la mayoría de eventos están relacionados principalmente a fenómeno El Niño a lo cual, Martínez, P. & Díaz, D (2016), indica que puede la raíz de las eventualidades se puede dar al ser las sequías de origen multicausal.

Figura 58

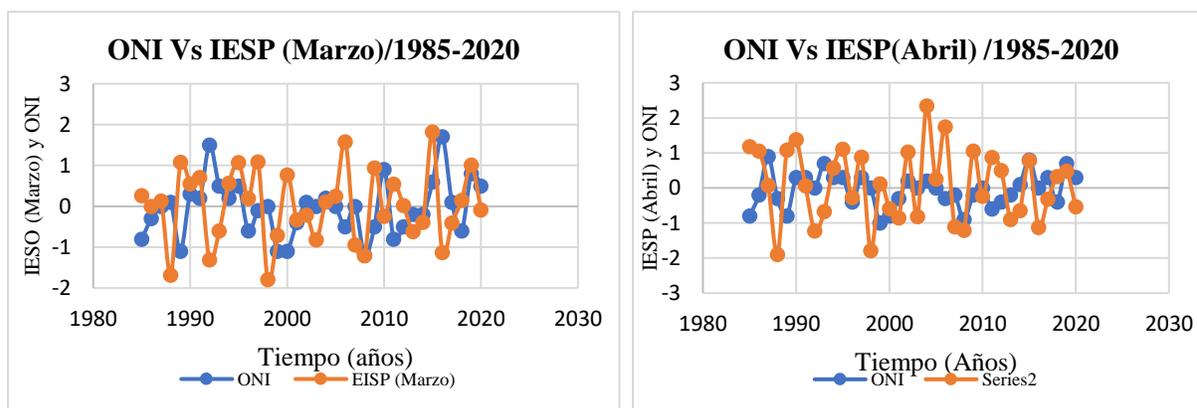
Comparación IESP de enero-Febrero/ 1985-2020, con el ONI



Fuente: Elaboración propia (2020) a partir de la información obtenida de Global Climate Monitor y National Weather Service / Climate Prediction Center

Figura 59

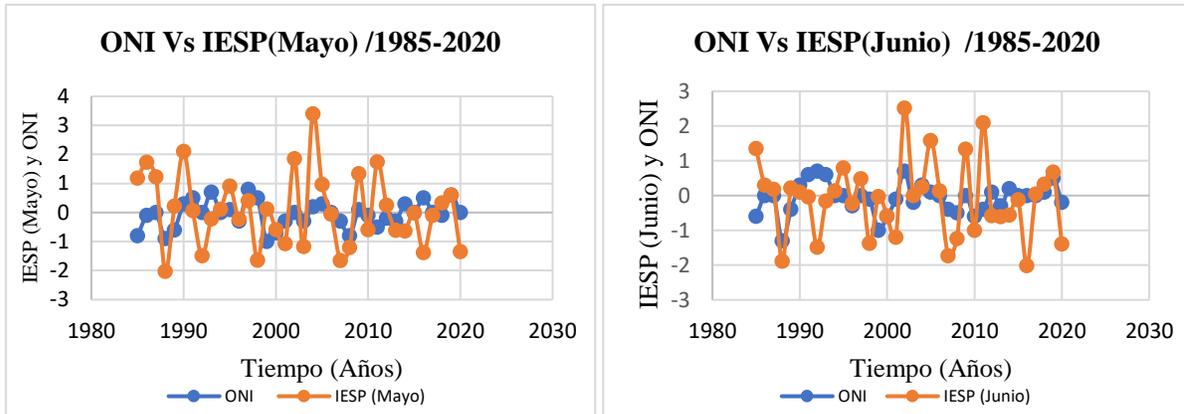
Comparación IESP de marzo-abril/ 1985-2020, con el ONI



Fuente: Elaboración propia (2020) a partir de la información obtenida de Global Climate Monitor y National Weather Service / Climate Prediction Center (2020)

Figura 60

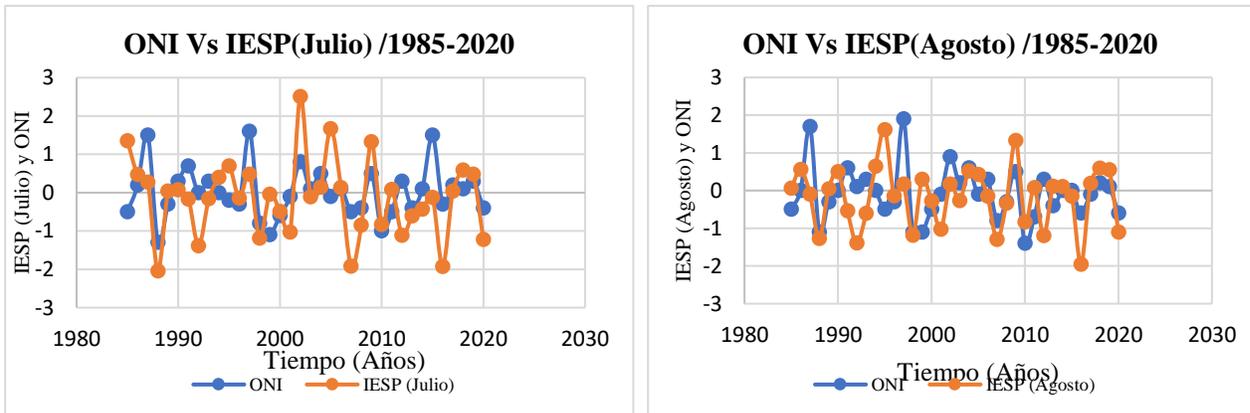
Comparación IESP de mayo-junio/ 1985-2020, con el ONI



Fuente: Elaboración propia (2020) a partir de la información obtenida de Global Climate Monitor y National Weather Service / Climate Prediction Center (2020)

Figura 61

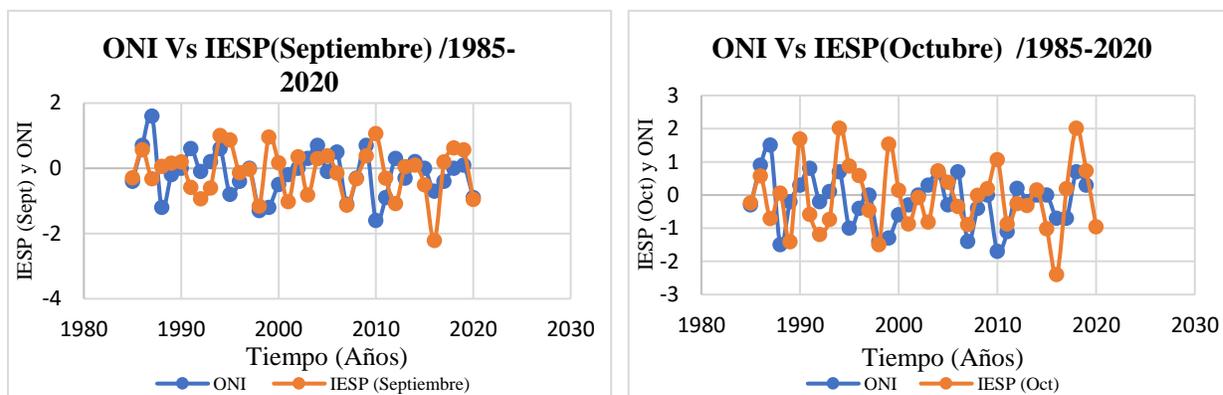
Comparación IESP de julio-agosto/ 1985-2020, con el ONI



Fuente: Elaboración propia (2020) a partir de la información obtenida de Global Climate Monitor y National Weather Service / Climate Prediction Center (2020)

Figura 62

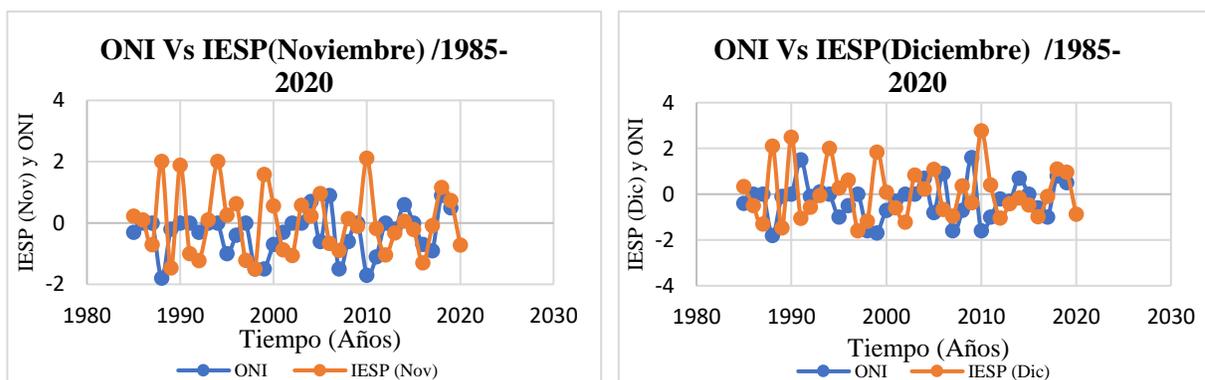
Comparación IESP de Sept-Oct/ 1985-2020, con el ONI



Fuente: Elaboración propia (2020) a partir de la información obtenida de Global Climate Monitor y National Weather Service / Climate Prediction Center (2020)

Figura 63

Comparación IESP de Nov-Dic/ 1985-2020, con el ONI



Fuente: Elaboración propia (2020) a partir de la información obtenida de Global Climate Monitor y National Weather Service / Climate Prediction Center (2020)

Conclusiones

A partir de la caracterización morfométrica se determinó que la Microcuenca Monte dentro es un cuerpo hídrico sedimentario, con tendencia a estado de madurez y con una forma y red de drenaje característica de respuesta rápida ante eventos como lluvias torrenciales. Además, el relieve poco accidentado y la pendiente, indicaron que el potencial de degradación es bajo.

Las actividades de carácter antrópico que se realizan diariamente en la zona de estudio, principalmente la producción agrícola, son consideradas causa y víctimas del comportamiento hídrico que presenta la Quebrada Monte dentro, puesto que dan origen al deterioro, degradación y desestabilización del ecosistema propia del lugar.

Eventos naturales como ausencia de lluvias y por el contrario temperaturas altas postergadas son factores que inciden indudablemente en el comportamiento hídrico de la zona de estudio, lo cual se fundamenta en la toma de datos a partir del pluviómetro Digital, donde los valores de precipitación altos coinciden con los caudales picos de los últimos meses del año 2020.

Mediante la evaluación del comportamiento hidrológico se evidenció la sensibilidad de parámetros como la precipitación neta, que a su vez depende del coeficiente de escorrentía, afectando grandemente al caudal, lo cual se atribuye al tipo hidrológico de suelos de la zona, puesto que condiciona la permeabilidad existente en la microcuenca.

El índice de sequía empleado, fue un indicador de que en la zona de estudio para el año 2020, efectivamente se presenta una sequía hidrológica a raíz de la disminución de precipitaciones.

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, evidenciando principalmente que el último año de estudio se caracteriza por bajas precipitaciones lo cual se relaciona con los descensos de niveles y caudales presentado en la quebrada Monteadentro.

Recomendaciones

Al estar relacionadas las sequías hidrológicas evidenciadas en la zona, con fenómenos de carácter natural, es recomendable el uso razonable del recurso por parte de los habitantes del municipio, además de evitar en lo posible actividades que repercutan en el comportamiento hídrico de la quebrada.

Igualmente, se recomienda a los habitantes de la vereda, sensibilizarse ambientalmente, para evitar acciones como las captaciones improvisadas e informales y por el contrario considerar la idea de adecuaciones y/o construcciones de reservorios donde parte del agua almacenada sea agua lluvia.

Se recomienda a las entidades prestadoras de servicio de agua potable; EMPOPAMPLONA E.S.A.E.S.P y la Alcaldía municipal, realizar seguimientos de las variables climatológicas y comportamiento hidrológico de la fuente en estudio con el fin de establecer pronósticos de sequías o inundaciones a las que pueda estar sometida la quebrada.

Por otra parte, es de vital importancia que CORPONOR realice un monitoreo constante a lo largo de la quebrada, para evitar las captaciones ilegales y la extracción del recurso hídrico sin los permisos correspondientes.

Bibliografía

Actualización Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfico (POMCA), Río Garagoa

Cod: 201RG-D-351-V.02. NIT. 900.877.556-1. Recuperado de:

<https://www.car.gov.co/uploads/files/5c1a9fcf99956.pdf>

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>

Álzate, D., Rojas, E., Mosquera, J., Ramón, J. (2015), Cambio climático y variabilidad climática para el período 1981-2010 en las cuencas de los ríos Zulia y Pamplonita, Norte de Santander, Colombia. Revista: Scielo. n.40, pp.127-153. ISSN 1909-2474. DOI: 10.17151/luaz.2015.40.10

Análisis estadístico de datos climáticos (2013). Recuperado de:

http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/Analisis_Estadistico_de_Datos_Climaticos/2013/Distribuciones_Probabilidad_2013.pdf

Atencia (2007). Diagnóstico de la contaminación por vertimiento de aguas residuales domésticas y residuos sólidos domésticos sobre la microcuenca Monte dentro hasta el sector de la bocatoma del acueducto de la ciudad Pamplona Julia Máxima Uriarte. Sequia. Para: Caracteristicas.co. Última edición: 9 de marzo de 2020. Disponible en: <https://www.caracteristicas.co/sequia/>. Consultado: 14 de agosto de 2020.

Atencia, C. (2007). Diagnóstico de la contaminación por vertimiento de aguas residuales domésticas y residuos sólidos domésticos sobre la microcuenca Monte dentro hasta el

sector de la bocatoma del acueducto de la ciudad pamplona (Tesis de pregrado).

Universidad Libre de Colombia, San José de Cúcuta, Colombia.

Bacheloth (2017). Modelación del transporte de plaguicidas e insecticidas en suelos de cultivo de fresa mediante el software Hydrus- 1D en la vereda de Monte dentro Pamplona Norte de Santander

Camino, M., Bó, M., Cionchi, J., Del Río, J., López de Armentia, A., De Marco, S. (2018).

Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires. Revista Universitaria de Geografía, vol. 27, núm. 1.

Recuperado de:

<https://www.redalyc.org/jatsRepo/3832/383257036005/383257036005.pdf>

Carbone, M. E., Piccolo, María. C., V.Scian. (2004). Análisis de los períodos secos y húmedos en la cuenca del Arroyo Claromecó, Argentina. Papeles de geografía, N° 40; pp. 25-35.

ISSN: 0213-1781

Cedeño (2013). Distribuciones de variables aleatorias continuas (Normal y normal estándar).

Recuperado de:

http://cidecame.uaeh.edu.mx/lcc/mapa/PROYECTO/libro19/51normal_y_normal_estndar.html

Coefficiente de correlación (s.f). Recuperado de:

<https://www.uv.es/ceaces/base/descriptiva/coefcorre.htm>

Coefficiente de correlacion lineal de Pearson (s.f). Recuperado de:

<https://personal.us.es/vararey/adatos2/correlacion.pdf>

Colprensa (2020). Lluvias aumentarán en noviembre y diciembre: IDEAM. Obtenido de:

<https://www.radionacional.co/noticia/lluvias-aumentaran-noviembre-diciembre-ideam>

CORPONOR (2018). Estudio de impacto ambiental para la pequeña central hidroeléctrica PCH

El Retiro. Obtenido de:

https://corponor.gov.co/AudienciasPublicasAmbientales/2018/pch_elretiro/capitulos/CA

P%203.2_Caracterizaci%C3%B3n%20medio%20abi%C3%B3tico.pdf. Fecha de

consulta: 20 de noviembre de 2020.

Cruz Romero, B., Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría A. M., Carrillo González, F. M., Téllez

López, J. Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México.

Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Número 64: 26-

34, enero-abril 2015.

Distribución Normal (s.f). Obtenido de:

http://www.x.edu.uy/inet/Distribucion_Normal_ejemplos.pdf

Endara, S. (2015). Validación de indicadores de sequía utilizando sensoramiento remoto en el

departamento de Puno. Servicio Nacional de Hidrología y Meteorológica del Perú-

SANAMHI. Lima-Perú.

Estimaciones a partir de modelos (s.f). Obtenido de: <http://www.fao.org/3/t0848s/t0848s09.htm>

FAO, (2018). El cultivo. Obtenido de: <http://www.fao.org/potato-2008/es/lapapa/cultivo.html>.

Fecha de descarga: 19 de noviembre de 2020)

Farfán, F., Urbina, L., Ferreira, S., & Brandan, M. (2010). Caracterización y Red de Drenaje de

la Subcuenca del Río Tin-Tin, PN. Los Cardones, Salta. Ciencia, Vol. 5, N.º 16.

Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ciencias Naturales. Recuperado de:

<http://www.exactas.unca.edu.ar/revista/v160/pdf/ciencia16-1.pdf>

- Fernández, N., Suárez, C., Pérez, E. (2007). Modelación y Simulación Dinámica para la Gestión de Caudales en la Cuenca Alta del Río Pamplonita -Un Balance Hídrico de Consumo. Revista de la Facultad de Ciencias Básicas, vol. 5, núm. 2, pp. 80-96. Recuperado de: <file:///D:/Downloads/90350208.pdf>
- Gálvez & Pimiento (2015). Cálculo del caudal máximo de creciente de la Quebrada la Artesa que desemboca en la Quebrada de Ortega, en el municipio de Güicán (Boyacá), con el método racional. (Trabajo de grado, modalidad monografía). Universidad distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica. Bogotá.
- García, E. (s.f). Como se comenta un climograma. Obtenido de: <http://files.noespazoenotempo.webnode.es/200000697-c4129c50c8/climograma.pdf>
- García, F.J., Campos, M., Sabater, N., Belda, F., Moreno, A., Gilabert, M.A., Martínez, B., Meliá, J. (2013). Vulnerabilidad de la vegetación a la sequía en España. Departamento de Física de la Tierra y Termodinámica, Universidad de Valencia, 46100 Burjassot, Valencia, España. Obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/259759546_VULNERABILIDAD_DE_LA_VEGETACION_A_LA_SEQUIA_EN_ESPANA
- García, M., Rodríguez J. (2014). Evaluación del Comportamiento de las Sequías en el Norte de Sudamérica Utilizando Mallas de Precipitación y Temperatura (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C., Colombia.
- Garzón, A., Trivales, A. (2020). Diseño de Piloto de Sistema Urbano de Drenaje Sostenible-SUDS del tipo de zona de Bioretención para la implementación de la Investigación Piloto de SUDS Interinstitucional.

Gelvez, D., (2020). Determinación de factores de riesgo que inciden en la calidad del agua para consumo humano de la fuente de abastecimiento quebrada Monte dentro y la planta de tratamiento Cariongo del municipio de Pamplona. Universidad de Pamplona, Pamplona, Norte de Santander, Colombia.

Geomorfología Dinámica y Climática. Pontificia Universidad Católica de Chile. Recuperado de: http://www7.uc.cl/sw_educ/geografia/geomorfologia/index.html. Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2020.

Gómez, C (2018). La agricultura es la principal fuente de escasez de agua: FAO. Periódico La Jornada, p. 36. Recuperado de: <https://www.jornada.com.mx/2018/05/09/sociedad/036n1soc>

Guevara, R. (2016). Clasificación integral de la intensidad de la sequía tomando como base el índice de precipitación estandarizado (IPE o SPE por sus siglas en inglés) en el contexto de Nicaragua. Propuestas de umbrales para la medición de la severidad de la afectación por sequía y su protocolo general a seguir. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/299532382_Clasificacion_integral_de_la_intensidad_de_la_sequia_tomando_como_base_el_indice_de_precipitacion_estandarizado_IP E_o_SPI_por_sus_siglas_en_ingles_en_el_contexto_de_Nicaragua_Propuesta_de_umbrales_par

Hernández, (2010). Valoración monetaria de los beneficios que puede rendir un uso óptimo del suelo en la Microcuenca Monte dentro del río Pamplonita, Pamplona, N.de S. Revista: fase N°10. ISSN 1794-9920.

Ibañez, S., Moreno, H., Gisbert, J. (s.f). Métodos para la determinación del coeficiente de escorrentía (c). Universidad Politécnica de Valencia. Obtenido de:

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10781/Coeficiente%20de%20escorrent%C3%ADa.pdf>

Infante, H., & Ortiz L. (2008). Ajuste metodológico al índice de escasez de agua propuesto por el IDEAM en el plan de ordenación y manejo de la cuenca del Río Pamplonita, Norte de Santander, Colombia. *Revista Colombia Forestal* Vol. 11: 165-173. Recuperado de:

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/colfor/article/view/3026/4380>.

Jara, J. (2015). La deforestación de los bosques protectores como un atentado al Derecho al buen Vivir en la Legislación Ecuatoriana (Tesis de grado). Universidad Central del Ecuador, Facultad de Jurisprudencia, Ciencias políticas y sociales. Quito.

Ley 1523 de 2012. Recuperado de:

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=47141>

Ley 1931 de 2018. Recuperado de:

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=87765#:~:text=La%20presente%20ley%20tiene%20por,las%20acciones%20de%20adaptaci%C3%B3n%20al>

López, D. (2016). Estudio morfométrico y cálculo de caudal de creciente en la hacienda Pozo Rubio por método racional entre Caño Venado y Caño Pescado (Tesis de grado).

Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Tecnología. Bogotá D.C.

López, J. Javier, González, Miguel, Scaini, Anna, Goñi, Mikel, Valdenebro, José V., & Gimena, Faustino N.. (2012). Caracterización del modelo HEC-HMS en la cuenca de río Arga en Pamplona y su aplicación a cinco avenidas significativas. *Obras y proyectos*, (12), 15-30. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-28132012000200002>

Lux, Benjamín. (2006). Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas.

Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad ingeniería. Recuperado de:

<http://www.repositorio.usac.edu.gt/4482/1/Conceptos%20b%C3%A1sicos%20de%20Morfometr%C3%ADa%20de%20Cuencas%20Hidrogr%C3%A1ficas.pdf>

Martínez-Austria, P. F., Díaz-Jiménez D. 2018. Precipitation trends and their relationship with El Niño Oceanic Index. The case of the Mixteca Region, Mexico. *Ingeniería del agua*, 22(1), 1-14. <https://doi.org/10.4995/Ia.2018.7779>

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

MEDICIÓN DE LA INFILTRACIÓN EN EL SUELO MEDIANTE INFILTRÓMETROS

DOBLE ANILLO. (s.f). Recuperado de:

http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20_R014_%20infiltrometro%20doble%20anillo.pdf

Méndez, W., Marcucci, E. (2005). Análisis morfométrico de la microcuenca de la Quebrada Curucutí, estado Vargas-Venezuela. *Revista geográfica venezolana*, Vol. 47(1). 29-55.

Recuperado de:

https://www.researchgate.net/publication/266146541_Analisis_morfometrico_de_la_microcuenca_de_la_quebrada_Curucuti_estado_Vargas-Venezuela

Méndez, W., Pacheco, H., Cartaya, S., Marcano, A., & León, C. (2015). Caracterización hidroclimatológica y morfométrica de la cuenca del río San Julián (estado Vargas, Venezuela): aportes para la evaluación de la amenaza hidrogeomorfológica. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 24 (2): 133-156. DOI: 10.15446/rcdg.V24n2.50213

Meza, L., Corso, & S., Soza S. (2010). Organización de Las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO. Gestión del riesgo de sequía y otros eventos climáticos extremos en Chile. ISBN 978-92-5-306491-5.

Montealegre, (2007). Modelo institucional del IDEAM sobre el efecto del cambio climático de los fenómenos El Niño y la Niña en Colombia. Bogotá, D.C.

Nolasco, T. (2017). Proyecto urbano para la accesibilidad y la conectividad entre los barrios El Claveriano y Centralidad Norte – Bucaramanga, Santander. Bucaramanga-Santander. Obtenido de: https://www.bucaramanga.gov.co/laruta/download/parque_claveriano/01%20Documentos%20Generales/Informe%20Geolog%C3%ADa%20Sector%20Norte.pdf

Organización Meteorológica Mundial (OMM) (2020). El fenómeno de La Niña se consolida y amenaza con lluvias por encima de lo normal en el norte de América del Sur. Obtenido de: <https://news.un.org/es/story/2020/10/1483212>

Peña, M., Gámiz, S., Castro, Y. & Esteban, M. (2016). Análisis comparativo de índices de sequía en Andalucía para el período 1901-2012. Cuadernos de investigación geográfica. N°42 (1), pp.67-88. DOI: 10.18172/cig.2946

Peréz, G. (2008). Uso de cilindros infiltrométros de diferente diámetro en la determinación de infiltración en el campo (tesis de grado). Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. Torreón, Coahuilla.

Pinilla, M. & Pinzón, C. (2012). Influencia del ciclo ENOS sobre la precipitación en los municipios de Betulia, San Vicenti de Chucurí, Zapatoca y Girón, Departamento de Santander, Colombia. Cambio climático. Extremos e impactos: [Ponencias presentadas al VIII Congreso Internacional de la Asociación Española de Climatología]. ISBN 978-

84-695-4331-3, 117ágs.. 581-592. Recuperado de:

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7336453>.

Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río La Vieja, (2018). Presentado por Consorcio POMCA. Quindío. Bogotá D.C

Quintero, M., Carvajal, Y., Aldunce, P. (2012). Adaptación a la variabilidad y el cambio climático: Intersecciones con la gestión del riesgo. Universidad de Caldas. Revista: Scielo. N°34. ISSN 1909-2474.

RAMÍREZ B., V.H.; JARAMILLO R., A. Relación entre índices de El Niño/La Niña (ENSO) y el brillo solar en la zona cafetera colombiana. Revista Cenicafé 63 (2): 90-97. 2012

Ramos, A., & Pacheco, J. (2017). Análisis hidrológico e hidráulico de la cuenca del Río Frío, municipios de Ciénaga y zona bananera, departamento del Magdalena. Revista Logos, Ciencia & Tecnología, vol. 9, núm. 1.

Ravelo A.C., & Pascale A.J. (1997). Identificación de ocurrencia de sequías mediante imágenes del satélite NOAA e información terrestre. Universidad Nacional de Córdoba, Universidad Buenos Aires, Argentina. Recuperado de:

<http://ri.agro.uba.ar/files/download/revista/facultadagronomia/1997raveloac.pdf>

Ravelo, A.C.; R. Sanz Ramos and J.C. Douriet Cárdenas, 2014. Detecting, assessing and forecasting droughts in the region of the North Pacific Watershed Organism, Mexico. Agriscientia 31 (1): 11-24.

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

Ruiz, J.F. & Melo, J.Y., nov, 2020: Informe de Predicción Climática a corto, mediano y largo plazo en Colombia. Grupo de Modelamiento de Tiempo y Clima, Subdirección de Meteorología – IDEAM

Ruiz, V., Belmonte, F., García, R. & Ruíz, M. (2016). Análisis y evolución temporal de las secuencias pluviométricas secas de larga duración en la región de Murcia (1864-2015). DOI: <http://dx.doi.org/10.14198/XCongresoAECALicante2016-31>

Sánchez, F. (Junio 13). Cálculos Estadísticos en Hidrología Obtenido de: https://hidrologia.usal.es/temas/calculos_esta.pdf

Sánchez, F. (S.f). Cálculo de la precipitación Neta mediante el método del S.C.S. Universidad de Salamanca, Departamento de Geología. Recuperado de: https://hidrologia.usal.es/practicas/Pneta_SCS/Pneta_SCS_fundam.pdf. Fecha de consulta: 25 de noviembre de 2020

Sandoval, W., Aguilera, E. (2014). Determinación de caudales en cuencas con poca información hidrológica. Ciencia UNEMI, N° 2, pp. 100-110. ISSN: 1390-4272.

Thielen, D., Cevallos, J., Erazo, T., Zurita, S., Figueroa, J., Quintero, J., Matute, N., Velásquez, G. & Puche, M. (2015). The Dynamic of extreme climatic events in the portpviejo river basin, in Manabí-Ecuador. La Tecnica, N°14, pp. 80-91. ISSN:1390-6895

Troyo Diéguez, E., G. Mercado Mancera, A. Cruz Falcon, A. Nieto Garibay, R. D. Valdez Cepeda, J. L. García Hernández y B. Murillo Amador (2014), “Análisis de la sequía y desertificación mediante índices de aridez y estimación de la brecha hídrica en Baja California Sur, noroeste de México”, Investigaciones Geográficas, Boletín, núm. 85, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 66-81, dx.doi.org/10.14350/rig.32404.

- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) (2016). Fenómeno El Niño, Análisis Comparativo 1997 -1998 // 2014 -2016. Recuperado de:
https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/20564/Fenomeno_nino-2016.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Valiente, O. (2001). Sequía: Definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. Investigaciones geográficas, N°26, pp. 59-80. Instituto Universitario de Geografía. Universidad de Alicante.
- Vega, C., (2019). Análisis de sequías meteorológicas e hidrológicas en la Macrocuenca Magdalena – cauca (McMC) para el período 1980-2010. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., Colombia.
- Velandia (2018). Estrategias de planificación integral social y económica para el desarrollo de una UPRA en la vereda Monteadentro en el municipio de pamplona, Colombia.
- Velasco, L., Aparicio, J., Valdés, J. B., Velázquez, J. Evaluación de índices de sequía en las cuencas de afluentes de río Bravo/Grand. KIM, T.W. River. Hydraulic engineering in México (in Spanish). Vol. XIX, no.3, July-September, 2004, pp 37-53.
- Vicente, S., Beguería, S., Lorenzo, J., Camarero, J., López, J., Azorín, C., ...Sánchez, A. (2012). Análisis comparativo de diferentes índices de sequía para aplicaciones ecológicas, agrícolas e hidrológicas. Instituto Pirenaico de Ecología.
- Villegas, P. (2017). Método del número de curva del SCS. Recuperado de:
<https://aguaysig.com/metodo-del-numero-de-curva-del-scs/>. Fecha de consulta: 25 de noviembre de 2020.

Weber, J. F., & Apestegui, L. (marzo-abril, 2016). Relaciones entre parámetros de los modelos de infiltración de Kostiakov y Lewis-Kostiakov-Córdoba, Argentina. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(2), 115-132.