



ANÁLISIS COMPARATIVO DE ÍNDICES DE SEQUÍA PARA LA CUENCA DEL RIO CESAR

Autor

Tatiana Carolina Araujo Suarez

Director

María Esther Rivera

PhD en Hidrología



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL, AMBIENTAL Y QUÍMICA

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA

INGENIERÍA CIVIL

2021



Dedicatoria

Dedico este documento principalmente a Dios porque es quien me ha traído hasta este punto, también principalmente a la persona que siempre ha estado apoyándome, que me ha dado las herramientas para llegar a este camino, mi madre, la cual ha sido el pilar en cada uno de mis logros, en cada uno de mis momentos para la realización de dicho documento, la cual siempre me ha apoyado y expresado su profundo amor y cariño por mí en cada momento de mi vida, a mi padre que aunque no esté, dejó trazado el camino para ambas, que siempre lo tendremos en nuestros corazones, a mi abuela que sin su apoyo en la vida tampoco hubiera llegado hasta este momento y sé que siempre la tendré en el corazón sin importar que no esté su presencia, a mi tía Glenda porque creyó en mí, en mis cualidades, en mi potencial, y que sé que le hubiera gustado estar en este momento; a todas mis tías y familia, mis Suarez, que siempre han estado en cada paso y siempre han buscado la forma de apoyarme, y a la persona que ilumina mi corazón, mi querido novio, que siempre me apoyo en este caminar, que me dio las fuerzas cuando caía, sin ninguno de ustedes no hubiese logrado este documento.



Agradecimientos

Dentro del recorrido o el camino para elaborar este documento, quiero agradecerle principalmente a la persona que siempre me ha apoyado en cada paso, en cada momento, a mi madre, sin su apoyo no podría haber llegado si quiera hasta este punto, asimismo a quienes me apoyaron en cada falla, mi familia, a mis compañeros por cada aprendizaje obtenido en cada fase del camino recorrido, a mis docentes por cada conocimiento y experiencia que contribuyeron a mi formación no solo profesional sino personal, al ingeniero geólogo Luis Carlos Lacouture Peralta, al ingeniero geólogo y técnico en minas Jaider Andrés Mindiola Suarez por su colaboración y guía, a mi directora de proyecto, María Esther Rivera, que creyó en mí, para lograr este tipo de investigación, conociendo las dificultades y retos siempre me guio, a mi novio, porque siempre estuvo para apoyarme en los momentos que quería flaquear y abandonar, que siempre me impulso y confió en mi capacidad aún más que yo misma, a mi padre que aunque no esté, siempre lo llevare presente en mi corazón y además fue él, quien dejo el camino trazado para cada uno de mis logros y triunfos.



Resumen

En la actualidad el cambio climático y los diversos efectos que ha tenido en el entorno cada vez se hace más notorio, es un fenómeno que se ha venido incrementando dentro de las últimas décadas, en cada parte del mundo. En Colombia el cambio climático ha tenido un impacto en la diversidad de climas que se han presentado, generando consigo muchos fenómenos que no solo han afectado a Colombia sino también al mundo en general, uno de estos fenómenos son los periodos de estiaje que experimentan las diferentes regiones y por ende las diferentes cuencas del país.

Con lo anterior mencionado el presente proyecto establecerá un análisis y caracterización de los índices meteorológicos e hidrológicos de la cuenca del rio Cesar, con el fin de determinar los periodos secos de la cuenca y los factores influyentes en este proceso.

Los índices de sequía de una cuenca influyen en los diseños hidráulicos que puedan realizarse dentro de la cuenca o alguno de sus afluentes, debido a que los periodos de sequía inciden en el comportamiento de caudales que se deberán tener en cuenta dentro del cálculo y pre-diseño de cada uno de las obras hidráulicas, en Colombia y específicamente en el rio Cesar, el fenómeno de la sequía ha sido persistente, el presente trabajo busca establecerá un análisis comparativo de dichos periodos.

Palabras clave: Sequía, SPI, SPEI, Rio Cesar, IESP



Abstract

At present climate change and the various effects it has had on the environment is becoming more and more noticeable, it is a phenomenon that has increased in the last decades, in every part of the world. In Colombia, climate change has had an impact on the diversity of climates that have occurred, generating with it many phenomena that have not only affected Colombia but also the world in general, one of these phenomena is the periods of low water experienced by the different regions and therefore the different basins of the country.

With the aforementioned, this project will establish an analysis and characterization of the meteorological and hydrological indices of the Cesar river basin, in order to determine the dry periods of the basin and the influencing factors in this process.

The drought indices of a basin influence the hydraulic designs that can be made within the basin or any of its tributaries, because periods of drought affect the behavior of flows that must be taken into account in the calculation and pre-design of each one of the hydraulic works, in Colombia and specifically in the Cesar river, the phenomenon of drought has been persistent, the present work seeks to establish a comparative analysis of these periods.

Keywords: Drought, SPI, SPEI, Rio Cesar, IESP



Índice de contenido

Introducción	17
Planteamiento del problema y justificación	19
Planteamiento del problema	19
Formulación del problema	19
Justificación.....	20
Objetivo general.....	21
Objetivos específicos.....	21
Alcances y limitaciones	22
Alcances	22
Limitaciones	22
Marco teórico	23
Antecedentes del problema	23
Antecedentes internacionales.	23
Antecedentes nacionales.....	26
Marco conceptual	27
Morfometría.....	27
1. Parámetros asociados a la forma de la cuenca.	27
2. Parámetros relativos al relieve	33
3. Parámetros relativos al drenaje	36
Sequia.....	44



Definición e importancia dentro del cambio climático.....	44
Clasificación.	47
Cobertura vegetal.....	53
Tipos de cobertura vegetal en Colombia.	54
Cobertura vegetal en la sequía.	56
Índices de sequía.....	56
Índice de precipitación estandarizado (SPI).	57
Índice estandarizado de sequía pluviométrica (IESP).	60
Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI).....	61
Definición de términos básicos	61
Metodología	71
Tipo y diseño de la investigación.....	71
Técnicas de muestreo	71
Técnicas para el procesamiento y análisis de la información	74
Resultados y discusión.....	78
Caracterización morfométrica de la cuenca del rio Cesar.....	78
Factores que inciden en los índices de sequía de la cuenca en estudio.....	85
Recopilación de datos en el IDEAM y cálculo de datos faltantes.....	85
Recopilar y analizar los datos de uso del suelo, humedad del suelo y características de la zona.	87
Características de la zona y factores influyentes en los resultados obtenidos.....	93



Cálculo y análisis de las variables meteorológicas e hidrológicas de la cuenca del rio Cesar..	95
Cálculo del índice SPI	95
Cálculo del índice SPEI	99
Cálculo del índice IESP	104
Gráficos de los índices de sequía de la zona de la cuenca	112
Gráficos SPI.....	112
Gráficos SPEI	114
Gráficos IESP	117
Mapas de los índices de sequía SPI, SPEI y IESP	119
Mapa SPI	119
Mapa SPEI.....	121
Mapa IESP	123
Análisis comparativo de índices de sequia.....	126
Clasificación y el tipo de sequía de la cuenca del rio Cesar	128
La sequía en obras hidrosanitarias para el manejo del recurso hídrico	129
Conclusiones	133
Recomendaciones	137
Referencias bibliográficas.....	139
Anexos	143



Índice de figuras

Figura 1. El modelo de curvas hipsométricas del ciclo de erosión. (Senciales y Ferre, 1999).....	36
Figura 2. Ejemplo de orden por Horton	37
Figura 3. Ubicación de las estaciones	74
Figura 4. Subareas de la cuenca del rio Cesar	83
Figura 5. Mapa del departamento del Cesar, Coberturas metodología Corine Land Cover periodo 2000-2002	88
Figura 6. Mapa del departamento del Cesar, Coberturas metodología Corine Land Cover periodo 2010-2012	91
Figura 7. Mapa índice de sequía SPI9 - cuenca del rio Cesar.....	121
Figura 8. Mapa índice de sequía SPEI9 - cuenca del rio Cesar	123
Figura 9. Mapa índice de sequía IESP- cuenca del rio Cesar	125



Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación de tamaños de cuencas.....	28
Tabla 2. Caracterización de la cuenca por medio del factor de Horton.....	30
Tabla 3. Formas de la cuenca según el Kc.....	31
Tabla 4. Características según la razón de elongación.....	33
Tabla 5. Clasificación de pendientes medias.....	35
Tabla 6. Clasificación de la red de drenaje.....	38
Tabla 7. Impactos por tipo de sequía en los diferentes ámbitos, Van Lon n (2015).....	52
Tabla 8. Índices y sus Variables.....	57
Tabla 9. Categorías de intensidad de sequía para el SPI.....	58
Tabla 10. Fenómenos reflejados en cada escala temporal del SPI y sus aplicaciones.....	59
Tabla 11. Probabilidad de ocurrencia.....	59
Tabla 12. Clasificación del Índice estandarizado de sequía pluviométrica.....	60
Tabla 13. Ubicación de las estaciones para el muestreo.....	71
Tabla 14. Estaciones para el muestreo y características.....	73
Tabla 15. Caracterización morfométrica de la cuenca.....	78
Tabla 16. Leyenda de las coberturas del departamento del Cesar periodo 2000-2002.....	89
Tabla 17. Leyenda de las coberturas del departamento del Cesar periodo 2010-2012.....	92
Tabla 18. SPI para el periodo de sequía -1.5 estación Aeropuerto Alfonso López.....	97



Tabla 19. SPEI para periodos de 6, 3 y 9 meses	100
Tabla 20. SPEI para intervalo de 3, 6 y 9 meses en el inicio de la cuenca intervalo 2016 - 2018	102
Tabla 21. IESP para la estación Aeropuerto Alfonso López, serie histórica de 1986 - 1990.....	106
Tabla 22. IESP para la estación Aeropuerto Alfonso López, serie histórica de 2016 - 2020.....	108
Tabla 23. Tipo y clasificación de sequía de la cuenca del río Cesar	129



Índice de graficas

Grafica 1. Consecuencias del fenómeno de la sequia	46
Grafica 2. Características de la sequía meteorológica	48
Grafica 3. Características de la sequía hidrológica	49
Grafica 4. Características sequia hidroedafica o agrícola	50
Grafica 5. Clases mayores de coberturas de la tierra según Corine Land Cover	55
Grafica 6. Delimitación del área de la cuenca	80
Grafica 7. Pendiente de la cuenca del rio Cesar.....	81
Grafica 8, Curva hipsométrica de la cuenca del rio Cesar	83
Grafica 9. Curva IDF estación Aeropuerto Alfonso López	84
Grafica 10. Datos faltantes de precipitación mes de Mayo Estación Aeropuerto Alfonso López	86
Grafica 11. Datos completos de precipitación mes de Mayo Estación Aeropuerto Alfonso López	86
Grafica 12. Datos completos de Temperatura máxima mes de Junio Estación Villa Rosa	94
Grafica 13. Datos completos de Temperatura máxima mes de Diciembre Estación Guaymaral .	95
Grafica 14. Estación Aeropuerto Alonso López periodo de 1986 – 1990, SPI3, SPI6 Y SPI9....	98
Grafica 15. Punto de comienzo de la cuenca periodo de 1986 – 1990, SPEI3, SPEI6 Y SPEI9	104
Grafica 16. Estación Aeropuerto Alfonso López periodo de 1986 – 1990.....	111
Grafica 17. Datos SPI9 periodo 1986 – 2020, estación Villa Rosa	113



Grafica 18. Datos SPI3, SPI6, SPI9 periodo 2016 – 2020, estación Villa Rosa..... 114

Grafica 19. Datos SPEI6 del periodo 1986 – 2018, Punto de comienzo del cauce 116

Grafica 20, Datos SPEI3, SPEI6, SPEI9 del periodo 2016 – 2018, Punto de comienzo del cauce
..... 116

Grafica 21. Datos IESP periodo de 1986 – 2020, Estación Aeropuerto Alfonso López 118

Grafica 22. Datos IESP periodo de 2016 – 2020, Estación Aeropuerto Alfonso López 118





Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Ancho de la cuenca	29
Ecuación 2. Factor de forma de Horton	30
Ecuación 3. Coeficiente de compacidad	31
Ecuación 4. Razón de elongación	32
Ecuación 5. Altitud media ponderada	33
Ecuación 6. Altitud media de cada área parcial	33
Ecuación 7. Pendiente según Taylor y Schwarz	34
Ecuación 8. Densidad de drenaje	38
Ecuación 9. Coeficiente de torrencialidad	39
Ecuación 10. Relación de bifurcación	40
Ecuación 11. Tiempo de concentración según Scs-Ranser.....	41
Ecuación 12. Tiempo de concentración según California Culvert Practice.....	41
Ecuación 13. Tiempo de concentración según Kirpich	41
Ecuación 14. Tiempo de concentración según Témez.....	42
Ecuación 15. Tiempo de concentración según Giandotti.....	42
Ecuación 16. Tiempo de concentración según V.T Chow	42
Ecuación 17. Tiempo de concentración según Clark.....	43
Ecuación 18. Tiempo de concentración según Ventura-Heron	43
Ecuación 19. Tiempo de concentración según Passini	43



Índice de Anexos

- Anexo A. Parámetros geomorfológicos
- Anexo B. Datos faltantes caudal mínimo mensual
- Anexo C. Datos faltantes caudal máximo mensual
- Anexo D. Datos faltantes humedad relativa
- Anexo E. Datos faltantes nivel máximo
- Anexo F. Datos faltantes precipitación
- Anexo G. Datos faltantes temperatura mínima
- Anexo H. Datos faltantes temperatura máxima
- Anexo I. IDF Aeropuerto Alfonso López
- Anexo J. IDF Atanquez
- Anexo K. IDF Callao el
- Anexo L. IDF Esperanza la hacienda
- Anexo M. IDF Guaymaral
- Anexo N. IDF Paris de Francia
- Anexo O. IDF Patillal
- Anexo P. IDF Villa rosa
- Anexo Q. Cobertura vegetal departamento del Cesar



Anexo R. Aeropuerto Alfonso López SPI M_03_06_09

Anexo S. Astrea SPI M_03_06_09

Anexo T. Atanquez SPI M_03_06_09

Anexo U. Callao el SPI M_03_06_09

Anexo V. Chimichagua SPI M_03_06_09

Anexo W. Esperanza la hacienda SPI M_03_06_09

Anexo X. Guaymaral SPI M_03_06_09

Anexo Y. Paris de Francia SPI M_03_06_09

Anexo Z. Patillal SPI M_03_06_09

Anexo AA. Saloa SPI M_03_06_09

Anexo AB. Villa rosa SPI M_03_06_09

Anexo AC. SPEI Dpto. del Cesar

Anexo AD. IESP (Índice estandarizado de sequía pluviométrica)

Anexo AE. Mapa índice de sequía SPI9

Anexo AF. Mapa índice de sequía SPEI9

Anexo AG. Mapa índice de sequía IESP

Anexo AH. Gráficos Clic-MD IESP



Introducción

El cambio que se ha venido viendo de generación en generación no solo ha sido en conocimientos y avances tecnológicos, el cambio se ha visto en todos los aspectos de la vida, incluyendo la naturaleza, en este caso específicamente hay un tipo de cambio que ha evolucionado, pero de manera negativa, y es, el cambio climático, es un hecho que el mundo ha venido teniendo una oleada de diversos fenómenos que no han sido previstos debido a las diversas variables que ha venido teniendo el clima como lo conocíamos, durante esos cambios se han generado o convertido en fenómenos más frecuentes, los denominados el fenómeno de la niña y el niño, este último siendo en Colombia específicamente una alteración en la cantidad de precipitaciones y en la humedad de mayormente las regiones Caribe y Andina, este fenómeno generalmente se presenta en la zona intertropical, dependiendo de la ubicación los diversos países que están dentro de esta franja intertropical experimenta diversos cambios en el clima.

Con lo anterior mencionado entonces se plantea la sequía como un fenómeno recurrente en ciertos periodos del año, siendo este tipo de comportamientos del clima perjudiciales para los cuerpos de agua, ya que se presentaron en esta época la disminución de caudal más notable dentro de todo el periodo del año, lo que nos lleva a plantear la importancia de determinar la incidencia de estos fenómenos dentro de los cuerpos de agua teniendo en cuenta lo indispensables que son para las regiones donde se encuentren ubicados.



En el presente trabajo establece una investigación en torno al fenómeno de la sequía, en específico en la región caribe, en la cuenca del río Cesar, la cual abastece a la mayoría de municipios del departamento del Cesar, dicho fenómeno cobra importancia dentro de las obras hidráulicas del municipio ya que establecerán las pautas para su elaboración teniendo en cuenta los periodos exactos donde pueden incidir, lo que lleva a plantear el cálculo de los índices de sequía de la cuenca para una serie histórica de 30 años, donde podrá determinarse y establecer los periodos en que este fenómeno incidirá en el cuerpo de agua y las consecuencias que ha tenido a largo plazo dentro del mismo.

Para el cálculo de los índices de sequía planteado el presente trabajo se guiara por tres metodologías diferentes para posteriormente establecer una comparación y análisis de los diferentes resultados observados para con ello poder tener un conglomerado de información de mayor veracidad, que además servirá como base para especificar el tipo de sequía afecta a la cuenca, dichas metodologías son el índice estandarizado de sequía pluviométrica (IESP), índice estandarizado de precipitación y evapotranspiración (SPEI) e índice de precipitación estandarizado (SPI); este tipo de estudios se ha llevado a cabo en países latinoamericanos como Venezuela, Brasil, Perú y Ecuador, así mismo también se han llevado a cavado diversos estudios del mismo tipo dentro de las diferentes cuencas de Colombia, ya que es un medio para determinar las diferentes épocas de riesgos y las medidas a implementar, por esto el objetivo de este proyecto consiste en realizar un análisis comparativo de los índices de sequía de la cuenca del río Cesar.



Planteamiento del problema y justificación

Planteamiento del problema

De acuerdo con el POMCA del Rio Guatapuri (2016), en la sub-zona norte de la cuenca del rio cesar, donde se establece la ramificación del rio Guatapuri, se ha venido presentado una amenaza de grado medio en el ámbito del fenómeno de sequias con una vulnerabilidad de carácter medio y un riesgo alto, así mismo se establece que durante el periodo de actualización e investigación de dicho documento se presentaron 4 sequias dentro de la zona norte, comprendiendo el periodo de 2010-2011.

Con lo anterior mencionado, se puede denotar que dicha cuenca ha venido siendo susceptible a los fenómenos de sequía, en específico dentro de las ramificaciones de la cuenca Rio Guatapuri, lo cual lleva a establecer la importancia de determinar y caracterizar los periodos de estiaje de dicha cuenca, pudiendo estar en un riesgo alto en la alteración de su caudal ecológico, es importante recalcar que dicha cuenca es el abastecimiento de la mayoría de municipios del Cesar, incluyendo su capital Valledupar; la necesidad de identificar y caracterizar dichos fenómenos para su posterior tratamiento es imperativa, no solo para la subsistencia de la población, sino también para todas las obras hidráulicas y civiles del municipio que dependen de la cuenca.

Formulación del problema

- ¿Por qué es necesario el cálculo y análisis comparativo de los índices de sequía de la cuenca del rio Cesar?

- ¿Por qué es importante determinar y clasificar los fenómenos de sequía de la cuenca del río Cesar para las obras hidráulicas del municipio?

Justificación

Es de vital importancia en el ámbito de la ingeniería civil poder tener en cuenta los periodos de estiaje de cada una de las cuencas donde se vayan a realizar obras hidráulicas, de esta manera, contar con la información mínima requerida para el cálculo de los diferentes parámetros de diseño, teniendo en cuenta los diversos eventos que pueden presentarse y diseñar de acuerdo a ello; antes de cualquier diseño hidráulico, deben establecerse las condiciones hidrológicas y ecológicas de la cuenca para no tener un impacto negativo en la misma, ya que las normativas Colombianas lo exigen.

La cuenca del río Cesar es quien abastece a la mayoría de municipios del departamento del Cesar, la determinación de los periodos de sequía y por ende los caudales mínimos que puedan presentarse en dicha cuenca, no solo es importante para los aspectos ambientales, teniendo en cuenta la conservación de un caudal mínimo para mantener viva la fuente, sino también dentro del diseño de obras hidráulicas de abastecimiento del recurso, debe tenerse en cuenta los caudales mínimos que presente el afluente para evitar posibles complicaciones durante el servicio, pudiendo otorgar un servicio ininterrumpido, ya que en los cálculos se establecieron los caudales necesarios para ello, y para esto es importante calcular los periodos de sequía de la cuenca.



Objetivo general

Realizar un análisis comparativo de los índices de sequía de la cuenca del río Cesar

Objetivos específicos

- Caracterizar física y morfométricamente la cuenca del río Cesar
- Determinar los factores que inciden en los índices de sequía de la cuenca en estudio
- Establecer los tipos y la clasificación de los índices meteorológicos e hidrológicos de la cuenca del río Cesar
- Generar mapas de los índices de sequía de la zona de la cuenca



Alcances y limitaciones

Alcances

Dentro de los alcances del presente proyecto se destacan la diversidad de software y bases de datos como, QGis en versión libre, SPICalculator, la base de datos global de SPEI o SPEIbase, los cuales a partir de las diferentes fórmulas propuestas por cada uno de los autores de los índices permitieron de manera sencilla el cálculo y obtención de los índices, por otra parte también se dispuso de plataformas como la del IDEAM, donde se pudieron obtener de manera sencilla las diferentes variables de la cuenca de manera remota teniendo en cuenta las características del proyecto; otro alcance fue el uso del software InfoStat para el cálculo de los datos faltantes dentro de las diferentes variables permitiendo de esta manera la continuidad en los datos meteorológicos que dieron como resultado los diferentes índices que plantea el presente proyecto.

Limitaciones

Las limitaciones que se presentaron en la presente investigación fueron dentro del uso de los software y el poder encontrarlos, primeramente debido a que muchos software para el cálculo de los índices son software privados y para hacer uso de ellos se presente la parte económica, la cual fue limitada, por parte de software gratuitos se encontraron limitaciones como errores dentro del software que genero la búsqueda de diversas formas y diversos medios para poder llegar al fin, y por parte de la cobertura vegetal se encontró limitaciones por no poder realizar visitas de campo y generar una capa vegetal propia del proyecto.



Marco teórico

Antecedentes del problema

Antecedentes internacionales.

Vicente Szymula, (2014), analizó la evolución de sequías con metodologías de teledetección, realizando un estudio de las sequias en el periodo de 2001-2009, en el Noreste Argentino, en este estudio se aplicó el índice de palmer y los índices de vegetación (IVs), (NDVI) y (NDWI), obtenidos con imágenes satelitales, es un estudio de espacio temporal.

Penalba, O., & Rivera, J. (2015). Este trabajo consistió en la comparación de seis índices para el monitoreo de sequías meteorológicas en el sur de Sudamérica, el objetivo principal de la comparación era poder visualizar u obtener el índice más adecuado para el posterior análisis de sequias en toda la región.

Según Real Rangel (2016), monitoreo de sequías en México a través de índices multivariados, realizaron un análisis de los grandes periodos de sequía producidos en México teniendo en cuenta que durante el periodo de 2011-2012, y obtuvieron que se presentaron sequias que no solo produjeron problemas en el clima y el suministro hídrico, sino también en la economía.

Gutiérrez-López A., Vargas-Baecheler J., Reséndiz-Torres V., & Cruz-Paz I., (2016), Formulación simplificada de un índice de sequía, empleando una distribución de probabilidad mezclada. Los autores demostraron que el SPI puede calcularse por medio de la hipótesis de que



una serie de eventos ocurre de forma aleatoria en el tiempo. Buscan simplificar aún más el método PSI, de tal manera que consista simplemente en contar número de días de lluvia del periodo, representando de manera sencilla y confiable la condición de sequía.

Olivares B., Cortez A., Lobo D., Parra R., Rey B. J.C., & Rodríguez M.F., (2016), llevaron a cabo un estudio de la Sequía Meteorológica en Localidades de los Llanos de Venezuela mediante el Índice de Precipitación Estandarizado, con la intención de generar estrategias de prevención y mitigación de la sequía meteorológico teniendo en cuenta que puede causar no solo efectos climáticos y en la naturaleza, sino también en la economía del país y diversos sectores productivos, toman como fuente datos del INIA, de estaciones de tipo agrometeorológicas, para proceder a realizar cálculos y el debido análisis.

Pacheco Jheimy, Parra Nathaly & Avilés Alex (2017), analizaron la sequía en la cuenca del Paute mediante el índice de precipitación estandarizado (SPI). El estudio consistió en realizar el cálculo del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) sobre 17 estaciones de precipitación en la cuenca del río Paute con una ventana de 12 meses, dicho estudio busca expresar que la influencia de fenómenos de mayor escala que sean capaces de modificar los patrones de lluvia a grandes escalas.

Castillo-Castillo M, Ibáñez-Castillo L, Valdés J, Arteaga-Ramírez R, Vázquez-Peña M (2017). En el trabajo se realizó realiza un análisis temporal y espacial de la sequía en la cuenca del



río Fuerte para el periodo de 1961 a 2012, teniendo como metodologías principales el índice Estandarizado de Precipitación (SPI) y el Índice Estandarizado de Precipitación-Evapotranspiración (SPEI); ambos índices fueron calculados en 14 estaciones del área de estudio para escalas de 3, 6, 12 y 24 meses.

Campos-Aranda (2018), llevo a cabo los contrastes del Índice de Sequías de Palmer Estandarizado (SPDI) en tres ubicaciones climáticas de San Luis Potosí, México. Es un análisis comparativo de los índices de sequía de palmer estandarizado en diferentes zonas de México, y se comparan posteriormente con los índices SPEI y SPI, para observar la igualdad o diferencia en los diversos resultados, teniendo como resultado los factores y posibles soluciones a los periodos de sequía.

Quesada-Hernández, L. E., Hidalgo, H. G., & Alfaro, E. J. (2020). Dentro del marco de esta investigación tiene como problema principal las sequías en Costa Rica que son un evento hidrometeorológico extremo que afecta a muchos productores agrícolas y a la sociedad en general, teniendo un impacto no solo en la parte agrícola, sino también en la economía y por tanto en la sociedad, el objetivo de esta investigación es identificar cuál índice de sequía logra una relación más fuerte con los impactos asociados a este tipo de acontecimientos extremos en sectores sociales y productivos para tres cantones localizados en Guanacaste, provincia de Costa Rica, ubicada dentro del Corredor Seco Centroamericano (CSC).



Antecedentes nacionales.

Moreno, G., & Cadena, M. C. (2002). Los autores proponen la aplicación de índices de sequía en Colombia, para ello consideraron dos tipos de índices: los basados en lluvia y los basados en el concepto del balance hídrico del suelo. Así mismo consideraron como zona de estudio la región Caribe, a partir de los 8 grados de latitud, aproximadamente. Luego de la aplicación de los índices y su análisis, se concluyó que los índices de balance hídrico en general reflejan mejor lo que sucede con el abastecimiento de agua, y dentro de estos, el índice Z es el que mejor refleja el comportamiento de la sequía.

Conforme a Gómez Latorrez (2016). La comparación de índices de sequía aplicados a estudios climáticos buscó abrir la investigación sobre los diversos métodos de monitoreo de sequía, teniendo en cuenta todas las consecuencias que ha tenido el cambio climático en diversas zonas del mundo. Además, buscaron entender la y analizar los diferentes métodos de monitoreo de sequía específicamente en Colombia, teniendo en cuenta que es un país con gran cantidad del recurso hídrico, es una comparación y análisis teóricos de los diversos métodos para la determinación del índice.

Velandia Ramos (2016). Realizó un modelo hidrológico de predicción de amenazas por sequía bajo escenarios de cambio climático, buscando desarrollar un modelo que además de calcular el índice de sequía tenga en cuenta los impactos del cambio climático, para caracterizar



la sequía y dicho periodo de una forma espacio-temporalidad, de tal manera que se pueda predecir a futuro los periodos de sequía.

Marco conceptual

Morfometría.

Las características físicas de una cuenca tienen una relación estrecha con el comportamiento de los caudales que transitan por ella; sin embargo, la poca información cartográfica de la que se dispone, hace que el encontrar esa relación no sea fácil y que por lo tanto su uso en estudios hidrológicos sea limitado, por otra parte no se puede garantizar que toda la información morfométrica de las cuencas utilizadas para el estudio se pueda obtener en una misma escala, lo cual aumenta el grado de incertidumbre sobre la confiabilidad de los parámetros (UNAL, 1997). La morfometría se divide en tres diferentes parámetros y dichos parámetros se subdividen en los siguientes:

1. Parámetros asociados a la forma de la cuenca.

Área de la cuenca

De acuerdo con Lux Cardona, B., está definida como la proyección horizontal de toda la superficie de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural. Corresponde a la superficie delimitada por la divisoria de aguas de la zona de estudio, así mismo la clasificación de las cuencas según el área se puede establecer con la **tabla 1**.

Tabla 1. Clasificación de tamaños de cuencas

Rangos de áreas (Km ²)	Clasificación
< 25	Microcuenca
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia – Pequeña
500 a 2500	Intermedia – Grande
2500 a 5000	Grande
> 5000	Muy grande

Fuente: Campos Aranda (1992)

Perímetro de la cuenca

Conforme a Cardona Benjamín L., es la longitud sobre un plano horizontal, que recorre la divisoria de aguas. Éste parámetro se mide en unidades de longitud y se expresa normalmente en metros o kilómetros.

Longitud de la cuenca

Según Cardona Benjamín L., se define como la distancia horizontal desde la desembocadura de la cuenca (punto de desfogue) hasta otro punto aguas arriba donde la tendencia general del río principal corte la línea de contorno de la cuenca.



Ancho de la cuenca

Conforme con Cardona Benjamín L., se define como la relación entre el área y la longitud de la cuenca.

Este parámetro se define como lo consignado en la *ecuación 1*.

Ecuación 1. Ancho de la cuenca

$$B = \frac{A}{L}$$

Donde

- A, es el área de la cuenca en Km²
- L, es la longitud del cauce en Km

Factor de forma de Horton K_f

De acuerdo con Cardona Benjamín L., es la relación entre el área y el cuadrado de la longitud de la cuenca. Intenta medir cuan cuadrada (alargada) puede ser la cuenca. Una cuenca con un factor de forma bajo, esta menos sujeta a crecientes que una de la misma área y mayor factor de forma.

Este factor define la forma de la cuenca por medio de lo establecido en la *ecuación 2*.

Ecuación 2. Factor de forma de Horton

$$K_f = \frac{A}{L^2}$$




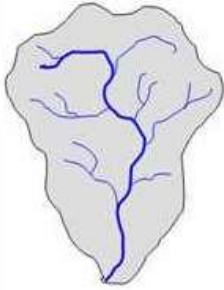
Fuente: Horton R. E., (1932)

Donde

- A, es el área de la cuenca en Km²
- L, es la longitud del cauce en Km

Este factor se caracteriza según lo consignado en la **tabla 2**.

Tabla 2. Caracterización de la cuenca por medio del factor de Horton

Factor de forma K_f	0 – 0.25	0.25 – 0.50	0.50 – 0.75	0.75 – 1
	Estrecha	Alargada	Amplia	Ancha
Ilustración				
Producción sostenida de caudales	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
Potencial a crecientes	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto

Fuente: Morfometría de cuencas 2



Coeficiente de compacidad K_c

Este parámetro es adimensional y relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo teórico de área equivalente al de la cuenca (Gravelius, 1914; Horton, 1932; Jardí, 1985).

Este coeficiente fue propuesto por Gravelius, dicho parámetro compara la forma de la cuenca con un círculo, así mismo su forma de cálculo se puede visualizar en la **ecuación 3**.

Ecuación 3. Coeficiente de compacidad

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde

- P, es el perímetro de la cuenca en Km
- A, es el área de la cuenca en Km²

Las formas de la cuenca de acuerdo al coeficiente de compacidad son las establecidas en la **tabla 3**.

Tabla 3. Formas de la cuenca según el K_c

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

Fuente: Caracterización y clasificación de la red hidrográfica de la cuenca del río Bobo, departamento de Nariño, Colombia en base a (Campos, 1992)

Razón de elongación

Según Camino, M. et al, (2018), es la relación entre el diámetro de un círculo con igual área que la cuenca y la longitud máxima de la cuenca. Este parámetro explica la relación del área con el cauce principal que la drena.

Se establece como la relación entre el diámetro de un círculo que posea la misma área de la cuenca y cuyo diámetro sea igual la longitud de la cuenca, su fórmula es la consignada en la **ecuación 4** propuesta por Schumm (1956).

Ecuación 4. Razón de elongación

$$R_e = 1.128 \frac{\sqrt{A}}{L}$$

Donde

- A, es el área de la cuenca en Km²
- L, es la longitud del cauce en Km

Las características establecidas según la razón de elongación se pueden visualizar en la **tabla 4**.

Tabla 4. Características según la razón de elongación

Razón de elongación	Forma de la cuenca
1.0	Plana - circular
0.5 - 0.8	Plana con porciones accidentales

Fuente: Schumm (1956).

2. Parámetros relativos al relieve

Altura media ponderada

La altitud media ponderada (H_{mp}), es la altura de un rectángulo de igual área que la que encierra la curva hipsométrica. La fórmula para su cálculo es la establecida en la *ecuación 5*.

Ecuación 5. Altitud media ponderada

$$H = \frac{(\sum a_i c_i)}{A}$$

Donde

- a_i , es el área parcial de terreno entre curvas de nivel
- c_i , es la altitud media de cada área parcial entre dos curvas de nivel. *Ecuación 6*.
- A , es el área de la cuenca

Ecuación 6. Altitud media de cada área parcial

$$C_i = \frac{(c_i + c_{i-1})}{2}$$

Donde

- C_i , es la cota mayor
- C_{i-1} , es la cota menor

Pendiente

Conforme a Camino, M. et al, (2018), es un valioso indicador del grado de respuesta de un cauce ante la torrencialidad de la precipitación. En muchas ocasiones es subjetivo estimar el comienzo del cauce principal, en este caso se considera el cauce de máxima longitud.

Es la inclinación que tiene un terreno, en el caso de pendiente de la cuenca, es los desniveles e inclinación que tiene el terreno de la cuenca. La fórmula para su cálculo es la establecida por Taylor y Schwarz, *ecuación 7*; de la misma manera en la *tabla 5* se puede apreciar la clasificación del terreno de acuerdo a estas pendientes.

Ecuación 7. Pendiente según Taylor y Schwarz

$$S = \left[\frac{n}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} \dots + \frac{1}{\sqrt{S_n}}} \right]$$

Donde

- n , es el número de puntos determinados para establecer la pendiente

- S , es la relación entre el desnivel y la cota

Tabla 5. Clasificación de pendientes medias

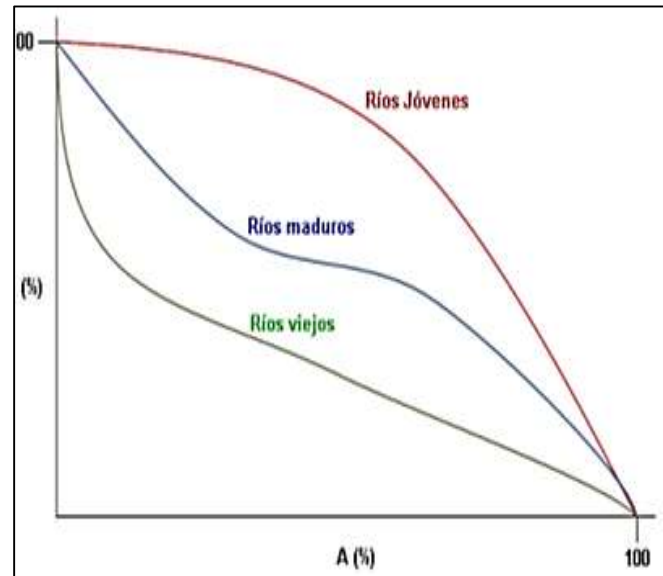
Pendiente (%)	Tipo de relieve
0 – 3	Plano
3 – 7	Suave
7 – 12	Mediano
12 – 35	Accidentado
35 – 50	Fuerte
50 – 75	Muy Fuerte
> 75	Escarpado

Fuente: Ortiz Vera (2004)

Curva hipsométrica

El criterio propuesto por Campos (1999) que considera la relación entre las alturas parciales y la altura total, así como las áreas parciales entre curvas de nivel y el área total. Se establece en la **figura 1**, como se interpretara la curva hipsométrica y las características que determinara para la cuenca, teniendo en cuenta el ciclo de erosión de la misma.

Figura 1. El modelo de curvas hipsométricas del ciclo de erosión. (Senciales y Ferre, 1999)



3. Parámetros relativos al drenaje

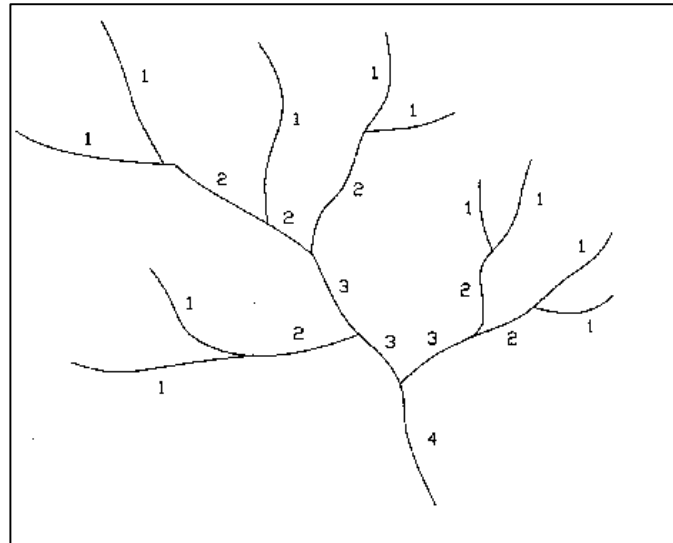
Orden de cauces según Horton

Es aquel número que expresa el grado de ramificación de un sistema hidrográfico (Strahler, 1964).

Este parámetro caracteriza los diferentes cauces dentro de una cuenca, según Horton, se consideran corrientes de primer orden, aquellas corrientes fuertes, portadoras de aguas de nacimientos y que no tienen afluentes. Cuando dos corrientes de orden uno se unen, resulta una corriente de orden dos. De manera general, cuando dos corrientes de orden i se unen, resulta una

corriente de orden $i+1$. Cuando una corriente se une con otra de orden mayor, resulta una corriente que conserva el mayor orden. En la **figura 2**, se puede observar un ejemplo de este parámetro.

Figura 2. *Ejemplo de orden por Horton*



Fuente: Morfometría de la cuenca del río San Pedro, Conchos, Chihuahua, en base a (Horton R. E., 1945)

Densidad de drenaje

Es el parámetro que cuantifica el grado de desarrollo de un sistema hidrográfico y permite conocer su complejidad (Fuentes Junco, 2004; Delgadillo y Páez, 2008)

La fórmula establecida para este parámetro se consigna en la **ecuación 8** y en la **tabla 6** se establece la clasificación de la red de drenaje según los resultados obtenidos.

Ecuación 8. Densidad de drenaje

$$D_d = \frac{L}{A}$$

Donde

- A, es el área de la cuenca en Km²
- L, es la longitud del cauce en Km

Tabla 6. Clasificación de la red de drenaje

Clasificación de la red de drenaje			
Rangos (Km/Km ²)	Clases	Rangos (Km/Km ²)	Clases
Fuentes Junco (2004)		Delgadillo y Páez (2008)	
0.1 – 1.8	Baja	<1	Baja
1.9 – 3.6	Moderada	1 – 2	Moderada
3.7 – 5.6	Alta	2 – 3	Alta
		>3	Muy alta

Coefficiente de torrencialidad

Según Camino, M. et al, (2018), se determina a partir de la relación entre el número total de cursos de primer orden (Nc1) y el área total de la cuenca. Es un indicador de la erodabilidad lineal y la capacidad de descarga de una cuenca.



A mayor número de cursos de primer orden y menor superficie, la torrencialidad de la cuenca será mayor (Romero Díaz y López Bermúdez, 1987)

Mide el grado de torrencialidad que puede presentar según lo establecido en la **ecuación 9**.

Ecuación 9. Coeficiente de torrencialidad

$$C_t = \frac{N^{\circ} \text{Cauces orden 1}}{A}$$

Donde

- A, es el área de la cuenca en Km²

Relación de bifurcación

De acuerdo con Camino, M. et al, (2018), es el cociente entre el número total de cauces de un orden dado (Nr (n)) y el número total de cursos del orden inmediato superior (Nr (n+1)).

De acuerdo con Summerfield (1991), si la litología en una cuenca es homogénea, la relación de bifurcación rara vez es mayor de 5 o menor de 3; si la cuenca es muy elongada, con una alternancia de afloramientos contrastantes en sus características litológicas, pueden obtenerse valores mayores a 10.

Se calcula según lo establecido en la **ecuación 10**.



Ecuación 10. Relación de bifurcación

$$R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}}$$

Donde

- N_u , es el número total de cauces con orden U
- U , es el número de orden de cauce

El valor teórico mínimo de R_b 2, y según Strahler, hay un valor típico entre 3 y 5, en cuencas donde la estructura geológica no distorsione el patrón de drenaje, hay cuencas donde la ley de bifurcación no se cumple.

Tiempo de concentración

Es considerado como el tiempo de viaje de una gota de agua de lluvia que escurre superficialmente desde el lugar más lejano de la cuenca hasta el punto de salida. Para su cálculo se pueden emplear diferentes fórmulas que se relacionan con otros parámetros propios de la cuenca. Para la estimación del tiempo de concentración se recomienda emplear varias ecuaciones empíricas disponibles en la literatura científica, se considera apropiado incluir al menos cinco estimaciones diferentes, (Ven Te Chow, 1994). Los diferentes autores se presentan en las *ecuaciones 11, 12, 13, 14 15, 16, 17, 18 y 19.*

Ecuación 11. Tiempo de concentración según SCS-Ransler

$$T_c = 0.97K^{0.385} \quad K = \frac{L_c^3}{H}$$

Donde

- L_c = Longitud del cauce principal (km)
- H = Diferencia entre la cota mayor y la cota menor de la cuenca (pies)

Ecuación 12. Tiempo de concentración según California Culvert Practice

$$T_c = \left(0.87 \frac{L_c^3}{H}\right)^{0.385}$$

Donde

- L_c = Longitud del cauce principal (km)
- H = Diferencia entre la cota mayor y la cota menor de la cuenca (pies)

Ecuación 13. Tiempo de concentración según Kirpich

$$T_c = 0.066 \left(\frac{L}{\sqrt{S_0}}\right)^{0.77}$$

Donde

- L_c = Longitud del cauce principal (km)
- S_0 = Pendiente del cauce principal (m/m)

Ecuación 14. Tiempo de concentración según Témez

$$T_c = 0.3 \left(\frac{L_c}{S_0^{0.25}} \right)^{0.76}$$

Donde

- L_c = Longitud del cauce principal (km)
- S_0 =Pendiente del cauce principal (%)

Ecuación 15. Tiempo de concentración según Giandotti

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L_c}{25.3\sqrt{L_c S_0}}$$

Donde

- L_c = Longitud del cauce principal (km)
- S_0 =Pendiente del cauce principal (m/m)
- A , es el área de la cuenca (km^2)

Ecuación 16. Tiempo de concentración según V.T Chow

$$T_c = 0.8773 \left(\frac{L_c^{1.5}}{\sqrt{CM_c - Cm_c}} \right)^{0.64}$$

Donde



- L_c = Longitud del cauce principal (km)
- CM_c = Cota mayor del cauce principal (m.s.n.m)
- Cm_c = Cota menor del cauce principal (m.s.n.m)

Ecuación 17. Tiempo de concentración según Clark

$$T_c = 0.335 \left(\frac{A}{S_0^{0.5}} \right)^{0.593}$$

Donde

- A , es el área de la cuenca (km^2)
- S_0 =Pendiente del cauce principal (m/m)

Ecuación 18. Tiempo de concentración según Ventura-Heron

$$T_c = 0.3 \left(\frac{L_c}{S_0^{0.25}} \right)^{0.75}$$

Donde

- L_c = Longitud del cauce principal (km)
- S_0 =Pendiente del cauce principal (%)

Ecuación 19. Tiempo de concentración según Passini

$$T_c = 0.108 \frac{(AL_c)^{1/3}}{\sqrt{S_0}}$$



Donde

- L_c = Longitud del cauce principal (km)
- S_0 =Pendiente del cauce principal (m/m)
- A , es el área de la cuenca (km^2)

Sequia.

Definición e importancia dentro del cambio climático.

Dentro de la definición del fenómeno de sequía o también denominado estiaje, hay diferentes posiciones o diferentes expresiones que engloban lo que es este fenómeno, dependiendo del autor o del ámbito al que este dirigido la definición de dicho fenómeno puede variar, algunas autores la definen de la siguiente manera:

De acuerdo con Cadena (2006), la sequía es un estado donde hay falta o carencia de precipitación, es un lapso o periodo de tiempo donde las precipitaciones son bajas o casi nulas.

Así mismo según La WMO (Organización Mundial Meteorológica), coincide con Cadena, mencionando que es un tiempo de deficiencia constante extendida de precipitaciones, por otro lado el IDEAM menciona que es una ausencia extendida de precipitaciones; los tres autores coinciden en que es una ausencia o carencia de precipitaciones en cierta zona.



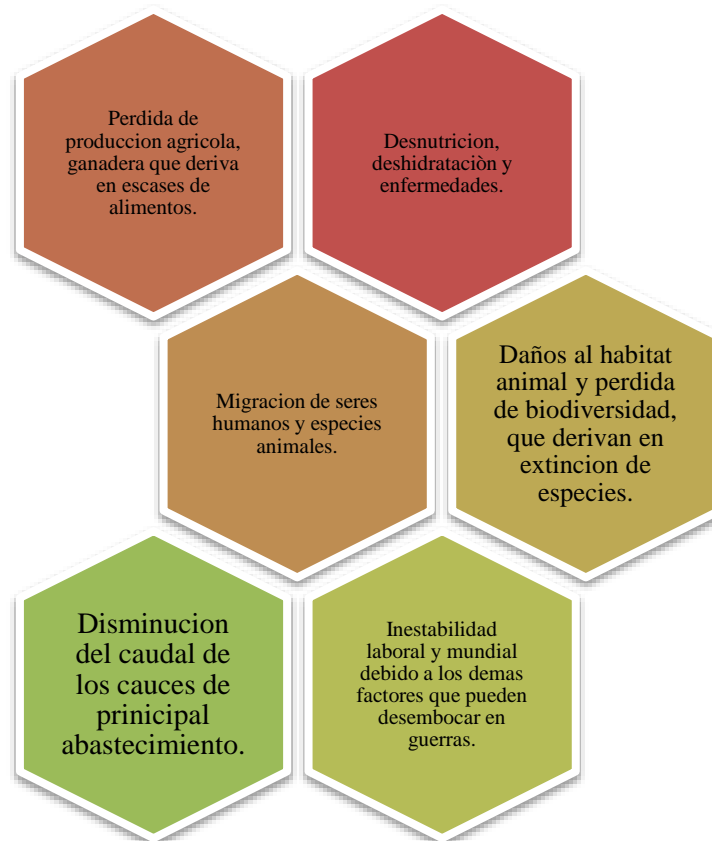
Según Moreno, M (2004), es una característica normal del clima, que consiste en la carencia de precipitaciones dentro de un lapso de tiempo variable.

Conforme a AMS, (1994), es una característica de un periodo relativo de insuficiencia o falta de precipitaciones.

El cambio climático es una variación dentro de las características del clima en este caso de todo el mundo, el cambio climático ha sido un fenómeno que se ha venido escuchando cada vez más fuerte, las diferentes variaciones que ha tenido el clima en todos los rincones del mundo debido a muchos factores, mayoritariamente a los seres humanos y las actividades que practican, debido a que todo esto va ligado específicamente con el calentamiento global y su impacto dentro del clima del mundo, sabiendo esto, ligando estos dos terminados aparece el fenómeno de la sequía, siempre ha sido un fenómeno natural del medio ambiente, ya que en diversos periodos se pueden apreciar disminuciones en las precipitaciones y cambios en la humedad de la zona, pero con el tiempo, la variación del clima y el calentamiento global dicho fenómeno se ha venido acrecentando y haciéndose más frecuente, tenido un impacto negativo en el clima ya que estas sequias que se presentan dentro de las cuencas tienen efectos negativos en la temperatura de la zona, en la humedad de la zona y en el caudal de la zona, siendo la primera un efecto directo al clima de las diferentes zonas donde se presenta este fenómeno; todo lo establecido nos lleva a resumir que todo es un ciclo, el cambio climático se deriva del calentamiento global, el cual se deriva de las

actividades del hombre y todo ello termina generando diversos fenómenos, como el de sequía, que además de todo vuelve al ciclo y causa cambios en el clima.

De acuerdo con la *gráfica 1*, se puede establecer las consecuencias que puede tener el fenómeno de la sequía en un ecosistema y así mismo dentro del clima.



Gráfica 1. Consecuencias del fenómeno de la sequía



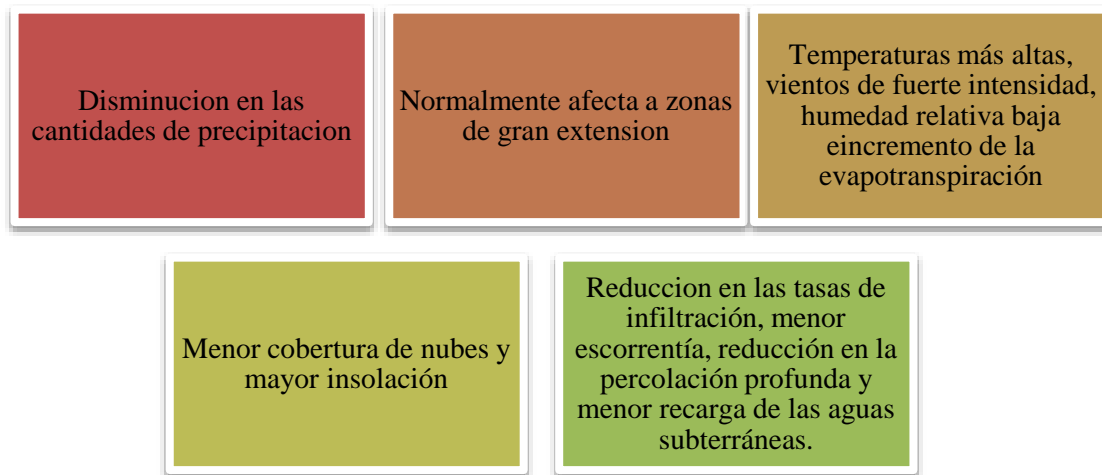
Clasificación.

Sequia meteorológica

De acuerdo con Van Loon, (2015), se trata de una sequía con un periodo o lapso de tiempo comprendido entre meses o años de bajas precipitaciones, son sequias que vienen en conjunto con temperaturas sobre lo normal, y preceden o causan otro tipo de sequias, proviene de anomalías persistentes en comportamiento atmosférico.

Por otra parte, según el IDEAM (2012), es la referencia a un periodo de escasas de lluvia durante un lapso de tiempo específico.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, algunas de las características del fenómeno de sequía meteorológica se presentan en la **gráfica 2**, donde se establecen los posibles efectos y además las características de las zonas que normalmente son afectadas por este tipo de sequía, cabe resaltar que el termino meteorológica se refiere a una región en específica, ya que las diferentes características y déficit de precipitaciones varían de una región a otra.

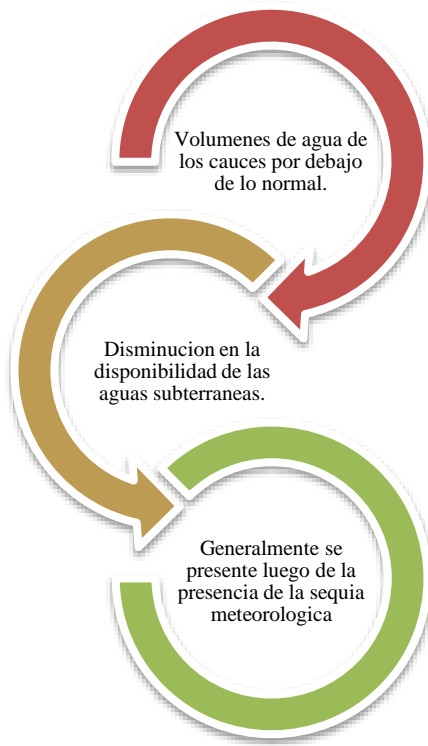


Grafica 2. Características de la sequía meteorológica

Sequia hidrológica

De acuerdo con Van Loon, (2015), es la sequía correspondiente a la baja o disminución de caudales en las cuencas hidrológicas, dichos caudales caen bajo el promedio a largo plazo.

Ocurre de una manera lenta y depende de un desbalance entre la oferta y demanda, en la *gráfica 3*, se pueden visualizar las características de este tipo de sequía, que obedecen a las definiciones ya mencionadas.



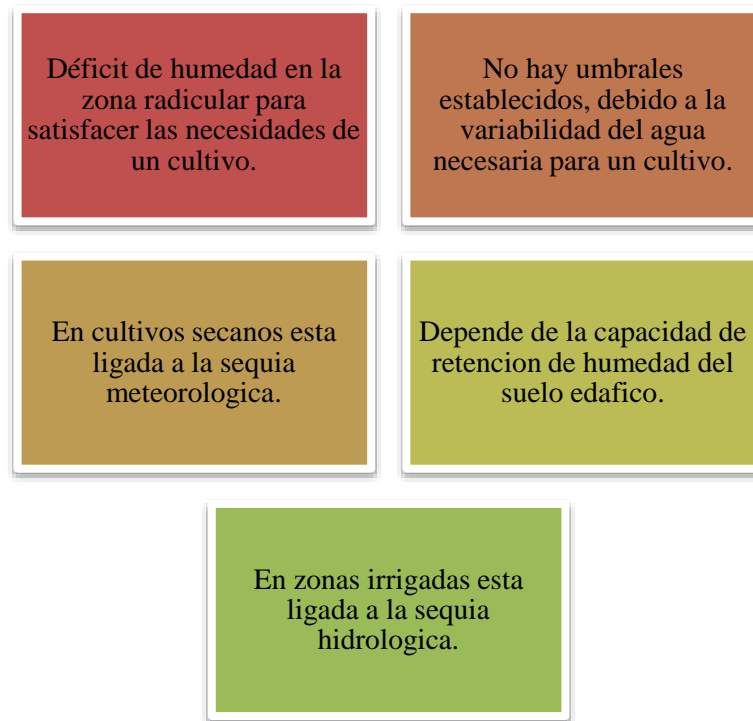
Grafica 3. Características de la sequía hidrológica

Sequia agrícola, agricultura o hidroedáfica

La sequía agrícola es un tipo de sequía que hace referencia a suelos secos, en dicho periodo las precipitaciones son más bajas de lo normal, pero cuando ocurren son intensas, así mismo la evaporación es más alta de lo normal y cada uno de estos factores lleva reducción en la producción y crecimiento de plantas (Van Loon, 2015).

Conforme al IDEAM, (2012), es un periodo de tiempo donde la demanda u oferta hídrica de precipitaciones o aporte de agua al suelo no es lo suficiente, y se encuentra por debajo del promedio normal y por ende los cultivos no pueden desarrollarse de una manera correcta.

La sequía agrícola a diferencia de la sequía hidrológica y meteorológica no es en una gran área o extensión, ya que inclusive se puede presentar diferentes valores o establecer muy variablemente este tipo de sequía en los diferentes cultivos, esto debido a las características establecidas en la *gráfica 4*.



Grafica 4. Características sequía hidroedáfica o agrícola



Sequia estacional

Son sequias con estaciones lluviosas o secas muy bien consolidadas y es típico de regiones tropicales, dicha sequia se debe al comportamiento climático.

De acuerdo con el IDEAM, (2012), esta sequia se debe al comportamiento climático, así mismo es bastante invariable, puede presentarse cada año y generalmente en los mismos meses.

Sequia contingente

De acuerdo con el IDEAM, (2012), es un tipo de sequía donde la temporada de lluvias presenta una baja anormal de las precipitaciones.

Es una distribución irregular y variable de la lluvia, ocurren en algunos periodos más o menos prolongados en los cuales las lluvias son mucho más bajas de lo normal.

Sequia invisible

Conforme al IDEAM, (2012), es una temporada de un periodo de varios meses en las cuales las lluvias o precipitaciones se encuentran por debajo de los promedios normales.

Los diferentes tipos de sequía pueden tener dependiendo sus características diferentes tipos de impactos, por tanto Van Loon, 2015, establece los diversos impactos que pueden tener los diferentes tipos de sequía, establecidos en la **tabla 5**.

Tabla 7. Impactos por tipo de sequía en los diferentes ámbitos, Van Lon (2015)

Categoría		Meteorológica	Agrícola	Hidrológica
Agricultura	Secano	X	X	
	Irrigación		X	X
Ecosistemas	Terrestre	X	X	
	Acuática			X
Energía e Industria	Hidroeléctrica			X
	Enfriamiento de Agua			X
	Navegación			X
	Agua para Beber			X
	Recreación			X

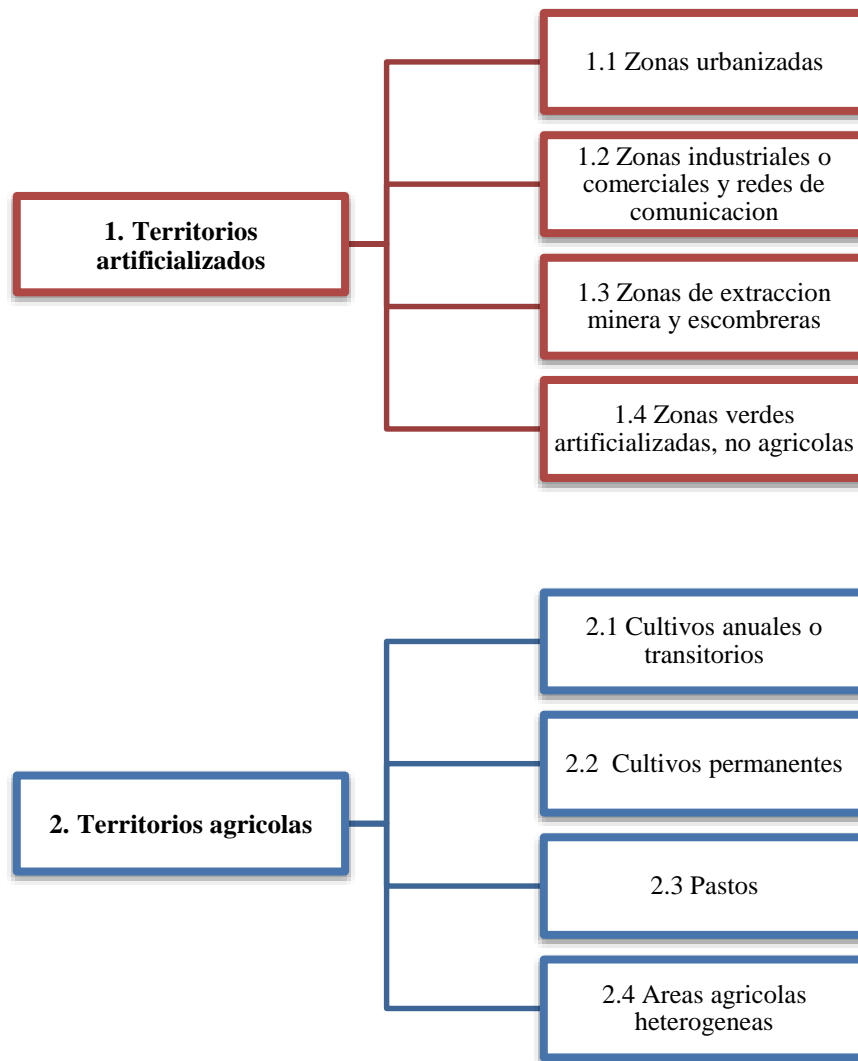
De acuerdo con lo establecido por Van Lon en la *tabla 7*, la sequía meteorológica tiene impactos dentro del ecosistema terrestre y además causa que el terreno de cultivo que no tiene riego y solo depende del agua lluvia tenga una características seca y árida; así mismo establece que la sequía agrícola tiene de la misma manera que la anterior impacto en el ecosistema terrestre, causa secano que es el tipo de terreno mencionado y además irrigación en el cultivo, por ultimo evalúa la sequía hidrológica que a diferencia de las dos anteriores tiene impacto en el ecosistema, pero en el acuático, aun así tiene afectación en la irrigación de los cultivos, y en la parte socioeconómica como es la industria hidroeléctrica, navegación, abastecimiento de agua, recreación y el enfriamiento del agua.

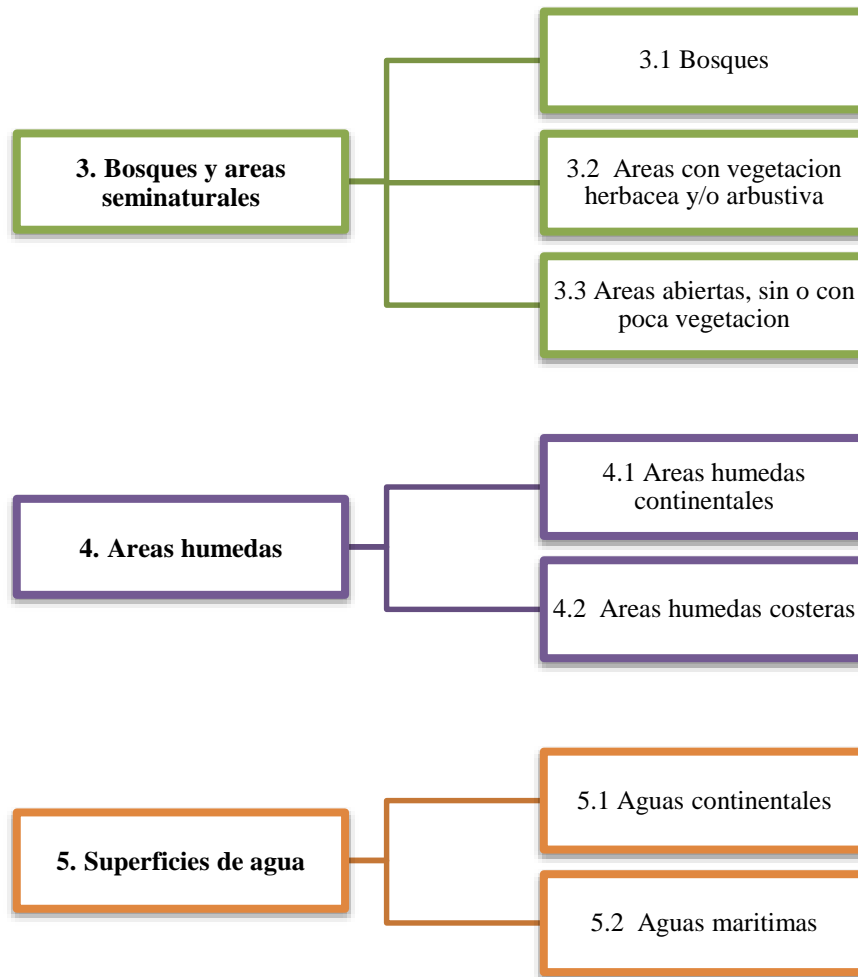


Cobertura vegetal.

La cobertura vegetal es la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, la cobertura se asocia igualmente con la capa orgánica del suelo, teniendo en cuenta que la tierra puede presentar diversos y distintos tipos de suelos, así mismo como los diferentes tipos de suelo, pueden presentarse las diversas clases de biomásas, las coberturas vegetales también abarcan los suelos intervenidos por el hombre en la creación de cultivos, de la misma manera se establece que las coberturas vegetales varían según el clima y según la ubicación geográfica, sin ir muy lejos en Colombia las coberturas vegetales o la cobertura terrestre no es la misma en ninguna de sus regiones, pueden ser parecidas, pero no idénticas, lo que especifica que dependen del clima, el suelo y la posición geográfica donde se encuentren ya que influye en los dos factores anteriormente mencionados, cabe resaltar que en Colombia el organismo encargado de establecer las distintas coberturas es el IDEAM y el IGAC, donde se encuentran diferentes mapas, metodologías y las distintas coberturas ya especificadas dentro del territorio Colombiano.

Tipos de cobertura vegetal en Colombia.





Grafica 5. Clases mayores de coberturas de la tierra según Corine Land Cover.

Fuente: IDEAM – Corine Land Cover



Cobertura vegetal en la sequía.

La cobertura vegetal dentro del fenómeno de la sequía tiene un gran influencia sobre todo en la sequía agrícola, ya que debido al tipo de cobertura que tenga el suelo edáfico, entonces se podrán presentar diversos niveles de sequía en una misma área, ya que en Colombia y en el mundo en general los tipos de cobertura varían inclusive en áreas pequeñas, donde se pueden presentar cultivos, bosques y zonas más húmedas, todo esto influye sobre todo en la sequía agrícola y en cuestión de la sequía hidrológica, dependiendo del tipo de cobertura que se encuentre cerca de la cuenca influenciara dentro del nivel de sequía que pueda presentarse y por tanto en la humedad y la temperatura de la zona, que luego derivara en una sequía meteorología, donde igualmente pueden presentarse diversos niveles de humedad y temperaturas todo dependiendo de la cobertura que tenga la tierra, por ejemplo en la ciudades cuando hay sequia meteorológica las temperaturas son aún más elevadas que en el bosque o en lugares con cobertura vegetal.

Índices de sequía.

De acuerdo con Hurtado Moreno, el índice de sequía se entiende como un valor calculado con relación a algunos efectos acumulativos de una prolongada y anormal deficiencia de humedad. En general los índices de sequía pueden tener diferentes variables a tener en cuenta y por tanto pueden expresarse resultados que difieren, pero siempre significaran un déficit dentro del comportamiento meteorológico, hidrológico o agrícola de una región, el resultado puede ser favorable, es decir, un déficit bajo o uno alto, que tendrá consecuencias a futuro.

Los se definen como herramientas numéricas capaces de simplificar complejas relaciones para valorar de un mejor modo a la sequía y proveer de este modo información para la toma de decisiones. (Jain, Pandei, Jain, & Byun, 2015)

En la **tabla 8**, se puede visualizar las variables que se tienen o se necesitan para el cálculo y desarrollo de los índices de sequía más usados dentro del cálculo de los fenómenos de estiaje.

Tabla 8. Índices y sus Variables

Índice	Indicadores	Tipo de Sequia
Índice de precipitación estandarizado (SPI)	Precipitación	Hidrometeorológico
Índice estandarizado de sequía pluviométrica (IESP)	Precipitación mensual y media	Hidrológica
Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI)	Precipitación y Temperatura	Meteorológica

Índice de precipitación estandarizado (SPI).

Según Vicente-Serrano, Bergueria, & López-Moreno, (2010), el SPI ha sido uno de los índices más aceptados a nivel internacional para ser usado en cualquier estudio de sequía inclusive recomendado por organizaciones internacionales por su facilidad de uso y versatilidad para

cualquier clima. Su cálculo inicia evaluando la precipitación acumulada según la escala temporal de estudio deseada.

Dicho índice se calcula para diversas escalas de tiempo, así mismo depende netamente de la precipitación de la zona, conforme a Gómez Latorre Douglas Andrés, (2017), Se basa en ajustar una serie de registros históricos de precipitación a la función de Distribución Gamma y de estandarizar los datos a una función de distribución normal lo que permite que el SPI represente el número de desviaciones estándar que cada registro de precipitación se desvía del promedio histórico.

La ventaja de este método es que solo depende de la precipitación, así mismo permite detectar la condición de meses secos; así mismo en la **tabla 9**, se puede establecer la categoría de sequía que puede presentarse según el rango que se establezca en los cálculos, de la misma manera en la **tabla 10** y **11** se puede observar las diferentes aplicación e interpretaciones de la escala temporal de este índice y la probabilidad de ocurrencia del fenómeno, respectivamente.

Tabla 9. Categorías de intensidad de sequía para el SPI.

Rango	Categoría
$SPI \geq 1.5$	Extremadamente húmedo
$1.0 \geq SPI > 1.5$	Severamente húmedo
$0.5 \geq SPI > 1.0$	Moderadamente húmedo
$0.0 \geq SPI > -1.0$	Sequia leve
$-1.0 \geq SPI > -1.5$	Sequia moderada

$-1.5 \geq \text{SPI} > -2.0$	Sequia severa
$\text{SPI} \leq -2.0$	Sequia extrema

Fuente: McKee, Doesken y Kleist, (1993).

Tabla 10. Fenómenos reflejados en cada escala temporal del SPI y sus aplicaciones.

Escala temporal	Aplicación e interpretación
SPI01 (1 mes)	Sequias de tipo meteorológico, junto con estrés de humedad del suelo y cultivos a corto plazo, especialmente durante la etapa de desarrollo.
SPI03 (3 meses)	Estimación estacional de precipitación. Es un indicador de las condiciones de humedad del suelo.
SPI06 (6 meses)	Precipitación a lo largo de distintas estaciones. Anomalías en flujos en cauces y niveles en almacenamientos.
SPI09 (9 meses)	Impactos en la agricultura.
SPI12 (12 meses)	Impactos en flujos en cauces, cuerpos de agua y acuíferos.

Fuente: NDMC, (2016); WMO (2012).

Tabla 11. Probabilidad de ocurrencia

SPI	Categoría	Número de veces en 100 años	Severidad del episodio
0 a -0.99	Sequia leve	33	1 en 3 años
-1.00 a -1.49	Sequia moderada	10	1 en 10 años
-1.5 a -1.99	Sequia severa	5	1 en 20 años
<-2.00	Sequia extrema	2.5	1 en 50 años

Fuente: Organización meteorológica mundial (OMM-N°1090, 2012)

Índice estandarizado de sequía pluviométrica (IESP).

De acuerdo con M. Peña-Gallardo et al. (2016), Este es un índice mensual de sequía pluviométrica formulado por Pita (2001b) y basado en el cálculo de anomalías mensuales acumuladas. En este sentido es muy similar al SPI pues, al igual que en éste, las anomalías son estandarizadas, correspondiendo los valores negativos a meses secos y los valores positivos a meses húmedos.

Es un índice que se fundamenta muy parecido al SPI, se basa en series de precipitaciones estandarizadas y según Limones N et al., el Índice Estandarizado de Sequía Pluviométrica IESP (IESAp para aportaciones) es un índice mensual de sequía pluviométrica que se basa en el cálculo de las anomalías pluviométricas mensuales acumuladas y estandarizadas, de modo similar al conocido Standardized Precipitation Index (SPI) de McKee (McKee et al., 1995). En la **tabla 12**, se establece la clasificación de la sequía según este índice.

Tabla 12. Clasificación del Índice estandarizado de sequía pluviométrica

Valores IESP	Clasificación
$IESP \geq 0$	Sin sequia
$-1 < IESP \leq 0$	Sequia moderada
$-1.7 < IESP \leq -1$	Sequia severa
$-2.3 < IESP \leq -1.7$	Sequia extraordinaria
$IESP \leq -2.3$	Sequia excepcional

Fuente: Pita (2001b)



Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI).

Conforme a Vicente-Serrano, Bergueria, & López-Moreno, (2010), Sus fundamentos radican en la búsqueda de un índice con la capacidad de ser multitemporal y estándar como el SPI.

La diferencia con el SPI es la sensibilidad de cambios en la demanda de evaporación que se causa por fluctuaciones en la temperatura. Su principio es ser un índice multiescalar a través del uso del grado de diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración.

En el caso del SPEI, los valores para su caracterización se basan también la **tabla 9**, ya que tienen similitudes con el índice de sequía de Palmer, (SPI).

Definición de términos básicos

El siguiente glosario es establecido por el IDEAM dentro de diversos años comprendidos entre el 2014 y 2019, teniendo en cuenta las diversas aplicaciones e información que proporcionan a la comunidad sobre las diferentes variables climáticas, meteorológicas, terrestres, hídricas y estudios ambientales que son necesarios para conservar la vida animal, vegetal y la naturaleza en la tierra, específicamente en el territorio Colombiano.

Acuífero

Los acuíferos son unidades de roca o sedimentos compuestos de material permeable, capaz de almacenar y transmitir cierta cantidad de agua. Constituyen depósitos de agua que pueden ser aprovechadas mediante obras de captación. Pueden clasificarse, según:



- i) las características litológicas: detríticos, carbonatados.
- ii) el tipo de huecos: poroso, kárstico, fisurado.
- iii) la presión hidrostática: libres, confinados y semiconfinados. (IDEAM, 2014)

Acuífero libre

También llamados no confinados o freáticos. Se trata de un acuífero que no se encuentra confinado por ninguna capa impermeable o de baja permeabilidad y existe una superficie libre y real del agua almacenada, que está en contacto con el aire y a la presión atmosférica. (IDEAM, 2014)

Agua

Fase líquida de un compuesto químico formado aproximadamente por dos partes de hidrógeno y 16 partes de oxígeno en peso. En la naturaleza contiene pequeñas cantidades de agua pesada, gases y sólidos -principalmente sales- en disolución. (IDEAM, 2014)

Agua dulce

Agua con baja concentración de sales, o generalmente considerada adecuada para producir agua potable. (WMO, 2012). El agua dulce es la que se encuentra naturalmente en la superficie de la Tierra en capas de hielo, humedales, lagunas, lagos, ríos y arroyos, y bajo la superficie como



agua subterránea en acuíferos y corrientes bajo tierra. Se caracteriza generalmente por tener una baja concentración de sales y sólidos disueltos. (Tomado de <https://www.iagua.es/>)

Agua superficiales

Son todas las aguas que se encuentran en la superficie del suelo. Son producidas por la escorrentía generada por las precipitaciones y por la captación de aguas subterráneas. Pueden presentarse como corrientes de agua que se mueven en una dirección como son los ríos y los manantiales; o como aguas en calma o quietas como los lagos. (IDEAM, 2014)

Agua continental

Parte de la hidrosfera que engloba las aguas superficiales y subterráneas existentes sobre la superficie del terreno o debajo de ella. (WMO, 2012)

Aguas continentales

Cuerpos de agua que se encuentran en tierra firme hasta la línea de la más alta marea promedio. Se localiza en las tierras emergidas, ya sea en forma de agua superficial o agua subterránea. (Decreto. 050/2018)

Aguas bajas

Mínimo nivel alcanzado en un curso de agua, un lago o un embalse durante una sequía. (IDEAM, 2014)



Altura piezométrica

Es la altura que alcanza el agua dentro del piezómetro medida desde el nivel del mar. Es la suma de la cota de superficie libre y de la altura dinámica del agua en un pozo o piezómetro. (IDEAM, 2014)

Balance Hídrico

Evaluación de los aportes y descargas de agua de un acuífero o una cuenca hidrográfica para un período de tiempo determinado. (WMO, 2012). Cálculo numérico basado en el principio de que el flujo de salida de una cuenca hidrográfica o masa de agua determinadas debe ser igual al flujo de entrada más o menos la variación en el almacenamiento. (WMO, 2012).

Bioma

Área homogénea en términos biofísicos, ubicable dentro de un zonobioma, orobioma o pedobioma, cada uno de los cuales abarca un conjunto de ecosistemas más específicos; también se puede mencionar que los biomas son: ambientes grandes y uniformes de la geobiósfera. Esta definición se adopta del concepto de los biomas de Walter (1980) el cual es tomado del "Informe Nacional Sobre el Estado de la Biodiversidad" del Instituto Humboldt (1997); esta definición es usada en la elaboración del mapa de ecosistemas de Colombia a escala 1:100.000. (IDEAM, 2014)

Cuenca



Área de drenaje de un curso de agua, río o lago. Partiendo del concepto real de cuenca ambiental es aquella área fisiográfica superficial que drena sus aguas, sedimentos y los materiales disueltos hacia una corriente en un punto y tiempo dado; rodeada por una frontera o divisoria de aguas que separa la superficie, una de otra, por donde fluye la escorrentía superficial y subterránea cuyos desagües corren hacia un punto común. (IDEAM, 2014)

También se define como una unidad fisiográfica conformada por la reunión de un sistema de cursos de ríos de agua definidos por el relieve. Los límites de la cuenca o divisoria de aguas se definen naturalmente y en forma práctica corresponden a las partes más altas del área que encierra un río. (IDEAM, 2014)

Cuenca hidrogeológica

Es una unidad fisiográfica que contiene un gran acuífero o varios conectados o interrelacionados, cuyas aguas fluyen a un desagüe común, o a otras cuencas hidrogeológicas, y que está delimitada por una divisoria de aguas subterráneas. (IDEAM, 2014)

Clasificación de cuencas

Una cuenca está drenada por un gran número de corrientes cuyo tamaño aumenta aguas abajo desde pequeños hilillos de agua, quebradas, arroyos, hasta los grandes ríos que desembocan en el mar. Estas corrientes son la causa de las diferentes orientaciones existentes en la cuenca, de las clasificaciones y rangos de acuerdo con densidad de drenaje, pendiente, y área de la cuenca.



Estos probablemente son los factores más importantes a la hora de clasificar una cuenca. De ella se puede obtener una gran cantidad de información en lo que se refiere a la roca madre y a los materiales del suelo, a la cantidad de agua que circula, a la morfología, etc. (IDEAM, 2014)

Cauce

Canal por donde se lleva el agua de un lugar a otro. Parte profunda de un río o curso de agua por la que fluye la corriente principal. Lecho o lugar por donde corren las aguas de un río o arroyo. (IDEAM, 2014)

Cauce natural

Cauce natural o artificial a lo largo o a través del cual puede fluir el agua. Canal por el que circula el agua de una corriente. En el cauce de un río se distinguen el fondo y las paredes. En las avenidas el agua puede rebasar el cauce y ocupar el lecho de inundación. (IDEAM, 2014)

Cobertura de la Tierra

La cobertura de la tierra se puede definir como la "cubierta física (bio) observada de la superficie de la tierra". Refleja la ocupación de la tierra (y su transformación) por diversos factores naturales, modificados o sistemas artificiales y, en cierta medida, cómo estos sistemas afectan la tierra. Es uno de los indicadores más fácilmente detectables de intervención humana en la tierra, debido a que puede cambiar rápidamente con el tiempo. (Di Gregorio A, LJM Jansen; 2005)



Demanda hídrica

En el contexto de la hidrología se entiende como la estimación de la extracción de agua del sistema para ser usado como parte de las actividades productivas, desde el punto de vista económico, y para el uso doméstico. También se entiende a partir de la competencia por el uso que hacen los sectores y, por lo tanto, se asume como la no disponibilidad de agua para otras actividades antrópicas y los ecosistemas en un territorio y por un periodo de tiempo (IDEAM, 2019).

Drenaje

Evacuación del agua superficial o subterránea, de una zona determinada, por gravedad o bombeo. (IDEAM, 2019).

Estación Climatológica Ordinaria (CO) (Redes)

Este tipo de estaciones poseen obligatoriamente un pluviómetro, pluviógrafo y psicrómetro. Es decir miden lluvias y temperaturas extremas e instantáneas. (IDEAM, 2014).

Estación Climatológica Principal (CP) (Redes)

Es aquella en la cual se hacen observaciones de visibilidad, tiempo atmosférico presente, cantidad, tipo y altura de las nubes, estado del suelo, precipitación, temperatura del aire, humedad, viento, radiación, solar, brillo solar, evaporación y fenómenos especiales. Gran parte de estos



parámetros se obtienen de instrumentos registradores. Por lo general se efectúan tres observaciones diarias. (IDEAM, 2014).

Estación Pluviográfica (PG) (Redes)

Registra en forma mecánica y continua la precipitación, en una gráfica que permite conocer la cantidad, duración, intensidad y periodo en que ha ocurrido la lluvia. Actualmente se utilizan los pluviógrafos de registro diario. (IDEAM, 2014).

Estación Pluviométrica (PM) (Redes)

Es una estación meteorológica dotada de un pluviómetro o recipiente que permite medir la cantidad de lluvia caída entre dos observaciones consecutivas. (IDEAM, 2014).

Hidrografía

Ciencia que se ocupa de la descripción y medición de extensiones de agua con lámina libre tales como océanos, mares, arroyos, ríos, lagos y embalses. Cartografía de extensiones de agua para su uso en navegación (WMO, 2012).

Índice de sequía

Valor calculado con relación a algunos de los efectos acumulativos de una prolongada y anormal deficiencia de humedad. Un índice de sequía hidrológica se referiría a niveles por debajo de la media en los cursos de agua, lagos y embalses. Sin embargo un índice de sequía agrícola ha

de referirse a los efectos de un déficit total o anormal de transpiración en los cultivos. (IDEAM, 2014).

Infiltración

Flujo de agua que penetra en un medio poroso a través de la superficie del suelo. (WMO, 2012). Un estuario es el lugar donde confluye la desembocadura de un río con el mar, haciendo que se unan el agua dulce del río con el agua salada del mar, cuando esta sube. Los estuarios suelen tener forma de embudos, es en la zona más ancha donde se mezclan los dos diferentes tipos de agua. (IDEAM, 2014).

Lluvia

La lluvia es la precipitación de agua, es un fenómeno del medio ambiente, dentro de las variables meteorológicas.

Precipitación

Es la caída o como su término lo indica la precipitación del agua desde la atmosfera hacia la superficie terrestre, es parte del ciclo del agua que mantiene el equilibrio en la tierra.

Río

Corriente de agua de grandes dimensiones que sirve de canal natural en una cuenca de drenaje. (IDEAM, 2019).



Red hidrográfica

Conjunto de ríos y otros cursos de agua permanentes o temporales, incluyendo lagos y embalses, en una zona determinada. (WMO, 2012)

Uso del suelo

El uso del suelo caracteriza los arreglos, actividades e insumos que las personas realizan en un determinado tipo de cobertura de la tierra para producir en ella, cambiarla o mantenerla. La definición del uso del suelo de esta manera establece un vínculo directo entre la cobertura de la tierra y las acciones de las personas en su entorno. (Di Gregorio A, LJM Jansen; 2005).



Metodología

Tipo y diseño de la investigación

La técnica de investigación es mixta, porque consta de investigación cuantitativa y cualitativa, debido a que se buscaba identificar las características de la cuenca, además del cálculo de los índices de sequía que se considera cuantitativo, pero a la vez realizar su comparación en base a las características de la cuenca y de la zona, dando como resultado una investigación mixta.

Técnicas de muestreo

En el caso de la investigación del presente documento las técnicas de muestreo se enfocaron en la información que se seleccionaría basándose en la zona de influencia del proyecto, dentro de la plataforma del IDEAM, a partir de las diferentes estaciones que poseen; las estaciones que se utilizaron son las presentadas en la *tabla 13, 14* y en la *figura 3*.

Tabla 13. Ubicación de las estaciones para el muestreo

Código Estación	Nombre Estación	Latitud-Long.	Altitud	Ubicación
28037060	CANTACLARO	10.08847222, -73.73280556	120	Valledupar, Cesar
28017110	MINA LA	10.68672222, -73.26983333	429	Valledupar, Cesar
28037010	PUENTE CALLAO	10.36288889, -73.31736111	120	Valledupar, Cesar
28037130	PUENTE CARRETERA	10.15752778, -73.62477778	80	Valledupar, Cesar



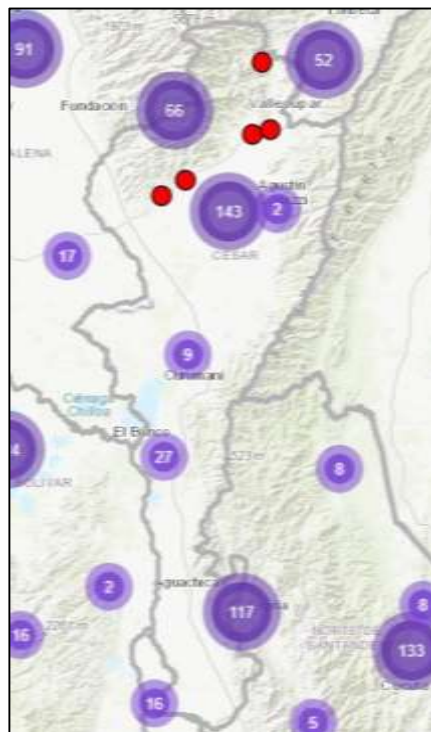
28037030	PUENTE SALGUERO - AUT	10.38411111, -73.23247222	113	Valledupar, Cesar
28025502	AEROPUERTO ALFONSO LOPEZ	10.43616667, -73.24766667	138	Valledupar, Cesar
28010360	ATANQUEZ	10.69733333, -73.35305556	800	Valledupar, Cesar
28035020	CALLAO EL	10.36305556, -73.31944444	110	Valledupar, Cesar
28020150	ESPERANZA LA HACIENDA	10.02997222, -73.66883333	60	Valledupar, Cesar
28035040	GUAYMARAL	9.90491667, -73.64752778	50	Valledupar, Cesar
28010370	PARIS DE FRANCIA	10.30708333, -73.32544444	180	Valledupar, Cesar
28010090	PATILLAL	10.70386111, -73.21161111	450	Valledupar, Cesar
28035010	VILLA ROSA	10.19066667, -73.54738889	70	Valledupar, Cesar
25027890	PUENTE CARRETERA	9.34233333, -73.49088889	120	Chiriguaná, Cesar
25027080	GRACIAS A DIOS HACIENDA	9.19447222, -73.57652778	46	Curumaní, Cesar
25025250	CHIRIGUANA	9.36102778, -73.59338889	40	Chiriguaná, Cesar
28015070	URUMITA	10.56638889, -73.01638889	255	Urumita, La Guajira
25020220	ASTREA	9.49294444, -73.97288889	50	Astrea, Cesar
25021240	CHIMICHAGUA	9.26008333, -73.80986111	138	Chimichagua, Cesar
25020270	SALOA	9.19316667, -73.73130556	90	Chimichagua, Cesar

Tabla 14. Estaciones para el muestreo y características

Código Estación	Nombre Estación	Categoría	Zona hidrográfica	Subzona hidrográfica
28037060	CANTACLARO	Limnigráfica	Cesar	Medio Cesar
28017110	MINA LA	Limnigráfica	Cesar	Alto Cesar
28037010	PUENTE CALLAO	Limnigráfica	Cesar	Medio Cesar
28037130	PUENTE CARRETERA	Limnigráfica	Cesar	Medio Cesar
28037030	PUENTE SALGUERO - AUT	Limnigráfica	Cesar	Medio Cesar
28025502	AEROPUERTO ALFONSO LOPEZ	Sinóptica Principal	Cesar	Medio Cesar
28010360	ATANQUEZ	Pluviométrica	Cesar	Alto Cesar
28035020	CALLAO EL	Climática Ordinaria	Cesar	Medio Cesar
28020150	ESPERANZA LA HACIENDA	Pluviométrica	Cesar	Medio Cesar
28035040	GUAYMARAL	Climática Ordinaria	Cesar	Medio Cesar
28010370	PARIS DE FRANCIA	Pluviométrica	Cesar	Medio Cesar
28010090	PATILLAL	Pluviométrica	Cesar	Alto Cesar
28035010	VILLA ROSA	Climática Ordinaria	Cesar	Medio Cesar
25027890	PUENTE CARRETERA	Limnimétrica	Cesar	Bajo Cesar
25027080	GRACIAS A DIOS HACIENDA	Limnimétrica	Cesar	Bajo Cesar
25025250	CHIRIGUANA	Climática Ordinaria	Cesar	Bajo Cesar

28015070	URUMITA	Climática Ordinaria	Cesar	Alto Cesar
25020220	ASTREA	Pluviométrica	Cesar	Bajo Cesar
25021240	CHIMICHAGUA	Pluviométrica	Cesar	Bajo Cesar
25020270	SALOA	Pluviométrica	Cesar	Bajo Cesar

Figura 3. Ubicación de las estaciones



Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

Caracterización física y morfométricamente la cuenca del río Cesar

1. Para la caracterización morfométrica de la cuenca se utilizó el software QGIS y una página de descargue de datos, para la exportación de imágenes DEM (modelo digital de elevación), de



nombre explorador de la tierra, que es el consignado en el siguiente link <https://earthexplorer.usgs.gov/>, con el software se calcularon los diferentes parámetros necesarios para la caracterización de la cuenca.

Determinación de los factores que inciden en los índices de sequía de la cuenca en estudio

2. Se solicitó a la información por medio del portal de información y descargue de datos del IDEAM, que se establece del siguiente link <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/> , donde se estableció las fechas y los parámetros que se requerían, las fechas siempre se basaban con una serie mínima de 30 años, donde se establecieron fechas de mínimo el año 1986, para tener un rango mayor a 30 y prever posibles datos faltantes o inclusive años faltantes, donde las estaciones pudieron estar en mantenimiento.

3. Se bajaron los diferentes datos dentro de archivos zip, para generar su posterior organización y generación de los formatos de anexo, para como paso siguiente generar los datos faltantes, teniendo en cuenta el rango de datos faltantes.

4. Los datos faltantes que se analizaron dentro de los diferentes datos obtenidos se generaron a partir del software infostat, donde se utilizaron metodologías como Euclidea y Manhattan promedio, teniendo en cuenta las diferentes necesidades de cada uno de los parámetros, debido a los diferentes porcentajes de datos faltantes, por esta razón se utilizaron diferentes metodologías, específicamente en los años 2012 y 1987, del parámetro de humedad relativa.



5. Generando los datos faltantes de cada parámetro, los que se encontraban diarios se les realizó el promedio mensual, para tener los datos no solo simplificados, sino también en línea con los datos necesarios para el cálculo de los índices, teniendo en cuenta, que los tres, se calculan con parámetros mensuales; así mismo luego de generar los promedios mensuales se establecieron las diferentes gráficas para la comparación de los datos mensuales con datos faltantes y sin datos faltantes, y de la misma manera el análisis del parámetro de manera gráfica.

6. Para la obtención del parámetro de cobertura vegetal y uso del suelo, se obtuvieron las diferentes plantillas establecidas dentro de la metodología Corine Land Cover Colombia (CLC), donde se obtuvieron las diferentes coberturas en toda Colombia y se generó un perfil para filtrar los necesarios, que corresponden al departamento del Cesar.

Establecimiento de los tipos y la clasificación de los índices meteorológicos e hidrológicos de la cuenca del río Cesar

7. Para el cálculo del SPI, se descargó un software de la página NDMC (National Crought Mitigation Center), establecido como SPI Generator, dicho software es una versión gratuita, que calcula el SPI a base de datos mensuales, diarios o anuales, teniendo en cuenta archivos cvs, en el caso del proyecto se calculó a base de datos mensuales con la serie histórica de cada una de las estaciones de las que se obtuvo el dato de precipitación, que es la única variable que se tiene en cuenta para dicho calculo.



8. Con el fin de obtener los datos del índice SPEI, se utilizó la plataforma de base de datos globales del SPEI, que consta con una serie histórica de datos desde 1901 hasta el 2018, por medio de esta plataforma se obtuvieron con las coordenadas de la cuenca el SPEI para los diferentes años de influencia del proyecto; el link para el acceso a dicha base de datos es el siguiente, <https://spei.csic.es/database.html#p3>

9. Con el propósito de realizar los cálculos del IESP, se obtuvo una licencia de prueba del programa Clic-MD, desarrollado por el Dr. Francisco Bautista Zúñiga, I.S.C Aristeo Pacheco Perez y M.C. Dorian Antonio Bautista Hernández, con dicho programa se obtuvieron las gráficas y los valores del IESP mensual para cada uno de los años de la serie histórica de datos del presente proyecto, suministrándole datos como precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima y temperatura media; los resultados se bajaron en formato Excel.

Generación de mapas de los índices de sequía de la zona de la cuenca

10. Para la elaboración de los mapas se utilizó una versión paga de ArcGIS en préstamo, con el propósito de por medio de todas las herramientas que posee el software, realizar los diferentes mapas en base a toda la información obtenida de los cálculos de índices y por tanto de los periodos de estiaje.

Resultados y discusión

Caracterización morfométrica de la cuenca del río Cesar

Los diversos cálculos y procesamiento de datos para la obtención de los parámetros morfológicos de la cuenca se subdividieron y establecieron en el anexo A, del presente proyecto, en dicho anexo se encuentran consignado cada uno de los parámetros de entrada que son suministrados por el software QGis en versión libre y los parámetros que depende de fórmulas ya predeterminadas por los diferentes estudios que se han venido realizando en este ámbito, se encuentran establecidas en la hoja de cálculo; así mismo en este anexo se establecen y subdividen los parámetros en 3 clases, los resultados de manera resumida se pueden apreciar en la **tabla 15**

Tabla 15. Caracterización morfométrica de la cuenca

Tipo de parámetro	Parámetro	Abreviatura	Resultado	Unidades
Parámetros asociados a la forma	Área	A	20805.31	Km ²
	Perímetro	P	908.85	Km
	Longitud de la cuenca	Lc	317.74	Km
	Ancho de la cuenca	B	22.89	Km
	Factor de forma de Horton	K _f	0.009	Adm
	Coefficiente de compacidad	K _c	1.76	Adm
	Razón de elongación	R _e	0.51	Adm
Parámetros relativos al relieve	Altitud media ponderada	Hm _p	474.50	m.s.n.m
	Pendiente	S ₀	0.33	m/m
	Curva hipsométrica	Subareas	25	Adm
	Orden de los cauces		6	Adm

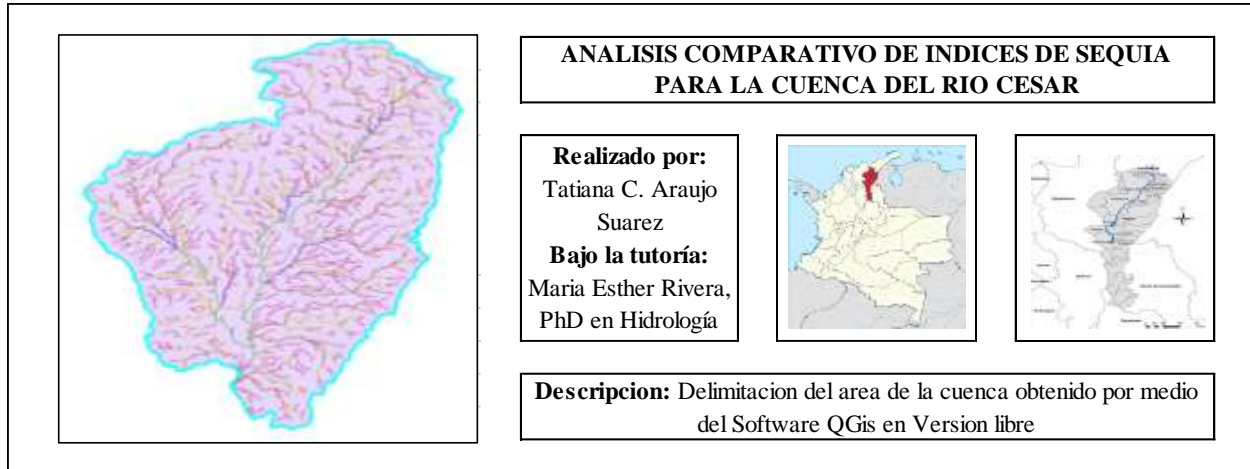


Parámetros relativos al drenaje	Densidad de drenaje	D_d	0.0153	Km/Km^2
	Coefficiente de torrencialidad	C_t	0.057	
	Relación de bifurcación	Rb_u	1-3	
	Scs-Ranser	T_c	17.41	Horas
	California Culvert Practice	T_c	26.87	Horas
	Kirpich	T_c	8.53	Horas
	Tiempo de concentración Témez	T_c	12.30	Horas
	Giandotti	T_c	4.06	Horas
	V.T Chow	T_c	14.14	Horas
	Ventura- Heron	T_c	11.71	Horas
Passini	T_c	35.24	Horas	

Fuente: Araujo T., (2020) – A partir de la información obtenida de la base de datos del IDEAM

Conforme a la **tabla 15**, y según lo establecido por Campos Aranda (1992), en la **tabla 1**, se deduce que el río Cesar es una cuenca de tamaño muy grande, debido a las áreas que abarca como se puede visualizar en la **gráfica 6**; por otra parte, debido al ancho y forma de la cuenca esto indica según lo establecido en **tabla 2**, que es cuenca de características estrechas con potencialidad a crecientes moderadas a bajas e igualmente bajas a moderadas producciones sostenidas de caudales, lo cual se corrobora con lo consignado en la **tabla 3**, que da como resultado una cuenca de características oval - oblonga a rectangular – oblonga, este tipo de formas poseen crecientes altas, pero debido que la cuenca según la clasificación establecida por Horton, también posee una

característica forma alargada, lo cual da como resultado potenciales a crecientes moderadas a bajas.



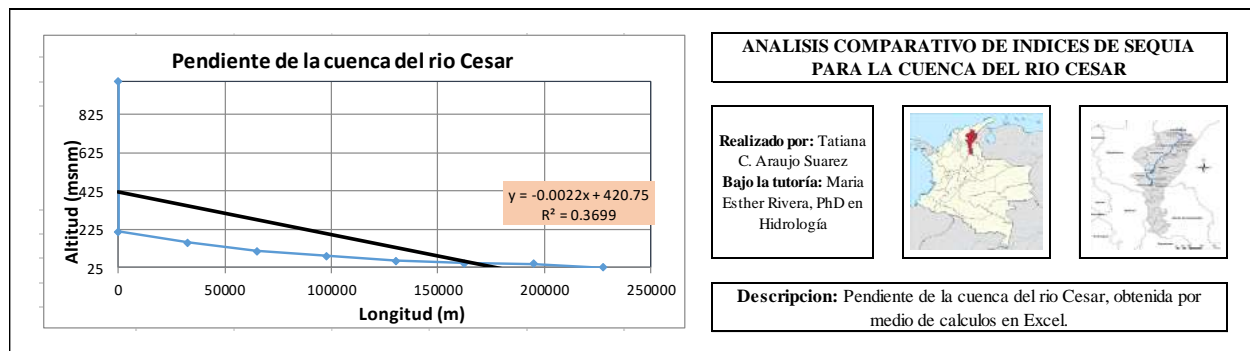
Grafica 6. Delimitación del área de la cuenca

Fuente: Araujo T., (2020) – A partir de la información obtenida de la base de datos del IDEAM

Debido a la forma variable del terreno y las diferentes alturas la pendiente de la cuenca es alta, pero es una pendiente positiva teniendo en cuenta que el río nace en la sierra nevada de Santa Marta y va disminuyendo su altitud de maneras bruscas en algunos tramos, lo que provoca como resultado pendientes de gran magnitud en el tramo alto y medio de la cuenca; por causa de su gran extensión y la variabilidad del terreno la cuenca posee una densidad de drenaje baja a pesar de tener diversas ramificaciones que varían desde el orden 1 a 6, pero una vez más se infiere con los resultados del coeficiente de torrencialidad su mediana a baja potencialidad a crecientes, debido a que posee un coeficiente de torrencialidad bajo.

Los tiempos de concentración de la cuenca varían desde 4 a 36 horas dependiendo el autor, esto en virtud de que cada autor tiene en cuenta parámetros diferentes para el cálculo del tiempo de concentración, pero aun así podría ponderarse en un tiempo medio de 14 horas que demorara la gota de agua en recorrer la cuenca, lo que confirma nuevamente su baja densidad de drenaje, de la misma manera se recalca que los tiempos de concentración que se tuvieron realmente en cuenta son los de Scs-Ranser, Témez, V.T Chow y Ventura-Heron, ya que se encuentran dentro del mismo rango, el resto se descartaron.

Dentro del segundo párrafo de esta caracterización se estableció la pendiente de la cuenca, debido a los factores variables del relieve de la zona, lo cual se puede observar en la **gráfica 7**, donde se puede observar además de la pendiente el perfil longitudinal del río, donde se aprecia la forma de perfil que tiene la longitud del río en sus tres partes, alta, media y baja.



Gráfica 7. Pendiente de la cuenca del río Cesar

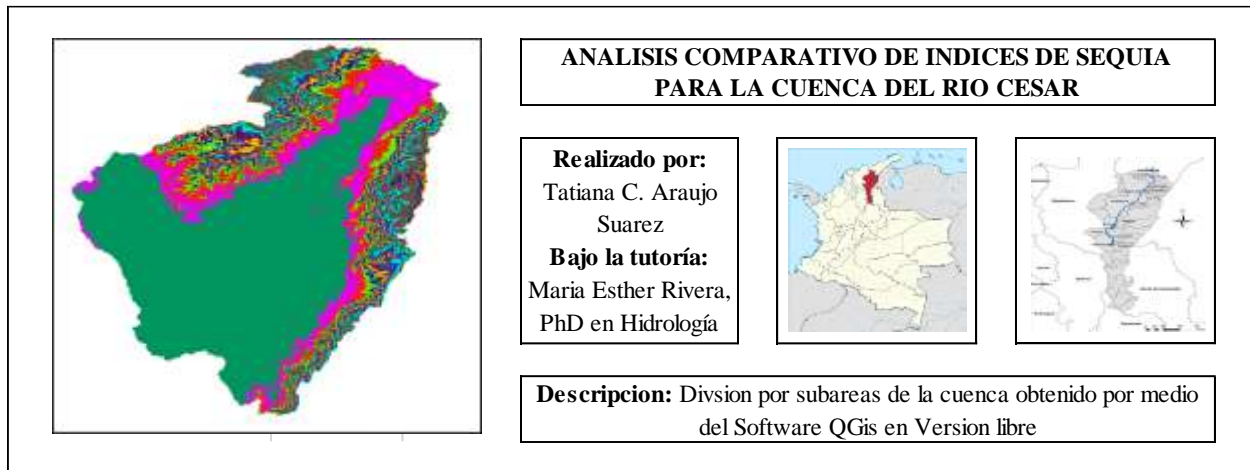
Fuente: Araujo T., (2020) – A partir de la información obtenida de la base de datos del IDEAM



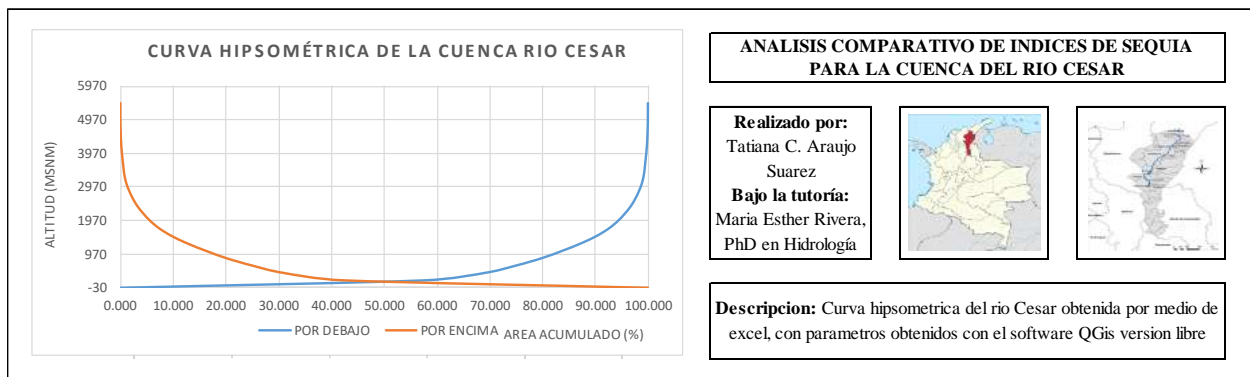
La **grafica 7**, nos muestra la pendiente pronunciada y brusca que tiene el cauce en su nacimiento hasta su longitud media, y teniendo una disminución de la parte media a la desembocadura, así mismo de acuerdo con la **tabla 5**, dentro de la zona de influencia de la cuenca se puede inferir que es un relieve de tipo accidentado lo que nos especifica que se presentan desniveles o contrastes con otras formas de su alrededor, teniendo en cuenta que la variabilidad de las curvas de nivel se encuentra desde aproximadamente 6000 m.s.n.m hasta 175 m.s.n.m, teniendo en cuenta esto la variabilidad del relieve es abrupta, justificando la pendiente y el perfil longitudinal observado, ratificando igualmente el tipo del relieve debido a los cambios que se presentan desde la sierra a la parte plana que consta de la longitud media y baja de la cuenca.

La **grafica 8** y la **figura 4** muestran la curva hipsométrica y las subareas para el cálculo respectivamente, en el caso de la curva hipsométrica según lo establecido en la **figura 1**, el rio Cesar es una cuenca de edad vieja, una de las características de este tipo de ríos es que tienen corrientes más lentas, y se encuentran en planicies, lo cual se corrobora o infiere la certeza de la caracterización, ya que a pesar de la pendiente brusca, el rio en su parte media y baja se encuentra en zonas de planicie y costa.

Figura 4. Subareas de la cuenca del rio Cesar

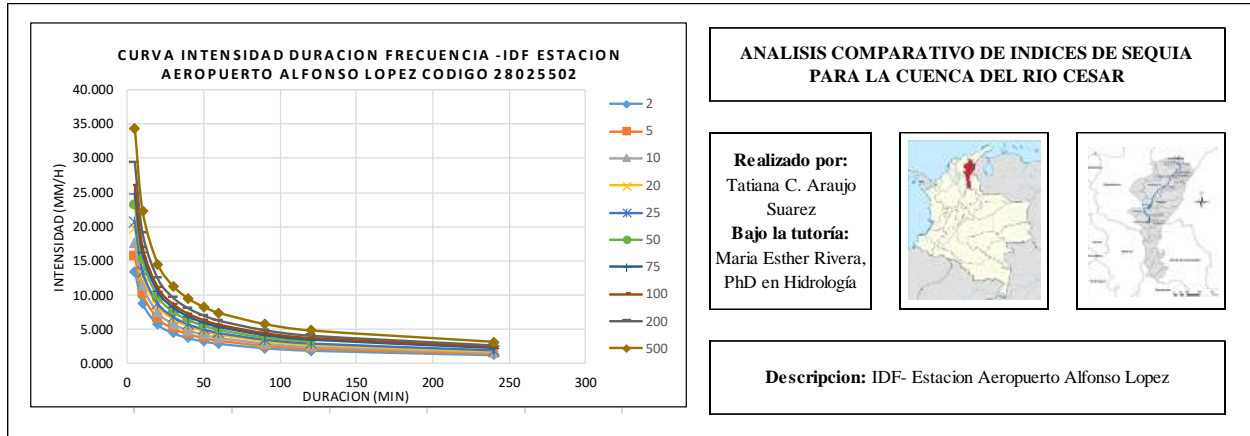


Fuente: Araujo T., (2020) – A partir de la información obtenida de la base de datos del IDEAM



Grafica 8, Curva hipsométrica de la cuenca del rio Cesar

Fuente: Araujo T., (2020) – A partir de la información obtenida de la base de datos del IDEAM



Grafica 9. Curva IDF estación Aeropuerto Alfonso López

Fuente: Araujo T., (2020) – A partir de la información obtenida de la base de datos del IDEAM

Teniendo en cuenta que ninguna de las estaciones utilizadas que abarcan la cuenca del río Cesar poseen IDF, se procedió a construir las IDF basadas en la metodología de distribución de probabilidad de Gumbel. En la **gráfica 9**, se puede observar la IDF construida para la estación Aeropuerto Alfonso López, así mismo las IDF construidas para cada estación se encuentran dentro de los anexos del presente proyecto, en esta gráfica se puede visualizar las curvas que unen los puntos donde se representa la intensidad de las lluvias o precipitaciones en términos de duración de las mismas, en diferentes intervalos, cabe resaltar que esta IDF representa el Cesar medio.

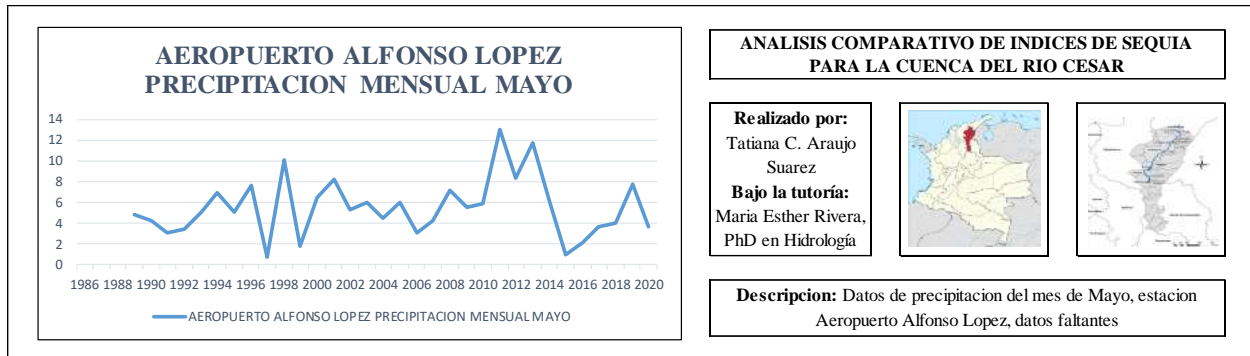


Factores que inciden en los índices de sequía de la cuenca en estudio

Recopilación de datos en el IDEAM y cálculo de datos faltantes.

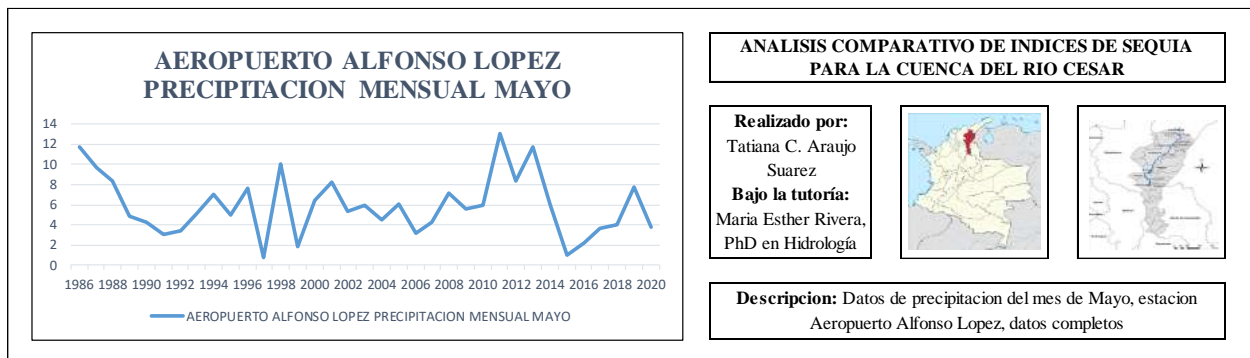
En el caso de los datos faltantes de los diversos parámetros, como caudal mínimo, caudal máximo, nivel máximo, temperatura mínima, temperatura máxima, humedad relativa y precipitación se pueden encontrar más a detalle en los anexos del presente proyecto, para dar un ejemplo gráfico de los resultados, se puede observar en la **gráfica 10** los datos del mes de mayo de la estación aeropuerto Alfonso López y en ella se puede visualizar los espacios que indican los datos faltantes de algún mes durante la serie histórica de datos, por otra parte en la **gráfica 11** se observan los datos del mes de mayo de la estación aeropuerto Alfonso López, con los datos faltantes que se obtuvieron por medio de Infostat; en esta grafica se puede hacer el comparativo con la anterior y se observa que los espacios que estaban anteriormente ya se encuentran con datos calculados, dichos datos cabe resaltar que se obtuvieron de un promedio, debido a que originalmente los datos se extrajeron de la base de datos del IDEAM en un formato diario, dicho promedio se hizo con la intención de disminuir la cantidad de datos y poder visualizar de mejor manera los gráficos de los resultados.

Calcular esta serie de datos, permitió dentro del proyecto tener una serie de datos completa y concisa para proceder a los cálculos de los índices, que requieren series de precipitaciones y temperatura completas para un cálculo eficiente.



Grafica 10. Datos faltantes de precipitación mes de Mayo Estación Aeropuerto Alfonso López

Fuente: Araujo T., (2020) – A partir de la información obtenida de la base de datos del IDEAM



Grafica 11. Datos completos de precipitación mes de Mayo Estación Aeropuerto Alfonso López

Fuente: Araujo T., (2020) – A partir de la información obtenida de la base de datos del IDEAM



Recopilar y analizar los datos de uso del suelo, humedad del suelo y características de la zona.

Para los datos de cobertura vegetal se obtuvo las coberturas del departamento del Cesar más recientes de IDEAM, en la *figura 5* se puede observar el mapa del Cesar con los diferentes coberturas que posee, dentro de este tipo de suelos se encuentra bosque denso, bosque abierto, bosque fragmentado, bosque de galería y ripario, plantación forestal, herbazal, lagunas, lagos y ciénagas naturales, pastos arbolados, arbustal, tejido urbano y entre otros que se pueden visualizar en la *tabla 16*, este tipo de variedad de suelos se debe a los diferentes actividades económicas dentro de la extensión de todo el departamento por donde surca el río Cesar, específicamente la parte de bosques que hay dentro de la zona de influencia de la cuenca infiere que la humedad de suelo varía entre suelos saturados y con poros vacíos, sobre todo el tipo de cobertura variable que se encuentra en el Cesar medio posee suelos saturados debido a los altos niveles freáticos de los municipios de esa zona, estas características de los suelos pueden permitir que durante el tiempo de sequía las diversas actividades económicas no se vean afectadas por la disminución de caudal de recurso, aun así en otras zonas de la cuenca como el Cesar bajo, los tipos de cobertura varían desde pastos limpios, pastos arbolados y tierras degradadas, lo que permite inferir que la humedad en esas partes de la zona en el suelo es mucho más baja, y en tiempos de sequía los suelos pueden convertirse en terrenos más áridos y secos afectando no solo las actividades económicas, sino también la fuente hídrica; durante este periodo de 2000-2002, el tejido urbano estaba en menor

medida y por tanto los suelos seguían manteniéndose en su esplendor natural, y las pocas precipitaciones que se presentan en meses de estiaje se escurrían directamente en ellos y en las fuentes hídricas, lo que permite igualmente inferir que la humedad de los suelos varía desde el Cesar alto al cesar medio como suelos saturados – semi saturados y en el cesar bajo como suelos semi húmedos – secos, dependiendo igualmente de los meses del año, en general en el departamento y sobre todo en la zona de influencia del proyecto existe variabilidad de suelos, variabilidad vegetal y variabilidad hídrica que permitirá solventar e influir positivamente en meses de estiaje, esto con referente a la **figura 5 y tabla 16**.

Figura 5. Mapa del departamento del Cesar, Coberturas metodología Corine Land Cover periodo 2000-2002

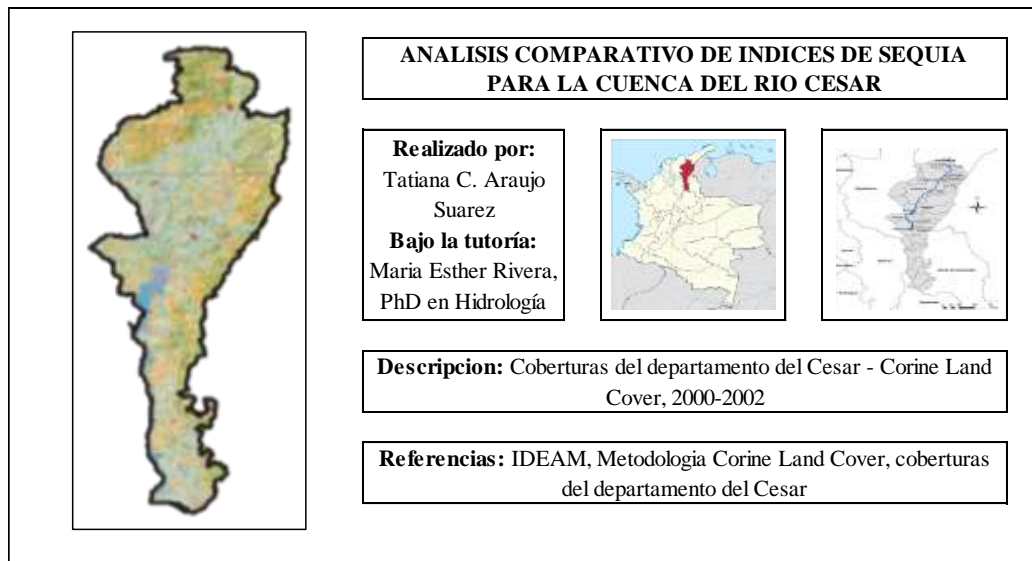



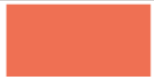



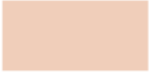








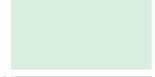





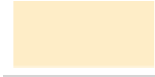
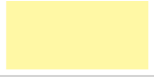



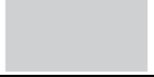


Tabla 16. Leyenda de las coberturas del departamento del Cesar periodo 2000-2002

Leyenda	Descripcion	Leyenda	Descripcion
	Bosque denso		Tejido urbano continuo
	Bosque abierto		Tejido urbano discontinuo
	Bosque fragmentado		Zonas industriales o comerciales
	Bosque de galeria y ripario		Obras hidraulicas
	Plantacion forestal		Zonas de extraccion minera
	Herbazal		Zona de disposicion de residuos
	Lagunas, lagos y cienegas naturales		Mosaico de cultivos, pastos y espacios
	Pastos arbolados		Mosaico de pastos con espacios naturales
	Pastos limpios		Mosaico de cultivos con espacios naturales
	Tierras desnudas y degradadas		Tuberculos
	Arbustal		Vegetacion secundaria o en transicion
	Mosaico de cultivos		Cereales
	Oleaginosas y leguminosas		Hortalizas
	Aeropuertos		Afloramientos rocosos

Dentro de la **figura 6**, se puede observar el mapa de coberturas del departamento del Cesar por la metodología Corine Land Cover del IDEAM, dicho mapa muestra el periodo de 2010 a



2012, en este periodo se pueden ver en su mayoría los mismos tipos de cobertura y tipos de suelo que en el periodo mostrado en la **figura 5**, la diferencia son los aumentos de usos del suelo para aeropuertos, tejido urbano y cultivos en mosaicos, en este periodo el crecimiento urbanístico se aumentó en gran medida, tanto en las ciudades del departamento como en los municipios más pequeños, disminuyendo de esta manera coberturas vegetales como los cultivos de tubérculos, hortalizas y algunos afloramientos rocosos para la construcción de vías de comunicación intermunicipal, además de los tipos de cobertura mencionados anteriormente de la **tabla 16**, en la **tabla 17**, se pueden observar nuevos usos del suelo como cultivos agroforestales como la palma de aceite y los plátanos, teniendo en cuenta que este tipo de cultivos se define como la combinación de cultivos agrícolas y plantas leñosas, en esta línea se infiere que dentro de la transición que tuvo el departamento y el crecimiento económico, los suelos poco a poco fueron degradándose y la mayoría de actividades económicas del campo fueron disminuyendo reemplazándose por actividades ciudadinas, lo que supone un descuido de la capa vegetal y una invasión de la misma, generando de esta manera disminución de escorrentía dentro de las capas de suelo y por tanto disminución en la humedad del mismo, por lo que se deduce que en periodos de estiaje el suelo estará en estado de sequía casi total, ya que la mayor parte de la humedad del suelo proviene de las diferentes coberturas que se encuentran a su alrededor y de la escorrentía proveniente de las precipitaciones, pero al haber crecimiento e invasión de la tierra con tejido urbano se supone que estos suelos han terminado siendo afectados por la intervención del hombre.

En este periodo mostrado en la **figura 6**, se evidencia que las actividades del hombre y el crecimiento urbanístico generaran problemáticas en la respuesta de las capas del suelo y la fuente hídrica durante periodos de estiaje, ya que a mayor disminución de la capa vegetal e invasión del suelo, mayor será la sequía dentro de las capas del mismo.

Figura 6. *Mapa del departamento del Cesar, Coberturas metodología Corine Land Cover periodo 2010-2012*

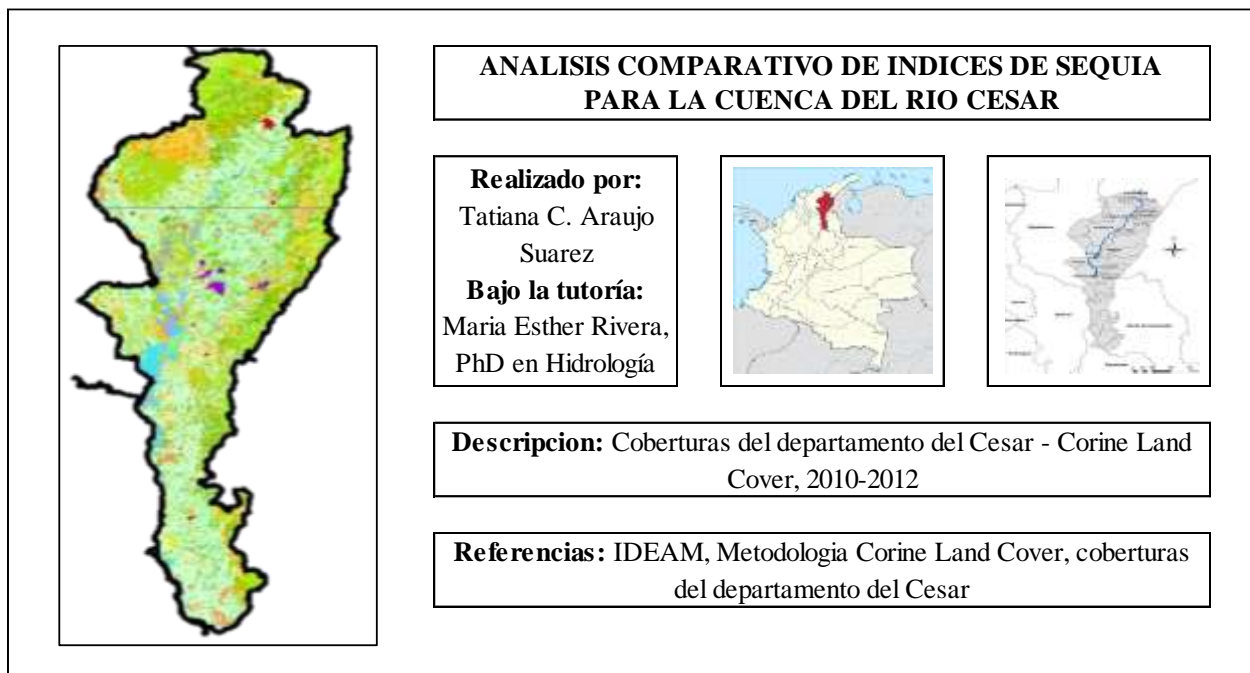


Tabla 17. Leyenda de las coberturas del departamento del Cesar periodo 2010-2012

Leyenda	Descripcion	Leyenda	Descripcion
	Bosque denso		Mosaico de cultivos con espacios naturales
	Bosque abierto		Pastos limpios
	Bosque fragmentado		Pastos arbolados
	Bosque de galeria y ripario		Pastos enmalezados
	Plantacion forestal		Obras hidraulicas
	Herbazal		Zonas de extraccion minera
	Arbustal		Zona de disposicion de residuos
	Vegetacion secundaria o en transicion		Lagunas, lagos y cienegas naturales
	Mosaico de pastos y cultivos		Afloramientos rocosos
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios		Tejido urbano continuo
	Mosaico de pastos con espacios naturales		Tejido urbano discontinuo
	Aeropuertos		Cereales
	Cultivos agroforestales		Oleaginosas y leguminosas
	Mosaico de cultivos		Hortalizas
	Zonas industriales o comerciales		Tuberculos



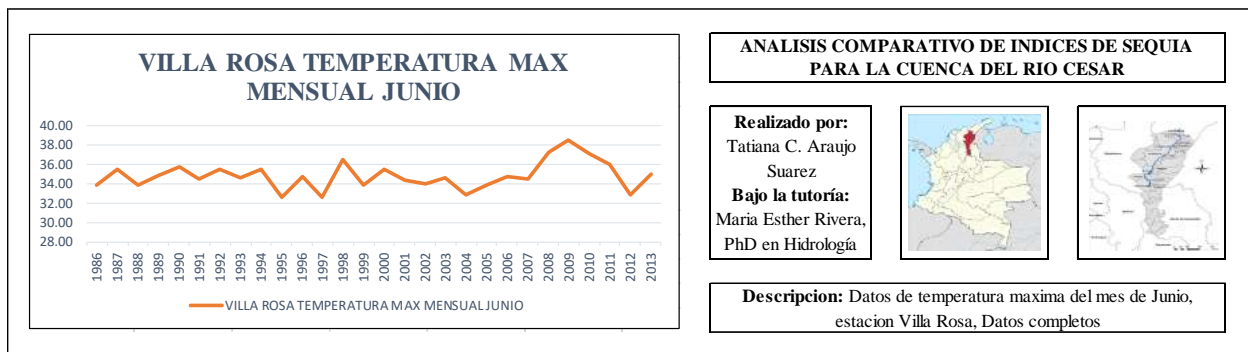
Para mayor detalle de cada uso del suelo, se dirija a los anexos del presente proyecto, donde se encuentran consignados ambos mapas tanto del periodo 2000 – 2002 como el periodo 2010 - 2012 con descripciones detalladas de cada uno de los usos del suelo, que permitirán comprender a profundidad lo ya expuesto la influencia de este tipo de coberturas en periodos de estiaje de la zona.

Características de la zona y factores influyentes en los resultados obtenidos.

Dentro de lo ya establecido anteriormente en los tipos de cobertura que posee la región, se puede inferir que algunos factores que fueron partícipes en periodos de estiaje, son la disminución de la capa vegetal que se observó dentro de los mapas de cobertura establecidos en las *figuras 5 y 6*, este aumento de usos del suelo en tejido urbano continuo y discontinuo provoco dentro del departamento y dentro de la zona de influencia del proyecto que las coberturas vegetales y los distintos tipos de suelo hayan sido usados y destinados a otras funciones, en otro orden de ideas este tejido urbano que creció aceleradamente, permitió que la escorrentía que se pudiera presentar en meses de precipitaciones terminara dentro de los servicios de alcantarillado y no en los suelos o en las fuentes hídricas de la zona, como lagunas, lagos, ramificaciones de la cuenca del rio Cesar o en el mismo rio Cesar, esto debido al aumento de superficies cubiertas por vías, edificios y casas dentro de todo la extensión del territorio.

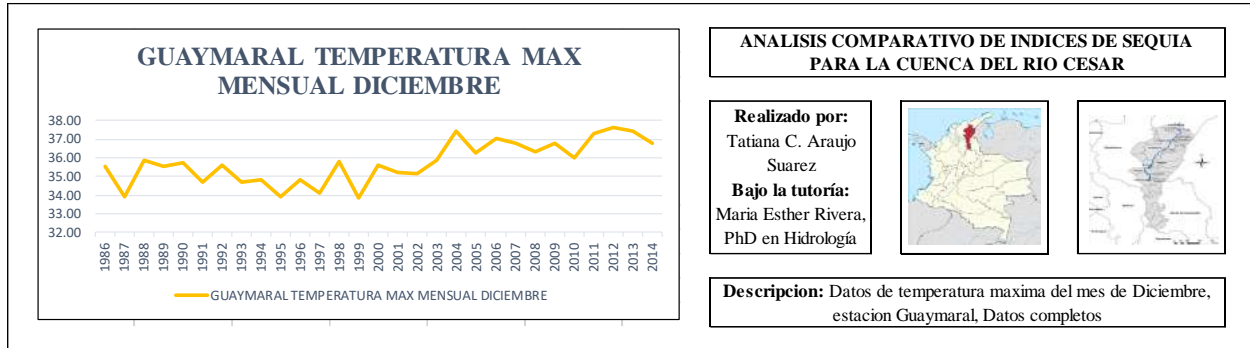
Se deduce después de analizar las coberturas en dos distintos periodos que lo que pudo ser un factor influyente dentro de los períodos de estiaje es el crecimiento económico y tecnológico

de la región de una manera desenfadada, sin la correcta protección de las zonas ecológicas, generando así mismo aumentos de temperatura durante el avanzar del tiempo, como se puede visualizar en las **Gráficas 7 y 8**, donde se muestran dos distintas estaciones con series históricas de aproximadamente 35 años, y en ellas se observa como a medida del tiempo las temperaturas aumentaron considerablemente en la región, siendo igualmente un factor clave dentro de la evapotranspiración de los suelos de cultivos y los suelos de uso indefinido, lo cual dentro de índices de sequía que determinan los periodos de estiaje tienen como puntos claves la temperatura y la evapotranspiración que se genera en la zona.



Grafica 12. Datos completos de Temperatura máxima mes de Junio Estación Villa Rosa

Fuente: Araujo T., (2020) – A partir de la información obtenida de la base de datos del IDEAM



Grafica 13. Datos completos de Temperatura máxima mes de Diciembre Estación Guaymaral

Fuente: Araujo T., (2020) – A partir de la información obtenida de la base de datos del IDEAM

Las características típicas del relieve no son un factor determinante dentro de los periodos de estiaje que se puedan presentar en la zona, como ya se recalcó y se mencionó, el factor principal dentro de la parte negativa, es decir, que está colaborando que los periodos de estiaje sean cada vez más recurrentes e intensos, son el crecimiento urbanístico dentro del departamento y el descuido de las zonas ecológicas y zonas de cultivo.

Cálculo y análisis de las variables meteorológicas e hidrológicas de la cuenca del rio Cesar

Cálculo del índice SPI.

Los resultados dentro del cálculo del SPI se obtuvieron para 3, 6 y 9 meses de intervalo de tiempo, esto teniendo en cuenta que según la organización meteorológica mundial el SPI de 3 meses consiste en una comparación de la precipitación a lo largo de un período específico de 3 meses con los totales de precipitación del mismo período de 3 meses de todos los años incluidos



en el registro histórico, lo que igualmente sucede para el periodo de 6 y 9 meses, en este último intervalo de tiempo es el que más suele ser usado debido a que una sequía o este evento meteorológico generalmente tarde por lo menos una estación del año en desarrollarse, lo cual nos presentaría por tanto datos más completos o concisos sobre el periodo de estiaje de la serie histórica.

Por otra parte se obtuvieron periodos secos para cada una de las estaciones, donde se realizaron cálculos para los diferentes periodos de sequía del SPI, que resultan ser 1, -1,5, -2, -2,5, -3, -3,5, -4, de la misma manera se hizo un listado general de los 3 índices para cada año de las diferentes estaciones, el resumen de todas estas tabulaciones se encuentran consignados en los anexos del presente proyecto de grado.

En la **tabla 18** se puede observar un ejemplo de la estación Aeropuerto Alfonso López, donde se establece el resumen obtenido por el cálculo del SPI, para el periodo de sequía -1.5, en este ejemplo se pueden visualizar la duración en meses de los periodos de estiaje para esta estación con una serie histórica de 35 años, donde se resaltan las duraciones de 21, 11 y 19 meses de periodo de estiaje este último recientemente entre 2015 y 2016, presentándose en esos periodos una sequía extrema y severa según lo consignado en la **tabla 9**, lo cual coincide con lo establecido en la **tabla II** con la duración del evento de estiaje, que según la organización meteorológica mundial tiene una probabilidad de ocurrencia del 6.7%, así mismo esto nos expresa que los periodos de estiaje de la cuenca fueron frecuentes desde el año 1988 hasta el años 2020, este valor de sequía de -1.5,

lo que nos indica son los periodos de estiaje que abarcan desde sequia moderada, severa y sequía extrema, los eventos que pueden tener un impacto negativo dentro de la fuente hídrica y dentro de la zona de la misma.

Dentro de la *gráfica 14* se muestra nuevamente la estación Aeropuerto Alfonso López, pero en esta ocasión se muestran todos los periodos de sequía del SPI para los años de 1986 – 1990, donde se visualiza, que la sequía severa y extrema se presentó desde los meses mayo de 1989 en adelante para el periodo de 9 meses, variando las sequias para los tres periodos de leves a extremas en su mayor porcentaje sequias leves, para este rango de años, cabe recalcar que reiterando la *tabla 18*, se infiere que estos eventos más que ser recurrentes en ciertos periodos del año, según los datos mostrados son eventos que se han venido presentado descontroladamente en diversas etapas del año e inclusive en algunos tiempos durante un año entero, lo que permite deducir, que se convirtió en un evento que tuvo efectos o cambios en el ambiente de la fuente hídrica y en la zona misma, por su prolongada duración.

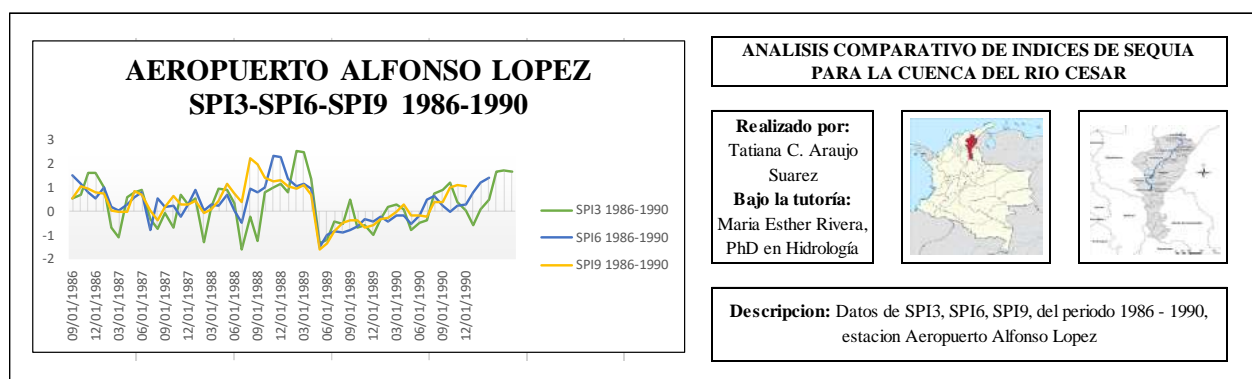
Tabla 18. SPI para el periodo de sequía -1.5 estación Aeropuerto Alfonso López

Fecha de inicio	Fecha de fin	Duración (Meses)	Valor máximo	Suma	Promedio	Mediana
01/01/1988	04/01/1988	3	-1.6	-3.06	-1.02	-1.24
04/01/1991	01/01/1993	21	-2.23	-18.07	-0.86	-0.89
09/01/1993	01/01/1994	4	-1.81	-3.96	-0.99	-1.06
03/01/1997	02/01/1998	11	-3.22	-16.58	-1.51	-1.58
04/01/2000	08/01/2000	4	-1.59	-2.52	-0.63	-0.39

04/01/2001	05/01/2001	1	-2.16	-2.16	-2.16	-2.16
03/01/2002	02/01/2003	11	-1.9	-5.73	-0.52	-0.34
10/01/2009	01/01/2010	3	-1.75	-3.4	-1.13	-1.1
01/01/2013	03/01/2013	2	-1.89	-3.75	-1.88	-1.88
01/01/2014	05/01/2014	4	-1.56	-3.04	-0.76	-0.72
08/01/2014	02/01/2015	6	-2.16	-7.6	-1.27	-1.37
04/01/2015	11/01/2016	19	-3.18	-24.69	-1.3	-1.37
12/01/2018	05/01/2019	5	-1.9	-5.35	-1.07	-0.91
04/01/2020	06/01/2020	2	-1.8	-3.08	-1.54	-1.54

Fuente: Araujo T., (2020) – A partir de la información obtenida de la base de datos del IDEAM

Como se mencionó anteriormente en la *gráfica 14* se muestra el periodo de 1986 – 1990, en este periodo se pueden ver sequias desde la más leve hasta la más extrema, pero también se puede observar la relación entre los intervalos de 3, 6 y 9 meses en los que se calculó, siendo el de 3 meses donde más se presentaron sequias severas o sequias extremas, por lo que se infiere que durante ese periodo los períodos de estiaje fueron cortos o a corto plazo, durante es serie histórica.



Gráfica 14. Estación Aeropuerto Alonso López periodo de 1986 – 1990, SPI3, SPI6 Y SPI9



Fuente: Araujo T., (2020) – A partir de la información obtenida de la base de datos del IDEAM

Para visualizar los diferentes periodos de todas las estaciones dentro de la zona de influencia del proyecto, de los cálculos del SPI, con los diferentes periodos de sequía, diríjase a los anexos del presente documento, donde se encuentran gráficas y resumen de todos los cálculos de la serie histórica de las 11 estaciones a las que se les calculo el SPI.

Cálculo del índice SPEI.

Para el cálculo del SPEI, al igual que el SPI se realizaron tres series entre 3, 6 y 9 meses de intervalo de tiempo, donde se evaluaron los diferentes índices, en el caso de este índice como se utilizó una base de datos, se obtuvo por coordenadas de punto inicial, medio – 1, medio – 2 y final de la cuenca, sabiendo esto en la **tabla 19** se pueden observar los valores del índice SPEI para el punto inicial de la cuenca desde el periodo de 1988 – 1990, para establecer el tipo de sequía en este caso se utilizaron los mismos rangos consignados en la **tabla 9** del SPI, ya que estos dos índices funcionan de una manera parecida, sabiendo esto se pudo inferir que dentro de esta serie histórica el 12% para el intervalo de 3 meses presento sequia desde la leve hasta la sequía moderada, es decir, no llego a presentarse sequía extrema ni severa, de la misma manera para el intervalo de 6 meses el 12% de esta serie presento el mismo tipo de sequía que la serie de 3 meses, en el caso de la serie de 9 meses el 9% representaron periodos de estiaje desde el más leve hasta el moderado, con esto se dedujo que para este índice a diferencia del SPI, los periodos de estiaje fueron menos severos, eso teniendo en cuenta esta serie histórica inicial, pero mirando la serie histórica de la **tabla 20**, donde se observan los últimos tres años, para el intervalo de 3, la sequía disminuye del 12% al 6.12%, indicando igualmente sequia leve a moderada, si observamos para el intervalo de 6 y 9 meses, el

porcentaje paso del 12% al 4.32% y del 9% al 3.96%, esto permite sobreentender que no hay una correlación muy grande entre el índice SPI y SPEI, esto debido a que le segundo tiene como factor influyente la evapotranspiración de la zona, lo cual influyo directamente en la sequía que pudo presentarse, como lo mencionamos en el análisis de los factores influyentes, aun así estos resultados nos siguen mostrando que hubo un gran margen de sequía durante series históricas de años muy pequeños, porque aunque el porcentaje se observe pequeño el evento se repitió durante por lo menos 2 meses al año, variablemente.

En la *gráfica 15* se puede observar los tres intervalos de tiempo para el SPEI en el periodo de 1986 – 1990, y se corrobora lo ya establecido anteriormente, donde se indicó que los periodos de sequian fueron moderados de acuerdo con el SPEI, teniendo en cuenta temperatura y precipitación, nos indica que la mayor sequía que se presentó, fue la sequía moderada, donde según la *tabla 10* se pueden presentar fenómenos como anomalías en flujo del cauce y niveles de almacenamiento, en menor medida que con el SPI, esto recalando nuevamente las variable de evapotranspiración que tiene en cuenta el SPEI.

Tabla 19. SPEI para periodos de 6, 3 y 9 meses

PUNTO DE COMIENZO DE LA CUENCA			
FECHA	SPEI03	SPEI06	SPEI09
16/01/1986	1.0893	0.92458	0.47858
15/02/1986	1.3055	0.91801	0.88668
16/03/1986	-0.019857	0.75647	0.92531
16/04/1986	0.84605	1.183	1.0311
16/05/1986	0.40946	0.74052	0.87158
16/06/1986	0.40668	0.31245	0.74555
16/07/1986	-0.54937	-0.001921	0.5514
16/08/1986	-0.6514	-0.12873	0.18897



16/09/1986	-1.0693	-0.28429	-0.31224
16/10/1986	-0.21042	-0.48944	-0.1277
16/11/1986	-0.8086	-0.87736	-0.51144
16/12/1986	-0.64067	-0.98364	-0.53062
16/01/1987	-0.91829	-0.60317	-0.72602
15/02/1987	0.047751	-0.68721	-0.77964
16/03/1987	0.41299	-0.51645	-0.86027
16/04/1987	1.2625	0.15834	-0.077202
16/05/1987	1.6498	1.5499	0.60823
16/06/1987	1.3578	1.3293	0.58885
16/07/1987	0.71931	1.1225	0.55753
16/08/1987	-0.92167	0.92225	0.86367
16/09/1987	0.37519	1.1454	1.1377
16/10/1987	0.92947	0.96809	1.1776
16/11/1987	1.0853	0.47495	1.147
16/12/1987	1.0329	0.86781	1.2444
16/01/1988	0.58778	0.89279	0.9429
15/02/1988	1.415	1.2261	0.65658
16/03/1988	0.41123	0.99864	0.83779
16/04/1988	-0.43135	0.08014	0.6058
16/05/1988	-0.90884	-0.26447	0.5838
16/06/1988	-0.30664	-0.21868	0.54724
16/07/1988	0.42547	0.064303	0.31611
16/08/1988	1.8837	0.69196	0.95892
16/09/1988	1.892	1.0165	1.0117
16/10/1988	1.4815	1.2232	0.95365
16/11/1988	1.0491	1.5329	1.0026
16/12/1988	0.66107	1.4075	0.99409
16/01/1989	0.9035	1.411	1.2407
15/02/1989	0.040335	0.90484	1.4136
16/03/1989	0.74835	0.72824	1.4174
16/04/1989	-0.46677	0.32851	1.1564



16/05/1989	-0.29904	-0.3033	0.53224
16/06/1989	-0.82847	-0.56775	0.020839
16/07/1989	-0.41245	-0.60668	-0.018271
16/08/1989	-0.00296	-0.29083	-0.30184
16/09/1989	0.87264	-0.082132	0.042363
16/10/1989	0.50706	0.084668	-0.090408
16/11/1989	0.093966	0.048045	-0.13418
16/12/1989	0.20989	0.54513	0.04189
16/01/1990	0.5275	0.57614	0.24227
15/02/1990	1.5046	0.46916	0.32407
16/03/1990	0.14607	0.16024	0.4837
16/04/1990	-0.46219	0.016027	0.278
16/05/1990	-0.59729	0.032759	-0.00025888
16/06/1990	-0.7963	-0.7273	-0.42547
16/07/1990	-0.74799	-0.85317	-0.44445
16/08/1990	-0.64254	-0.81005	-0.37049
16/09/1990	-0.27675	-0.74043	-0.70306
16/10/1990	1.2467	0.51673	0.2946
16/11/1990	1.1136	0.60077	0.20991
16/12/1990	1.3555	0.88393	0.34904

Fuente: Araujo T., (2020) – A partir de la información obtenida de la base de datos del IDEAM

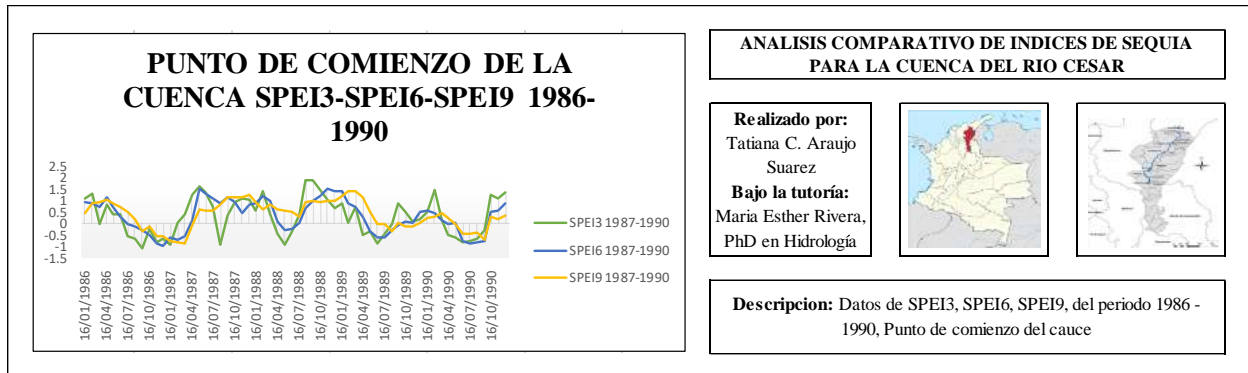
Tabla 20. SPEI para intervalo de 3, 6 y 9 meses en el inicio de la cuenca intervalo 2016 - 2018

PUNTO DE COMIENZO DE LA CUENCA			
FECHA	SPEI03	SPEI06	SPEI09
16/01/2016	0.26739	-1.1226	-1.8301
15/02/2016	-0.9191	-0.70897	-1.3903
16/03/2016	-0.71054	-0.59012	-1.2869
16/04/2016	-0.41542	-0.16063	-1.1573
16/05/2016	-0.27354	-0.5805	-0.78238
16/06/2016	-0.55428	-0.73917	-0.83352
16/07/2016	-0.3323	-0.523	-0.32168



16/08/2016	-0.60624	-0.58677	-0.78193
16/09/2016	-0.3153	-0.59528	-0.73034
16/10/2016	0.57319	0.17567	0.0040509
16/11/2016	0.70058	0.2592	0.048293
16/12/2016	1.0198	0.58064	0.19156
16/01/2017	0.57409	0.64214	0.32863
15/02/2017	1.3498	0.8933	0.45918
16/03/2017	0.71547	1.0531	0.61709
16/04/2017	1.2607	1.1053	0.95242
16/05/2017	0.70801	0.9989	1.0009
16/06/2017	0.34278	0.45331	0.93624
16/07/2017	-0.25689	0.49094	0.64028
16/08/2017	0.23656	0.54225	0.80652
16/09/2017	0.79461	0.62059	0.68935
16/10/2017	0.37982	0.076481	0.50805
16/11/2017	-0.2762	-0.097492	0.22825
16/12/2017	-0.49622	0.064085	0.20322
16/01/2018	-0.79377	-0.11254	-0.23167
15/02/2018	-0.75042	-0.44826	-0.2525
16/03/2018	-0.66057	-0.66634	-0.10299
16/04/2018	1.197	0.17909	0.28966
16/05/2018	1.2393	0.96227	0.39565
16/06/2018	1.0654	0.82551	0.23411
16/07/2018	0.053338	0.64718	0.15197
16/08/2018	-0.97029	0.455	0.24482
16/09/2018	-0.76035	0.42466	0.25242
16/10/2018	0.35439	0.22754	0.59348
16/11/2018	0.046419	-0.41168	0.32891
16/12/2018	-0.11572	-0.48228	0.2317

Fuente: Araujo T., (2020) – A partir de la información obtenida de la base de datos del IDEAM





magnitud; de la misma manera la sequía que se está evaluando es de tipo hidrológica, a diferencia de los dos índices anteriores que se basan en sequia meteorológica, en este podemos observar que los resultados se calcularon dentro de la serie histórica sin ningún intervalo de tiempo, indicando que la sequía se basa en los cambios de caudal de la cuenca, y por tanto la temperatura y precipitación que hay sobre la misma; por otro lado podemos observar en la **tabla 22**, donde se establece el periodo de 2016 a 2020, que el porcentaje de sequias en la cuenca aumento considerablemente en un 30%, lo que significa que el porcentaje de periodos de estiaje en la cuenca se encontró en un 90% durante este periodo, variando desde sequia moderada hasta sequia excepcional, que esta última es la sequía más extrema de acuerdo con la clasificación establecida en la **tabla 12**, esto nos permite sobreentender que los periodos de estiaje en la cuenca además de que fueron aumentando, aumentaron su tipo de gravedad, en este caso nos permite establecer que la cuenca ha ido presentando problemas en la hidrología del cauce, de esta manera la cuenca ha ido no solo teniendo problemas en los factores meteorológicos de la zona, sino también en los factores hidrológicos de la misma, ya que se pueden visualizar periodos de estiaje recurrentes, y que tienen un gran periodo de duración entre sí.

Por otra parte en la **gráfica 16**, se puede visualizar que el IESP para el periodo de 1986 a 1990, como se estableció ya según las tablas, presento más periodos sin sequía, que periodos de estiaje, ya que la mayoría de puntos se encuentran dentro de la línea mayor a cero, lo que nos

permite deducir según la **tabla 12**, que estos periodos de estiaje son menores al principio de la serie histórica, teniendo en cuenta la tabla y lo consignado gráficamente.

Tabla 21. IESP para la estación Aeropuerto Alfonso López, serie histórica de 1986 - 1990

AEROPUERTO		
Años	Meses	IESP
1986	Ene	0.43
1986	Feb	0.42
1986	Mar	0.59
1986	Abr	0.7
1986	May	1.59
1986	Jun	1.68
1986	Jul	0.31
1986	Ago	0.15
1986	Sep	0.08
1986	Oct	0.91
1986	Nov	0.91
1986	Dic	0.37
1987	Ene	0.41
1987	Feb	0.42
1987	Mar	0.42
1987	Abr	0.29
1987	May	0.89
1987	Jun	0.21
1987	Jul	0.32



1987	Ago	0
1987	Sep	0.45
1987	Oct	1.18
1987	Nov	0.07
1987	Dic	0.1
1988	Ene	0.1
1988	Feb	0.12
1988	Mar	0.03
1988	Abr	0.4
1988	May	0.8
1988	Jun	0.42
1988	Jul	0.71
1988	Ago	2.47
1988	Sep	0.2
1988	Oct	-0.11
1988	Nov	-0.11
1988	Dic	-0.16
1989	Ene	-0.16
1989	Feb	-0.1
1989	Mar	-0.02
1989	Abr	-0.27
1989	May	-0.37
1989	Jun	-0.37
1989	Jul	-0.37



1989	Ago	-0.15
1989	Sep	-0.1
1989	Oct	-0.1
1989	Nov	-0.39
1989	Dic	-0.14
1990	Ene	-0.14
1990	Feb	-0.15
1990	Mar	0.11
1990	Abr	0.31
1990	May	0.12
1990	Jun	0.21
1990	Jul	0.07
1990	Ago	0.29
1990	Sep	0.61
1990	Oct	1.54
1990	Nov	1.81
1990	Dic	1.96

Fuente: Araujo T., (2020) – A partir de la información obtenida de la base de datos del IDEAM

Tabla 22. IESP para la estación Aeropuerto Alfonso López, serie histórica de 2016 - 2020

AEROPUERTO		
Año	Meses	IESP
2016	Ene	-2.64
2016	Feb	-2.64
2016	Mar	-2.72



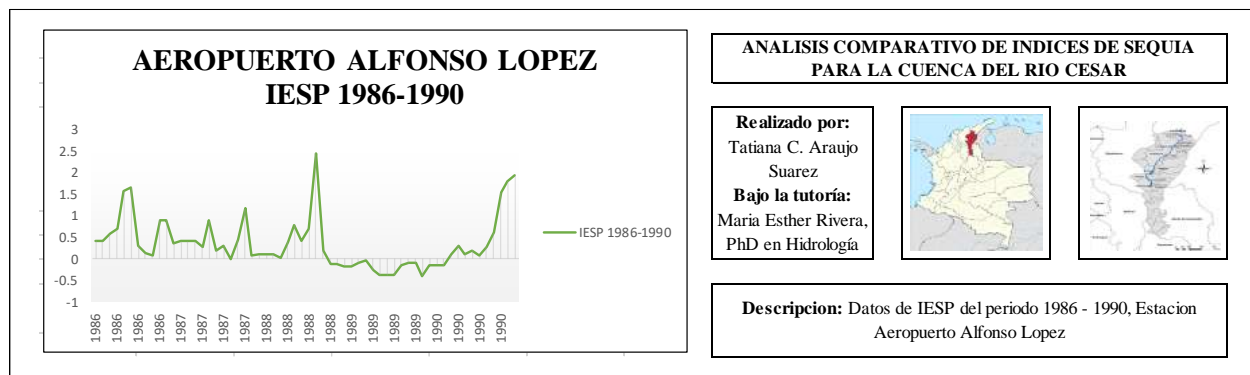
2016	Abr	-2.67
2016	May	-3.17
2016	Jun	-2.72
2016	Jul	-2.89
2016	Ago	-3.1
2016	Sep	-3.34
2016	Oct	-2.73
2016	Nov	-2.19
2016	Dic	-2.21
2017	Ene	-2.2
2017	Feb	-2.2
2017	Mar	-1.84
2017	Abr	-1.93
2017	May	-2.22
2017	Jun	-1.68
2017	Jul	-1.29
2017	Ago	-1.08
2017	Sep	-0.54
2017	Oct	-0.55
2017	Nov	-0.51
2017	Dic	-0.53
2018	Ene	-0.14
2018	Feb	-0.15
2018	Mar	-0.02



2018	Abr	0.05
2018	May	-0.18
2018	Jun	-0.25
2018	Jul	-0.43
2018	Ago	-0.28
2018	Sep	-0.31
2018	Oct	-0.44
2018	Nov	-0.75
2018	Dic	-0.81
2019	Ene	-0.81
2019	Feb	-0.74
2019	Mar	-0.83
2019	Abr	-0.96
2019	May	-0.65
2019	Jun	-0.75
2019	Jul	-0.77
2019	Ago	-0.77
2019	Sep	-0.75
2019	Oct	-0.89
2019	Nov	-0.89
2019	Dic	-0.94
2020	Ene	-0.88
2020	Feb	-0.89
2020	Mar	-0.95

2020	Abr	-1.17
2020	May	-1.44
2020	Jun	-0.79
2020	Jul	-0.71
2020	Ago	-0.75
2020	Sep	-0.78
2020	Oct	-1.1
2020	Nov	-0.32
2020	Dic	-0.37

Fuente: Araujo T., (2020) – A partir de la información obtenida de la base de datos del IDEAM



Grafica 16. Estación Aeropuerto Alfonso López periodo de 1986 – 1990

Fuente: Araujo T., (2020) – A partir de la información obtenida de la base de datos del IDEAM

Para visualizar los diferentes resultados obtenidos por las cuatro estaciones utilizadas para el cálculo del IESP, diríjase a los anexos del presente documento, donde se encuentran gráficas y resumen de todos los cálculos de la serie histórica obtenida del cálculo del IESP por medio del



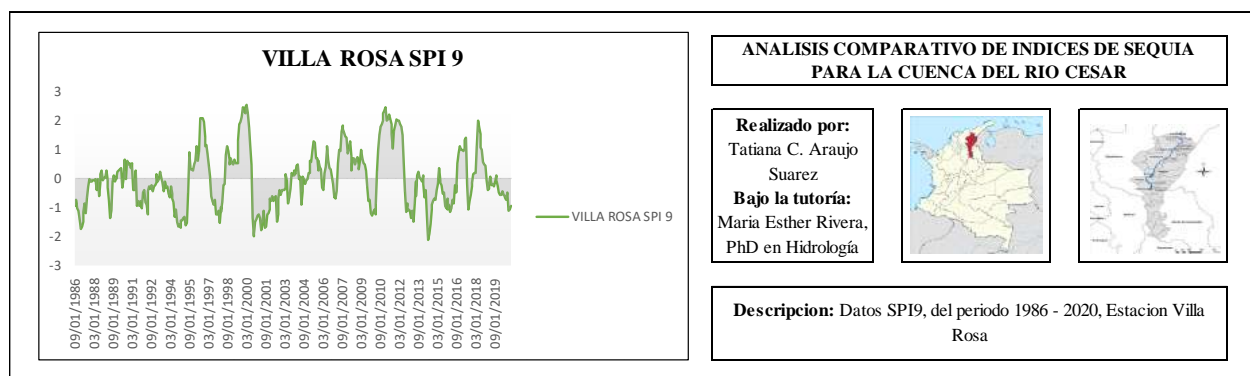
software CLIC-MD, dentro de estos anexos se encuentra igualmente la leyenda de clasificación de los diferentes rangos de sequía.

Gráficos de los índices de sequía de la zona de la cuenca

Gráficos SPI

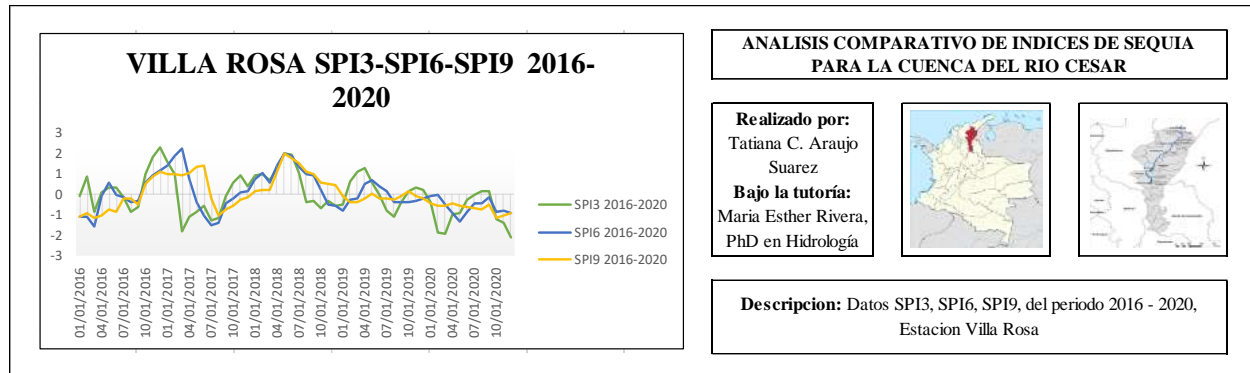
Los gráficos del índice SPI, se encuentran consignados en los anexos, pero en la **gráfica 17** y **18** se presentan dos ejemplos de la estación Villa Rosa, por tanto dentro de la **gráfica 17** se muestra el índice para el intervalo de 9 meses y en la **gráfica 18** el índice para el intervalo final de la serie histórica de datos, en la primera grafica mencionada se puede observar que los intervalos de tiempo menores a 0 que representan los periodos de estiaje son mucho más recurrentes que los intervalos de tiempo mayores a 0 que son donde no hay eventos de este tipo, es decir, la cuenca se encontró en un estado meteorológico variable y con periodos de estiaje repetitivos, esta diferencia como se observa fue casi del doble entre periodos de estiaje y periodos mayores a cero, de la misma manera se puede visualizar en esta grafica como es la ocurrencia de estos valores menores a cero donde los periodos de estiaje van desde sequia leve a sequía extrema, en este caso, se puede visualizar que se presentaron todos los cuatro tipos de sequía, ya que hay valores que llegan inclusive menor a -2.0, que es el indicativo de sequía extrema, igualmente se aprecia que en la gráfica los periodos de estiaje que se presentaron durante la serie histórica varían durante cada año, en diferentes estaciones y en diferentes épocas, lo cual convierte a este evento en la zona de influencia del proyecto en un evento hidrometeorológicamente descontrolado y variable.

De la misma manera en la **gráfica 18**, se observa que estos periodos de estiaje fueron bastante altos, debido a que la mayoría de incidencias o puntos en la gráfica se encuentran en los intervalos menores a cero e inclusive mayores -2.5 , lo que infiere, que según la **tabla 10**, pudo haber disminución de la humedad del suelo, anomalías en el flujo de la cuenca, anomalías en el almacenamiento de la cuenca e impactos negativos en la agricultura; esto permite deducir, que los eventos de estiaje causaron un daño irreversible dentro de la fuente hídrica y de la zona de influencia debido a su recurrencia, variabilidad, severidad y sobre todo el tiempo de duración de dichos eventos, esto recordando lo consignado en la **tabla 18**, donde se muestran periodos donde estos eventos demoraron aproximadamente casi 2 años en algunos casos, lo cual nos deja ver la severidad de la situación de la fuente hídrica frente a estos periodos que pudieron causar un daño irreversible en el caudal ecológico del mismo e inclusive en la parte económica del departamento.



Gráfica 17. Datos SPI9 periodo 1986 – 2020, estación Villa Rosa

Fuente: Araujo T., (2020) – A partir de la información obtenida de la base de datos del IDEAM



Grafica 18. Datos SPI3, SPI6, SPI9 periodo 2016 – 2020, estación Villa Rosa

Fuente: Araujo T., (2020) – A partir de la información obtenida de la base de datos del IDEAM

Para visualizar los gráficos restantes de los periodos de años faltantes, y además del intervalo de 3 y 6 meses, se puede visualizar en los anexos del presente proyecto.

Gráficos SPEI

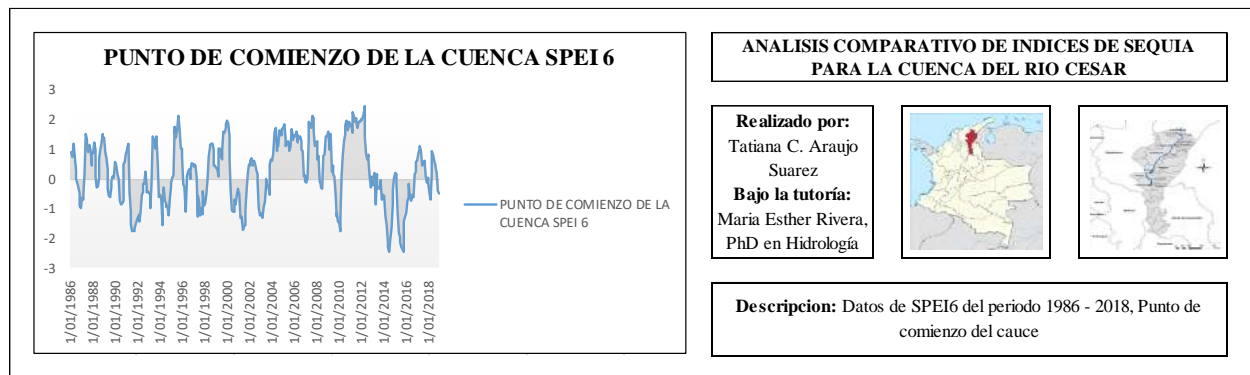
Al igual que el SPI, el SPEI funciona, representando los periodos de sequía con los resultados menores a cero, como se indica en la *gráfica 19*, donde se puede observar el SPEI para la serie histórica de datos, en la cual los valores menores a cero son en menor medida que los mayores a cero, aun así estos valores según la gráfica varían de cero a menores que dos, lo que permite entender que hubo sequia desde leve hasta sequia severa hasta sequía extrema, con esto recalcando lo que se establece en el SPI, que los periodos de sequía de la cuenca llegan hasta sequía extrema con duraciones de más de una estación o un periodo del año, esta grafica igualmente indica que esos periodos fueron de series mensuales de 6 meses, denotando lo ya establecido, donde estos



periodos de estiaje que se presentan son de una duración mayor, los cuales según la **tabla 10** revelan cómo se mencionó en el SPI, que pudieron causar anomalías en los flujos de los cauces y en el nivel de almacenamiento, esto generando daños que pudieron variar desde reversibles hasta daños en el caudal ecológico del cauce, lo cual causaría un daño irreversible dentro de la fuente hídrica, pudiendo causar un evento a un plazo moderadamente largo como la desaparición del mismo, teniendo en cuenta que estos periodos de estiaje no solo afectan al cauce principal sino a otros afluentes hídricos que dependen del mismo, y que todos estos afluentes abastecen a la región, por otro lado estos periodos de estiaje se ven afectados por lo mencionado en los factores influyentes que son el crecimiento urbanístico del departamento que por ende han generado desplazamiento de especies vegetales y animales, causando daños irreversibles en el ecosistema.

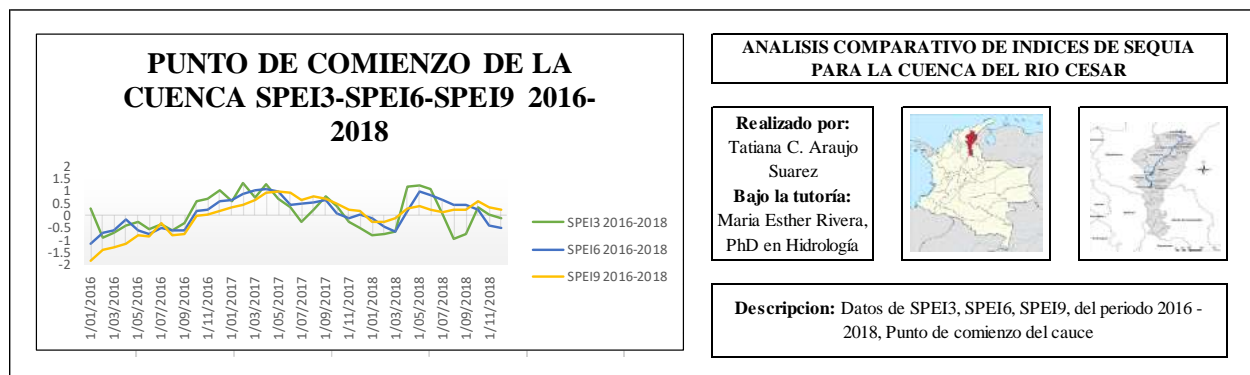
Por otra parte siguiendo en la misma línea de ideas, en la **gráfica 20**, se puede observar el periodo de 3 años, desde el 2016 hasta el 2018, donde se pueden apreciar periodos de estiaje que son mayormente de los intervalos de 3 meses, indicando que mayormente estos periodos durante esta época fueron mucho más cortos, ya que el intervalo de 9 meses se encuentra en su mayoría en números mayores a cero o si son menores a cero con intervalos cortos y sobre todo sequía leve a moderada, esta grafica presenta un análisis más detallado por serie histórica de manera reducida, donde se visualiza realmente el comportamiento de cada uno de los intervalos durante los años analizados, corroborando los resultados establecidos en los cálculos de SPEI, que se establecieron mucho menores que el SPI, debido a que este primero utiliza la evapotranspiración como variable

dentro de los cálculos de índice de sequía, de igual forma los cálculos del SPEI referentes a la sequía siguen siendo en una medida eventos recurrente y variable dentro de la cuenca con duraciones desde pequeñas a grandes, pero en menor medida que el SPI.



Grafica 19. Datos SPEI6 del periodo 1986 – 2018, Punto de comienzo del cauce

Fuente: Araujo T., (2020) – A partir de la información obtenida de la base de datos del IDEAM



Grafica 20, Datos SPEI3, SPEI6, SPEI9 del periodo 2016 – 2018, Punto de comienzo del cauce

Fuente: Araujo T., (2020) – A partir de la información obtenida de la base de datos del IDEAM



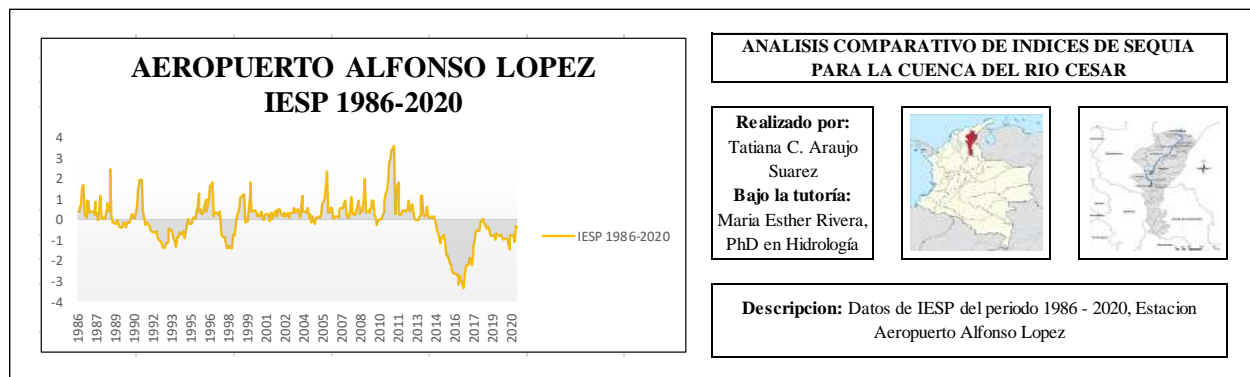
Para visualizar los gráficos restantes de los periodos de años faltantes, y además del intervalo de 3 y 9 meses, se puede visualizar en los anexos del presente proyecto.

Gráficos IESP

En el *gráfica 21*, se puede observar el índice IESP para la serie histórica de 1986 a 2020, este índice al igual que los dos anteriores índices, se basa en sequías que representan los valores menores a cero, determinando después de esta manera, distintos tipos de sequía, para distintos valores como se muestran en la *tabla 12*; de la misma manera con esta *gráfica 21*, se puede inferir que para la estación Aeropuerto Alfonso López que abarca el Cesar medio durante la serie histórica evaluada, se presentaron periodos de estiaje que correspondieron a periodos recurrentes y variables, por otro lado también se puede verificar que en los años donde más se presentó sequía, fueron desde el 2013 al año 2020, permitiendo inferir que los periodos de estiaje fueron cada vez más recurrentes y a la vez más intensos, con lo cual se pudo instaurar que durante este periodo la alteración dentro del cauce, se pueden determinar cómo alteraciones que pueden no ser irreversibles.

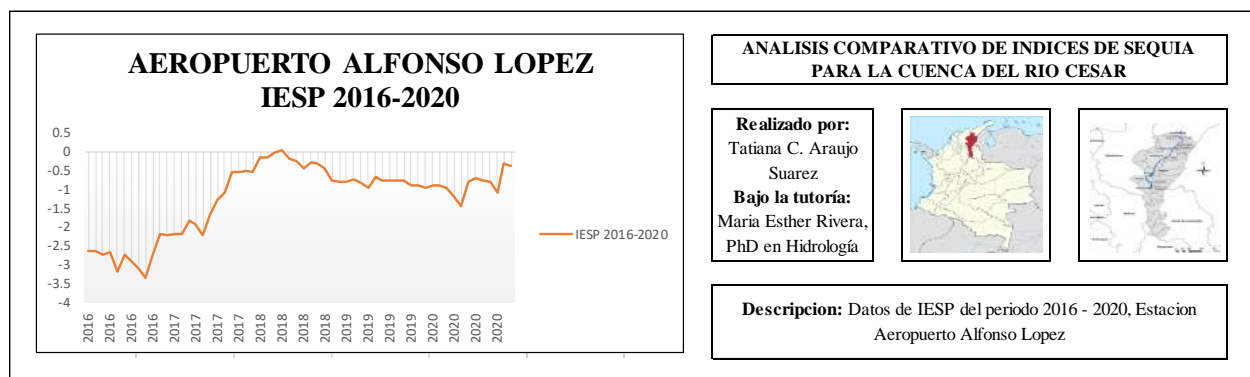
Por otro lado en la *gráfica 22*, se puede observar los últimos 5 años de la serie histórica que se evaluó, y se puede inferir que las sequías fueron constantes durante todo los cinco años, lo cual establece que durante estos años, los periodos de estiaje se convirtieron en un fenómeno común dentro de la zona de influencia de la cuenca, sobre todo en el Cesar medio, el cual es la zona de influencia de la estación Aeropuerto Alfonso López, es importante recalcar que las sequías

que representa este índice durante estos periodos que fueron evaluados, son de tipo hidrológico, por tanto el daño será directo a las variables y componentes del cauce principal, por tanto la variación dentro del caudal y la disminución dentro de las precipitaciones que genero el periodos de estiaje, no solo serán dentro de las variables meteorológicas de la zona, sino directamente de la cuenca.



Gráfica 21. Datos IESP periodo de 1986 – 2020, Estación Aeropuerto Alfonso López

Fuente: Araujo T., (2020) – A partir de la información obtenida de la base de datos del IDEAM



Gráfica 22. Datos IESP periodo de 2016 – 2020, Estación Aeropuerto Alfonso López



Fuente: Araujo T., (2020) – A partir de la información obtenida de la base de datos del IDEAM

Para visualizar los gráficos restantes de los periodos de años faltantes, se pueden dirigir a los anexos del presente proyecto.

Mapas de los índices de sequía SPI, SPEI y IESP

Mapa SPI

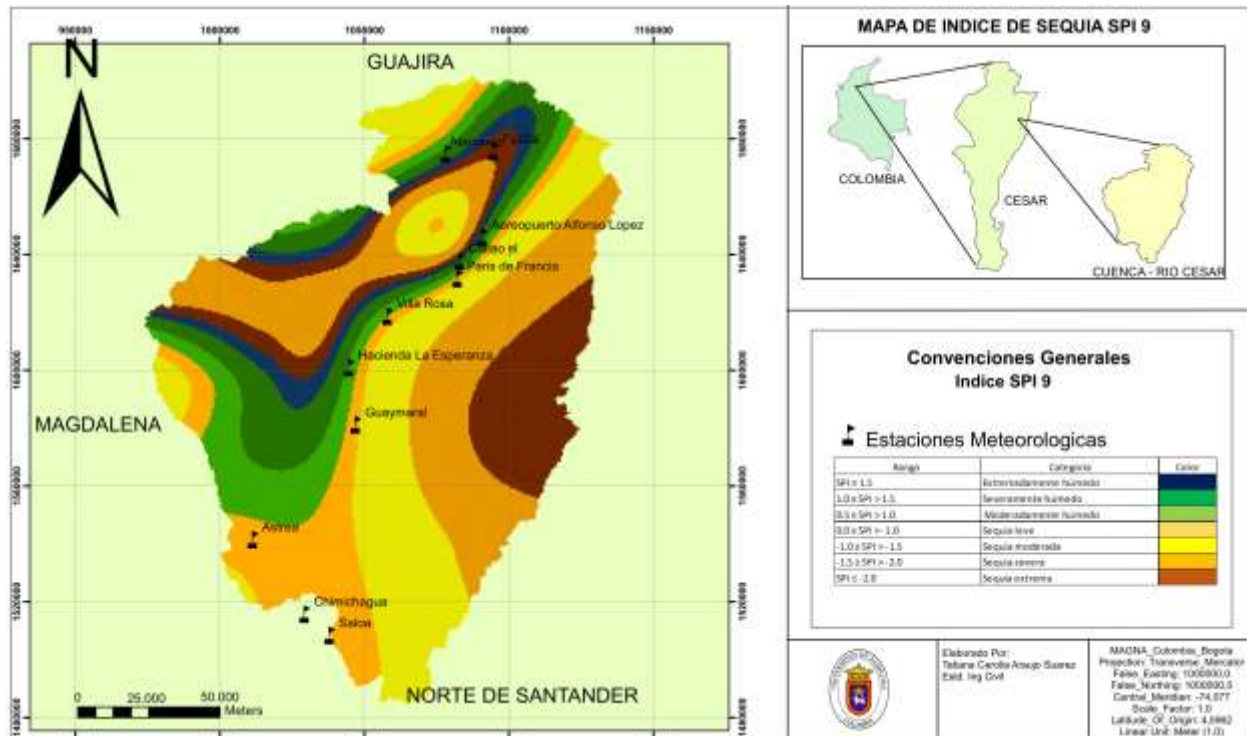
En la *figura 7* se puede observar el mapa del índice SPI9, calculado en base a los resultados obtenidos para las 11 estaciones que se establecieron en las técnicas de muestreo del presente documento, así mismo en la figura mencionada se puede observar la cuenca y los diferentes tipos de sequía que se presentaron durante la serie histórica en estudio, teniendo en cuenta la figura, se puede establecer que la cuenca para el índice SPI, paso de sequía moderada a sequía, extrema, también presentando algunos comportamientos de extremadamente húmedo hasta moderadamente húmedo, lo que indica que aunque la mayor parte de la evaluación de este índice en la serie histórica arroja según lo observado en la *figura 7*, que la cuenca se encontró en periodos de estiaje largos y recurrentes, en algunos puntos se han presentado características meteorológicas que permiten inferir que ha existido aumento de precipitaciones y por tanto la humedad cerca de la misma ha tenido un aumento considerable, pero dejando de lado estos momentos o eventos de húmedos, se puede inferir que la cuenca se ha encontrado en una sequía que puede haber tenido cambios directos en la estructura de la fuente hídrica debido a su constancia y a la duración del evento, considerando que este mapa mostrado en la figura es del SPI9, el cual indica impactos en



la agricultura de la zona además de impactos en el flujo del cauce y anomalías dentro del mismo, cabe resaltar que este fenómeno en la cuenca además de volverse recurrente se ha vuelto una variable de mayor constancia en ciertas épocas del año como se pudo visualizar en los gráficos, lo que puede dar a sobrentender un cambio dentro de las características meteorológicas de la zona, lo que puede conllevar, que este tipo de fenómenos han tenido un impacto irreversible en la misma, ya que el mapa solo corrobora que este fenómeno es de gran magnitud dentro de la cuenca en toda su extensión.

Por último es importante recalcar que este mapa solo nos permite establecer que la sequía que más predominó dentro de los años en estudio, fue la sequía meteorológica, que se representa en el SPI, el cual es el índice con mayor variabilidad de este fenómeno y además con mayor incidencia dentro de la zona de la cuenca, además de la veracidad de la información, por la gran cantidad de estaciones y puntos dentro de la cuenca.

Figura 7. Mapa índice de sequía SPI9 - cuenca del río Cesar



Fuente: Araujo T., (2020) – A partir de la información obtenida de la base de datos del IDEAM

Para la mejor visualización del mapa de índice de sequía, se puede dirigir a los anexos del presente proyecto.

Mapa SPEI

En la **figura 8**, se puede visualizar la cuenca del río Cesar, con la correspondiente leyenda de la sequía que se presenta durante la serie histórica, durante esta serie como ya se pudo visualizar en las gráficas de SPEI, las sequías son variables, y se encontraron desde extremadamente húmedo

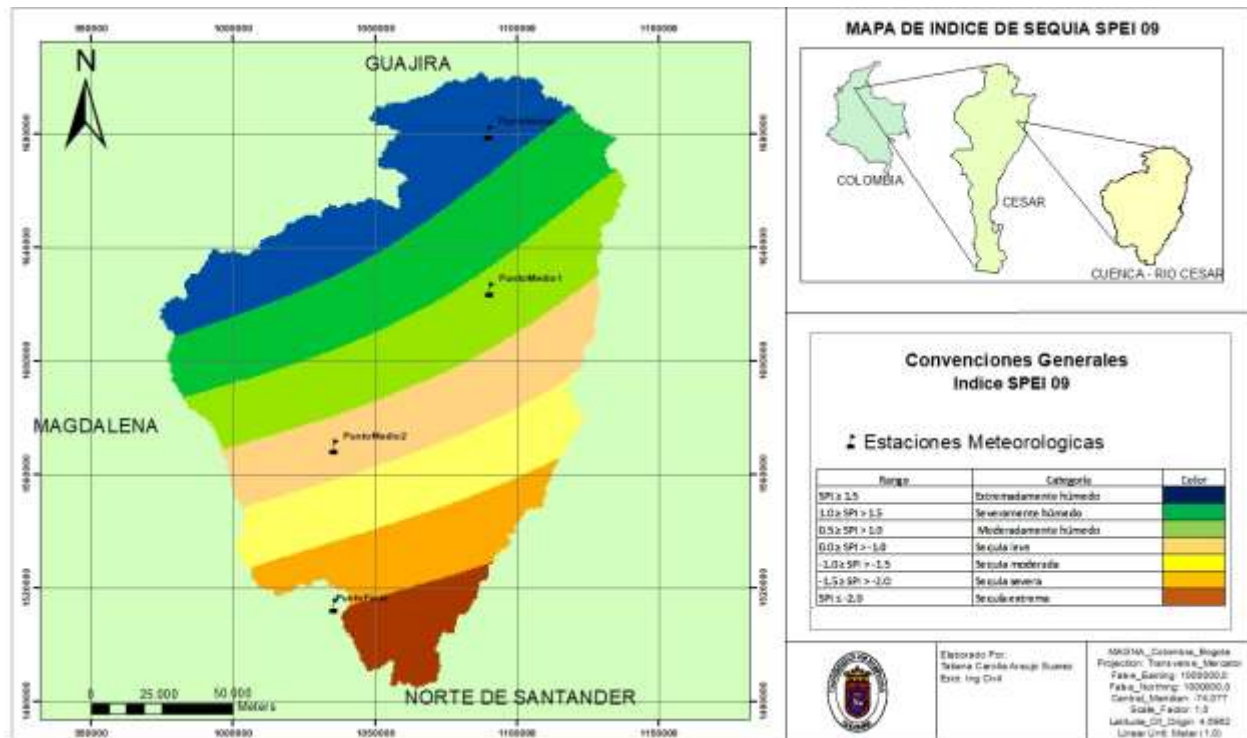


las clasificación, hasta sequía extrema, pero en muy bajo porcentaje, de acuerdo con este índice, las sequías que se presentaron en la zona de la cuenca fueron muy variables y recurrentes, pero tienen menor porcentaje de intensidad que las sequía que se presentan según el índice SPI, esto teniendo en cuenta que el SPEI, es un índice que tiene como ya se mencionó la evapotranspiración del lugar como variable, siendo este un factor influyente, dentro de los resultados, con esto nuevamente se recalca que en la **figura 7**, los resultados además de variables y casi uniformes en porcentaje de presencia en la cuenca de las diferentes clasificaciones, dentro de esta figura, podemos inferir que dentro de la cuenca de acuerdo con este índice si se presentó sequía, en todos los grados de intensidad de la misma, cabe resaltar que en menor medida la sequía extrema, pero igualmente hay periodos de la cuenca que son más húmedos y no se consideran periodos secos.

Los resultados obtenidos en este figura nos permiten sobreentender que la cuenca a pesar de tener periodos de estiaje recurrentes, lo tienen en menor grado en comparación con el SPI, aun así son periodos de estiaje que varían desde el menor grado de impacto hasta el mayor grado, por otro lado este SPEI representado en la **figura 8**, es el SPEI9, el que se entiende que tiene impacto en la agricultura de la zona y efectos irreversibles dentro del cauce de la cuenca.

Por último se recalca que en este mapa se puede entender que la variabilidad de sequías o periodos de estiaje de la zona, pueden estar teniendo un efecto irreversible en los elementos meteorológicos del clima de la cuenca.

Figura 8. Mapa índice de sequía SPEI9 - cuenca del río Cesar



Fuente: Araujo T., (2020) – A partir de la información obtenida de la base de datos del IDEAM
 Para la mejor visualización del mapa de índice de sequía, se puede dirigir a los anexos del presente proyecto.

Mapa IESP

En la **figura 9**, se puede observar el mapa del índice IESP obtenido a partir de las cuatro estaciones que proporcionaron temperatura máxima, mínima, media y precipitación de la zona, por medio de las cuales con el software Clic-MD en su versión de prueba, se obtuvo



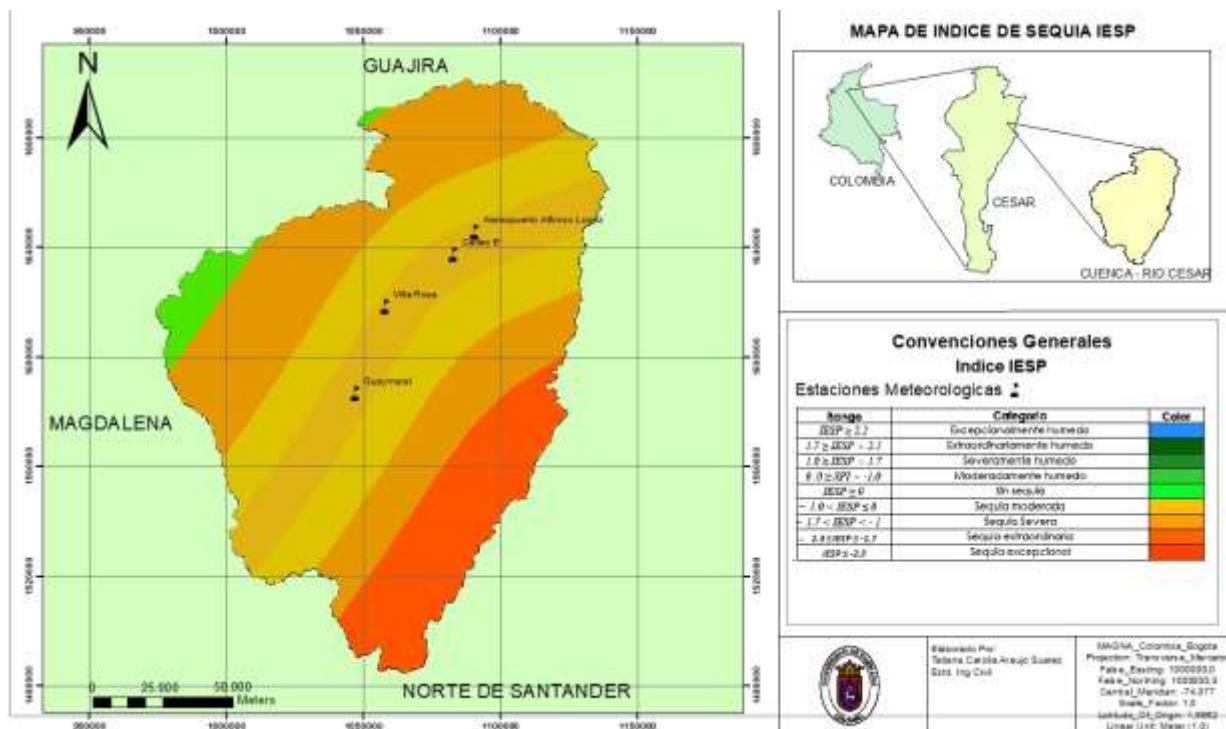
evapotranspiración por Thorntwaite y por Hargreaves, a partir de ahí se obtuvieron los valores de sequía para las distintas estaciones y como se puede observar en la **figura 9**, se presentaron a lo largo de los años y de las diferentes secciones de la cuenca, periodos desde sequia moderada hasta excepcional, dentro de estas las más reincidentes fueron la sequía moderada y severa, esto teniendo en cuenta la clasificación establecida para este índice; una vez más dentro de este mapa se puede observar lo ya establecido en los gráficos del mismo índice, donde se mostró que dentro de la zona de estudio, los periodos de estiaje se volvieron recurrentes y constantes durante los últimos periodos del año, así mismo se presentaron algunos eventos húmedos, pero en menor medida comparados con los periodos secos que se presentaron, esto sumado lo que ya se ha venido evaluando con los otros índices, en cuestiones meteorológicas, ya que estos periodos de estiaje más que un fenómeno poco común, se volvió muy común dentro de dicha cuenca.

De la misma manera en la **figura 9**, se puede notar que hubo presencia de esos periodos húmedos o de carencia de sequía, donde la cuenca se encontró en un estado normal, pero con alteraciones que muy probablemente ocurrieron dentro del desarrollo de eventos de estiaje, que impactaron no solo la vegetación y biodiversidad de la zona, sino la cuenca por sí misma, como la magnitud de su caudal.

Como con los anteriores índices, este mapa que es el resumen y con eso de los índices calculados, solo nos establece lo que ya se ha venido presentado y es que la sequía dentro de la cuenca del rio Cesar es un evento común, que pudo haber causado anomalías en el cauce de

carácter reversible o irreversible, dependiendo de la gravedad, ya que estos periodos como se muestra en el mapa, varían su severidad, llegando a presar inclusive periodos de sequía extremadamente fuertes, aun así este índice al igual que el SPEI, presente menor porcentaje de periodos de estiaje en comparación con el SPI, lo que se debe a la correlación que tienen con la variable evapotranspiración, dentro del mapa se puede observar específicamente los periodos de estiaje en mayor medida esto debido a que se tomó como centro estos periodos de estiaje para visualizarlos dentro de la cuenca.

Figura 9. Mapa índice de sequía IESP- cuenca del rio Cesar



Fuente: Araujo T., (2020) – A partir de la información obtenida de la base de datos del IDEAM



Para observar mejor el mapa puede dirigirse a los anexos donde se encuentra el mismo, y por otra parte debido a la información proporcionada por el Clic-MD, se obtuvieron gráficos de barra de cada una de las estaciones para el IESP, que se pueden visualizar igualmente en los anexos y observar a detalle el comportamiento ya mencionado de la cuenca según este índice, específicamente en el Anexo AH.

Análisis comparativo de índices de sequía

Dentro de todo el desarrollo del proyecto y los diversos cálculos para generar u obtener el tipo de sequía que se presenta en la cuenca en estudio se debió analizar y tener en cuenta los factores influyente dentro de estos periodos de estiaje, pero para poder establecer una clasificación dominante de sequía dentro de la cuenca se debió tener en cuenta, que los índices SPEI y SPI, son índices meteorológicos, por tanto no tienen influencia directa dentro de la estructura del cauce, a diferencia del IESP, el cual es un índice hidrológico, el cual por tanto afectara directamente las propiedades y estructura del cauce, sabiendo esto, un comparativo o un punto de igualdad entre los tres índices, consistió en la incidencia del fenómeno de diversas magnitudes dentro de la cuenca, pero de los tres índices, el que mayor periodos de estiaje represento para la cuenca fue el SPI, esto debido a las bajas precipitaciones durante los primeros meses de cada año y luego volviéndose recurrente una disminución de precipitaciones durante diversos periodos del año.

Dentro del análisis comparativo que se establece, se puede determinar que la mayor divergencia que tiene los índices entre si es el factor de evapotranspiración, el cual se tuvo en



cuenta para el SPEI y el IESP, pero no para el SPI, dando por tanto un punto de diferencia que pudo ser el causante de la variación dentro de los resultados obtenidos, recordando que los dos primeros índices tuvieron menor porcentajes de sequía en correspondencia con los obtenidos en el SPI, permitiendo sobrentender con esto que una variable influyente dentro de la determinación de sequias de la zona, es la evapotranspiración de la misma, que permitirá disminuir los periodos de estiaje en la cuenca.

Teniendo en cuenta que un análisis comparativo se basa en la identificación de similitudes y diferencias del problema en estudio, se pudo inferir lo siguiente:

- ◆ Las sequias son fenómenos que dependiendo su tipo y el índice que se calcule variara su severidad, pero no su recurrencia o duración
- ◆ La evapotranspiración es un factor dentro de la cuenca que juega un papel importante en periodos de estiaje, ya que permite disminuir la severidad del episodio o en su defecto aumentarlo
- ◆ La disminución de las precipitaciones en una zona, no es razón suficiente para establecer como periodo de estiaje en un corto lapso de tiempo
- ◆ La sequía meteorológica muchas veces desemboca en sequia hidrológica, lo cual se comprobó en la investigación, debido a los periodos de estiaje similares y recurrentes entre los índices meteorológicos y el hidrológico

- ◆ La sequía meteorológica suele parecer superficial ya que debido a las características y las afectaciones de mismo, no se observa directamente en el cauce, sino en todos los factores del ambiente como humedad relativa, percolación, infiltración y temperatura, que de manera directa afectan a la estructura del cauce y las aguas subterráneas que pueden alimentarlo.

Los índices de sequía SPI, IESP y SPEI, se complementan como variables para identificación de sequias debido a que permitieron establecer si posterior de una sequía meteorológica se presentaría, sequia hidrológica, además de establecer en qué medida y lo que causara este fenómeno dependiendo del tipo del mismo y la magnitud.

Clasificación y el tipo de sequía de la cuenca del rio Cesar

Los periodos de estiaje que presento la cuenca durante la serie histórica de 1986 a 2020, permitió inferir y determinar, que la clasificación que englobaba mejor el tipo de fenómeno que se presento fue la sequía meteorológica, porque a pesar que el índice IESP, nos muestra que se presentaron grandes periodos de estiaje de tipo hidrológico, estos no fueron tan representativos como los periodos de estiaje meteorológicos, que se pudieron establecer con el SPI y el SPEI, permitiendo inferir que la cuenca ha venido presentando hasta el 2020, un fenómeno de sequía que abarca la clasificación meteorológica, que suele ser característico de zonas de gran extensión como lo es la cuenca del rio Cesar, por otro lado, debido a los indicios de sequía hidrológica, se permitió establecer que dentro de la zona de la cuenca debido a el tipo de sequía predominante además de

haber afectaciones en el ecosistema terrestre y en la agricultura, también se presentaron afectaciones dentro del ecosistema acuático, y los diferentes usos del recurso hídrico de los cuales depende la zona, como el agua para abastecer a la población.

Por último se pudo resumir que la sequía fue de tipo estacional pasando a impredecible durante los últimos años de la serie histórica, especialmente desde 2016 a 2020, resumiendo la clasificación en la *tabla 23*.

Tabla 23. Tipo y clasificación de sequía de la cuenca del río Cesar

Clasificación de la sequia	Tipo de sequia
Sequia meteorológica	Sequia estacional a impredecible

Fuente: Araujo T., (2020) – A partir de la información obtenida de la base de datos del IDEAM

La sequía en obras hidrosanitarias para el manejo del recurso hídrico

Las obras constructivas para el manejo del recurso hídrico son de vital importancia para la subsistencia de la población no solo en el ámbito como persona, sino también como componente principal del desarrollo económica de una región, por tanto estas obras son el motor de la mayoría de poblaciones para la subsistencia y sobre todo la manera del gobierno garantizarle a los ciudadanos una vida digna, el cual es un derecho establecido en la constitución política de Colombia, sabiendo esto, hay diversos factores que pueden afectar estas obras y por tanto indirectamente afectar la calidad de vida de los habitantes y una vulneración de los derechos del ser humano, algunos de los factores que pueden influir negativamente en estas obras son factores



o fenómenos climáticos que se han venido generando en mayor medida debido a todos los cambios climáticos que ha presentado el mundo, este factor en específico que puede impactar sobre todo en las obras hidráulicas de un municipio, son los periodos o eventos de estiaje, estos eventos se caracterizan por la disminución de las precipitaciones y dependiendo su tipo, por la disminución en los caudales de las fuentes hídricas, esta disminución de caudales en la fuente hídrica puede ser un problema que muchas veces los pobladores de un lugar no pueden observar directamente, ya que a pesar de esa disminución el recurso sigue siendo suministrado, muchas veces en medidas más bajas, pero sigue corriendo, dejando de lado que este factor es un evento que puede causar estragos irreversibles dentro del cauce y si está siendo intervenido, puede ser de una magnitud mayor.

Dentro de los diseños de acueductos de Colombia, siempre se deben tener en cuenta los caudales mínimos que se pueden extraer sin alterar el caudal ecológico de la cuenca para así de esta manera evitar la desaparición del cauce, por tanto estos eventos que se han venido evaluando durante todo este proyecto y que se han demostrado son ya no solo recurrentes sino de largas duraciones en la cuenca del río Cesar, pueden generar que el caudal ecológico del cauce se vea afectado, ya que no solo se está interviniendo el cauce sin detención del suministro, sino también que no se ha generado un plan de contención para este tipo de eventos que generan problemáticas dentro de la captación del recurso hídrico y su mano, pudieron desembocar en problemáticas como las presentadas en el río Pamplonita, que debido a sus grandes periodos de estiaje y sobre todo la



carencia de medidas para que estas obras de captación sustraigan menor caudal o el necesario sin afectar, ha generado racionamientos dentro de la comunidad mientras el cauce vuelve a retornar a las épocas más húmedas, este tipo de situaciones no se han presentado en ninguno de los municipios que abastece la cuenca del río Cesar, pero una problemática que si es frecuente durante periodos de estiaje, es el bajo caudal con que llega a los diferentes hogares, demostrando que para la generación de un diseño eficiente en cualquier época del año, se deben tener en cuenta caudales mínimos, en periodos de estiaje, que ya en esta cuenca no son eventos poco habituales, sino repetitivos, de gran duración y constantes, por tanto tiene una gran influencia en los futuros diseños de obras de captación y en los componentes que tendrás las mismas, destinadas al manejo del recurso en diferentes usos.

Por otro lado se encuentran las obras que transportan las aguas negras y aguas lluvias de un municipio, generalmente en Colombia y la mayoría de municipios, no hay alcantarillados u obras de captación de aguas negras y aguas pluviales separadas, por tanto el caudal que se presentara en estas estructuras será tanto de aguas pluviales como sanitarias, lo que en periodos de estiaje disminuirá debido a que en estos periodos las precipitaciones tienen una gran disminución, durante periodos prolongados, generando por tanto menor represamiento dentro de dichas obras, lo que podría considerarse un punto a favor, pero realmente solo nos indica que lo ideal para la recolección de estas aguas es generar dos tipos de obra, es decir alcantarillados separados, de tal manera que cuando existan este tipo de periodos de estiaje, las aguas que se han venido reutilizando



y recogiendo del pluvial que se devuelven al cauce sean un punto a favor y no a pérdida, además de evitar que las aguas negras lleguen a los cauces, sino a las plantas de tratamiento correspondiente.

Por ultimo aunque los estudios de impacto ambiental no correspondan a la parte civil o la ingeniería civil, si es importante los fenómenos de estiaje dentro del diseño de estructuras para el manejo del recurso, siendo estas estructuras factores que jugaran un papel importante dentro de estos periodos y sobre todo en la eventual disminución de los mismos.



Conclusiones

La cuenca presenta una forma con variabilidad desde estrecha – alargada y oval, que posee un coeficiente de compacidad de 1.76, una densidad de drenaje de 0.0153, un coeficiente de torrencialidad de 0.057, esto permitió establecer que es una cuenca de dimensiones muy grandes, con potencialidad mediana susceptibilidad a crecientes, por otra parte dichas características permitieron inferir que posee un menor grado de torrencialidad o mejor respuesta a eventos torrenciales baja a crecientes. Además de lo ya mencionado la cuenca, es un cauce de edad madura a vieja, que tienden más a vieja, indicando de esta manera que es una cuenca que no erosiona ni generara depósitos, esto se estableció de acuerdo a las diferentes alturas por las cuales surca la cuenca, por ultima es un cuenca que presenta pendientes fuertes y moderadas desde la parte media hacia la baja.

El crecimiento económico y la sobrepoblación dentro del departamento del Cesar son factores influyentes dentro del aumento y recurrencia en eventos de estiaje de la cuenca, esto teniendo en cuenta factores como evapotranspiración y la disminución de cultivos y zonas de vegetación.

El aumento de las temperaturas en el Departamento se pudo establecer como uno de los factores que influyen directamente en los periodos de estiaje de la cuenca del rio Cesar, se pudo inferir que dichas temperaturas y su amento se debieron al crecimiento urbanístico del departamento y por tanto a la disminución de zonas de vegetación, que desembocaron en



desplazamiento y desaparición de especies, dando como resultado disminución en la humedad del suelo y por tanto mayor evapotranspiración.

Por medio de la investigación realizada se pudo determinar que la cuenca del río Cesar presentó durante el periodo de 1986 a 2020, diferentes eventos de estiaje recurrentes, en diversos periodos del año, además con variadas magnitudes y duraciones, permitió inferir de esta manera que la cuenca del río Cesar presentó periodos de estiaje como un evento común y descontrolado, de la misma manera estos periodos de estiaje variaron desde tipo meteorológico a hidrológico, pasando desde afectaciones a la agricultura, hasta afectaciones en el flujo del cauce y la magnitud del caudal, que por tanto afectó directamente a la dimensión de los caudales que se capta para el abastecimiento del recurso hídrico dentro de departamento.

De acuerdo a la investigación desarrollada se infiere que, la sequía presentada en la cuenca fue de tipo meteorológica, pero además de ello se desencadenó una sequía hidrológica, esto debido a las afectaciones en los factores meteorológicos de la zona, como humedad, precipitación y temperatura, que desembocaron por tanto disminución de caudales y afectaciones en la hidrología del cauce.

Para el índice SPI de acuerdo con los mapas elaborados se pudo concluir que para la serie histórica de 1986 a 2020, siendo una serie histórica de 35 años, presentó sequías leve, moderada, severa y extrema, dichas sequías de tipo meteorológico e hidrológico.



Para el índice SPEI de acuerdo con los mapas elaborados se pudo concluir que para la serie histórica de 1986 a 2020, siendo una serie histórica de 35 años, presento sequias leve, moderada y severa, estas sequias fueron de tipo meteorológico e hidrológico.

Para el índice IESP de acuerdo con los mapas elaborados se pudo concluir que para la serie histórica de 1986 a 2020, siendo una serie histórica de 35 años, presento sequias severa, extraordinaria y excepcional, todas estas sequias de tipo meteorológico e hidrológico.

Mediante la elaboración de mapas y gráficos se pudo obtener un registro de datos de fácil interpretación donde se pudo sobrentender que la cuenca se encontró con periodos de estiaje que fueron aumentando su magnitud y duración a medida del pasar de los años de la serie histórica, es decir, se pudo por medio de estos mapas y gráficos determinar que en los últimos años de la serie histórica fue donde los eventos de estiaje se volvieron más constantes y parte del ecosistema de la cuenca en ciertos periodos del año, además de mucho más intensos y de mayor gravedad.

La visualización grafica de los periodos de estiaje de la cuenca igualmente permitió establecer las divergencias de los tres índices evaluados, y por tanto establecer la clasificación de la cuenca, el tipo de sequía y además la afectación que tuvieron estos periodo de estiaje en la cuenca, como afectación en el flujo del cauce, generación de anomalías en el cauce, disminución en los niveles de almacenamiento del cauce, menor grado de humedad del suelo y afectaciones en



las características del clima de la zona, como aumentos en la temperatura y disminución en las precipitaciones.





Recomendaciones

Al ser un fenómeno que se pudo determinar cómo recurrente y constante dentro de la cuenca, es importante que las autoridades encargadas de la parte ambiental del municipio, se encarguen de generar un plan de contingencia que evite la desaparición a mediano plazo del cauce y así mismo que genere racionamientos dentro del abastecimiento del recurso.

Es importante que se tengan en cuenta para los diseños de obras de captación los caudales de las cuencas cuando se encuentran en periodos de estiaje, para evitar que las obras hidráulicas se vuelvan obsoletas durante estos periodos, que dentro de la cuenca son constantes y variables, dando como resultado disminución en el suministro hídrico dentro de los diferentes municipios, y además de en muchos casos suspensión del mismo.

Se recomienda que los análisis y la vigilancia de periodos de estiaje de la cuenca del río Cesar sean constantes, por parte de CORPOCESAR, teniendo en cuenta que el IDEAM la tiene en alerta debido a la disminución que he presentado del caudal y a la contaminación del mismo, es importante evaluar constantemente los periodos de estiaje de la cuenca, para evitar afectaciones irreversibles y de la misma manera evitar que la población no tenga una vida digna, que depende del suministro del recurso hídrico, de la economía de la zona, la cual depende de la agricultura y la ganadería, además de la minería, es importante velar por el correcto uso de este recurso en periodos de escasez.



Por ultimo una recomendación, observación y llamado de alerta para el futuro teniendo en cuenta los resultados obtenidos con el presente proyecto, se conglomerara en que la cuenca del rio Cesar se encuentra en un momento frágil, en un futuro no tan lejano la cuenca puede inclusive secarse totalmente, además de causar por tanto la desaparición total de los afluentes que recaen en ella, esto debido a todos los parámetros evaluados y los periodos de estiaje de gran tamaño que se han presentado, es importante que no solo las autoridades sino la población se concientice que a futuro si la cuenca no es intervenida con un plan para su recuperación, el departamento se encontrara no solo en dificultades para obtener el recurso hídrico, sino en problemas económicas, agrícolas y de sostenibilidad, porque esta fuente hídrica no solo es la que abastece a la población, sino que es el centro de muchas de las actividades económicas del sector.



Referencias bibliográficas

- Blanquero, R., Carriosa, E., Pita, M., Camarillo, J. y Álvarez, J. (2012). Modelo estocástico para la predicción del Índice Estandarizado de Sequía Pluviométrica (IESP) en Andalucía. Asociación Española de Climatología. Congreso Internacional (8 o. 2012. Salamanca), 261–270.
- Boicet-Fabre, T., Baldaquín-Hernández, M., Boudet-Antomarchi, A., Merino-Hernández, Y., Alarcón-Zayas, A., y Almarales-Frías, W. (2018). Evaluación de diferentes índices de tolerancia a la sequía basada en análisis multivariados. *Cultivos Tropicales*, 39 (1), 61–67.
- Campos-Aranda Daniel Francisco, (2018), Contrastes del Índice de Sequías de Palmer Estandarizado (SPDI) en tres ubicaciones climáticas de San Luis Potosí, México, *Tecnología y ciencias del agua*, 9(5), 246-279.
- Castillo-Castillo, M.... Vázquez-Peña, M. A. (2017). Análisis de sequías meteorológicas en la cuenca del río Fuerte, México. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 08(1), 35–52.
<https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-01-03>
- Crespo, G. (2005). COMPARACIÓN DE DOS METODOLOGIAS PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE SEVERIDAD DE SEQUÍA PARA DOCE RESERVAS DE LA BIOSFERA MEXICANA. UNESCO, 139.



Diéguez, ET, Mancera, GM, Falcón, AC, Garibay, AN, Valdez Cepeda, RD, García Hernández, JL y Amador, BM (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 Geograficas*, 85, 66–81. <https://doi.org/10.14350/ig.32404>

Gómez Latorre Douglas Andrés, (2016), Comparación de índices de sequía aplicados a estudios climáticos, 1-15 Pág.

Gutiérrez-López A., Vargas-Baecheler J., Reséndiz-Torres V., & Cruz-Paz I., (2016), Formulación simplificada de un índice de sequía, empleando una distribución de probabilidad mezclada, *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. VII, núm. 5, pp. 135-149.

Moreno, G., & Cadena, M. C. (2002). Aplicación De Índices De Sequía En Colombia. *Meteorol. Colomb.*, 131–137. Retrieved from http://www.geociencias.unal.edu.co/unciencias/data-file/user_23/file/METEOROLOGIA/15_Hurtado_Gonzalo.pdf

Olivares B., Cortez A., Lobo D., Parra R., Rey B. J.C., & Rodríguez M.F., (2016), Estudio de la Sequía Meteorológica en Localidades de los Llanos de Venezuela Mediante el Índice de Precipitación Estandarizado, *ACTA NOVA*; Vol. 7, N° 3, pp. 266-283.

Organización Meteorológica Mundial (OMM), & Asociación Mundial para el Agua. (2016). *Manual de indicadores e índices de sequía. Programa de gestión integrada de sequías* (p. 54).



Orlando Olivares, B., & Zingaretti, M. L. (2018). Análisis de la sequía meteorológica en cuatro localidades agrícolas de Venezuela mediante la combinación de métodos multivariados. UNED Research Journal, 10(1). <https://doi.org/10.22458/urj.v10i1.2026>

Pacheco Jheimy, Parra Nathaly & Avilés Alex, (2017), Análisis de la sequía en la cuenca del Paute mediante el índice de precipitación estandarizado (SPI), CONFibSIG2017, Recursos naturales, ambiente y cambio climático Ponencia 1.

Penalba, O., & Rivera, J. (2015). Comparación de seis índices para el monitoreo de sequías meteorológicas en el sur de Sudamérica. Meteorológica, 40(2), 33 – 57.

Peña-Gallardo, M., Gámiz-Fortis, SR, Castro-Díez, Y. y Esteban-Parra, MJ (2016). Análisis comparativo de índices de sequía en andalucía para el periodo 1901-2012. Cuadernos de Investigacion Geografica, 42 (1), 67–88. <https://doi.org/10.18172/cig.2946>

Podestá, G., Skansi, M., Herrera, N., & Veiga, H. (2016). Descripción de índices para el monitoreo de sequía meteorológica implementados por el Centro Regional del Clima para el Sur de América del Sur. Reporte Técnico CRC-SAS, 1, 21. Retrieved from http://www.crc-sas.org/es/content/monitoreo/reporte_sequias.pdf

Quesada-Hernández, LE, Hidalgo, HG y Alfaro, EJ (2020). Asociación entre algunos índices de sequía e impactos socio-productivos en el Pacífico Norte de Costa Rica. Revista de Ciencias Ambientales, 54 (1), 16–32. <https://doi.org/10.15359/rca.54-1.2>



Según Real Rangel Roberto Alejandro, (2016), monitoreo de sequías en México a través de índices multivariados (maestro en ingeniería), Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.

Velandia Ramos Juan Felipe, (2016), modelo hidrológico de predicción de amenazas por sequía bajo escenarios de cambio climático, (pregrado en ingeniería civil), Universidad de los Andes.

Vicente Szymula Juan Pablo, (2014), análisis de la evolución de sequías con metodologías de teledetección (maestría en ingeniería de los recursos hídricos), Universidad Nacional del Litoral.



Anexos

Dichos documentos se encuentran en la carpeta del mismo nombre dentro del conglomerado de documentos del proyecto, así mismo están enumerados por las letras del abecedario y el nombre del contenido de dicho anexo.