

ESTUDIO PRELIMINAR DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR
SEQUÍA PARA EL MUNICIPIO DE POPAYÁN - DEPARTAMENTO DEL
CAUCA



YULIANA HURTADO CASTRO
ANGELA VANESA ROJAS MARULANDA

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
POPAYÁN CAUCA
2017

ESTUDIO PRELIMINAR DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR
SEQUÍA PARA EL MUNICIPIO DE POPAYÁN - DEPARTAMENTO DEL
CAUCA

YULIANA HURTADO CASTRO
ANGELA VANESA ROJAS MARULANDA

Proyecto de Grado, modalidad de investigación, como requisito parcial para
optar al título de Ingeniero Ambiental

Director:
Ing. M.Sc. Carlos A. Gallardo B.
Departamento de Hidráulica



UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
POPAYÁN
2017

NOTA DE ACEPTACIÓN

La tesis de pregrado titulada “Estudio preliminar de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por sequía para el municipio de Popayán – Departamento del Cauca”, presentada por Angela Vanessa Rojas Marulanda y Yuliana Hurtado Castro, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Ingenieras Ambientales.

**Ing. M.Sc. Carlos A. Gallardo B.
Director**

**Ing. Esp. Luis Jorge Gonzáles
Jurado**

**Ing. Andrea Bolaños R.
Jurado**

Popayán, Septiembre de 2017

DEDICATORIA

Al pilar fundamental en nuestras vidas, nuestros padres Olga Tulia Marulanda, Luis Emilio Rojas, Alba Ligia Castro y Manuel Augusto Hurtado. Por su apoyo incondicional para lograr nuestros sueños, paciencia y amor infinito.

A todas las personas que nos acompañaron durante todo este proceso.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por brindarnos la fortaleza y sabiduría necesaria y poner en nuestro camino a las personas indicadas para culminar con éxito.

A nuestra familia que siempre procuraron estar dispuestos para lo que necesitáramos, brindándonos su comprensión, apoyo y medios necesarios.

A los docentes que durante toda la carrera nos fortalecieron con sus conocimientos y experiencia profesional y humana, independientemente de las circunstancias que se presentasen, con disposición y el optimismo necesario para amar más nuestra carrera universitaria.

Al Ingeniero M. Sc. Carlos Gallardo por su confianza, apoyo y tiempo depositado durante todo el proceso de este trabajo de grado.

Al Ingeniero Esp. Luis Jorge Gonzáles y al Doctor Yilton Riascos Forero por facilitarnos información por compartir su conocimiento, disposición y asesoría en el desarrollo de este trabajo.

Al Ingeniero Juan Camilo Rojas Lucero, por su asesoría y apoyo brindado en el análisis de las zonas susceptibles a sequía en el municipio de Popayán.

A las entidades que suministraron la información requerida para desarrollar este estudio y que contribuyeron en este proceso con su experiencia.

A nuestros amigos quienes compartieron sus conocimientos, alegrías y tristezas durante todos estos años y depositaron en nosotras su confianza, haciendo posible culminar exitosamente nuestros estudios de pregrado.

CONTENIDO

	Pág.
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
2. OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO GENERAL	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3. JUSTIFICACIÓN	12
4. MARCO TEÓRICO	13
4.1 SEQUÍA	13
4.2 FENÓMENO DEL NIÑO	14
4.3 DEMANDA HÍDRICA	15
4.3.1 Demanda para uso doméstico	15
4.3.2 Demanda en la industria	15
4.3.3 Demanda para energía	15
4.3.4 Demanda para servicios	16
4.3.5 Demanda para el sector agrícola y pecuario	16
4.4 OFERTA HÍDRICA	16
4.5 PLUVIOSIDAD	16
4.6 AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO A LA SEQUÍA	17
4.6.1 Amenaza	17
4.6.1.1 Metodologías de evaluación de la amenaza	19
4.6.2 Vulnerabilidad	20
4.6.2.1 Metodologías de evaluación de la vulnerabilidad	21
4.6.3 Riesgo	22
4.6.3.1 Metodologías de evaluación del riesgo	23
5. ESTADO DEL ARTE	24
6. HIPÓTESIS	27
6.1 HIPÓTESIS PRINCIPAL	27
6.2 HIPÓTESIS NULA	27
7. METODOLOGÍA	27
7.1 INFORMACIÓN GENERAL DEL MUNICIPIO DE POPAYÁN	27
7.1.1 Localización	27
7.1.2 Clima	28

7.1.3	Temperatura	28
7.1.4	Ubicación estaciones	28
7.1.5	Población	29
7.1.6	Cultivos	29
7.1.7	Embalses	30
7.2	METODOLOGÍAS SELECCIONADAS.....	31
7.2.1	Amenaza.....	31
7.2.1.1	Índice estandarizado de sequía pluviométrica (IESP) para determinar amenaza a la sequía	31
7.2.2	Determinación de la vulnerabilidad a la sequía	33
7.2.3	Determinación del riesgo a la sequía	41
7.3	RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN PARA LOS INDICES	43
7.4	CONSTRUCCIÓN DE ISOYETAS	44
8.	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	48
8.1	AMENAZA A LA SEQUÍA	48
8.1.1	Índice Estandarizado de Sequía Pluviométrica IESP.....	48
8.1.1.1	Cálculo de las anomalías pluviométricas.....	48
8.1.1.2	Anomalía pluviométrica acumulada.....	48
8.1.1.3	Cálculo de IESP	49
8.1.2	Análisis del índice IESP	49
8.2	VULNERABILIDAD A LA SEQUÍA.....	52
8.2.1	Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico - IVH.....	52
8.2.1.1	Índice de Regulación Hídrica - IRH	52
8.2.1.2	Índice de Uso de Agua - IUA	54
8.2.1.3	Análisis del Índice de Vulnerabilidad Hídrica – IVH.....	56
8.2.2	Índice de Vulnerabilidad Agrícola - IVA.....	56
8.2.2.1	Índice de Fragmentación de Tenencia de la Tierra - FT	56
8.2.2.2	Índice del Balance Riego/Secano - IRS.....	57
8.2.2.3	Índice de Ruralidad – IRU.....	57
8.2.2.4	Índice de Intensidad de la Agricultura - IT	58
8.2.2.5	Cálculo del Índice de Vulnerabilidad Agrícola - IVA.....	59
8.2.3	Índice de Vulnerabilidad de Embalses - IVE.....	60
8.3	RIESGO A LA SEQUÍA.....	60
9.	MEDIDAS DE ADAPTACIÓN Y/O MITIGACIÓN	62
10.	CONCLUSIONES.....	63
11.	RECOMENDACIONES	64

12. BIBLIOGRAFÍA	65
ANEXO A	73
ANEXO B	103
ANEXO C	105

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 7.1 Localización del municipio de Popayán.....	28
Figura 7.2 Distribución del Índice de fragmentación de tenencia de la tierra.....	38
Figura 7.3 Diamante de riesgo.....	41
Figura 7.4 Isoyetas de precipitaciones del mes de Junio.....	45
Figura 7.5 Isoyetas de precipitaciones del mes de Julio.....	46
Figura 7.6 Isoyetas de precipitaciones del mes de Agosto.....	46
Figura 7.7 Isoyetas de precipitaciones del mes de Septiembre.....	47
Figura 8.1 Resultados del IESP considerando los años entre 1971 y 2016.....	52
Figura 8.2 Volumen total obtenido de la curva de duración de caudales medios diarios.....	53
Figura 8.3 Curva de duración de caudales medios diarios estación Puente Carretera río Las Piedras.....	54
Figura 8.4 Resultados en el diamante del riesgo.....	61

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 4.1 Clasificación de amenazas.....	18
Tabla 7.1 Clasificación del nivel de sequía en el IESP.....	32
Tabla 7.2 Matriz de análisis del IVH.....	34
Tabla 7.3 Rangos del Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH).....	35
Tabla 7.4 Rangos y categorías de Índice de Uso de Agua.....	36
Tabla 7.5 Clasificación de Vulnerabilidad de Embalses.....	40
Tabla 7.6 Clasificación de amenaza.....	42
Tabla 7.7 Clasificación de vulnerabilidad.....	42
Tabla 7.8 Clasificación del nivel de riesgo.....	42
Tabla 7.9 Identificación de entidades competentes fuentes de información.....	43
Tabla 8.1 Medianas mensuales del promedio de las estaciones G.L.V. y Saté.....	48
Tabla 8.2 Anomalías pluviométricas acumuladas para el año 1971.....	49
Tabla 8.3 Clasificación del IESP.....	50
Tabla 8.4 Ponderación de los niveles de sequía para los meses del período comprendido entre 1971 y 2016, considerando las estaciones G.L.V. y Saté.....	50
Tabla 8.5 Pesos de los grados de sequía para el método IESP.....	51
Tabla 8.6 Demanda hídrica subcuenca del río Las Piedras.....	54
Tabla 8.7 IUA ó IE, para la subcuenca del río Las Piedras.....	56
Tabla 8.8 Nivel de tecnificación.....	58
Tabla 8.9 Uso de capital y tecnología para cada cultivo.....	58
Tabla 8.10 Amenaza y vulnerabilidad a la sequía.....	61
Tabla A1. Cultivos permanentes del municipio de Popayán.....	73
Tabla A2. Estaciones pluviométricas en el municipio de Popayán.....	74
Tabla A3. Precipitación media mensual de estaciones del municipio de Popayán del año 1994.....	75
Tabla A4. Registros de precipitación media mensual de las estaciones Aeropuerto	

G.L.V. y Saté del municipio de Popayán.....	76
Tabla A5. Cálculo de la mediana mensual histórica de las precipitaciones del período comprendido entre 1971 y 2016.	89
Tabla A6. Cálculo de la anomalía pluviométrica (Api), anomalía pluviométrica acumulada (APAi) y el IESP del período comprendido entre 1971 y 2016.	90
Tabla B1. Demanda hídrica para uso doméstico extraída de la cuenca del río Las Piedras.	103
Tabla B2. Demanda hídrica de la piscifactoría El Diviso, considerada para uso industrial, extraída de la cuenca del río Las Piedras.	103
Tabla B3. Demanda hídrica para uso agropecuario, con derivaciones del río mediante canales en tierra, en la cuenca del río Las Piedras.....	103
Tabla C1. Información Embalse Florida II.....	105
Tabla C2. Promedios anuales de entrada del Embalse Florida II.	105
Tabla C3. Sumatoria de Promedios anuales de entrada del Embalse Florida II.	105
Tabla C4. Aspectos a considerar en el Embalse La Florida II.....	107

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Existen diferentes amenazas naturales que pueden afectar los sectores más vulnerables del municipio de Popayán. Entre éstas está la sequía que podría producirse por la presencia de un fenómeno fuerte de El Niño, especialmente durante los períodos mensuales coincidentes a las menores lluvias históricas en el municipio de Popayán. El riesgo a que están sometidas las diferentes actividades a ser afectadas por dicho evento de sequía, depende en gran medida del grado de vulnerabilidad.

La variabilidad climática se presenta cuando con cierta frecuencia un fenómeno genera un comportamiento anormal del clima. Este es el caso del fenómeno El Niño – Oscilación del Sur, conocido como ENSO (inglés) o ENOS y que básicamente se compone de los fenómenos El Niño y La Niña.

Debido a los efectos del fenómeno de El Niño el cual se representa en el suroccidente de Colombia como una disminución de las lluvias entre moderadas y severas y aunado al aumento significativo del cambio climático antrópico, los períodos de escasez de agua son cada vez más frecuentes y por ello se pueden afectar las diferentes fuentes de abastecimiento de agua.

El Fenómeno El Niño se refiere a un evento de variabilidad climática que consiste en la aparición de aguas superficiales relativamente más cálidas de lo normal en el Pacífico tropical central y oriental, frente a las costas del norte de Perú, Ecuador y sur de Colombia. Este calentamiento de la superficie del océano Pacífico cubre grandes extensiones y por su magnitud afecta el clima en diferentes regiones del planeta, entre ellas, Colombia. Dicho calentamiento tiene un promedio de duración de 12 meses; sin embargo, han sido registrados fenómenos muy cortos, con duración de siete meses (1946) y eventos prolongados hasta de 28 meses (1939-1942). El calentamiento del océano relacionado con el fenómeno El Niño es recurrente, aunque no periódico y en términos generales, se presenta entre cada tres y cada siete años (IDEAM, 2012).

Se puede decir que ningún fenómeno único climático tiene más influencia en la variación de año a año en la temperatura global promedio que el de El Niño - Oscilación del Sur (NOAA, 2015). Esto unido al creciente cambio climático y a las épocas de verano, puede dar lugar a sequías de diferente grado, especialmente en el sur occidente colombiano donde se manifiesta con pérdida o disminución de cosechas, incendios forestales, epidemias y efectos sobre el turismo (Velásquez y Rosales, 2000; Carvajal et al., 1997).

El proyecto pretende darle respuesta a la siguiente pregunta de investigación:
¿En el municipio de Popayán se presenta sequía en algún grado, debido a la ocurrencia del fenómeno de El Niño durante las épocas de verano?

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio preliminar de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por sequía a que está expuesta tanto la población como los cultivos, principalmente, en el municipio de Popayán.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Determinar el grado de amenaza por la disminución de las lluvias, debido al fenómeno de El Niño, en el municipio de Popayán.
- b) Determinar el grado de vulnerabilidad respecto a la disponibilidad de agua para consumo humano, cultivos e hidroelectricidad.
- c) Hacer un estudio del riesgo a que está expuesta la población y los cultivos, principalmente, ante la posibilidad de sequía.
- d) Establecer algunas medidas de adaptación y/o mitigación que se pueden aplicar para el manejo de los efectos de la posible disminución en la disponibilidad de agua.

3. JUSTIFICACIÓN

La sequía se considera como un fenómeno que puede resultar engañoso; evoluciona a diferencia de otros desastres naturales repentinos, conforme pasa el tiempo y provoca destrucción gradual de la región específica en la que se presenta este fenómeno. La sequía en muchos casos puede durar años causando devastadores efectos tanto en la agricultura como en las reservas de agua.

Como consecuencia de la falta de lluvia en una región durante un tiempo prolongado, el suministro de agua para el consumo humano y agropecuario, puede llegar a ser insuficiente. Lo anterior tiene como consecuencia pérdidas de cultivos, escasez de alimentos, desplazamiento, inseguridad alimentaria, hambrunas, malnutrición, epidemias y desertificación, entre otros.

Es por esto que se hace necesario el análisis de los posibles efectos de la sequía producida principalmente por el fenómeno de El Niño, dado que cada vez se está produciendo con mayor intensidad y puede afectar la disponibilidad de agua para la población y los cultivos del municipio de Popayán. Además, se podría afectar la producción de energía hidroeléctrica del municipio. Lo anterior, se debe tener en cuenta en la aplicación de medidas de gestión para mitigar los posibles efectos de la sequía.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 SEQUÍA

La sequía es un fenómeno que se da en forma natural debido a la variabilidad del ciclo hidrológico (Bonsal, Wheaton, Chipanshi, Lin, Sauchyn y Wen, 2011) y se origina por una deficiencia de precipitación por un periodo de tiempo prolongado teniendo en cuenta las características normales de la zona y trae como consecuencia escasez de agua (Moreno, 2004).

Este fenómeno se ha convertido en una problemática mundial debido a la incidencia del cambio climático que provoca que se intensifique y se genere con mayor frecuencia. Por lo anterior, se realizó la “Convención de las Naciones Unidas de lucha contra la desertificación en los países afectados por sequía grave o desertificación, en particular en África” que buscaba precisar el tema como una preocupación mundial. La complejidad de la sequía como fenómeno natural radica también en que no hay una variable física medible y que pueda ser cuantificada (Vicente-Serrano, Gimeno, Beguería, Eklundh, Giuliani, Weston, El Kenawy, López-Moreno, Nieto, Ayenew, Konte, Ardö y Pegram, 2012), por ello se han desarrollado algunos indicadores que permiten pronosticar el comienzo, desarrollo y final de la sequía (Heim, 2002). Algunos de estos indicadores son:

- Índice de Precipitación Estandarizado-SPI
- Índice de Precipitación - Evapotranspiración Estandarizado-SPEI
- Deciles de Precipitación
- Índice de Palmer
- Porcentaje de Precipitación Normal-PPN.

En cuanto a los mecanismos de los índices de sequía en general, se identifica el comienzo de los episodios de sequía, cuando el índice toma valores por debajo del umbral y finaliza cuando dicho índice supera el umbral, es de esta manera, como se interpretan los índices o también llamados métrica de la sequía.

Se puede decir que a partir de las investigaciones que se han realizado en torno a la sequía, se entiende mejor este fenómeno en función de los impactos que causa sobre las actividades y los recursos humanos, que a través de la disminución de la precipitación por sí sola (ZekaiSen, 2015).

En general, cada región que es afectada por la sequía es impactada de forma diferente meteorológica, hidrológica, climatológica y socialmente. Es por esto que no se espera que dos sequías tengan el mismo impacto y riesgo (ZekaiSen, 2015).

4.2 FENÓMENO DEL NIÑO

El fenómeno El Niño – Oscilación del Sur conocido como ENSO se compone básicamente de los fenómenos El Niño y La Niña. ENSO, es la principal fuente de variabilidad del clima global y regional en la escala de tiempo interanual y se asocia con la variabilidad de las precipitaciones (Wang y Kumar, 2015 citado en Wang, 1995, Trenberth y Hoar, 1996, Trenberth y Stepaniak, 2001, Tang et al., 2008, Hu et al., 2013 y Ogata et al., 2013) que han ido cambiando en intensidad y frecuencia lo que puede contribuir a que se produzcan sequías y afecte tanto la población como los cultivos, entre otros.

Los vientos alisios mueven el agua en la superficie del océano desde el pacífico tropical del este hacia el pacífico occidental. Esto crea una corriente ascendente de agua fría en la costa de Perú y Chile. El Pacífico occidental se encuentra en un sistema de baja presión y tiene un estado del tiempo húmedo. Este es un sistema de alta presión y seco, pero cada 3 a 7 años, la atmósfera y el océano cambian durante los acontecimientos de El Niño y La Niña.

El Niño es la fase cálida donde se presenta aumento de las temperaturas superficiales del mar, principalmente sobre el centro y el oriente del pacífico tropical, lo que genera alteraciones en los patrones de circulación de vientos, de presiones atmosféricas superficiales y de precipitación sobre todo el océano pacífico (Poveda, 2004).

En Colombia se han identificado que los años previos al ENSO (pre ENSO) se caracterizan por una sequía entre leve y moderada para las regiones Caribe y Andina y un aumento de lluvias en el piedemonte oriental correspondiente a la franja limítrofe entre la región andina, los llanos orientales y la Amazonía. El ENSO se manifiesta con pérdida de cosechas, pérdidas pecuarias, incendios forestales, mayor ocurrencia de marejadas, epidemias, dengue, malaria y efectos sobre el turismo. Sin embargo los años post ENSO o Niña, se caracterizan por una intensificación generalizada de las lluvias en todo el país con efectos importantes como pérdidas de vidas, vivienda e infraestructura asociados con las inundaciones, avenidas torrenciales y deslizamientos (Carvajal et al., 1997).

La agencia científica de los Estados Unidos NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) cuyas actividades se centran en las condiciones de los océanos y la atmósfera, construyeron el ONI (Indicador Oceánico del Niño), el cual es generado a través del comportamiento y monitoreo de la temperatura superficial del mar o SST (Sea Surface Temperature) que permite dar la principal medida para el seguimiento, la evaluación y predicción de ENSO que permita determinar la ocurrencia de fenómeno de El Niño o La Niña. El ONI se calcula como la media móvil de tres meses de las anomalías de la temperatura superficial del mar para la región El Niño 3.4 (es decir, la franja comprendida entre 5°N - 5°S y 120° - 170°W). La identificación de episodios cálidos (anomalías positivas) o fríos (anomalías negativas) se realiza cuando el valor del ONI supera el umbral de +0.5°C para El Niño o es inferior a -0.5°C

para La Niña, durante por lo menos cinco períodos consecutivos (IDEAM, 2007).

4.3 DEMANDA HÍDRICA

En el Estudio Nacional del Agua - ENA – (2014), se establecen los conceptos básicos relacionados a la demanda hídrica doméstica, industrial, hidroeléctrica, agrícola y de servicios.

Se adopta el concepto básico de demanda hídrica dado por el IDEAM en 2010, como “la sustracción de agua del sistema natural destinada a suplir las necesidades y los requerimientos de consumo humano, producción sectorial y demandas esenciales de los ecosistemas existentes sean intervenidos o no. La extracción y por ende la utilización del recurso implica sustracción, alteración, desviación o retención temporal del recurso hídrico, incluidos en éste los sistemas de almacenamiento que limitan el aprovechamiento para usos compartidos u otros usos excluyentes”.

4.3.1 Demanda para uso doméstico

La demanda de agua del sector doméstico se basa en la asignación de la dotación de agua para consumo humano de la Reglamentación Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS 2000 que clasifica los municipios de acuerdo al nivel de complejidad de los sistemas.

4.3.2 Demanda en la industria

La demanda de agua para el sector industrial se basa en el Registro Único Ambiental - RUA, dado que en este se registra el uso de agua en las industrias grandes, medianas y pequeñas. Además, se complementa con información de las autoridades ambientales registrada en bases de datos para cobro de la Tasa por Uso de Agua (TUA).

4.3.3 Demanda para energía

La demanda de agua para generación de energía se considera la utilizada en las grandes centrales hidroeléctricas, en las pequeñas centrales y en las termoeléctricas. El agua empleada se considera extraída y se registra como un uso del agua por quien la extrae. Por lo cual el Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica - SCAE en 2013 establece su concepto: “La extracción se define como la cantidad de agua que se retira de cualquier fuente, sea en forma permanente o temporal, en un período de tiempo”.

La demanda para generación de hidroenergía se determina como el agua embalsada estimada como el promedio anual del volumen útil diario reportado por los agentes operadores de la Unidad de Planeación Minero Energética - UPME. A esta demanda de agua se le agrega el volumen de agua usado por las termoeléctricas y el evaporado del embalse (denominado como huella

hídrica azul). Como datos complementarios se presentan los volúmenes de agua usados en la generación de energía, turbinados, tanto en las grandes centrales hidroeléctricas como en las pequeñas. Este valor se registra como el agua usada en la producción de energía. Sin embargo, como hay un retorno cercano al 100% e inmediato a la fuente, no se toma para la contabilización de la demanda en el índice de uso de agua.

4.3.4 Demanda para servicios

La demanda de agua para el sector de servicios se establece a nivel nacional con los registros municipales de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios cuya clasificación se realiza como suscriptores comerciales, oficiales, especiales, temporales y multiusuario mixto. Para la demanda a nivel de zona y subzona hidrográfica se obtiene información de los Ministerios de Salud, Educación y Comercio e Industria y Turismo para calcular el uso de agua por los módulos de consumo de las personas que desarrollan sus actividades domésticas, comerciales o de otro tipo. Se tiene en cuenta un valor promedio de pérdidas del 40% basado en los porcentajes admisibles (RAS 2000) para un nivel de complejidad bajo.

4.3.5 Demanda para el sector agrícola y pecuario

La demanda hídrica del sector agrícola se basa en la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos que se realiza a partir del cálculo de la evapotranspiración y del balance de agua en el suelo.

4.4 OFERTA HÍDRICA

La oferta hídrica es el agua que precipita sobre la cuenca que permite satisfacer las necesidades del sistema suelo-cobertura vegetal como la evapotranspiración y la infiltración, el agua que queda disponible escurre hacia los ríos y las demás corrientes superficiales como lagos, lagunas, reservorios y posteriormente llega al mar (Corponariño, 2011).

La oferta hídrica natural disponible resulta de sustraer a la oferta hídrica superficial que es representada por el volumen de agua continental que escurre por la superficie e integra los sistemas de drenaje superficial, el caudal ecológico y ambiental que garantiza el uso para el funcionamiento de los ecosistemas de los sistemas fluviales y un caudal mínimo para usuarios que dependen de las fuentes hídricas asociadas a estos ecosistemas (ENA, 2010).

4.5 PLUVIOSIDAD

Pluviosidad se refiere a la cantidad de lluvia que cae en un sitio por un periodo de tiempo determinado (RAE). Los lugares donde hay muchas precipitaciones se consideran con alto nivel pluvial.

Es importante diferenciar precipitación de pluviosidad, pues precipitación se refiere la caída de la atmósfera a la superficie terrestre de cualquier forma de hidrometeoro ya sea lluvia, nieve, llovizna, aguanieve, granizo, esta es un parámetro importante para la definición de un clima en un territorio y pluviosidad hace referencia a la cantidad de precipitación que cae sobre un punto determinado de la superficie en un tiempo establecido.

Para el Municipio de Popayán, las estaciones Julumito, Saté, Aeropuerto Guillermo León Valencia de Popayán, El Tambo, Paispamba, Totoró, La Florida y Paletará, localizadas a diferentes altitudes, proporcionan información hidrometeorológica que permite el análisis del fenómeno de pluviosidad del municipio (Plan de Ordenamiento Territorial Popayán-POT, 2002). El patrón de distribución de las lluvias en Popayán presenta una variación trimestral, los periodos de menor pluviosidad se encuentran comprendidos entre el mes de junio y Agosto lloviendo alrededor de 10 días al mes, en septiembre las precipitaciones aumentan de manera paulatina hasta llegar a los meses de mayor pluviosidad entre octubre y diciembre en los cuales la frecuencia de lluvia es de 22 a 27 días al mes. El segundo período más lluvioso va de marzo a mayo, durante el primer semestre del año la frecuencia de lluvias oscila entre 16 a 20 días al mes (IDEAM) (Burbano y Figueroa, 2014).

4.6 AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO A LA SEQUÍA

Cuando se evalúa un fenómeno climático como la sequía es fundamental estudiar la posibilidad de ocurrencia, la susceptibilidad y las consecuencias de éste sobre las personas y cultivos; por lo tanto, conceptos como amenaza, vulnerabilidad y riesgo son esenciales. La legislación vigente Colombiana en cuanto al tratamiento de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo, se enfoca en la atención a desastres y al papel que desempeñan las instituciones como las Corporaciones Autónomas Regionales - CARs, las administraciones municipales, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, entre otras instituciones, para la formulación de Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas – POMCAs y Planes de Ordenamiento Territorial - POT que correspondan y consideren la prevención de amenazas y riesgos naturales para la conservación y protección del medio ambiente (Ley 388 de 1997). Según la Ley 99 de 1993 las CARs deben atender técnicamente (análisis, seguimiento, prevención y control) los desastres.

La Ley 1523 de 2012 rige todo lo concerniente a la amenaza, vulnerabilidad, análisis y gestión del riesgo en Colombia. En esta ley se aclara que la gestión del riesgo como tal no es solo responsabilidad de las entidades sino también de los habitantes y debe tratarse de manera integral.

4.6.1 Amenaza

Existen conceptos de amenaza definido por varios autores de los cuales se abordarán algunos en este trabajo:

- La probabilidad de que ocurra un riesgo frente al cual una comunidad es vulnerable se denomina amenaza (Chaux, 1988).
- El concepto de amenaza definido como un factor de riesgo externo de un sujeto o sistema, representado por un peligro latente asociado con un fenómeno o la combinación de varios fenómenos de origen natural, social o tecnológico, o provocados por el hombre, que puede manifestarse en un sitio específico y en un tiempo determinado, produciendo efectos adversos en las personas, los bienes y/o el medio ambiente (Cardona, 1993).
- En la norma colombiana se define la amenaza como el “peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales” (Ley 1523 de 2012, Artículo 4, Numeral 3).

Existen dos tipos de amenaza: primaria que afecta asentamientos humanos y secundaria que es posterior a la primera contribuyendo al incremento de pérdidas y sufrimiento (Cuny, 1983).

La amenaza se caracteriza a través de tres variables: Tipo de amenaza, probabilidad de ocurrencia (número de eventos por año) y severidad (Gravity, 2001).

Según la actividad económica se pueden presentar diferentes amenazas, las cuales se pueden clasificar en: naturales, antrópicas no intencionales y sociales, como se muestra a continuación en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Clasificación de amenazas.

Natural	Antrópicas no intencionales	Social
Incendios forestales	Incendios (estructurales, eléctricos, por líquidos o gases inflamables, etc).	Comportamientos no adaptativos por temor
Geológicos: se divide en Endógenos y Exógenos: Fenómenos de remoción en masa (deslizamientos, derrumbes, caída de roca, hundimientos).	Pérdida de contención de materiales peligrosos (derrames, fugas, etc.)	Accidentes de Vehículos
Movimientos sísmicos	Explosión (gases, polvos, fibras, etc.)	Accidentes Personales
Eventos atmosféricos (vendavales, granizadas, tormentas eléctricas, etc).	Inundación por deficiencias de la infraestructura hidráulica (redes de alcantarillado, acueducto, etc.)	Revueltas/Asonadas
Sequías	Fallas en sistemas y equipos	Atentados Terroristas
Inundaciones por desbordamiento de cuerpos de agua (ríos, quebradas, humedales, etc).		Hurtos
Avenidas torrenciales.		

Fuente: FOPAE, 2014.

4.6.1.1 Metodologías de evaluación de la amenaza

La evaluación de la amenaza es el proceso mediante el cual se determina la probabilidad de ocurrencia y la severidad de un evento en un tiempo específico y en un área determinada. Representa la recurrencia estimada y la ubicación geográfica de eventos probables (INETER, 2005).

En resumen, evaluar la amenaza es "pronosticar" la ocurrencia de un fenómeno con base en el estudio de su mecanismo generador, el monitoreo del sistema perturbador y/o el registro de eventos en el tiempo. Un pronóstico puede ser a corto plazo, generalmente basado en la búsqueda e interpretación de señales o eventos premonitorios; a mediano plazo, basado en la información probabilística de parámetros indicadores y a largo plazo, basado en la determinación del evento máximo probable en un período de tiempo que pueda relacionarse con la planificación del área potencialmente afectable.

Para evaluar el comportamiento de la amenaza por sequía se utilizan algunas metodologías como:

- Índice de Palmer (PDSI): Desarrollado por Palmer, 1965. Permite medir la intensidad, duración y extensión espacial de la sequía. Los valores de este índice se derivan de las medidas de precipitación, temperatura del aire y humedad del suelo local, conjuntamente con valores anteriores de estas medidas.
- El índice de Precipitación Estandarizada (SPI): El SPI fue propuesto por McKee (1993). Este índice consiste en la conversión de los datos de precipitación a probabilidades basadas en registros de precipitación a largo plazo. Las probabilidades se transforman en series normalizadas con un promedio de 0 y una desviación estándar de 1. Tiene ventajas como permitir el análisis de los impactos de las sequías a distintas escalas temporales y la identificación de diferentes tipos de sequía.
- El índice de Precipitación y Evapotranspiración Estandarizado (SPEI): El SPEI basado en registros de precipitación y evapotranspiración potencial, combina la sensibilidad del PDSI a los cambios en la demanda de evaporación, con la sencillez de cálculo y la naturaleza multi-temporal del SPI.
- Método de los deciles de Gibb y Maher: desarrollado por Gibbs y Maher (1967), se basa en las medidas estadísticas denominadas cuantiles. En general, el valor de una serie climatológica que es menor que un porcentaje f de los valores de la serie y mayor que un porcentaje $(100 - f)$ de dichos valores constituyen el cuantil f de la serie. El primer decil es la lámina de precipitación por debajo de la cual se encuentran el 10% de los casos. El segundo decil es el valor de precipitación por debajo del cual se encuentra el 20% y así sucesivamente hasta el décimo decil, por debajo del cual se encuentra el 90% de los datos.

- Porcentaje de Precipitación Normal (PPN): se realiza por medio del cálculo del cociente de precipitación acumulada en un año y la precipitación media anual, para cada zona estudiada, que se expresa de forma porcentual. La precipitación media es llamada precipitación normal y corresponde al valor promedio de las precipitaciones anuales durante un período de 30 años. Los valores negativos indican el déficit, los positivos el excedente y los cercanos a cero corresponden al promedio histórico.

4.6.2 Vulnerabilidad

A raíz del estudio y análisis de la vulnerabilidad, a través del tiempo, varios investigadores han llegado a definiciones de las cuales se abordarán algunas para obtener un concepto propio:

- Condición de peligro en la que se encuentran los asentamientos humanos o las edificaciones, en función de la proximidad a una amenaza, la calidad de la construcción o ambos factores (Cuny 1983).
- La incapacidad para “absorber” por medio del autoajuste que tiene una comunidad, los cambios determinados en el medio ambiente con el que interactúan, la incapacidad de adaptación al cambio, condición que constituye un riesgo para sí misma (Chaux, 1988).
- Un concepto un tanto diferente es la establecida por La CEPAL y el BID (2000), definiéndose como la probabilidad de que una comunidad expuesta a una amenaza de carácter natural según el grado de fragilidad de factores de infraestructura, actividades productivas, desarrollo político – institucional, entre otros, pueda sufrir daños humanos y/o materiales.
- Nivel de gravedad hasta el que una comunidad, estructura, área geográfica o servicio puede llegar a afectarse debido al impacto de una amenaza determinada. En lo concerniente a territorios que ya han sido afectados en el pasado, la vulnerabilidad hace referencia a daños que son observables y que resultan de un desastre. Se resalta que la vulnerabilidad es dependiente de la región y tipo de amenaza (Gravity, 2001).
- Susceptibilidad o fragilidad física, social, económica o ambiental que tiene una comunidad de ser afectada, o de sufrir efectos adversos en caso de un evento físico peligroso. Corresponde a la predisposición de sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de subsistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos (Ley 1523 2012, Artículo 4, Numeral 27).

- Podemos concluir de acuerdo a lo anterior, que la vulnerabilidad corresponde a la posibilidad de que una comunidad que se expone a amenazas ya sean naturales o antrópicas pueda sufrir daños a la economía, la vida humana y el ambiente, según la fragilidad de los elementos que lo componen en el momento en que el fenómeno ocurre, la magnitud de esos daños dependerán del grado de vulnerabilidad.

4.6.2.1 Metodologías de evaluación de la vulnerabilidad

- Blaikie en 1996 plantea el modelo de análisis de la vulnerabilidad “Presión Liberación” donde se identifica las presiones y relaciones sociales desde lo global hacia lo local. La vulnerabilidad se origina en unas causas de fondo que son estructuras económicas, demográficas, sociales y políticas, las cuales afectan la asignación y distribución de recursos entre diferentes grupos de personas y del poder en la sociedad. Las presiones dinámicas que corresponden a procesos y actividades que traducen los efectos de las causas de fondo en vulnerabilidad de condiciones inseguras. Las condiciones de inseguridad que corresponden a formas específicas en las cuales la vulnerabilidad de una población se expresa en el tiempo y espacio junto con una amenaza.
- El Fondo de Prevención y Atención de emergencias - FOPAE actualmente llamado El Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático – IDIGER, planteó una metodología donde se desarrollan formatos que a través de preguntas buscan de manera cualitativa dar un panorama general que le permite al evaluador calificar como Baja, Media o Alta, la vulnerabilidad de las personas, los recursos, y los sistemas y procesos de su organización ante cada una de las amenazas.
- En un estudio se desarrolló un método basado en el de Grey Relational Analysis (GRA) que es una novedosa técnica comparativa que consiste en el análisis de las relaciones que existen entre dos series, se utiliza para cuantificar la influencia de diferentes factores y la relación entre las series de datos que son una colección de mediciones (Deng 1989). El método que propone el autor busca estimar la vulnerabilidad a la sequía agrícola y consiste en el desarrollo de los principales factores de influencia de la vulnerabilidad a la sequía en este campo, convirtiéndolos en indicadores cuantitativos (Ma Z J, Gao Q H., 2001), consiste también en la construcción de las normas de evaluación y sus pesos relativos con base a los datos obtenidos a partir de los indicadores (Geeta N.; Moin U. y Arvinder K., 2014).
- En los estudios realizados por el IDEAM llamados Estudio Nacional del Agua de los años 2010 y 2014, se establece una metodología para determinar el posible desabastecimiento de agua por medio del cálculo del índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico que involucra

variables como el índice de retención hídrica y el índice de uso de agua, que a su vez se relacionan en una matriz que permite establecer el grado de vulnerabilidad que puede afectar una población por escasez de agua.

- En el estudio denominado metodología para el desarrollo cartográfico para la evaluación de la vulnerabilidad y riesgo agroclimático realizado en Chile en el año 2011 por la Unidad Nacional de Emergencias Agrícolas y Gestión del Riesgo Agroclimático (UNEA), la Subsecretaría de Agricultura, Ministerio de Agricultura del Gobierno de Chile, en convenio con Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), se realizó una prueba piloto en el área correspondiente a la IX Región de La Araucanía y se trabajó con una segmentación territorial de distrito censal, tanto para la amenaza de helada como para la de sequía. La metodología empleada consistía inicialmente en la determinación de la vulnerabilidad agrícola de forma cuantitativa a los fenómenos analizados por medio del uso de índices como son índice de fragmentación de tenencia de tierra, índice del balance riego/secano, índice de ruralidad e índice de intensidad de la agricultura. Posteriormente se calculaba la amenaza y riesgo a las heladas y sequías generando finalmente mapas a escala de colores que favorecían la interpretación dado que se podía observar las zonas con mayor riesgo a cada uno de los fenómenos climáticos estudiados.

4.6.3 Riesgo

La presencia del riesgo está asociada a la presencia del hombre en el medio natural en el que una amenaza puede transformarse en daño. De forma general los diferentes autores que se han consultado han demostrado la evolución del concepto de riesgo durante las últimas décadas, a continuación se mostraran algunos conceptos:

- Grado relativo de probabilidad de que ocurra un evento que implique amenaza. “Una zona de falla activa será un área de alto riesgo” (Cuny, 1983).
- “Grado de pérdida previsto debido a un fenómeno natural determinado y en función tanto del peligro natural como de la vulnerabilidad” (Naciones Unidas, 1984).
- El riesgo es un fenómeno natural o humano cualquiera que ocurra y que signifique un cambio en el medio ambiente que ocupa una comunidad, que sea vulnerable al fenómeno (Chaux, 1988).
- Es la medida de las pérdidas que se esperan como consecuencia de la ocurrencia de un evento que se considere amenaza con una magnitud determinada que ocurre dentro de un área y un momento específico (Gravity, 2001).

- “El riesgo corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio - natural tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad” (Ley 1523 de 2012, Artículo 4, Numeral 25).

4.6.3.1 Metodologías de evaluación del riesgo

- La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) establece que antes de plantear una metodología para la evaluación o análisis de riesgo, se debe establecer criterios y prioridades de evaluación. El análisis de objetivos múltiples conflictivos es una técnica que implica el establecimiento de una serie de objetivos y un solo subconjunto de atributos que representan alternativas, políticas, económicas, sociales, medio ambiente, entre otras, que deben satisfacerse por medio de proyectos. En cuanto a evaluación del riesgo se hace una estimación de las posibles pérdidas que causa un evento natural específico. Existen cuatro métodos de evaluación del riesgo que dependen de qué tanta información en diferentes aspectos tiene el área objeto de estudio: período de corte, ajuste de la tasa de descuento, teoría de juegos y análisis de sensibilidad.
- En el FOPAE, actual IDIGER se plantea una metodología donde se permite identificar los niveles de riesgo, Alto, Medio y Bajo por medio de tonos semáforo o colores de riesgo universalmente conocidos y estandarizados para este tipo de análisis, siendo así: Alto = Rojo; Medio = Amarillo; Bajo = Verde, que según criterios de combinación de colores permite hacer un análisis más completo para tener una idea global de qué tan vulnerable es el elemento analizado frente a todas las amenazas que se contemplen y así priorizar su intervención y gestión del riesgo. Por lo anterior, se debe realizar un análisis previo de amenazas y vulnerabilidad.
- El Ministerio de Medio Ambiente en 2013, planteó una metodología de análisis de riesgos por medio de dos pasos, el primero fue elaborar mapas de probabilidad relativa, es decir, la forma como se distribuye la intensidad y la magnitud de los eventos detonantes para cada fenómeno amenazante analizado, asignándole de acuerdo a criterio de expertos unos rangos de probabilidad, donde se establecen categorías de ocurrencia de acuerdo al número de veces que puede producirse un evento en un tiempo de análisis, expresado en porcentaje. El índice de daños constituye el indicador de la vulnerabilidad de cada una de las áreas expuestas evaluadas. El segundo paso define para cada área expuesta el nivel de riesgo, cruzando el mapa de probabilidades con el índice de daños, de acuerdo a los criterios de riesgos como muy alto,

alto, medio y bajo.

- El Ministerio del Medio Ambiente en convenio con la Universidad Nacional realizó en el 2014 la propuesta metodológica para incorporación del análisis de riesgos en los POMCAs. Esta metodología se hace a través de sistemas de información geográfica, superponiendo los mapas de amenaza media y alta con la vulnerabilidad, a través de una carta de colores.

5. ESTADO DEL ARTE

En el estudio denominado *Recomendaciones para el establecimiento de un sistema de indicadores para la previsión, el seguimiento y la gestión de la sequía* realizado por María Fernanda Pita López de la Universidad de Sevilla en el año 2007, se proponen 10 principios generales para establecer un sistema de indicadores que permita determinar aspectos como la escasez, la peligrosidad, la fragilidad y la sequía natural. Por su parte, la sequía natural se divide en sequía pluviométrica, cuyo parámetro utilizado es del Índice Estandarizado de Sequía Pluviométrica, la sequía edáfica y la sequía hidrológica.

En la investigación *Evaluación de la vulnerabilidad por sequía: El caso de los cultivadores de trigo en el oeste de Irán* en el año 2012 realizada por Kiumars Zarafshani, Lida Sharafi, Hossein Azadi, Gholamhossein, Hosseininia, Philippe De Maeyer y Frank Witlox, específicamente en la provincia de Kermanshah en el oeste de Irán, se realizó este estudio para determinar la vulnerabilidad a la sequía en el sector agrícola, particularmente para cultivadores de trigo, en tres intensidades (muy altas, extremadamente altas, y críticos). Esta intensidad de la sequía (DI) se obtuvo de la Concentración de Mapas en el Centro Meteorológico de Kermanshah. La metodología empleada para la determinación de la vulnerabilidad fue estableciendo los factores que la influyen tales como económicos, socioculturales, psicológicos, técnicos e infraestructurales, se definió los parámetros y sub-parámetros que correspondían asignándole un peso para obtener valores cuantitativos y poder utilizar la fórmula escogida de Me-bar y Valdez (2005). Los resultados obtenidos permitieron identificar las zonas con mayor vulnerabilidad y establecer la susceptibilidad de cada uno de los factores.

En el Estudio para determinar la vulnerabilidad y las opciones de adaptación del sector energético colombiano frente al cambio climático realizado en 2013 como producto de la Unión Temporal ACON – OPTIM para la Unidad de Planeación Minero Energética, se evaluaron los embalses agregados Caribe, Antioquia 1, Antioquia 2, Caldas, Cauca, Tolima, Pacífico, Bogotá, Huila, Oriente 1 y Oriente 2, por medio del cálculo del Índice de Vulnerabilidad ante la variabilidad climática, tal como es el fenómeno del Niño, donde se priorizan diferentes factores y se identifican las medidas que permiten la reducción de esa vulnerabilidad ante las amenazas a las que se enfrenta. De acuerdo con

los valores obtenidos se clasificaron los embalses agregados en 4 niveles de vulnerabilidad, donde el 1 representa mayor vulnerabilidad y limitada capacidad para generar energía en el futuro ante la variabilidad climática.

En un estudio realizado por los estudiantes de Kimberly Geraldine Palacio Sánchez y Yermey Rolando Rodríguez Ávila para optar por el título de Ingenieros Civiles en la Universidad Católica de Colombia en el año 2014, denominado Análisis de Vulnerabilidad del Sistema Territorial para la Región Afectada por la Sequía del Presente Año en los Departamentos del Meta y Casanare en Colombia, cuyo objeto era realizar dicho análisis y proponer acciones q permitan mitigar o impedir las consecuencias generadas por la sequía, teniendo en cuenta la fuerte sequía que en este año se presentó en los departamentos de Casanare y Meta, considerando por supuesto los factores que permitan que la vulnerabilidad del territorio disminuya con estas acciones propuestas. Este estudio se realizó a partir de 3 fases en las cuales se ejecutaron actividades como la caracterización de la zona de estudio, recopilación de información existente sobre sequía en estos departamentos para posteriormente realizar el análisis en donde se calculó el índice de vulnerabilidad aplicando indicadores al territorio de acuerdo a los componentes básicos del sistema territorial: Ambiental, Económico Productivo, Político Institucional, Construido (Urbano – Regional), Sociocultural. Finalmente a partir de dichos indicadores y el índice de vulnerabilidad se generan acciones a corto mediano y largo plazo con el fin de q esta investigación fuera de utilidad para los planes de mitigación de sequía del departamento de Casanare y Meta. En cuanto a los resultados, de manera cualitativa los autores determinaron que la vulnerabilidad del territorio en los 5 componentes expuestos es alta debido a problemáticas como la contaminación del agua por parte de la industria petrolera, prácticas agrícolas y ganaderas que producen deforestación en la región y la mortandad de fauna y flora autóctona, falta de presupuesto para atender la situación ambiental, carencia de planes de contingencia, falta de información y compromiso por parte de la comunidad entre otros hallazgos de esta investigación, resultados que muestran que los departamentos de Casanare y Meta no están preparados frente a temas de sequía.

En la Evaluación de Sequías Meteorológicas y Procesos de Adaptación de las Comunidades Agrícolas de la Cuenca Del Río Dagua – Valle del Cauca. Caso de Estudio: Microcuenca La Centella realizado por Wilmar Loaiza Cerón para optar al título de Magíster en Desarrollo Sustentable en la Universidad Del Valle en el año 2014, se buscaba analizar las sequias meteorológicas que estaban asociadas al fenómeno del niño- Oscilación del Sur (ENOS), caracterizar los procesos de adaptación de las comunidades y los procesos productivos agrícolas de estas en la microcuenca en mención, para realizar la evaluación se utilizó el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) identificando con este los impactos de la sequía en periodos de tiempo corto, mediano y largo plazo. Como resultado se identificaron las zonas con mayor susceptibilidad a las sequias, los procesos de adaptación de esas comunidades y los procesos productivos que tenían mayor susceptibilidad en la microcuenca La Centella y posteriormente se formularon las recomendación pertinentes frente a los

hallazgos y recomendaciones referentes a enfrentar el fenómeno de la sequía relacionada con la variabilidad climática y el Fenómeno de El niño en el área de estudio.

En Corea del Sur, en 2015, un país clasificado como de agua deficiente por las Naciones Unidas, Hungsoo Kim, Jongyong Parque, Jiyoung Yoo y Tae-Woong Kim realizaron un estudio sobre *Evaluación de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo de sequía: Un estudio de Caso de los Distritos Administrativos en Corea del Sur*, que buscaba identificar las regiones más vulnerables a este fenómeno, para determinar formas de reducirlo. Esto se efectuó mediante la definición de riesgo como la combinación de amenaza por vulnerabilidad como lo sugiere el Centro Nacional de Mitigación de Sequía NDMC. Se establecieron los siguientes índices: Índice de amenaza de sequía (DHI), Índice de vulnerabilidad de sequía (DVI) e Índice de riesgo de sequía (DRI). El DHI se calculó por medio del Índice de sequía efectiva (EDI) cuyo parámetro es la precipitación diaria, con datos desde 1974 hasta 2007, para el cálculo del DVI se utilizaron 7 indicadores tales como tierras de regadío (IL), oficio agrícola (AO), producción de cultivos (CP), densidad de población (PD), agua municipal (MW), agua industrial (IW), y agua para la agricultura (AW) en base a la disponibilidad de datos fiables. Con los datos anteriores se determinó el riesgo ($DRI=DHI \times DVI$) de los 229 distritos administrativos que permitió generar un mapa de riesgos caracterizando cada uno como de bajo, moderado, alto y muy alto riesgo a la sequía.

En México en el año 2016, Nicholas P. Sisto, Aldo I. Ramírez, Ismael Aguilar Barajas, Víctor Magaña Rueda realizaron el estudio *Las amenazas climáticas, la vulnerabilidad de suministro de agua y el riesgo de una crisis de agua en el área metropolitana de Monterrey (noreste de México)* que busca determinar la posible disminución de la demanda de agua durante períodos de baja precipitación, para esto se evaluó inicialmente la amenaza a la sequía por medio del índice de precipitación normalizado (SPI) con valores de precipitación mensual acumulado. La vulnerabilidad se determinó con base en la demanda de agua dada por tres embalses, por medio del cálculo del índice de volumen neto (NVI) de cada uno, esto permitió identificar que debido a la gestión realizada por la empresa generadora del suministro no se ha presentado riesgo de escasez de agua en los períodos de sequía identificados donde los valores del embalse estuvieron por debajo de los mínimos, aunque hay gran preocupación por el aumento de la temperatura en la zona, la disminución de las precipitaciones y el crecimiento de la población, por lo cual se empezaron a formular posibles medidas preventivas y de mitigación.

6. HIPÓTESIS

6.1 HIPÓTESIS PRINCIPAL

Se plantea la hipótesis concerniente a: "El fenómeno del Niño durante las épocas de verano incide en la disponibilidad de agua para consumos generales del municipio de Popayán".

6.2 HIPÓTESIS NULA

"El fenómeno del Niño durante las épocas de bajas lluvias no afecta la disponibilidad de agua para consumos generales del municipio de Popayán".

7. METODOLOGÍA

7.1 INFORMACIÓN GENERAL DEL MUNICIPIO DE POPAYÁN

7.1.1 Localización

El estudio se desarrolla en el municipio de Popayán, Departamento del Cauca, al sur occidente de Colombia, está localizado entre los 2°27' latitud Norte y 76°37' de longitud Oeste desde el Meridiano de Greenwich. Su altitud oscila entre 3600 m.s.n.m. de altitud en el caserío de Quintana y 1400 m.s.n.m. de altitud en la desembocadura de la corriente Río Hondo. La cabecera municipal y ciudad capital está ubicada en el denominado valle de Pubenza, localizada a los 02°27' de latitud Norte y 76°37' de longitud Oeste de Greenwich, con altitud promedio de 1.738 m.s.n.m., temperatura media de 19°C, precipitación media anual de 1941mm. El área municipal es de 464 Km² aproximadamente, concentra la mayoría de población de los 42 municipios que pertenecen al Departamento del Cauca.

Las principales corrientes hídricas del municipio son: Pubús, Saté, Cauca, Las Piedras, Palacé, El Charco, Gualimbio, Hondo, Molino, Pisojé, Ejido y Río Negro. En la Figura 7.1 se ilustra la ubicación del municipio de Popayán en el Departamento del Cauca.

El municipio limita por el Norte con los municipios de Cajibío y Totoró, por el Este con Totoró y Puracé, por el Sur con Puracé y Sotará y por el Oeste con Timbío y el Tambo.

Con respecto a la división político - administrativa del municipio de Popayán, éste consta de 23 corregimientos en la zona rural que son Los cerrillos, Las Mercedes, La Meseta, La Rejoya, La Yunga, San Rafael, Santa Rosa, Julumito, San Bernardino, Calibío, El Tablón, El Charco, Cajete, Figueroa, Vereda de Torres, Puelenje, Samanga, Pueblillo Alto, Santa Bárbara, Poblazón, El canelo, Las Piedras y Quintana y en la zona urbana consta de 9 comunas.

Figura 7.1 Localización del municipio de Popayán.



Fuente: Plan de Desarrollo Popayán 2016 - 2019.

7.1.2 Clima

El clima en el municipio de Popayán se encuentra entre cálido y templado. La clasificación según Köppen-Geiger es de Cfb. El Cfb o marítimo de costa occidental (oceánico) se caracteriza por climas de latitudes medias con inviernos fríos o templados y veranos frescos, las precipitaciones están bien distribuidas a lo largo del año, y la vegetación natural son los bosques de frondosas.

7.1.3 Temperatura

En el municipio de Popayán, la altura sobre el nivel del mar medida en la plazuela de la iglesia de San Francisco correspondiente a 1737 metros y debido a la cercanía al Ecuador, se presenta una temperatura media de 18° a 19°C durante todo el año, alcanza temperaturas máximas en los meses de julio, agosto y septiembre en horas del mediodía hasta 29°C y mínimas de 10°C en horas de la madrugada en época de verano.

7.1.4 Ubicación estaciones

En el municipio de Popayán se han identificado 43 estaciones meteorológicas con sus respectivas coordenadas y el estado actual, es decir si están activas o suspendidas, las cuales se muestran en la Tabla A2.del Anexo A.

7.1.5 Población

En Colombia el último censo poblacional realizado por el DANE fue en el año 2005 por lo cual los valores de población oficial representan el perfil de ese año, puesto que no se obtienen datos recientes se toman aquellos como de referencia.

En el municipio de Popayán el número total de personas en 2005 fue de 258.653 donde el 47,4% son hombres y el 52,6% son mujeres, el promedio de personas por hogar fue de 4. Con respecto al grado de escolaridad se presenta que el 34,9% ha alcanzado el nivel de básica primaria, el 33,6% de secundaria y el 18% el nivel superior y posgrado, la población sin ningún nivel educativo equivale a un 5,6%. Los establecimientos son utilizados para actividades económicas como comercio (50,6%), servicios (32,8%), industria (9%) y otras (7,6%).

7.1.6 Cultivos

En el municipio de Popayán se cultivan algunos productos agrícolas que se ubican dentro de la extensión del municipio de acuerdo a la altitud y tipo de suelo. Según datos suministrados por la Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agrícola -UMATA, el 9.36% del área total del municipio está dedicada a actividades agrícolas (POT 2002). Los cultivos más relevantes según el informe del año 2016 suministrado por la Secretaria de Desarrollo Agropecuario y Fomento Económico del Departamento del Cauca, que se encuentran en detalle en la Tabla A1 del Anexo A, y se expondrán a continuación:

- En cuanto a cultivos permanentes de caña panelera, las áreas cultivadas ascienden a 844 Has que representan el 1,82% del área total del municipio, que se distribuye en los corregimientos de Cerrillo en 30%, 20% en Danubio, 15% en el corregimiento Mercedes, 15% en Gualimbio y 20% en el corregimiento de San Rafael; la siembra de la caña se hace poco antes de que lleguen los meses de lluvias, (Octubre, noviembre y Diciembre). El cultivo de café ocupa un área en el municipio de 5.071 Has (Secretaria de Desarrollo Agropecuario y Fomento Económico, 2016), que representa aproximadamente el 10,93% del área del municipio, el café se cultiva principalmente entre los meses de abril y junio ya que es en este intervalo en donde se reportan mayores rendimientos del cultivo, se realiza una segunda cosecha llamada travesía entre los meses de septiembre a octubre en la cual la cosecha no es tan buena, el café es cultivado en los corregimientos de Cajete, Los Tendidos, la Yunga Julumito y Figueroa representando el 20% del área cultivada en cada corregimiento.
- Otros cultivos permanentes con menor representatividad en el municipio tenemos el cultivo de Mora con 143 Has cultivadas, 0,31% del área municipal total, ubicadas en los corregimientos de Santa Bárbara, El Hogar y Poblazo con un porcentaje respecto al área cultivada de 70%,

15% y 15% respectivamente, en cuanto al cultivo de aguacate en su mayoría variedad tipo Hass, se tiene documentado hasta el momento con 43 Has cultivadas representando aproximadamente el 1% del área total del municipio, de esta área cultivada el 60% se encuentra en el corregimiento Los Tendidos, el 20% en Julumito, 10% en San Alfonso y en La Laja y La Yunga con un 5% cada uno. Finalmente el cultivo de fique se encuentra en un área cultivada de 38 Has que representa menos del 1% del área total del municipio, de las cuales el 60% se encuentra en el corregimiento Santa Helena, y lo restante distribuido en 10% en los corregimientos de Santa Bárbara, Poblazón, Quintana y Canelo.

- En cuanto a la tecnificación de cada cultivo, en la documentación revisada no se encuentra referencia de la misma, que permita establecer el tipo o grado de tecnificación de los cultivos presentes en el municipio de Popayán.
- Un cultivo seco es aquel cultivo que solo recibe agua suministrada por las precipitaciones de cada región, este concepto se aplica a las regiones con precipitaciones medias anuales inferiores a 500 mm (Lucinda, s.f.). En la información recopilada no se encuentra registros sobre los cultivos que se consideran secos en el municipio.
- El departamento del Cauca como la mayoría del país se caracteriza por la injusta e inequitativa distribución de tierras (Otero, 2017), lo que se evidencia debido a que a nivel nacional, las unidades de producción menores a 5 Ha que representan el 74.3% del total del censo ocupan 2.6% del área nacional censada, mientras las unidades productivas mayores a 500 Ha (0.4% del total del censo) ocupan el 63.9% del área censada (Censo Nacional Agropecuario, 2014).

7.1.7 Embalses

La empresa de servicios públicos mixtos Centrales Eléctricas del Cauca CEDELCA S.A. E.S.P. cuenta con Pequeñas Centrales Hidroeléctricas PCH'S distribuidas en el departamento del Cauca, de las cuales solamente una se encuentra ubicada en el municipio de Popayán. La PCH Florida II está localizada al nor-orienté de la ciudad de Popayán, a una distancia aproximada de 15 km de la cabecera municipal en la vereda Las Guacas, fue puesta en servicio en el año 1975 y su embalse es alimentado por el Río Cauca y las quebradas Los Robles y Aguas Coloradas, tiene una capacidad instalada de 24400kW, es decir aproximadamente 12000 kW por cada turbogenerador, una caída neta de 107 a 110 metros, y el operador es UTEN (Unión de Trabajadores de la Industria Energética Nacional) - VATIA.

7.2 METODOLOGÍAS SELECCIONADAS

Para la evaluación tanto de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, se seleccionan las respectivas metodologías de acuerdo a la revisión bibliográfica de las mismas. Por lo tanto, para la Amenaza se seleccionó la metodología del Índice Estandarizado de Sequía Pluviométrica (IESP). Para la determinación de la Vulnerabilidad se aplicarán tres índices: Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico, Índice de Vulnerabilidad Agrícola e Índice de Vulnerabilidad de Embalses. El Riesgo se calculará por medio de la metodología Análisis de Riesgos por Colores utilizada por el Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER, 2012). A continuación se explica en detalle cada una de las metodologías.

7.2.1 Amenaza

7.2.1.1 Índice estandarizado de sequía pluviométrica (IESP) para determinar amenaza a la sequía

Con el pasar de los años y la necesidad de diferentes aplicaciones para determinar la sequía en áreas con diversos climas, se ha debatido sobre cuál de los índices de sequía existentes es más pertinente para ser usado, sin embargo, el uso de los índices está sujeto a la información a la que se tenga acceso. Existen índices sencillos como el índice de porcentaje de precipitación y unos más complejos como el índice de severidad de sequía de Palmer (Organización Meteorológica Mundial-OMM, 2012). La necesidad de aplicar un índice fácil de calcular, pertinente y con significado con enfoque estadístico, llevaron a los científicos estadounidenses McKee, Doesken y Kleist a elaborar en 1993 el índice de Precipitación Estandarizado - SPI, entendiendo que los déficit de precipitación impactan de forma diferente almacenamientos de agua en reservorios, la humedad del suelo, las aguas subterráneas y los caudales fluviales (Organización Meteorológica Mundial-OMM, 2012).

Por otra parte, el desarrollo de los índices está sujeto a las necesidades de cada región por lo cual la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía ha diseñado el Índice Estandarizado de Sequía Pluviométrica (IESP) para estudiar este fenómeno climático, basado principalmente en el fundamento del SPI donde las anomalías pluviométricas mensuales acumuladas se estandarizan permitiendo determinar con mayor claridad los períodos secos y húmedos. Al igual que en el SPI los valores negativos indican meses secos y los positivos meses húmedos. La diferencia del IESP con respecto a los otros índices radica en que las anomalías acumuladas se reinician cada vez que se presenta un nuevo periodo seco lo que permite establecer la duración de la sequía una única vez en comparación del SPI que requiere la aplicación de múltiples escalas temporales. La intensidad de la sequía se puede clasificar de acuerdo con la Tabla 7.1.

Tabla 7.1 Clasificación del nivel de sequía en el IESP.

Nivel de sequía	Valor del índice	Umbral	Probabilidad de excedencia (%)	Período de retorno (años)
Sin sequía	IESP > -0,4			
Sequía moderada	-1 < IESP ≤ -0.4	-0.4	30%	3,33
Sequía severa	-1.7 < IESP ≤ -1	-1	14%	7
Sequía extraordinaria	-2.3 < IESP ≤ -1.7	-1.7	5%	20
Sequía excepcional	IESP ≤ -2.3	-2.3	2%	50

Fuente: ClimaSIG.

El IESP se elabora a partir de los datos de precipitación mensual y se realiza mediante tres etapas sucesivas: El cálculo de la anomalía pluviométrica, la anomalía pluviométrica acumulada y la estandarización de anomalías acumuladas mediante la conversión en puntuaciones Z:

- **Anomalía pluviométrica:**

La anomalía pluviométrica es un indicador que permite expresar el comportamiento pluviométrico de un mes con relación al que se considera normal para dicho mes. La anomalía pluviométrica mensual se calcula por medio de la resta de la precipitación del mes y la mediana de los registros de precipitación de dicho mes para un periodo establecido. Los valores positivos del indicador sugieren precipitaciones superiores a las normales en ese mes, mientras que valores negativos reflejan lluvias inferiores a la normal (Ecuación 7.1).

$$AP_i = P_i - P_{MED_i} \quad (7.1)$$

Donde:

AP_i = Anomalía pluviométrica mensual.

P_i = Precipitación del mes i.

P_{MED_i} = Precipitación mediana del mes i para el periodo de referencia.

- **Anomalía pluviométrica acumulada:**

La anomalía pluviométrica acumulada se efectúa desde el momento en que se presenta una anomalía pluviométrica negativa hasta que se produce una anomalía acumulada positiva donde terminaría el período seco, posteriormente se generaría un periodo húmedo que a su vez se acabaría cuando se

presentara una nueva anomalía pluviométrica negativa, en consecuencia se iniciaría una nueva secuencia seca que se calcularía como al comienzo (Ecuación 7.2).

$$AP_{Ci} = \sum_{j=r}^i AP_j \text{ si } i > 1 \quad (7.2)$$

Donde:

AP_{Ci} = Anomalía pluviométrica acumulada del mes i.

El subíndice r a partir del cual comienza la suma se calcula de la siguiente forma: $r = \max\{k: 1 \leq k \leq i, AP_k < 0, AP_{Ac_{k-1}} \geq 0\}$ que marca el inicio de la última secuencia seca. Obsérvese que si ocurre $AP_i < 0$ y $AP_{Ac_{i-1}} \geq 0$, entonces $r = i$ y en consecuencia $AP_{Ac_i} = AP_i$, marcando el inicio de una nueva secuencia seca.

- **Estandarización de anomalías acumuladas mediante la conversión en puntuaciones Z:**

Las anomalías pluviométricas acumuladas se estandarizan a una distribución normal donde se convierten a puntuaciones Z, que a su vez permiten establecer la probabilidad de ocurrencia de las anomalías de acuerdo con los valores de probabilidad para la variable estandarizada Z (Ecuación 7.3).

$$IESP = \frac{AP_{Ac_i} - \overline{AP_{Ac}}}{\sigma_{AP_{Ac}}} \quad (7.3)$$

Donde:

$IESP_i$ = Anomalía pluviométrica acumulada estandarizada del mes i

AP_{Ac_i} = Anomalía pluviométrica acumulada del mes i.

$\overline{AP_{Ac}}$ = Valor medio de las anomalías pluviométricas acumuladas de todos los meses de la serie.

$\sigma_{AP_{Ac}}$ = Desviación típica de las anomalías pluviométricas acumuladas de todos los meses de la serie.

7.2.2 Determinación de la vulnerabilidad a la sequía

La vulnerabilidad tiene influencia de varios factores que son difíciles de establecer, ya que involucra una serie de relaciones sociales, culturales, económicas, etc. y que son específicas para cada caso o para cada amenaza identificada, por lo cual, no se expresa como una magnitud cuantificable directamente, sino que se estima por medio de variables que permitan su medición.

Para la determinación de la vulnerabilidad respecto a la disponibilidad de agua para las personas, cultivos e hidroelectricidad del municipio de Popayán, se propone hacerlo por medio del cálculo de tres índices que son: el Índice de

Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico (IVH), el Índice de Vulnerabilidad Agrícola (IVA) y el Índice de Vulnerabilidad de Embalses (IVE).

7.2.2.1 Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico (IVH)

Este indicador permite medir el grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta para el abastecimiento de agua, que ante amenazas como por ejemplo: períodos largos de estiaje o eventos como el Fenómeno cálido del Pacífico (El Niño), podría generar riesgos de desabastecimiento (ENA, 2010).

Este índice se determina por medio de la relación del Índice de Regulación Hídrica (IRH) y del Índice de Uso de Agua (IUA), en la matriz de análisis como se muestra en el Tabla 7.2.

Tabla 7.2 Matriz de análisis del IVH.

Categorías del Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico		
Índice de Uso de Agua	Índice de Regulación	Categoría de Vulnerabilidad
Muy bajo	Alto	Muy bajo
Muy bajo	Moderado	Bajo
Muy bajo	Bajo	Medio
Muy bajo	Muy bajo	Medio
Bajo	Alto	Bajo
Bajo	Moderado	Bajo
Bajo	Bajo	Medio
Bajo	Muy bajo	Medio
Medio	Alto	Medio
Medio	Moderado	Medio
Medio	Bajo	Alto
Medio	Muy bajo	Alto
Alto	Alto	Medio
Alto	Moderado	Alto
Alto	Bajo	Alto
Alto	Muy bajo	Muy alto
Muy alto	Alto	Medio
Muy alto	Moderado	Alto
Muy alto	Bajo	Alto
Muy alto	Muy bajo	Muy alto

Fuente: Estudio Nacional del Agua (ENA), 2010.

- **Índice de Retención y Regulación Hídrica**

Este índice permite medir la capacidad de retención de humedad de las cuencas con base en la distribución de las series de frecuencias acumuladas de los caudales diarios: Este índice se mueve en el rango entre 0 y 1, donde los valores bajos se interpretan como de menor regulación. Se calcula con la Ecuación 7.4.

$$IRH = \frac{V_p}{V_t} \quad (7.4)$$

Donde:

IRH: Índice de Retención y Regulación Hídrica.

V_p: Volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea de caudal medio de los medios diarios.

V_t: Volumen total representado por el área bajo la curva de duración de caudales medios diarios.

De acuerdo al valor obtenido por la Ecuación 7.4, se clasifica en el rango del indicador según la Tabla 7.3.

Tabla 7.3 Rangos del Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH).

Descripción	Rango del indicador	Color
Muy baja retención y regulación de humedad	(<0.50)	Muy baja
Baja retención y regulación de humedad	(0.50-0.65)	Baja
Media retención y regulación de humedad media	(0.65-0.75)	Moderada
Alta retención y regulación de humedad	(0.75-0.85)	Alta
Muy alta retención y regulación de humedad	(>0.85)	Muy alta

Fuente: Guía técnica para la formulación de los POMCAS - Anexo A, 2014.

- **Índice de Uso de Agua (IUA)**

Es la cantidad de agua utilizada por los diferentes sectores usuarios, en un período determinado (anual, mensual) y unidad espacial de análisis (área, zona, subzona, etc.) en relación con la oferta hídrica superficial disponible para las mismas unidades de tiempo y espaciales (ENA, 2010). Es una relación porcentual y se calcula con la Ecuación 7.5.

$$IUA = \left(\frac{D_h}{O_N} \right) \times 100 \quad (7.5)$$

Donde:

IUA: Índice de uso de agua

D_h: Demanda hídrica sectorial (Ecuación 6.6)

O_N: Oferta hídrica superficial neta disponible (Ecuación 6.7).

Los valores obtenidos permiten establecer el rango y la categoría, calculados en la Ecuación 7.5 y se muestran en la Tabla 7.4.

Tabla 7.4 Rangos y categorías de Índice de Uso de Agua.

Rango del indicador	Categoría	Significado
> 50	Muy alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible.
20.01 - 50	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible.
10.01 - 20	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible.
1 - 10	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible.
≤ 1	Muy bajo	La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible.

Fuente: Estudio Nacional del Agua, 2010.

La demanda hídrica se calcula como la suma de un volumen de agua extraída para usos sectoriales en un periodo determinado como muestra la Ecuación 7.6.

$$Dh = Ch + Csp + Csm + Ccss + Ce + Ca + Aenc \quad (7.6)$$

Donde:

Dh: Demanda hídrica
 Ch: Consumo humano o domestico
 Csp: Consumo del sector agrícola
 Csm: Consumo del sector industrial
 Ccss: Consumo del sector servicios
 Ce: Consumo del sector energía
 Ca: Consumo del sector acuícola
 Aenc: Agua extraída no consumida

La oferta hídrica superficial neta disponible se calcula con la Ecuación 7.7.

$$O_N = O_{Tc} * (1 - Re - R_f) \quad (7.7)$$

Donde

O_N = Oferta hídrica superficial neta
 O_{Tc} = Oferta hídrica superficial total, por medio de la siguiente Ecuación 7.8.

$$O_{Tc} = Q_{medio} + Demanda \quad (7.8)$$

Re = Factor de reducción para mantener el régimen de estiaje, por medio de la Ecuación 7.9.

$$Re = \frac{Q_{97.5}}{Q_o} \quad (7.9)$$

R_f = Factor de reducción para protección de fuentes frágiles, por medio de la Ecuación 7.10.

$$R_f = CV \quad (7.10)$$

CV = Coeficiente de variación, por medio de la Ecuación 7.11.

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (7.11)$$

7.2.2.2 Índice de Vulnerabilidad Agrícola (IVA)

El Índice de Vulnerabilidad Agrícola, es una variable compleja por lo que es difícil de medir directamente. Por lo tanto, para lograr una aproximación aceptable, se utiliza la teoría de indicadores que permite establecer un valor cuantitativo a partir de la combinación de variables medibles. Las variables a considerar son el total de superficie cultivada, tipo de tenencia de la tierra, superficie de riego, grado de intensificación de la agricultura y total de población urbana y rural. Para cada uno de estos, se generan subíndices, los cuales se relacionan con la Ecuación 7.12.

$$IVA = \frac{FT+IRS+IRU+(1-IT)}{4} \quad (7.12)$$

Donde:

IVA: Índice de vulnerabilidad agrícola

FT: Índice de fragmentación de tenencia de tierra

IRS: Índice del balance riego/secano

IRU: Índice de ruralidad

IT: Índice de intensidad de la agricultura.

Las variables consideradas se expresan en términos adimensionales en una escala que varía entre 0 y 1.

✓ Índice de Fragmentación de Tenencia de la Tierra (FT):

Este índice permite relacionar la tenencia de la tierra con el número de hectáreas por agricultor y el área de cada uno, de tal forma que los pequeños agricultores tendrán asociado un valor de K_n cercano a uno y por lo tanto más vulnerables y en caso contrario los grandes agricultores tendrán valores cercanos a cero bajando considerablemente la vulnerabilidad como se muestra en la Figura 7.2. Se consideran como pequeños propietarios aquellos bajo 5 hectáreas. Se determina el índice por medio de la Ecuación 7.13.

$$FT = \frac{(K1 \times ST1 + K2 \times ST2 + K3 \times ST3 + K4 \times ST4 + K5 \times ST5)}{ST} \quad (7.13)$$

Donde:

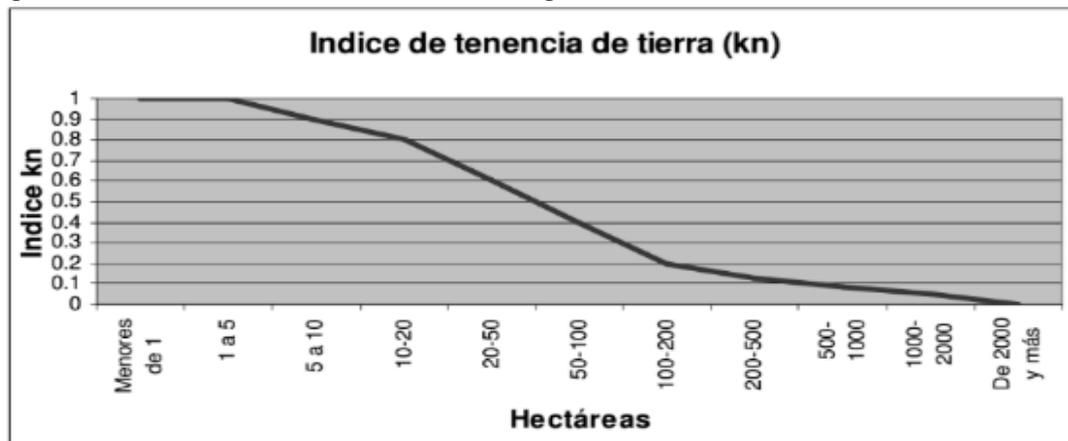
ST_n: Superficie ocupada por el estrato de tenencia “n”

ST: Superficie total

Kn: Índice asociado al número de hectáreas por agricultor.

En la Figura 7.2 se muestra la gráfica del índice de tenencia de tierra, para determinar el valor de Kn respectivo.

Figura 7.2 Distribución del Índice de fragmentación de tenencia de la tierra.



Fuente: UNEA, FAO, Min. CHILE, 2011.

✓ Índice del Balance Riego/Secano (IRS):

Este índice clasifica la tierra cultivable en condiciones de secano, es decir sin riego, solo recibe agua de lluvia. Se determina con la Ecuación 7.14.

$$IRS = \frac{SSEC}{ST} \quad (7.14)$$

Donde:

IRS: Índice del balance riego/secano

SSEC: Superficie de cultivos de secano

ST: Superficie total cultivada.

Cuando se presenta la condición de secano el valor de IRS es cercano a 1.0, lo que muestra que es más vulnerable a la variabilidad ambiental debido a los cambios en el régimen de precipitaciones. Por el contrario, cuando la condición es de riego adopta valores de IRS cercanos a cero, significa menor vulnerabilidad a la sequía.

✓ **Índice de Ruralidad (IRU):**

Este indicador representa la fracción de la población rural respecto a la población total del municipio, se determina por medio de la Ecuación 7.15.

$$IRU = \frac{PRUR}{PTOT} \quad (7.15)$$

Donde:

IRU: Índice de ruralidad

PRUR: Población rural

PTOT: Población total.

Cuando la mayoría de población del municipio pertenece a la zona rural los valores del IRU se acercan a 1.0 y se consideran con mayor vulnerabilidad, en contraste aquellos con dominio urbano presentan valores cercanos a cero que presentan menor vulnerabilidad.

✓ **Índice de Intensidad por Agricultura (IT):**

Este índice interpreta el grado de intensificación de la agricultura de acuerdo con el tipo de cultivo y el área que ocupa. Se considera para cada rubro el factor de uso de capital y tecnología (UCT) requerido que se constituye con base al nivel de insumos y tecnologías utilizados por cada uno. Los rubros con mayor nivel de tecnificación se consideran menos vulnerables. El índice se calcula por la Ecuación 7.16.

$$IT = \frac{UCT_1 \times S_1 + UCT_2 \times S_2 + \dots + UCT_n \times S_n}{ST} \quad (7.16)$$

Donde:

IT: Índice de intensidad de la Agricultura

UCT: Factor de uso de capital y tecnología para cada rubro

Sn: Superficie ocupada por el rubro

ST: Superficie total cultivada.

7.2.2.3 Índice de Vulnerabilidad de Embalses (IVE)

Este índice permite determinar la vulnerabilidad del embalse a los fenómenos climáticos que se presentan de acuerdo a una clasificación establecida por niveles. En el municipio de Popayán solo se cuenta con el embalse Florida II razón por la cual se aplicara este índice a pequeña escala. El índice se calcula según la Ecuación 7.17.

$$IVE = 100 \times \frac{[-\Delta A] \times NM \times ReR}{OVC \times IR} \quad (7.17)$$

Donde:

IVE: Índice de vulnerabilidad de embalses.

ΔA : Porcentaje de cambio en las afluencias al embalse como consecuencia de la variabilidad climática.

NM: Número de meses del año en los que la variabilidad climática se presenta como sequía por la presencia del fenómeno de El Niño.

ReR: Resiliencia del embalse: Capacidad para recuperarse de las perturbaciones climáticas extremas a las que se enfrenta y se determina con base en la capacidad de almacenamiento del embalse.

OVC: La magnitud de los aumentos en la variabilidad climática, como consecuencia del cambio climático, se determina por Orden según la variabilidad climática (entre 1 y 11; donde 1 es el embalse con mayor aumento en la variabilidad climática).

IR: Importancia relativa que representa el embalse para el país en cuanto a capacidad de generación eléctrica.

Con los cinco factores anteriormente mencionados, se obtiene como resultado el Índice de Vulnerabilidad de Embalses (IVE), al cual posteriormente según recomendaciones del autor (UNIÓN TEMPORAL ACON – OPTIM, 2013) debe asignársele un nivel establecido, considerando la capacidad de cada embalse para generar energía y relacionado con el Índice de Vulnerabilidad. A éste se le asigna una categoría de vulnerabilidad de la metodología de Análisis de Riesgo, como a continuación se explica en la Tabla 7.5:

Tabla 7.5 Clasificación de Vulnerabilidad de Embalses.

NIVEL	IVE	CLASIFICACIÓN	COLOR (*)
1	> 100	Los embalses son más vulnerables y están más expuestos a las amenazas del cambio climático y variabilidad climática.	Alta
2	< 100 > 10	La capacidad de generar energía de estos embalses puede verse condicionada o comprometida por el cambio climático o la variabilidad climática	
3	< 10 > 0	La capacidad de generación de energía de estos embalses posiblemente puede verse limitada o condicionada por el cambio o variabilidad climática, pero solo ligeramente.	Media
4	< 0	Probablemente estos embalses no se verán afectados de forma adversa.	Baja

Fuente: UNIÓN TEMPORAL ACON – OPTIM, 2013

(*)Metodologías de Análisis de Riesgo - IDIGER, 2012

7.2.3 Determinación del riesgo a la sequía

La metodología de análisis de riesgos por colores desarrollado por el Fondo de Prevención y Atención De Emergencias - FOPAE en 2012, (actual IDIGER), permite determinar el nivel de riesgo por medio de la combinación Amenaza y Vulnerabilidad, utilizando el diamante de riesgo.

Los resultados obtenidos tanto en el Índice Estandarizado de Sequía Pluviométrica (IESP) para determinar amenaza, como los índices aplicados para vulnerabilidad, deben adaptarse de acuerdo a la metodología por colores desarrollado por el Fondo de Prevención y Atención De Emergencias - FOPAE en 2012, (actual IDIGER).

Para adaptar el diamante de riesgo a la aplicación que se busca con la metodología propuesta, se modifican los elementos vulnerables en la metodología IDIGER: recursos, personas y sistemas y procesos. En la Figura 7.3 se muestran los elementos vulnerables propuestos.

Figura 7.3 Diamante de riesgo.



Fuente: Metodología IDIGER, 2012.

Esta articulación está basada en los criterios de clasificación de amenaza de la Tabla 7.6 y la establecida en la Tabla 7.7, para clasificar vulnerabilidad con el fin de que esta metodología pueda ser aplicada para definir riesgo.

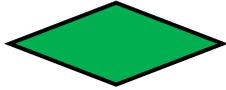
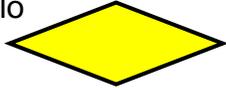
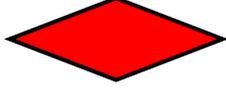
En la Tabla 7.6:

Posible: Nunca ha sucedido.

Probable: Ya ha ocurrido.

Inminente: Evidente, detectable.

Tabla 7.6 Clasificación de amenaza.

Evento	Comportamiento	Color asignado
Posible	Es aquel fenómeno que puede suceder o que es factible porque no existen razones históricas y científicas para decir que esto sucederá.	Verde 
Probable	Es aquel fenómeno esperado del cual existen razones y argumentos técnicos científicos para creer que sucederá.	Amarillo 
Inminente	Es aquel fenómeno esperado que tiene alta probabilidad de ocurrir.	Rojo 

Fuente: Metodologías de Análisis de Riesgo - IDIGER, 2012.

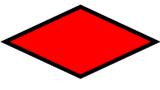
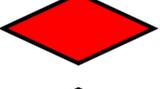
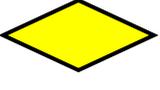
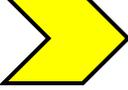
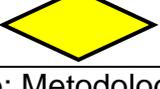
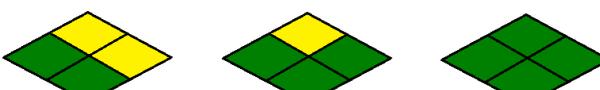
Tabla 7.7 Clasificación de vulnerabilidad.

Rango	Interpretación	Color
$0.67 \leq 1,00$	Alta	Rojo
$0.33 \leq 0.67$	Media	Amarillo
$0 \leq 0.33$	Baja	Verde

Fuente: Rangos modificados de metodología de Análisis de Riesgo - IDIGER, 2012.

De acuerdo con el nivel de amenaza y de cada uno de los elementos de la vulnerabilidad anteriormente expresados, se completa el rombo y se clasifica como riesgo alto, medio o bajo a la sequía, según la Tabla 7.8.

Tabla 7.8 Clasificación del nivel de riesgo.

Sumatoria de Rombos	Calificación	Ejemplo
3 ó 4 	Alto 	
1 ó 2  3 ó 4 	Medio 	
0  1 ó 2 	Bajo 	

Fuente: Metodología de Análisis de Riesgo - IDIGER, 2012.

7.3 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN PARA LOS INDICES

Para la obtención de la información utilizada para la aplicación de los diferentes índices, se procede a hacer una identificación de las entidades competentes que pueden suministrar a nivel municipal los datos requeridos de los cultivos, generación de energía, abastecimiento de agua y precipitaciones del municipio de Popayán, como se muestra en la Tabla 7.9.

Tabla 7.9 Identificación de entidades competentes fuentes de información.

ENTIDAD	TIPO DE INFORMACION
Centrales Eléctricas del Cauca CEDELCA S.A. E.S.P.	Información sobre el embalse Florida II.
Sociedad Agraria de Transformación CAUCAHASS.	Información referente a cultivos de aguacate en el municipio de Popayán.
Federación Nacional de Productores de Panela FEDEPANELA.	Información referente a cultivos de caña panelera en el municipio de Popayán.
Asociación Hortifrutícola de Colombia ASOHOFrucOL.	Información general sobre cultivos en el municipio de Popayán.
Proyecto de cultivo de mora MORALIFE.	Información referente a cultivos de mora en el municipio de Popayán.
Sociedad de Ingenieros del Cauca SOINAGRO S.A.S.	Información referente a cultivos de figue en el municipio de Popayán.
Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA.	Información general sobre cultivos en el municipio de Popayán.
Unidad Municipal de Asistencia Agropecuaria.	Información general sobre cultivos en el municipio de Popayán
Instituto Colombiano Agropecuario ICA.	Información general sobre cultivos en el municipio de Popayán.
Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Fomento Económico del Departamento del Cauca .	Información general sobre cultivos en el municipio de Popayán.
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM.	Información de precipitaciones medias mensuales de las estaciones pluviométricas.

Posterior a la identificación de las entidades mencionadas (Tabla 7.8), se realizaron las visitas necesarias a las mismas para obtener información detallada. Al comparar la información obtenida sobre los cultivos del municipio, se concluye que es pertinente usar aquella suministrada por la Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Fomento Económico del Departamento del Cauca para la aplicación de este trabajo, debido a que la información es completa y general. Cabe notar que esta decisión se toma en vista de que las otras entidades no cuentan con una información total, como es el caso del ICA que cuenta con información de aquellos productores que solicitan asistencia técnica, lo que no daría una visión global de los cultivos en el municipio.

Para el caso de los cultivos la información que se solicitó a cada entidad se describe a continuación:

- Área cultivada en el Municipio de Popayán
- Porcentaje de propietarios que tienen 5 Ha o menos de área cultivada en el Municipio de Popayán.
- Total de propietarios de áreas cultivadas actualmente en el Municipio de Popayán.
- Nivel de tecnificación del cultivo
- Establecer si requiere de riego cada cultivo específico y de ser así definir el área.
- Lugares en el Municipio de Popayán en los se encuentra cada cultivo (veredas y/o corregimientos).

Los hallazgos a resaltar fueron que la mayoría de esta información no se encuentra consolidada en las entidades visitadas, lo que lleva a soportar con información secundaria algunos datos necesarios para el cálculo de los índices. Respecto a la UMATA, no se obtiene información actualizada sobre los cultivos municipales, la entidad nos dirige a revisar el Plan de Ordenamiento Territorial-POT municipal el cual corresponde al año 2002, información que a la fecha se concluye no es referencia de las condiciones actuales de los cultivos, sin embargo la actualización del POT del municipio de Popayán se encuentra en proceso.

El IDEAM es la entidad que suministra los datos obtenidos en las estaciones meteorológicas, es por esta razón, el ente al cual se dirigió la solicitud de información sobre las precipitaciones medias mensuales históricas de las estaciones que influyen en el municipio de Popayán en el área de estudio específico.

Para calcular el índice de vulnerabilidad de embalses teniendo en cuenta que en el municipio de Popayán el más representativo es el embalse Florida II a cargo de Centrales Eléctricas del Cauca CEDELCA S.A.E.S.P., se solicita la siguiente información:

- Porcentaje de cambios de caudal de entrada al embalse
- Capacidad de almacenamiento de embalse
- Resiliencia del embalse
- Importancia relativa que representa el embalse para el país y la región, en cuanto a capacidad de generación eléctrica.

7.4 CONSTRUCCIÓN DE ISOYETAS

Con el fin de identificar la zona más seca del municipio de Popayán se construyeron las isoyetas de los meses que se consideran de verano o de menores precipitaciones, es decir, desde junio hasta septiembre, esto con la finalidad de definir las estaciones que se encuentran en el área seca.

En las Figuras 7.4, 7.5, 7.6 y 7.7 se muestran las isoyetas de precipitaciones de los meses de Junio, Julio, Agosto y Septiembre respectivamente, realizadas por medio del software ArcGIS con licencia 104149423 del Departamento de Geografía de la Universidad del Cauca, con los datos de precipitación media mensual del año 1994 de las estaciones del municipio de Popayán que se muestran en la Tabla A3 del Anexo A, las cuales se identifican como activas y suspendidas a la fecha. Además se utilizó la interpolación de kriging que es un método de estimación el cual utiliza el promedio ponderado de los valores de las muestras con la mínima varianza (Zabaleta, 2010) permitiendo generar los datos faltantes para las curvas respectivas.

Con los mapas de isoyetas se define que la localización del área más seca dentro del municipio de Popayán es decir la zona con menores precipitaciones medias mensuales corresponde a la parte sur-oriental, de tal forma se establece que las estaciones pluviométricas cercanas son la estación del Aeropuerto Guillermo León Valencia, Bodega Cedelca y Saté, pero debido a que la estación Bodega Cedelca está suspendida a la fecha se toman los datos de las otras dos estaciones.

Figura 7.4 Isoyetas de precipitaciones del mes de Junio.

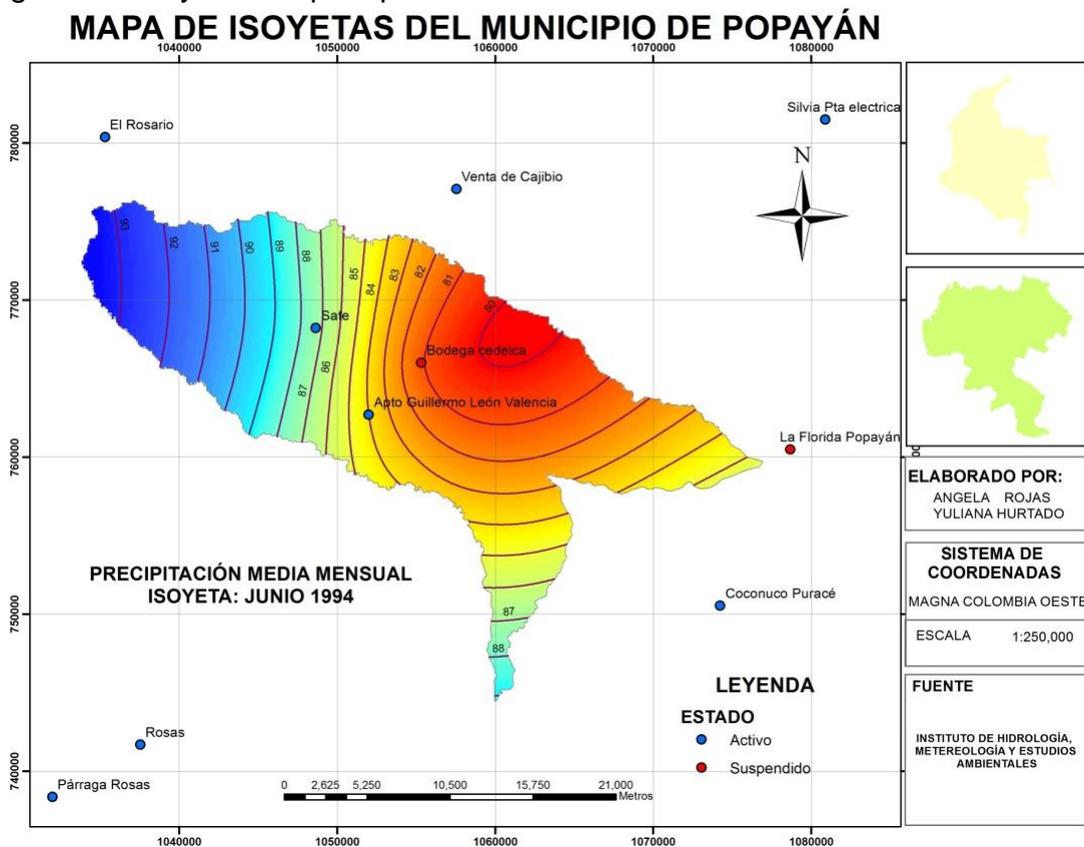


Figura 7.5 Isoyetas de precipitaciones del mes de Julio.

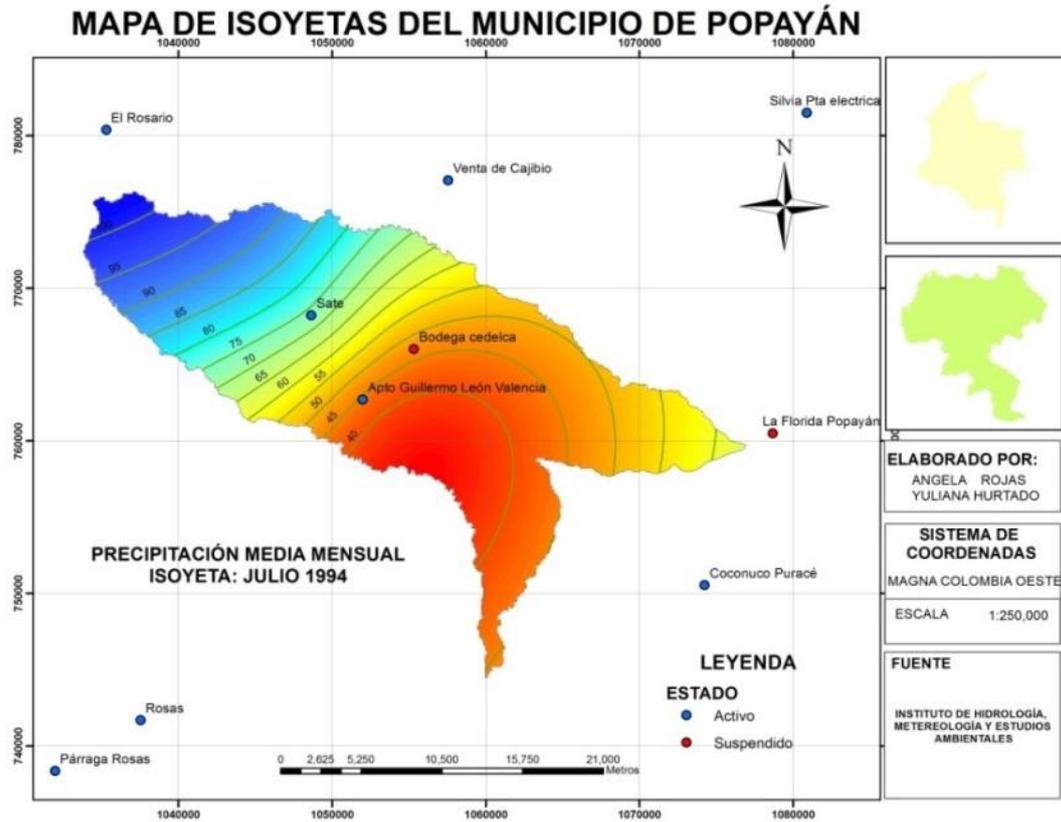


Figura 7.6 Isoyetas de precipitaciones del mes de Agosto.

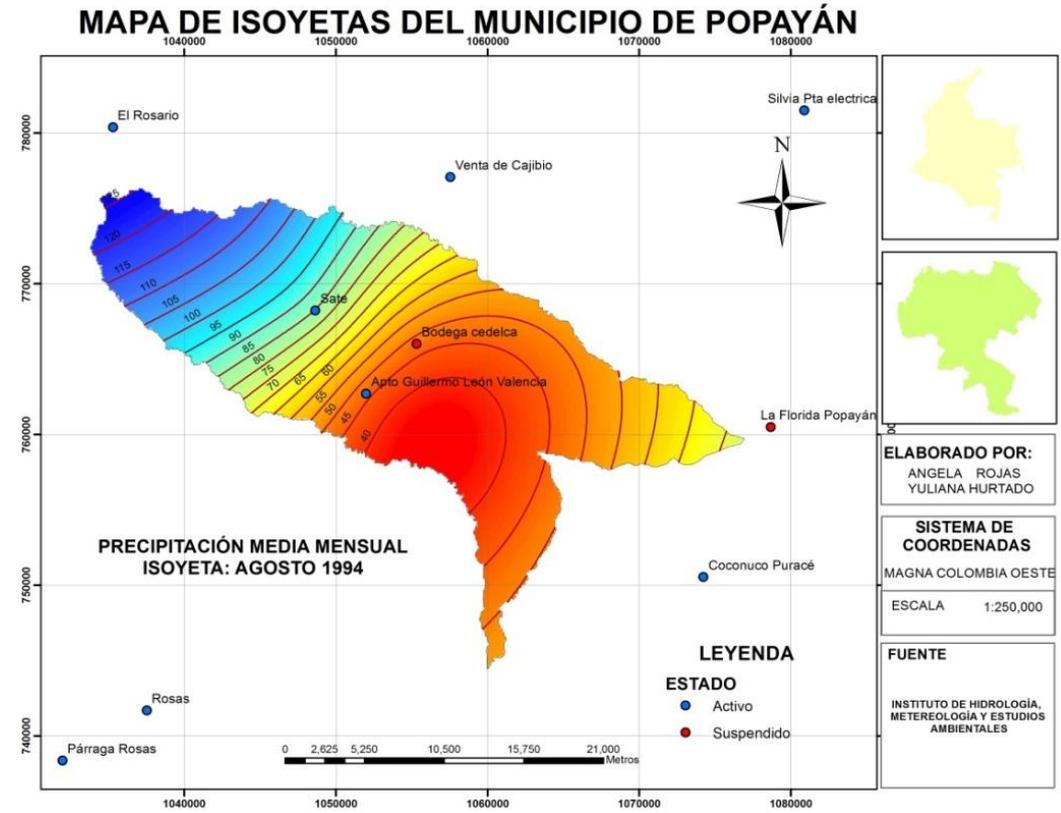
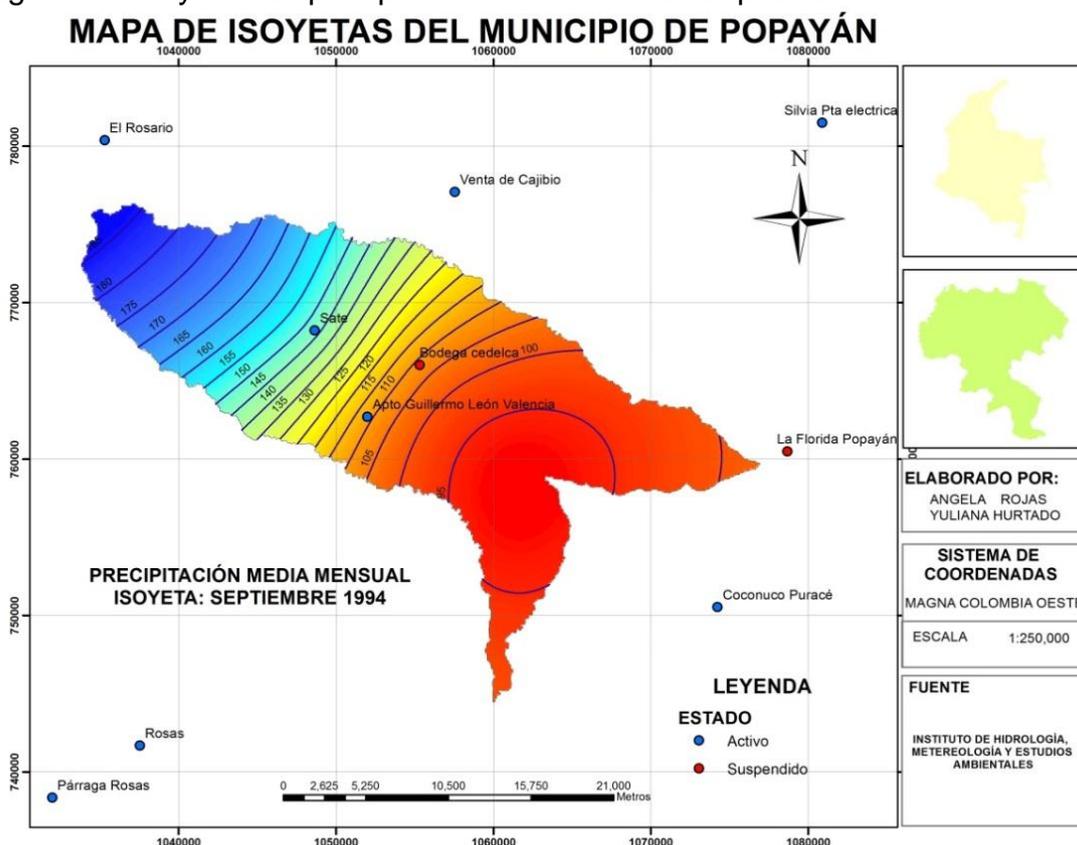


Figura 7.7 Isoyetas de precipitaciones del mes de Septiembre.



Debido a que las series de datos de lluvias de las estaciones mencionadas se encontraban incompletas fue necesario utilizar un método de consistencia de datos que permitiera obtener esos valores faltantes. Esto se realizó por medio de la estación cercana que contenía los registros completos de los meses estudiados, aunque este método requiere tres estaciones auxiliares vecinas se utilizó solo una puesto que hay dos estaciones en el área delimitada por las isoyetas. Por lo anterior, se obtuvo el promedio aritmético histórico de cada mes faltante en el período comprendido entre 1971 y 2016 que corresponderían a los datos no registrados. Cabe mencionar que este método fue escogido de acuerdo con el criterio que la precipitación normal no difiere más del 10% del promedio de las precipitaciones normales anuales de la estación vecina.

Con las precipitaciones medias mensuales medidas de las estaciones pluviométricas identificadas previamente, se determina el promedio aritmético entre las dos (Tabla A4 del Anexo A) y con este se calcula el IESP con los datos históricos de precipitación media mensual de los años 1971 hasta 2016. A continuación se muestra el cálculo tipo del índice estandarizado de sequía pluviométrica del promedio de la estación del Aeropuerto Guillermo León Valencia (G.L.V.) y la estación Saté.

8. RESULTADOS Y ANÁLISIS

8.1 AMENAZA A LA SEQUÍA

8.1.1 Índice Estandarizado de Sequía Pluviométrica IESP

Se realizó el cálculo de la mediana con los datos de precipitación de cada mes del período comprendido entre 1971 y 2016, obteniendo los valores que se muestran en la Tabla 8.1 y se encuentran en detalle en la Tabla A5 del Anexo A.

Tabla 8.1 Medianas mensuales del promedio de las estaciones G.L.V. y Saté.

MES	MEDIANAS MENSUALES (mm)
Enero	203
Febrero	176
Marzo	207
Abril	196
Mayo	155
Junio	78
Julio	46
Agosto	52
Septiembre	117
Octubre	264
Noviembre	309
Diciembre	279

8.1.1.1 Cálculo de las anomalías pluviométricas

Con los valores obtenidos de las medianas mensuales históricas de precipitación que se muestran en la Tabla 8.1 se calcularon las anomalías pluviométricas (APi), según la Ecuación 7.1. Como ejemplo, se muestra la anomalía pluviométrica del mes de enero de 1971:

$$AP_{Enero} = 387 - 203 = 183 \text{ mm}$$

La Tabla 8.2 presenta los resultados para los meses restantes del año 1971. Para los otros años considerados: 1971 a 2016, los resultados se muestran en detalle en la Tabla A6 del Anexo A.

8.1.1.2 Anomalía pluviométrica acumulada

La anomalía pluviométrica acumulada (APAi) se calculó por medio de la Ecuación 7.2. En la Tabla 8.2 se presentan los resultados para el año 1971. Para los otros años considerados: 1971 a 2016, los resultados se muestran en detalle en la Tabla A6 del Anexo A.

Tabla 8.2 Anomalías pluviométricas acumuladas para el año 1971.

MES	Api	APAi
Enero	183	183
Febrero	124	307
Marzo	9	316
Abril	-4	-4
Mayo	108	104
Junio	-17	-17
Julio	-3	-20
Agosto	29	9
Septiembre	18	27
Octubre	70	96
Noviembre	-48	-48
Diciembre	-127	-175

8.1.1.3 Cálculo del IESP

Para este índice es necesario el valor de la media y desviación estándar de las anomalías pluviométricas acumuladas del período histórico estudiado. El cálculo del IESP se realizó por medio de la Ecuación 7.3. Como ejemplo se muestra el resultado para enero de 1971:

$$IESP = \frac{183 - (-637)}{474} = 1.73$$

En la Tabla A6 del Anexo A. se presentan los resultados para el índice IESP de 1971 a 2016.

8.1.2 Análisis del índice IESP

Los índices IESP determinados y que se presentan en la Tabla A6 del Anexo A, se clasificaron según el nivel de sequía, Tabla 8.3. La probabilidad de excedencia y período de retorno fueron calculados con los datos de precipitación para el período de 1971 a 2016 considerando las estaciones Guillermo León Valencia y Saté (Anexo A, Tabla A2). La probabilidad de excedencia y el periodo de retorno se calcularon inicialmente clasificando las categorías obtenidas del IESP de acuerdo a los rangos establecidos por la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de Andalucía según los niveles de sequía, posteriormente se calculó la frecuencia a los rangos anteriormente obtenidos y se obtuvo la probabilidad dividiendo la frecuencia entre el número total de datos (USAC, 2011). Debido a que el 55% de los datos se encuentran en el nivel clasificado como sin sequía, se divide el 45% restante entre la probabilidad encontrada determinando la probabilidad de excedencia, finalmente se calcula el período de retorno que corresponde a la inversa de la probabilidad. Estos resultados se presentan en la Tabla 8.3.

Cabe notar que de acuerdo con los resultados no hay probabilidad de que se presente el nivel de sequía excepcional en el municipio.

Tabla 8.3 Clasificación del IESP.

NIVEL DE SEQUIA	VALOR DEL INDICE	UMBRAL	PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA (%)	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)
Sin sequía	$IESP > - 0.4$			
Sequía moderada	$- 1 < IESP \leq - 0.4$	- 0.4	30	3
Sequía severa	$- 1.7 < IESP \leq - 1$	- 1.0	13	8
Sequía extraordinaria	$- 2.3 < IESP \leq - 1.7$	- 1.7	2	46

Para definir los meses en los que se presentaron los diferentes niveles de sequía según los resultados del IESP, se asignaron colores a los mismos y posteriormente se realizó la ponderación correspondiente, Tabla 8.4.

Tabla 8.4 Ponderación de los niveles de sequía para los meses del período comprendido entre 1971 y 2016, considerando las estaciones G.L.V. y Saté.

AÑO	MESES											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1978												
1979												
1980												
1981												
1982												
1983												
1984												
1985												
1986												
1987												
1988												
1994												
1995												
1996												
1997												
1998												
1999												
2003												
2004												
2005												
2006												
2007												
2015												
2016												
PONDERADO	2.3	2.5	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2	2.3	2.2	2.2	2.2	2.3

Convenciones

- $IESP > -0,4$ Sin Sequia
- $-1 < IESP \leq -0,4$ Sequía Moderada
- $-1,7 < IESP \leq -1$ Sequía Severa
- $-2,3 < IESP \leq -1,7$ Sequía Extraordinaria
- $IESP \leq -2,3$ Sequía Excepcional

Los años completos sin sequía no se relacionaron en la Tabla 8.4.

En la Tabla 8.4 se pueden observar los años que presentaron algún nivel de sequía. Se destaca que el 66% de los datos de sequía pertenecen al nivel clasificado como moderada, 29% a severa y 5% como extraordinaria. No se presentó sequía excepcional.

Cabe señalar que al analizar el escenario general donde se toman todos los datos (1971 a 2016), los cuales incluyen los meses clasificados sin sequía, éstos predominan con el 55%, la sequía moderada con el 30%, la sequía severa con el 13% y la sequía extraordinaria con el 2%.

Igualmente, la Tabla 8.4 permite identificar que los meses en los que con mayor posibilidad se puede presentar el nivel de sequía extraordinaria son junio, julio y agosto, los cuales corresponden a aquellos con menores precipitaciones históricas. El promedio general ponderado mostró, sin embargo, que todos los meses se enmarcan dentro de una calificación de sequía moderada. La ponderación se hizo teniendo en cuenta los pesos que se muestran en la Tabla 8.5.

Tabla 8.5 Pesos de los grados de sequía para el método IESP.

Grado de sequía	Rango	Promedio
Sin sequía	0 < 2	1
Moderada	2 < 4	3
Severa	4 < 6	5
Extraordinaria	6 < 8	7
Excepcional	8 – 10	9

Fuente: Elaboración propia.

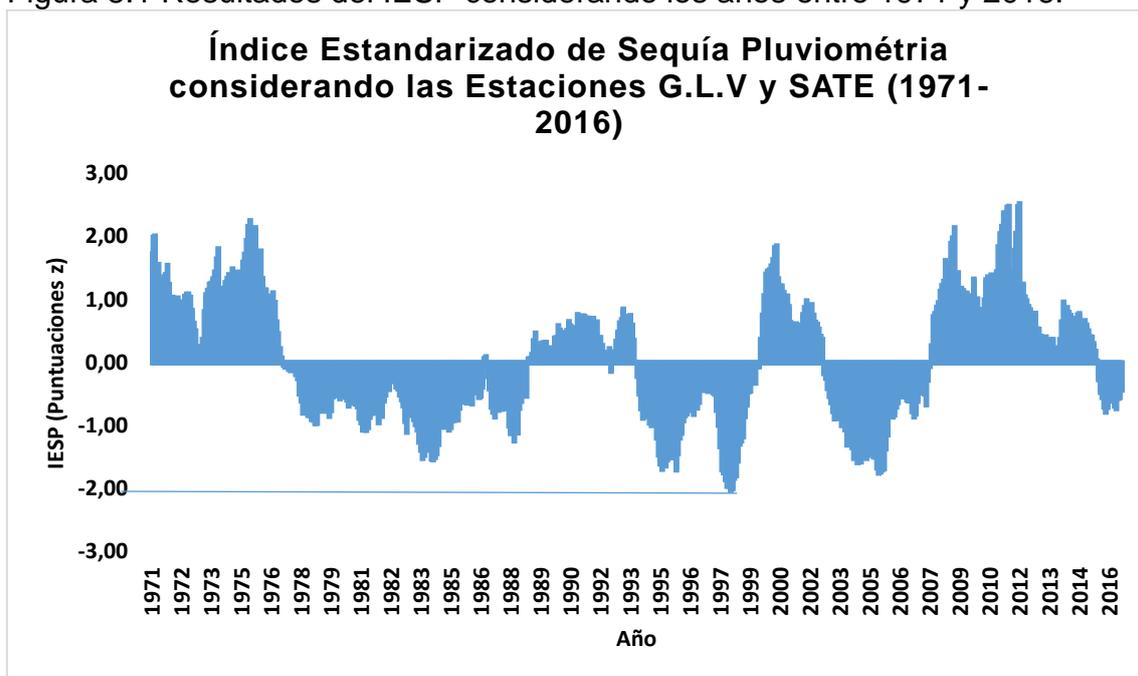
El resultado de la Tabla 8.5 aplicada a todos los meses del período 1971 – 2016 se presenta en el Anexo A.

De acuerdo con los resultados obtenidos del IESP, se determinó que la sequía moderada es un evento esperado en el municipio de Popayán, categorizado como de amenaza probable, según la Tabla 7.5. Esto indica que hay una amenaza media en el área de estudio que puede afectar tanto a la población, como a los distintos sectores productivos y al medio ambiente.

El IESP permite establecer la duración de la sequía cuando pasa el umbral que genera un evento seco determinando claramente estos períodos. En la Figura 8.1 se muestran graficados los resultados del IESP obtenido a partir de los datos promediados de las estaciones G.L.V. y Saté. Allí se observa que los períodos secos se encuentran entre los años 1978 a 1988, 1994 a 1999, 2003 a 2007 y durante el año 2016.

Se resalta también, que el menor valor del índice IESP (- 2.03) se encuentra entre los años 1997 y 1998, coincidiendo con el evento cálido anómalo dado por el Fenómeno de El Niño como lo indica el Índice Oceánico del Niño (ONI), con un valor de 2.3. Lo anterior permitió inferir que ese evento extremo afectó el municipio de Popayán.

Figura 8.1 Resultados del IESP considerando los años entre 1971 y 2016.



8.2 VULNERABILIDAD A LA SEQUÍA

8.2.1 Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico - IVH

Como se explicó en la metodología este índice está compuesto por el Índice de Regulación Hídrica (IRH) y el Índice de Uso de Agua (IUA) que se relacionan en la Tabla 7.2.

8.2.1.1 Índice de Regulación Hídrica - IRH

El Índice de Retención y Regulación Hídrica se determinó por medio de la curva de duración de caudales construida con los datos de caudales medios diarios de 20 años hasta el año 2016 de la estación Puente Carretera del río Las Piedras. Este río abastece la planta de tratamiento de agua potable El Tablazo y de la cual se deriva el 90% del agua tratada de la ciudad de Popayán. La curva de duración de caudales se construyó por medio del análisis de frecuencias de la serie histórica de caudales medios diarios y permitió establecer tanto el volumen total representado por el área bajo la misma, como el volumen representado por el área bajo la línea del caudal medio anual multianual. Lo anterior se muestra en las Figuras 8.2 y 8.3.

En la Figura 8.2, se encuentra la curva de duración de caudales medios diarios de la estación puente Carretera que monitorea el río Las Piedras, de la cual se obtuvo el volumen total representado por el área bajo esta curva.

En la Figura 8.3 se encuentra la curva de duración de caudales medios diarios además de la línea de caudal medio de los medios diarios identificada con la

línea horizontal roja que permitió determinar el volumen representado por el área por debajo de esa línea.

Con los volúmenes determinados anteriormente se calculó el índice de acuerdo con la Ecuación 7.4:

$$IRH = \frac{126}{162} = 0.78$$

El IRH de 0.78 representa una alta retención y regulación de humedad (Tabla 7.3), lo cual significa que la cuenca presenta buena capacidad para mantener un régimen de caudal por medio de la interacción del sistema suelo-vegetación y las condiciones climáticas que favorecen la regulación.

Figura 8.2 Volumen total obtenido de la curva de duración de caudales medios diarios.

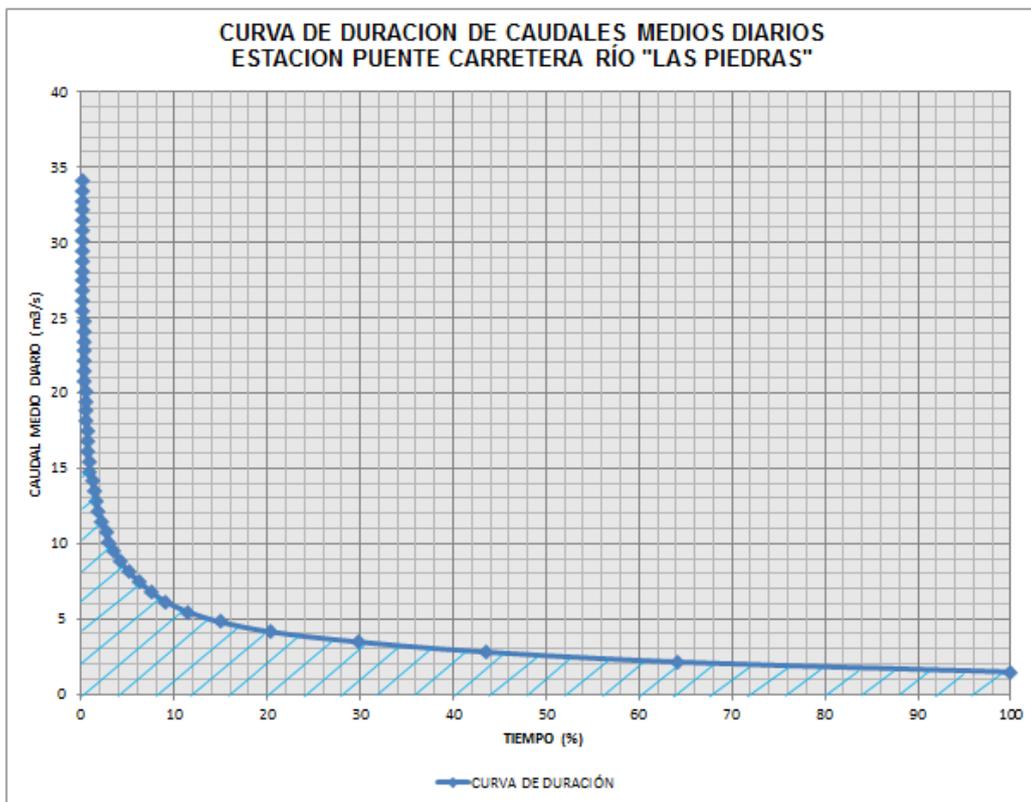
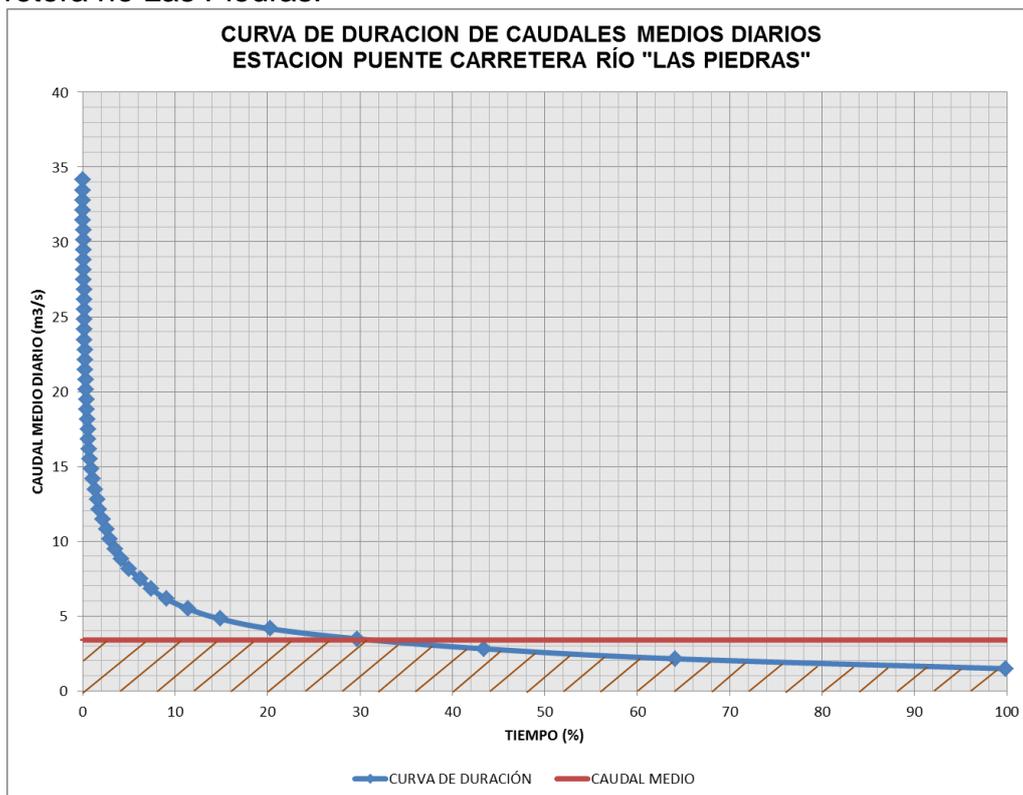


Figura 8.3 Curva de duración de caudales medios diarios estación Puente Carretera río Las Piedras.



8.2.1.2 Índice de Uso de Agua - IUA

Como se explicó en la metodología, este índice relaciona la demanda y la oferta de agua disponible.

- **Demanda hídrica**

Para la demanda hídrica se dispone de los datos relacionados en la Tabla 8.6. Cabe resaltar que no se cuenta con la información detallada de los consumos necesarios para establecer la demanda como se especifica en el Numeral 3.3.

Tabla 8.6 Demanda hídrica subcuenca del río Las Piedras.

DEMANDA	CAUDAL (lps)	CAUDAL (m ³ /s)
DOMESTICO	751	0.751
INDUSTRIAL	77	0.077
AGROPECUARIO	150	0.150
	TOTAL	0.978

Fuente: Fundación Pro cuenca río Las Piedras, 2010.

En la Tabla 8.6, la demanda doméstica corresponde principalmente al consumo del municipio de Popayán; la demanda industrial se basa en el uso para la piscifactoría El Diviso y la demanda hídrica agropecuaria en las concesiones registradas. La anterior información se amplía en las Tablas B1, B2 y B3 del Anexo B.

- **Oferta hídrica**

Con los registros de caudales medios mensuales multianuales (Q_{medio}) de la estación Puente Carretera que se muestra en la Tabla 8.7 y la demanda de agua total de la Tabla 8.6, se obtuvieron los valores de la oferta hídrica superficial total (O_{Tc}) según la Ecuación 7.8. Se indica el cálculo para el mes de enero y se detallan los demás meses en la Tabla 8.7:

$$O_{Tc} = 3.33 \frac{m^3}{s} + 0.978 \frac{m^3}{s} = 4.31 \frac{m^3}{s}$$

Con los registros de Q_{medio} se obtuvieron los valores del factor de reducción para mantener el régimen de estiaje (Re) y el factor de reducción para protección de fuentes frágiles (Rf) del río Las Piedras (Taller Índices Hídricos de Cantidad, E.I.R.H., 2017), los cuales corresponden a:

$$\begin{aligned} Re &= 31.05\% \\ Rf &= 25\%. \end{aligned}$$

Con los cálculos anteriores, se determinó la oferta hídrica superficial neta (Ecuación 7.7) para el mes de enero. Los demás resultados se muestran en la Tabla 8.7:

$$O_N = 4.31 \frac{m^3}{s} (1 - 31.05\% - 25\%) = 1.89 \frac{m^3}{s}$$

Con la demanda y oferta de agua se calculó el IUA por medio de la Ecuación 7.5:

$$IUA = \left(\frac{0.978 \frac{m^3}{s}}{1.89 \frac{m^3}{s}} \right) \times 100 = 51.65$$

En la Tabla 8.7 se presentan los cálculos para el Índice de Uso de Agua.

El IUA promedio anual (64.4%) se clasifica como muy alto (Tabla 7.4), por lo tanto, existe una presión muy alta al recurso hídrico. Esto indica que la demanda es excesiva por una inadecuada planeación de su uso racional o que la oferta es insuficiente por algún grado de sequía en la zona e incluso en un escenario futuro con crecimiento poblacional se vería aún más afectado.

Tabla 8.7 IUA ó IE, para la subcuenca del río Las Piedras.

MES	Q medio (m ³ /s)	O _{TC} (m ³ /s)	O _N (m ³ /s)	IUA
Enero	3.33	4.31	1.89	51.65
Febrero	3.08	4.06	1.78	54.84
Marzo	2.89	3.87	1.70	57.53
Abril	3.03	4.01	1.76	55.52
Mayo	2.58	3.56	1.56	62.54
Junio	1.57	2.55	1.12	87.33
Julio	1.27	2.25	0.99	98.99
Agosto	1.13	2.11	0.93	105.56
Septiembre	1.09	2.07	0.91	107.60
Octubre	1.77	2.75	1.21	80.98
Noviembre	3.81	4.79	2.10	46.48
Diciembre	4.18	5.16	2.27	43.14
	TOTAL	3.46	1.52	64.4

8.2.1.3 Análisis del Índice de Vulnerabilidad Hídrica – IVH

El IRH se clasificó como alto y el IUA como muy alto, por lo tanto se ubican en la matriz de análisis en la Tabla 7.2 donde se clasifica el Índice de Vulnerabilidad al desabastecimiento Hídrico como de Vulnerabilidad Media, esto debido a la presencia de actividades antrópicas que requieren agua para sus consumos. El resultado muestra que aún no hay riesgo al desabastecimiento hídrico pero que a corto o mediano plazo podría afectar el suministro de agua si no se realizan medidas de protección a la cuenca para mejorar su regulación hídrica o el uso planeado adecuadamente.

8.2.2 Índice de Vulnerabilidad Agrícola - IVA

Como se explicó en la metodología, el IVA se determina en función de los índices: FT, IRS, IRU e IT, los cuales se calcularon como se muestra a continuación.

8.2.2.1 Índice de Fragmentación de Tenencia de la Tierra - FT

Para el índice FT se calculó según la Ecuación 7.13, donde el valor de Kn se asumió igual a 0.95 ya que para los cultivos considerados en este estudio los productores son pequeños en su mayoría, es decir cuentan con 5 hectáreas o menos; si fuesen latifundistas el valor de Kn tendería a cero. Las áreas consideradas corresponden a los cultivos seleccionados: caña panelera, aguacate, café, mora y fique, tal como se define a continuación:

ST1: Superficie ocupada por el cultivo de caña panelera

ST2: Superficie ocupada por el cultivo de aguacate

ST3: Superficie ocupada por el cultivo de café
ST4: Superficie ocupada por el cultivo de mora
ST5: Superficie ocupada por el cultivo de fique
ST: Superficie total.

$$FT = \frac{(0.95 \times 846 \text{ Ha} + 0.95 \times 33 \text{ Ha} + 0.95 \times 4873 \text{ Ha} + 0.95 \times 143 + 0.95 \times 38 \text{ Ha})}{5933 \text{ Ha}}$$

$$FT = \frac{5636.35}{5933} = 0.95$$

Este valor de FT (0.95), indica al igual que Kn, que las áreas de tenencia de la tierra en su mayoría pertenecen a pequeños agricultores, los cuales se consideran más vulnerables debido a que, como consecuencia de los períodos de precipitaciones bajas, puede disminuir la producción amenazando su medio de vida. Además, los niveles bajos de agua disponible presentados durante los episodios de sequía que cada vez son más largos, también aumentan los costos de producción, esto quiere decir que los pequeños agricultores tienen menor capacidad de respuesta económica y técnica ante este evento en el municipio y por ende reciben mayor impacto.

8.2.2.2 Índice del Balance Riego/Secano - IRS

Para el IRS se consideró el área ocupada por secano como el área total de los cultivos debido a que en el municipio de Popayán no se realiza riego, según la información obtenida de las diferentes entidades y que se presenta en la Tabla 7.8. Este índice se calculó con la Ecuación 7.14:

$$IRS = \frac{5933}{5933} = 1$$

Esto indica Vulnerabilidad Alta a la variabilidad climática debido a los cambios en el régimen de precipitaciones. Este resultado se justifica ya que el área de estudio está representada en el sector agrícola por cultivos con características de secano, que presentan mayor vulnerabilidad porque depende solo del agua lluvia. Especialmente en las zonas en las que reciben menores precipitaciones dentro del municipio en períodos secos, los suelos dispondrán de menores o escasas reservas de agua. Esto anterior, dificulta la germinación u otras consecuencias en la planta, pues su comportamiento depende del período de crecimiento en que el cultivo se encuentre. Como consecuencia de las condiciones secas presentadas debido a los meses en que se presente el Fenómeno de El Niño, los cultivos disminuyen su producción y desmejoran su calidad.

8.2.2.3 Índice de Ruralidad – IRU

Para el IRU se obtuvo la información de la población del municipio de Popayán del censo general realizado por el Departamento Administrativo Nacional de

Estadística (DANE, 2005), siendo los datos más recientes. El IRU se determinó con la Ecuación 7.15:

$$IRU = \frac{30813}{258653} = 0.12$$

Este resultado indica que hay dominio urbano lo que presenta menor vulnerabilidad, pues a pesar de que el área urbana es donde se localiza la mayor contaminación debido a las actividades antrópicas que ahí se realizan constantemente, también es la zona que se encuentra mejor preparada para atender los períodos de sequía. Además, según la información obtenida del DANE, en la zona urbana es donde se encuentra la mayor cantidad de población del municipio de Popayán. Sin embargo, es importante resaltar que deben promoverse estrategias para prevenir los impactos causados por los períodos de sequía sobre el bienestar y salud de los habitantes no solo de la comunidad urbana si no en las comunidades rurales, entendiendo la significancia de éstas dentro de la interacción social para garantizar la seguridad alimentaria de la región.

8.2.2.4 Índice de Intensidad de la Agricultura - IT

Para el IT, según literatura revisada, no se ha establecido un nivel de tecnificación de los cultivos estudiados, a excepción del café, para el cual se reporta que el 95% son tecnificados y el 5% tradicionales (Café de Colombia, 2013). Por lo anterior, se sugieren rangos de clasificación de la tecnificación según la Tabla 8.8, donde posteriormente se establecieron los valores de UCT de cada cultivo tal como se muestra en la Tabla 8.9.

Tabla 8.8 Nivel de tecnificación.

Nivel de tecnificación	Rango
Alto	>0.70 – 1.0
Medio	>0.35 – 0.70
Bajo	0 – 0.35

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de Uso de Capital y Tecnología UCT se asignaron de acuerdo con la información de tecnificación que las entidades visitadas entregaron de los cultivos del municipio de Popayán.

Tabla 8.9 Uso de capital y tecnología para cada cultivo.

Rubros	Uso de Capital y Tecnología (UCT)
Caña panelera	0.20
Aguacate	0.20
Café	0.95
Mora	0.20
Fique	0.20

Para el Índice de Intensidad de la Agricultura, se utilizó la información de la Tabla 8.9 y el área de los cultivos que se especifica en el índice de fragmentación de tenencia de la tierra. Se calculó el IT según la Ecuación 7.16:

$$IT = \frac{0.20 \times 846Ha + 0.20 \times 33Ha + 0.95 \times 4873Ha + 0.20 \times 143Ha + 0.20 \times 38Ha}{5933Ha}$$

$$IT = \frac{3658,65}{5933} = 0.816$$

Como los niveles de tecnificación asignados en su mayoría son bajos, se pudo establecer que el resultado del IT presentó mayor vulnerabilidad, ya que entre menor tecnificación del cultivo presenta mayor vulnerabilidad. Esto se entiende debido a que parte de los nutrientes que requiere el cultivo son suministrados por el suelo. Sin embargo, muchas veces debido a diferentes factores como monocultivos o manejo inapropiado de quema de pastizales el suelo no tiene la capacidad de proporcionar tales nutrientes y se hace necesario complementarlos con fertilizantes o con tecnología destinada para mejorar la productividad y calidad de los mismos. Así, la tecnificación de los cultivos hace que éstos sean resistentes en mayor grado a las condiciones climáticas de sequía, por ejemplo.

8.2.2.5 Cálculo del Índice de Vulnerabilidad Agrícola - IVA

Finalmente, el IVA se calcula con los valores anteriormente obtenidos (FT, IRS, IRU e IT), según la Ecuación 7.12:

$$IVA = \frac{0.95 + 1 + 0.12 + (1 - 0.816)}{4} = 0.5635$$

El sector agrícola es una de los sectores más impactados por los períodos de sequía, en su mayoría ocasionados por el Fenómeno de El Niño en la región Andina. El IVA encontrado, indica que hay una vulnerabilidad media (0.563) para el sector agrícola (Tabla 7.6), lo cual se debe básicamente a que el índice de ruralidad dio un resultado bajo (0.12) pues la población se concentra más en la zona urbana. Con ese resultado se espera que los efectos sobre el ambiente debido a la vulnerabilidad del sector agrícola se manifiesten en los cultivos dependiendo del estado de los mismos. Dentro de los impactos potenciales que se podrían presentar se tienen los ambientales como: pérdida de biodiversidad, degradación de ecosistemas y hábitat de diferentes especies; menos oferta de agua para necesidades básicas de los cultivos; incremento de mortalidad por plagas y enfermedades sobre cultivos; los impactos sociales de los cuales se destacan estrés físico y emocional en las personas afectadas; conflictos por uso y manejo de agua, conflictos políticos y deficiencia de alimentos, entre otros; los impactos económicos como reducción de la productividad, disminución de ingresos, aumento en costos de irrigación e incremento del riesgo que se presenten incendios (IDEAM, 2006). Estos impactos que debido al cambio climático serán más significativos en períodos de sequía en el sector agrícola contribuyen sin lugar a duda al aumento de la pobreza y la hambruna

en el mundo, además también obliga a las poblaciones a migrar a lugares con mejores condiciones de vida.

Dentro de los índices de fragmentación de tierras, secano, ruralidad e intensidad de la agricultura que son los índices que determinan el IVA, se puede deducir que los índices de secano e intensidad de la agricultura son los únicos en los que se podría realizar acciones para disminuir la vulnerabilidad agrícola del municipio. Por el trabajo de campo se sabe que los sistemas de riego ya están planeados para algunos cultivos. Al implementarse estos sistemas de riego la tecnificación aumentaría permitiendo reducir la vulnerabilidad de los cultivos a períodos secos debido a este factor y por tanto los cultivos secos disminuirían en el área municipal cultivada, así en el IVA se tendría un resultado menor a 0.50.

Este tipo de vulnerabilidad aún se considera que se encuentra en construcción debido a que con el paso del tiempo se han ido agregando índices que permiten que el análisis respecto a qué tan vulnerable es este sector en un área o región específica sea más completa, en pro de garantizar la seguridad alimentaria. Cabe decir que la vulnerabilidad agrícola no solo se debe al cambio climático y fenómenos naturales que se han presentado a lo largo de los años, sino que también hay otras razones que influyen en este resultado, por ejemplo el incremento de la densidad poblacional, el aumento de la erosión y uso inadecuado del suelo, la deforestación, el uso de maquinaria agrícola como rotavator, entre otros.

8.2.3 Índice de Vulnerabilidad de Embalses - IVE

El IVE permitió determinar la vulnerabilidad del embalse Florida II del municipio de Popayán a la variabilidad climática, especialmente el fenómeno de El Niño. Esta metodología se basó en el estudio para determinar la vulnerabilidad y las opciones de adaptación del sector energético colombiano frente al cambio climático, realizado por la Unión Temporal ACON – OPTIM para la Unidad de Planeación Minero Energética en el año 2013.

Debido a las características del embalse Florida II, como la capacidad de almacenamiento, generación de energía y el manejo de la captación que se realiza, siempre se capta el mismo caudal independientemente de las condiciones climáticas que se presenten. Por lo tanto, no se pudo realizar el cálculo del IVE pero sí se puede determinar que la vulnerabilidad del embalse es baja, casi nula. Con el fin de aplicar la metodología se muestra un ejemplo con datos reales en el Anexo C.

8.3 RIESGO A LA SEQUÍA

Una compilación de resultados en cuanto a determinación de la amenaza a la sequía y la vulnerabilidad de los tres elementos propuestos (población, cultivos sistema hidroeléctrico), se resumen en la Tabla 8.10.

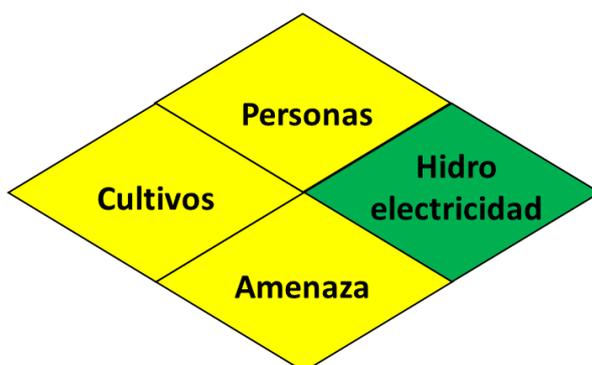
Tabla 8.10 Amenaza y vulnerabilidad a la sequía.

INDICE	PARAMETRO	RESULTADO	COLOR ASIGNADO (*)
IESP	Amenaza a la Sequía	Probable	Amarelo
IVH	Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico	Media	Amarelo
IVA	Vulnerabilidad Agrícola	Media	Amarelo
IVE	Vulnerabilidad de Embalses	Baja	Verde

(*) Según Metodología IDIGER (2012).

Según las Tablas 7.6 y 7.7 sobre clasificación de amenaza y vulnerabilidad, respectivamente, para la metodología de análisis de riesgos por colores, se determinó el nivel de riesgo a la sequía del municipio de Popayán. Esto se realizó por medio de la construcción del Diamante de Riesgo con los resultados mostrados en la Tabla 8.10 y los cuales se observan en la Figura 8.4.

Figura 8.4 Amenaza y Vulnerabilidad usados para determinación del Riesgo a la sequía.



De acuerdo a lo establecido por la metodología IDIGER del año 2012 cuya clasificación del riesgo se encuentra en la Tabla 7.7, se obtuvo como resultado que el nivel de riesgo a la sequía para el municipio de Popayán es medio (color amarillo, Figura 8.4). Esto indica que el municipio es afectado por esta amenaza no modificable, lo que requiere que se genere un nivel de alerta e intervención hacia los factores susceptibles como son la población y los cultivos, para generar mayor resiliencia.

De visitas realizadas a las entidades relacionadas en la Tabla 7.8, se estableció que éstas tienen planeado a mediano plazo implementar sistemas de riego para algunos de los cultivos del municipio. Sin embargo, al considerar el resultado del grado de vulnerabilidad (medio) obtenido con esta metodología, estos sistemas generarían mayor presión sobre el recurso hídrico, pues la demanda de agua del sector agrícola aumentaría gradualmente conforme se vaya incrementado el área a cultivar. Por otro lado, la vulnerabilidad agrícola al implementar estos sistemas disminuiría y al presentarse mayor tecnificación, el IVA también sería significativamente menor. Esto se explica, que aunque los sistemas de riego consuman más agua, el aumento no es tan significativo

comparado con el total de agua necesaria y que una adecuada planificación en el uso del recurso hídrico de la subcuenca, proveería el agua suficiente, ya que los grados de sequía están en relación directa con la relación oferta - demanda para suplir las necesidades en los campos a considerar (doméstico, agrícola e hidroenergético).

También se debe tener en cuenta en escenarios futuros, el aumento de la concentración de la población urbana en el municipio, ya que tiene un impacto significativo sobre la oferta disponible de agua potable.

Según la Oficina del Gestión del Riesgo de Popayán, existe un Plan de Gestión del Riesgo y un Plan Local para la Atención de Emergencias (PLEC), los cuales no se encuentran actualizados y no contemplan un ítem directo que considere a la sequía como una amenaza, sino algunos efectos de la misma como son los incendios forestales (considerados de origen antrópico) y desabastecimiento de agua a las comunidades rurales. Por esta razón, hasta el momento no se han diseñado estrategias de mitigación para responder a este fenómeno creciente.

Como se determinó riesgo medio, se puede decir que se cumple la hipótesis referente a que el fenómeno de El Niño durante las épocas de bajas lluvias afecta la disponibilidad de agua para consumos generales del municipio de Popayán. Sin embargo, aún el fenómeno es medio y pueden trazarse planes para su disminución, mitigación y prevención, principalmente.

9. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN Y/O MITIGACIÓN

Es importante diferenciar las medidas de adaptación y mitigación. La primera en este contexto, se refieren al ajuste que deben hacer los sistemas naturales y/o humanos a los entornos que se van generando o que están en constante cambio a raíz de la variabilidad climática en un territorio, los cuales se deben realizar localmente y la segunda se refiere a las medidas políticas, tecnológicas, ciudadanas y culturales, que buscan compensar, prevenir, corregir, reducir y controlar el uso de los recursos naturales, las cuales deben ser consideradas a nivel global (CIIFEN, s.f.). Un ejemplo de ello son las medidas formuladas en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático en el año 2015 celebrado en París.

A continuación se contemplan algunas medidas adaptativas que pueden implementarse en la ciudad de Popayán.

A nivel de la población:

- Fomentar y fortalecer el conocimiento respecto a variabilidad climática y cambio climático.
- Implementar programas de ahorro y uso eficiente del agua.

- Desarrollar un módulo dentro de las instalaciones educativas sobre el cuidado y protección del recurso hídrico y aprovechamiento de aguas lluvias para diferentes usos.
- Implementar estrategias y metodologías que permitan optimizar el uso del agua en el municipio.

A nivel de institucionalidad:

- Diseño y construcción de reservorios.
- Establecimiento de políticas públicas municipales de conservación del recurso hídrico, enmarcadas dentro del POT.
- Establecimiento de prácticas de producción agrícola tecnificadas y ambientalmente sostenibles.

10. CONCLUSIONES

- Se determinó un grado de amenaza medio a la sequía para el municipio de Popayán debido a que, según el resultado obtenido con la aplicación del IESP, es un fenómeno que ha sucedido con diferentes intensidades en el período estudiado razón por la cual se espera su recurrencia. Además, las épocas que como resultado son clasificadas con sequía extraordinaria, corresponde a los años en los que se reporta la influencia del fenómeno de El Niño y durante los meses tradicionales de menor pluviosidad.
- Se estableció que existe una vulnerabilidad media para el desabastecimiento hídrico. Así, el IRH para la cuenca del río Las Piedras indica que tiene la capacidad de conservar su régimen de caudal y el IUA muestra que la oferta de la cuenca no es suficiente para satisfacer la demanda de consumo para distintas actividades antrópicas que se desarrollan dentro del municipio, considerando la proyección del crecimiento poblacional. Lo anterior se sintetiza en que el río tiene capacidad de regulación buena, pero que las políticas de ordenación del mismo no han sido las adecuadas, por lo que su explotación muestra épocas de exceso.
- El índice agrícola (IVA) determinó que los cultivos son medianamente vulnerables a los períodos de sequía ya que existe dominio de los pequeños agricultores, los cuales tienen menor resiliencia económica y técnica ante este evento. Sus cultivos son de secano, dependen solo de las precipitaciones, por lo cual las épocas de lluvias bajas hacen que su producción y calidad se vean desmejoradas. Además, existe una mayor población urbana con respecto a la rural con lo que el impacto negativo global tiende a ser menor. Finalmente, los pequeños agricultores tienen una tecnificación baja y aún no cuentan con sistemas de riego u otro tipo de tecnología de optimización, siendo este el factor sobre el que se puede realizar acciones para disminuir la vulnerabilidad agrícola.

- Se determinó vulnerabilidad baja de la hidroelectricidad puesto que el embalse Florida II no se ve afectado por la variación de las condiciones climáticas. Esto, ya que es un embalse pequeño según su capacidad de almacenamiento y generación de energía y por el manejo de captación que actualmente realiza la empresa encargada.
- La vulnerabilidad global de los elementos expuestos para este estudio, tiende a ser media – baja, por lo que hay necesidad de aplicar medidas preventivas o de adaptación en aspectos técnicos, ambientales, políticos, educativos, institucionales y sociales ya que esta vulnerabilidad podría aumentar gradualmente.
- En forma preliminar con los factores estudiados, se obtuvo riesgo medio a la sequía en el municipio de Popayán, por lo cual tanto la población como los cultivos son afectados por la disminución de las precipitaciones, especialmente cuando hay incidencia del fenómeno de El Niño.
- Se plantean medidas de mitigación y adaptación de acuerdo a los resultados obtenidos para el área municipal, considerando que ésta tiene una probabilidad alta, tanto de crecimiento poblacional como socioeconómico. Desde el ámbito educativo se plantea, fomentar el conocimiento sobre variabilidad climática e implementación de estrategias que permitan optimizar el uso del agua y a nivel institucional la construcción de reservorios, establecimiento de políticas públicas municipales de conservación del recurso hídrico y tecnificación agrícola ambientalmente sostenible.
- La metodología propuesta en esta investigación para determinar amenaza, vulnerabilidad y riesgo a la sequía en el Municipio de Popayán, puede ser aplicada en cualquier municipio o región en la cual se tenga la información básica necesaria para obtener resultados que permitan, de manera global, determinar el posible riesgo a la sequía al que está expuesto y así establecer, si se requiere, estudios más detallados.

11. RECOMENDACIONES

- Este estudio puede realizarse de forma más detallada dividiendo el área del municipio por subzonas de acuerdo a características topográficas, geográficas, meteorológicas, entre otras; con el fin de que el resultado sea más específico y por lo tanto se tenga una mejor herramienta para la toma de decisiones respecto a la gestión del riesgo municipal para eventos como la sequía.
- Los elementos vulnerables usados en esta metodología pueden variar dependiendo de los más representativos en el área de estudio puesto

que la vulnerabilidad no es una condición estática, sino que tiene influencia de factores sociales, económicos y ambientales. Para el uso de esta metodología en el municipio de Popayán, se recomienda incluir otro elemento expuesto en lugar de hidroelectricidad (vulnerabilidad de embalses), como por ejemplo el sector pecuario, lo que sin duda puede dar un resultado más cercano a la realidad respecto al riesgo a la sequía.

- Para realizar un análisis de los impactos generados por los eventos naturales como la sequía, es necesario incorporar un enfoque social, económico y político, pues la articulación efectiva de las comunidades afectadas garantiza conocimiento empírico. Con éste, se pueden construir medidas a nivel local, que seguramente serán más efectivas que la planificación de un programa en el cual no se tenga en cuenta a líderes comunitarios y comunidades con antecedentes de vulnerabilidad en el municipio. Además, el ser parte de esta planificación da un sentido de apropiación y de comprensión social que puede ser determinantes a la hora de desarrollar medidas de adaptación a la sequía.
- Es importante incluir a la sequía como una amenaza natural en los instrumentos de planificación del municipio como son el Plan de Gestión del Riesgo, el Plan de Atención de Emergencias y el Plan de Ordenamiento Territorial, los cuales permitan la formulación de medidas de intervención prospectiva para la toma de decisiones.
- Se recomienda realizar seguimiento a la sequía en el municipio de Popayán durante los próximos años para establecer claramente el comportamiento de ésta y los efectos que tiene en las personas y cultivos, principalmente.

12. BIBLIOGRAFÍA

ALCALDÍA MUNICIPAL DE POPAYÁN. 2016. Nuestra Geografía. Recuperado de: <http://popayan.gov.co/ciudadanos/popayan/nuestrageografia>.

ALCALDIA DE POPAYAN. 2016. Plan de Desarrollo 2016-2019. Recuperado de: <http://popayan.gov.co/ciudadanos/laalcaldia/planeaciongestionycontrol/planes-de-desarrollo>.

BLAIKIE, P.; CANNON, T.; DAVIS, I. and WISNER, B. 1996. El entorno social, político y económico de los desastres. Vulnerabilidad. Red de estudios sociales en prevención de desastres en América Latina.

BONSAL, B. R.; WHEATON, E. E.; CHIPANSHI, A. C.; LIN, C.; SAUCHYN, D.J. and WEN, L. 2011. Drought Research in Canada: A Review. Atmosphere-Ocean, 49(4): 303-319.

BURBANO GARCÉS, M. y FIGUEROA CASAS, A. 2014. Variabilidad espacio-temporal de aniones (SO_4^{-2} y Cl^{-2}) en el agua lluvia de Popayán, Colombia. Revista Ingenierías Universidad de Medellín. Vol. 14, No. 26 pp. 13-28. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v14n26/v14n26a02.pdf>.

CAFÉ DE COLOMBIA. 2013. Un panorama alentador para Café de Colombia. Edición 30. Recuperado de: http://www.cafedecolombia.com/bb-fnc-es/index.php/comments/un_panorama_alentador_para_cafe_de_colombia/.

CARDONA O.D. 1993. "Manejo Ambiental y Prevención de Desastres: Dos Temas Asociados", en Los Desastres No son Naturales, A. Maskrey (Compilador), LA RED, Tercer Mundo Editores, Bogotá, Colombia.

CARVAJAL, Y.; H. JIMÉNEZ E; MATERÓN, H. 1997. Efectos del fenómeno del Niño en la disponibilidad hídrica y su impacto en la agricultura del país. Artículo para publicación. 14 p. Cali.

CEDELCA S.A. E.S.P. (s.f.). Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. Recuperado de: <http://www.cedelca.com.co/index.php/tramites-usuarios/generacion>.

CENTRO INTERNACIONAL PARA LA INVESTIGACIÓN DEL FENÓMENO DEL NIÑO (CIIFEN). (s.f.). Adaptación y mitigación frente al cambio climático. Recuperado de: http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=102&Itemid=341&lang=es.

CEPAL and BID. 2000. La reducción de la vulnerabilidad frente a los desastres: un tema de desarrollo, 63 p.

CHOW, V.T., MAIDMENT, D.R. Y MAYS, L.W. 1988. Applied Hydrology. McGraw Hill. Capítulo 1115. 361571. New York.

CONGRESO DE COLOMBIA. (24 de abril de 2012) Artículo 4, numeral 3 [Capítulo I]. Política nacional de gestión del riesgo de desastres y Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. [Ley 1523 de 2012]. DO: 48411.

CORPONARIÑO. 2011. Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico Quebrada Miraflores. Recuperado de: <http://www.corponarino.gov.co/expedientes/descontaminacion/porhmirafloresp3.pdf>.

COSUDE, I. 2005. Metodologías para el análisis y manejo de los riesgos naturales. Nicaragua.

CUNY F.C. 1983. Disaster and development amenaza. Editorial Oxford University Press.

Datos climáticos mundiales. (s.f.). Clima Popayán. Recuperado de:

<https://es.climatedata.org/location/3703/>,

DENG, J. 1989. Introduction to Grey System Theory. The Journal of Grey System, Vol. 1, no. 1, pp. 1-24.

DEPARTAMENTO NACIONAL ADMINISTRATIVO DE ESTADÍSTICA (DANE). 2014. CENSO NACIONAL AGROPECUARIO. Recuperado de: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/censo-nacional-agropecuario-2014>.

DEPARTAMENTO NACIONAL ADMINISTRATIVO DE ESTADÍSTICA (DANE). 2005. Censo General. Perfil municipal de Popayán.

EDWARDS, D. C.; and MCKEE, T. B. 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. Climatology Report No. 97 – 2. Colorado State Univ., Ft. Collins, CO. USA. Recuperado de: <http://ccc.atmos.colostate.edu/edwards.pdf>.

FEDERACIÓN INTERNACIONAL DE SOCIEDADES DE LA CRUZ ROJA Y LA MEDIA LUNA ROJA. Recuperado de: <http://www.ifrc.org/es/introduccion/disastermanagement/sobredesastres/definicion--de-peligro/sequias/>.

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS-FOPAE. 2014. Metodologías de Análisis de Riesgo Documento Soporte Guía para elaborar planes de emergencia y contingencias. Recuperado de: <http://www.sire.gov.co/documents/12134/43764/A.3.4+Metodologias+AR.pdf/288b65be-c4d8-4d3f-a5f6-51942324e699>.

GEETA, N.; MOIN, U. and ARVINDER, K. 2014. Grey Relational Effort Analysis Technique Using Regression Methods for Software Estimation. The International Arab Journal of Information Technology, Vol. 11, 437-445. Recuperado de: <http://ccis2k.org/iajit/PDF/vol.11,no.5/5271.pdf>.

GELCER E., FRAISSE C., DZOTSI K., ZHENGJUN H., MENDES R. and ZOTARELLI L. 2013. Effects of El Niño Southern Oscillation on the space–time variability of Agricultural Reference Index for Drought in midlatitudes. Agricultural and Forest Meteorology. Volúmenes 174-175, 110-128. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/acceso.unicauca.edu.co/science/article/pii/S0168192313000348>.

GONZÁLEZ L., ARAGÓN A., MORENO R. 2015. Determinar la vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico del páramo Guerrero y establecer las posibles medidas de adaptación y mitigación. Universidad Católica de Colombia. Recuperado de http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2717/1/PROYECTO_vs_17_1_1_15.pdf.

GRAVITY. 2001. Feasibility Study Report on Global risk and vulnerability index – Trends per year, UNEP, DEWA, GRID. Recuperado de: http://www.grid.unep.ch/products/3_Reports/ew_gravity1.pdf.

GUMBEL, E. J. 2004. Statistics of Extremes. Courier Dover Publications.

IDEAM. 2006. Nota técnica del IDEAM. La Sequía en Colombia Documento Técnico de Respaldo a la Información en la Página Web del IDEAM. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21147/NotaT%C3%A9cnicaSequia.pdf/d9ba4965-f7cd-4a2f-a875-2a38b1d6a941>.

IDEAM. 2007. Modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/440517/Modelo+Institucional+El+Ni%C3%B1o++La+Ni%C3%B1a.pdf>.

IDEAM. 2010. Estudio Nacional del Agua. Recuperado de: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021888/021888.htm>.

IDEAM. (s.f.). Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/1Sitios+turisticos2.pdf/cd4106e9-d608-4c29-91cc-16bee9151ddd>.

JIANG, Q.; YU, F. and ZHAO, Y. 2012. An Analysis of Vulnerability to Agricultural Drought in China Using the Expand Grey Relation Analysis Method. Ingeniería Procedia. Volumen 28, 670-676. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/acceso.unicauca.edu.co/science/article/pii/S1877705812007990>.

JOHNSTONE, D. and CROSS, W.P. 1949. Elements of Applied Hydrology. New York. Ronald Press.

KIM H.; PARQUE J.; YOO J. and KIM, T. 2015. Assessment of drought hazard, vulnerability, and risk: A case study for administrative districts in South Korea. Journal of Hydro-environment Research. Volumen 9 Núm 1. Páginas 28-35. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1570644313000609>.

KITE, G. W. 1988. "Frequency and Risk Analysis in Hydrology", in Water Resources Publication, Littleton, CO.

LOAIZA, C. W. 2015. Evaluación de Sequías Meteorológicas Y Procesos de Adaptación de las Comunidades Agrícolas de la Cuenca Del Río Dagua – Valle del Cauca. Caso de Estudio: Microcuenca La Centella. Recuperado de: <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/xmlui/handle/10893/8003?show=full>.

LUCINDA. (s.f). Care In Desertification Affected Areas. From Science Towards Application. Recuperado de:
https://www.academia.edu/24562241/Land_Care_In_Desertification_Affected_Areas_From_Science_Towards_Application.

LLAMAS, J. 1993. Hidrología General: Principios y Aplicaciones. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco. 635 p.

MAZ, J.; GAO, Q. H. 2001. Calamity Protection and Reduction State of 21th Century in China and Sustainable Development [J]. China Population, Resources and Environment. Volumen 11(2): 122-125.

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J. and KLEIST, D J. 1995. Drought monitoring with multiple time scales. Ninth Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society, Jan 15 - 20, 1995. Dallas TX, pp. 233 - 236. USA.

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J. and KLEIST, D J. 1993. The relationship of drought frequency and duration of time scales. Eighth Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society, Jan 17 - 23, 1993. Anaheim CA, pp. 179 - 186. USA. Recuperado de:
<https://pdfs.semanticscholar.org/c3f7/136d6cb726b295eb34565a8270177c57f40f.pdf>.

MENDOZA, N., y PUCHE, M. (s.f.). Caracterización de la sequía meteorológica en Venezuela. Recuperado de:
<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd29/venezuela.pdf>.

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. 2014. Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas – POMCAS. Anexo A. Recuperado de:
http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Gu%C3%ADa_POMCAS/2_ANEXO_A_Diagn%C3%B3stico.pdf.

MINISTERIO DE AGRICULTURA DEL GOBIERNO DE CHILE, UNIDAD NACIONAL DE EMERGENCIAS AGRÍCOLAS Y GESTIÓN DEL RIESGO AGROCLIMÁTICO, FAO. 2011. Metodología para el desarrollo cartográfico para la evaluación de la vulnerabilidad y riesgo agroclimático en Chile. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-as432s.pdf>.

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. 2000. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2000. Bogotá.

MORENO, M. 2004. Environmental Science Published for Everybody Round the Earth. Universidad Politécnica de Madrid – España. Recuperado de:
<http://www.atmosphere.mpg.de/enid/bdfdf412e2d66fdaf86d87686d2a8433.55a304092d09/1tl.html>.

MURTHY, LAXMAN and SESHASAI. 2005. Geospatial analysis of agricultural drought vulnerability using a composite index based on exposure, sensitivity and adaptive capacity. International Journal of Disaster Risk Reduction. Volumen 12, 163-171. Recuperado de:

<http://www.sciencedirect.com/acceso.unicauca.edu.co/science/article/pii/S2212420915000060>.

NACIONES UNIDAS. 1994. Asamblea General. Documento final-Elaboración de una convención internacional de lucha contra la desertificación en los países afectados por la sequía grave o la desertificación, en particular en África. Recuperado de:

<http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/conventionText/convspa.pdf>.

NACIONES UNIDAS (DPTO DE ASUNTOS HUMANITARIOS, DHA). 1979. Prevención y mitigación de desastres. New York, UNDRO. Volumen 10, 145 pp.

NATIONAL WEATHER SERVICE. 2011. Climates Prediction Center. Tabla Índice Oceánico del Niño (ONI) Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA). Recuperado de:

http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears2011.shtml.

OFICINA DE RIESGO AGROPECUARIO. (s.f.). Recuperado de:

<http://www.ora.gob.ar/BO/MonitoreoMensual/MonitoreoMensualmg/Palmer.pdf>.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO). Recuperado de:

<http://www.fao.org/docrep/meeting/w8500s.htm>.

ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL. 2012. Guía del usuario sobre el Índice normalizado de precipitación (OMM-Nº 1090) (M. Svoboda, M. Hayes y D. Wood), Ginebra. Suiza Recuperado de:

http://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_standardized_precipitation_index_user_guide_es_2012.pdf.

OTERO, J. 2017. Lo que dice el Censo de la tenencia de tierra en el Cauca. El nuevo liberal. Recuperado de: <http://elnuevoliberal.com/lo-que-dice-el-censo-de-la-tenencia-de-tierra-en-el-cauca/#ixzz4oLmIOBml>.

PALACIO, S. K.; RODRÍGUEZ, A. Y. 2014. Análisis de Vulnerabilidad del Sistema Territorial para la Región Afectada por la Sequía del Presente Año en los Departamentos del Meta y Casanare en Colombia. Recuperado de: http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1795/1/An%C3%A1lisisvulnerabilidad-por-sequ%C3%ADa-Meta_Casanare.pdf.

PLANES DE ORDENACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN CUENCAS

HIDROGRÁFICAS – PORHCH. 2017. Especialización en Ingeniería de Recursos Hídricos (E.I.R.H.). Taller índices hídricos de cantidad, Universidad del Cauca. Popayán.

PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL-POT. 2002. Dimensión Ambiental. Capítulo 1. Recuperado de:
<http://crc.gov.co/files/ConocimientoAmbiental/POT/popayan/1%20FINAL%20AMBIENTAL.pdf>.

POVEDA G. 2004. Hidroclimatología de Colombia: Una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diurna. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 28(107):201-222. Recuperado de:
http://www.uninorte.edu.co/documents/266486/0/Poveda_2004.pdf.

POVEDA, G. y ÁLVAREZ, D. 2012. El colapso de la hipótesis de estacionariedad por cambio y variabilidad climática: implicaciones para el diseño hidrológico en ingeniería. En: Revista de Ingeniería. Universidad de Los Andes. págs 65 – 76. Bogotá.

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. 1992. Diccionario de la Lengua Española Madrid: Espasa Calpe, 1992, Tomo II, p. 1.035, 1.562 y 1.798.

RICHARD R. and HEIM J. R. 2002. A Review of Twentieth - Century Drought Indices Used in the United States. Bulletin of the American Meteorological Society, 83 (8): 1149-1165. Recuperado de:
<http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/15200477%282002%29083%3C1149%3AAROTDI%3E2.3.CO%3B2>.

SISTO N.; RAMÍREZ A.; AGUILAR I. and RUEDA, V. 2016. Climate threats, water supply vulnerability and the risk of a water crisis in the Monterrey Metropolitan Area (Northeastern Mexico). Revista Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C. Volumen 91. Página 2-9. Recuperado de:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474706515001011>.

STEDINGER J. R., R. M. VOGEL and E. FOUFOULA-GEORGIU. 1993. "Frequency analysis of extreme events". Maidment, D. R. (ed.), Handbook of Applied Hydrology, McGraw-Hill. Nueva York.

UNIÓN TEMPORAL ACON - OPTIM PARA LA UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA-UPME. 2013. Estudio para determinar la vulnerabilidad y las opciones de adaptación del sector energético colombiano frente al cambio climático. Recuperado de:
http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/vulnerabilidad_opciones_adaptacion_sector_energetico_colombiano_frente_cambio_climatico.pdf

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS (USAC). 2011. Manual de estadística descriptiva. Facultad de Ingeniería. Guatemala. Recuperado de:
http://estadistica.ingenieria.usac.edu.gt/file.php/Manual_E1_PDF.pdf

VELÁSQUEZ, A. y ROSALES, C. 2000. Los desastres en Colombia, una visión desde DesInventar. Documento inédito, reporte de proyecto. 71 p. Cali.

VICENTE SERRANO, S.; BEGUERIA, S.; LORENZO-LACRUZ, J.; CAMARERO, J.; LOPEZ - MORENO, J. and AZORIN - MOLINA, C. (s.f.). Asociación Española de Climatología. Recuperado de: http://aeclim.org/wpcontent/uploads/2016/02/0066_PUSAVIII2012SM_VICENTE.pdf.

VISSMAN, W. and LEWIS, G.L. 2003. Introduction to Hydrology. 5ta Ed. Prentice Hall. NJ, USA.

VILLÓN, M. B. 2002. Hidrología.

WANG H., KUMAR, A. 2015. Assessing the impact of ENSO on drought in the U.S. Southwest with NCEP climate model simulations. Journal of Hydrology. Volumen 526, 30-41. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/acceso.unicauca.edu.co/science/article/pii/S0022169414010233>.

WANIELISTA, M., KERSTER, R., and EAGLIN, R. 1977. Hydrology, water quantity and quality control, 2nd Ed., Wiley. New York.

WILCHES CHAUX, G. 1988. Vulnerabilidad Global. Recuperado de: <http://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/html/cap2.htm>.

XM S.A. E.S.P. 2013. Índice oceánico de El Niño – ONI. Medellín. Recuperado de: [http://informesanuales.xm.com.co/2013/SitePages/operacion/2-8-Anexo-Indice-oceanico-de-El-Ni%C3%B1o-\(ONI\).aspx](http://informesanuales.xm.com.co/2013/SitePages/operacion/2-8-Anexo-Indice-oceanico-de-El-Ni%C3%B1o-(ONI).aspx).

ZABALETA SÁNCHEZ, J. 2010. Kriging: Un método de Interpolación sobre Datos Dispersos. México D.F.

ZARAFSHANI, K.; SHARAFI, L.; AZADI H.; GHOLAMHOSSEIN; HOSSEININIA; MAEYER DE P. AND WITLOX, F. 2012. Drought vulnerability assessment: The case of wheat farmers in Western Iran. Revista Global and Planetary Change. Volumen 98–99, Pagina 122–130. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921818112001762>

ZEKAISEN. 2015. Drought Hazard Mitigation and Risk. Applied Drought Modeling, Prediction, and Mitigation. Chapter Seven 393-459. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/acceso.unicauca.edu.co/science/article/pii/B9780128021767000079>.

ANEXO A

Tabla A1. Cultivos permanentes del municipio de Popayán.

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	PERIODO	CULTIVO	VARIEDAD	AREA SEMBRADA A 31-DIC-2015 (Ha)	AREA EN DESARROLLO EN 2015 (Ha)	AREA COSECHADA EN 2015 (Ha)	ESTADO FISICO DE LA PRODUCCION	VEREDA 1 2015	ÁREA SEMBRADA(%)	VEREDA 2 2015	ÁREA SEMBRADA(%)	VEREDA 3 2015	ÁREA SEMBRADA(%)	VEREDA 4 2015	ÁREA SEMBRADA(%)	VEREDA 5 2015	ÁREA SEMBRADA(%)
Cauca	Popayán	2015	Caña panelera	RD7511 Pijota	844,00	10,00	846,00	Panela	Cerrillo	30,00	Danubio	20,00	Mercedes	15,00	Gualimbio	15,00	San Rafael	20,00
Cauca	Popayán	2015	Aguacate	Hass	43,00	10,00	33,00	Fresco	Los Tendidos	60,00	Julumito	20,00	La Yunga	5,00	San Alfonso	10,00	La Laja	5,00
Cauca	Popayán	2015	Mora	Castilla apinada	143,00		143,00	Fresco	Santa Barabara	70,00	El Hogar	15,00	Poblazon	15,00				
Cauca	Popayán	2015	Café	Castillo-Colombia	5.071,00	198,00	4.873,00	Cereza - Pergamino	Cajete	20,00	Los Tendidos	20,00	La Yunga	20,00	Julumito	20,00	Figueroa	20,00
Cauca	Popayán	2015	Fique	Uña de aguila	38,00		38,00	Fibra	Santa Helena	60,00	Santa Barabara	10,00	Poblazon	10,00	Quintana	10,00	Canelo	10,00

Fuente: Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Fomento Económico del Cauca, 2016.

Tabla A2. Estaciones pluviométricas en el municipio de Popayán.

ESTACION	ESTADO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
Julumito	Activo	2,47	-76,64	1626
Julumito Alertas	Suspendido	2,48	-76,62	1500
Sate	Activo	2,50	-76,64	1470
Pte Carretera Sate	Suspendido	2,50	-76,67	1470
Camp Cedelca	Suspendido	2,47	-76,67	1730
Aeropuerto G.L.V.	Activo	2,45	-76,61	1749
Casa de Máquinas	Suspendido	2,47	-76,58	1975
Bodega Cedelca	Suspendido	2,48	-76,58	2020
Pte Carretera Aguacolorada	Suspendido	2,45	-76,55	2005
Pte Carretera El Tambo	Activo	2,48	-76,73	1740
La Travieza	Suspendido	2,38	-76,65	1978
Pte Carretera Piedras	Activo	2,45	-76,51	2000
Bocatoma Florida	Activo	2,43	-76,51	1890
Bocatoma Vinagre	Activo	2,42	-76,51	2000
Arrayanales Automático	Activo	2,45	-76,44	2470
Totoró	Activo	2,54	-76,42	2500
Puracé	Activo	2,38	-76,46	2630
San Juan Puracé	Activo	2,35	-76,50	3280
Saladito Timbío	Suspendido	2,33	-76,62	1820
Paispamba Sotará	Suspendido	2,30	-76,62	2850
Salinas Sotará	Activo	2,29	-76,59	2450
Rosas	Activo	2,26	-76,74	1750
Pte Carretera Quilcacé	Activo	2,33	76,85	800
Quilcace Tambo	Activo	2,33	-76,85	920
Pte Carretera Timbío	Activo	2,36	-76,85	960
Pte Carretera Popayán	Activo	2,54	-76,56	1726
Venta de Cajibío	Activo	2,58	-76,56	1850
El Rosario	Activo	2,61	-76,76	1800
El Cortijo	Activo	2,62	-76,36	2630
Silvia Pta Eléctrica	Activo	2,62	-76,35	2540
Pte Carretera Piendamó	Activo	2,63	-76,52	1740
Piendamó	Activo	2,64	-76,54	1800
Tunía	Activo	2,67	-76,53	1800
Laguna Cajibío	Activo	2,63	-76,78	1850
Párraga Rosas	Activo	2,23	-76,79	1288
La Sierra	Activo	2,19	-76,75	1870
Gamboa Tambo	Activo	2,63	-76,85	2179
Dinde Cajibío	Activo	2,70	-76,75	1300
Coconuco Puracé	Activo	2,34	-76,41	2400
La Florida Popayán	Suspendido	2,43	-76,37	1980
Polindara Totoró	Activo	2,49	-76,40	2470

Fuente: IDEAM, 2017.

Tabla A3. Precipitación media mensual de estaciones del municipio de Popayán del año 1994.

PRECIPITACION MEDIA MENSUAL MULTIANUAL (mm)

ESTACIONES DE LA MESETA DE POPAYAN

MESES	BODEGA CEDELCA	SATE	POPAYAN	AEROPUERTO G.L.V.	LA FLORIDA	PARRAGA	ROSAS	EL ROSARIO	GAMBOA	VENTA DE CAJIBIO	FLORIDA LA GRANJA	TUNIA	INSTITUTO TECNICO NAL	SUAREZ	EL TAMBO	MUNCHIQUE	TAMBO M. MEJIA	PURACE	COCONUCO	SILVIA PTA ELECTRICA	PITAYO
Enero	140,2	197,7	181,4	189,2	168,2	168,7	209,6	246,4	229,2	237,1	130,9	184,9	108	168	137	263	154	164	140	117	134,7
Febrero	159,7	179,1	170,1	167	159,5	158,5	210,9	229,5	201,7	235	157,5	228,1	153	237	145	253	160	165	159	111,8	143,2
Marzo	144,2	192,6	167,6	195,7	188	159,3	190,8	253,9	224,1	244,2	145,6	227,5	173	272	147	271	137	189	211	125,3	185,4
Abril	160,8	196,3	173,6	195,4	191,4	193,1	229,9	263,2	248,4	250,4	199,3	173,1	221	334	198	323	199	241	233	145,6	213,9
Mayo	115,7	149,4	149,8	165	153,3	157,4	136,5	240,6	237,1	190,3	154,1	165,7	146	306	160	260	132	160	193	105,4	164,1
Junio	81,1	87,3	86,4	84	95,2	69,6	80,2	158,4	115,1	100,6	112,7	68,8	92	215	101	163	72	116	89	48,2	63,5
Julio	47	73,2	49,5	44,1	43,2	48,3	37	97,2	88	55,5	84,6	54,9	62	130	70	89	48	124	63	26	42,7
Agosto	47,8	84,6	60,7	46,4	49,6	60,5	65	110,5	109,2	69,6	80	46,8	77	155	79	109	64	124	76	21,5	66,5
Septiembre	108,4	146,6	107,9	111,4	99,7	116,5	110,3	187,9	207,9	139,9	110,9	124,4	110	236	131	193	116	130	103	52,2	111,8
Octubre	187,6	267,7	257,5	280,8	268	218,2	349,1	316,2	323,5	245	219,8	157	224	351	267	428	296	295	254	187,5	260,3
Noviembre	315,1	326,4	314,7	342,5	287,9	271,5	413,8	310,4	383,9	284,4	260,2	274,3	247	402	300	501	343	360	412	202,4	245,9
Diciembre	204,5	265,1	243,7	268,2	267,6	215,3	328,7	296,4	295,4	259,2	256,2	393,5	155	259	229	359	245	268	215	157,1	202,1
	1712,1	2166	1962,9	2089,7	1971,6	1836,9	2361,8	2710,6	2663,5	2311,2	1911,8	2099	1768	3065	1964	3212	1966	2336	2148	1300	1834,1

Fuente: IDEAM, 1995.

Tabla A4. Registros de precipitación media mensual de las estaciones Aeropuerto G.L.V. y Saté del municipio de Popayán.

AÑOS	SATE	AEROPUERTO	PROMEDIO
1971	369	404	386,5
1971	294	305	299,5
1971	223	209	216
1971	211	173,1	192,05
1971	264	262	263
1971	66	55	60,5
1971	52	34	43
1971	80	82	81
1971	215	54	134,5
1971	322,5	345	333,75
1971	256	267	261,5
1971	155,5	148	151,75
1972	225	241	233
1972	95,5	154	124,75
1972	227	191	209
1972	205,5	276,9	241,2
1972	130	117	123,5
1972	56,5	100	78,25
1972	44,5	13	28,75
1972	107	117	112
1972	119	146	132,5
1972	231	301,2	266,1
1972	292	277,4	284,7
1972	194	164,2	179,1
1973	136	80	108
1973	64	172	118
1973	108	71	89,5
1973	107	154,3	130,65
1973	196	191,6	193,8
1973	170	141,9	155,95
1973	280	231,7	255,85
1973	180	177,9	178,95
1973	139	165,4	152,2
1973	352	263,6	307,8
1973	306	329	317,5
1973	332	291,1	311,55
1974	257	254,5	255,75
1974	304	242,1	273,05
1974	231	338,2	284,6
1974	170	69,2	119,6

1974	141	141,9	141,45
1974	102	78,7	90,35
1974	151	28,5	89,75
1974	112	55,2	83,6
1974	190	100,7	145,35
1974	277	196	236,5
1974	441	373,5	407,25
1974	237	254,3	245,65
1975	209	112	160,5
1975	330	266,2	298,1
1975	168	196,4	182,2
1975	276	216,5	246,25
1975	262	237,3	249,65
1975	179,8	97,4	138,6
1975	161,2	135,8	148,5
1975	236	76,9	156,45
1975	187	134,3	160,65
1975	232	201,7	216,85
1975	554	434,2	494,1
1975	526	512,9	519,45
1976	240	137,2	188,6
1976	252	221,9	236,95
1976	413	315,7	364,35
1976	151	233,4	192,2
1976	27	112,8	69,9
1976	112	42,2	77,1
1976	0	0,5	0,25
1976	9	21	15
1976	85	144,4	114,7
1976	376	278,7	327,35
1976	246,3	228,6	237,45
1976	134	133,1	133,55
1977	143	86,2	114,6
1977	44	78,9	61,45
1977	114	158,4	136,2
1977	77	208,8	142,9
1977	89	189,7	139,35
1977	84	114,4	99,2
1977	6	10,4	8,2
1977	36	49,3	42,65
1977	95	250,5	172,75
1977	260	241,7	250,85
1977	148	328,9	238,45

1977	252	239,5	245,75
1978	55	125,2	90,1
1978	106	139,1	122,55
1978	118	109,1	113,55
1978	185,9	247,3	216,6
1978	145	144,3	144,65
1978	49	54,7	51,85
1978	53	34,8	43,9
1978	15	31,5	23,25
1978	138	85,5	111,75
1978	250	224,9	237,45
1978	314	309,2	311,6
1978	343	413,3	378,15
1979	186	240,1	213,05
1979	172	144,3	158,15
1979	193	252,6	222,8
1979	193	196,3	194,65
1979	113	169,6	141,3
1979	62	13,6	37,8
1979	115	66,7	90,85
1979	150	160	155
1979	179	107,6	143,3
1979	259	233,7	246,35
1979	294	332,4	313,2
1979	242	260,1	251,05
1980	196,2	237,3	216,75
1980	167,2	287,6	227,4
1980	198,2	130,8	164,5
1980	190	138,2	164,1
1980	152,4	65,3	108,85
1980	89,6	123	106,3
1980	65,8	14,3	40,05
1980	71,8	36,2	54
1980	134,4	81,7	108,05
1980	252,7	234,5	243,6
1980	283,2	164,6	223,9
1980	245,2	243,8	244,5
1981	192	105,1	148,55
1981	140	212,6	176,3
1981	177	232	204,5
1981	222	209,9	215,95
1981	192	271,4	231,7
1981	40	176,5	108,25

1981	169	38,8	103,9
1981	79	54	66,5
1981	62	31,6	46,8
1981	150	230,4	190,2
1981	304	505,3	404,65
1981	148	316	232
1982	194	445,8	319,9
1982	220	223,1	221,55
1982	301	229,4	265,2
1982	131	225,4	178,2
1982	212	335,3	273,65
1982	11	44	27,5
1982	31	41,4	36,2
1982	6	18,8	12,4
1982	115	91,4	103,2
1982	231	203,1	217,05
1982	282	266,2	274,1
1982	205	258,5	231,75
1983	68	104,8	86,4
1983	92	96	94
1983	280	389,9	334,95
1983	250	278,8	264,4
1983	89	115,3	102,15
1983	41	21,7	31,35
1983	1	14,5	7,75
1983	15	7,9	11,45
1983	11	36,7	23,85
1983	203	207,9	205,45
1983	248	244,6	246,3
1983	263	344,3	303,65
1984	251	364,8	307,9
1984	118	156,6	137,3
1984	160	197,9	178,95
1984	85	169,9	127,45
1984	152	149,7	150,85
1984	101	89,3	95,15
1984	74	71,3	72,65
1984	115	131,3	123,15
1984	265	230,6	247,8
1984	220	311,7	265,85
1984	221	395,3	308,15
1984	306	249,2	277,6
1985	250	324,3	287,15

1985	54	83,7	68,85
1985	196	256,6	226,3
1985	261	235,1	248,05
1985	159	155,2	157,1
1985	114	60,4	87,2
1985	47	33,6	40,3
1985	120	162,2	141,1
1985	148	176,8	162,4
1985	407	332,5	369,75
1985	270	351,3	310,65
1985	168	161,7	164,85
1986	180	235,0	207,5
1986	232	199,8	215,9
1986	169	140,6	154,8
1986	295	265,3	280,15
1986	218	143,0	180,5
1986	58	53,7	55,85
1986	2	9,3	5,65
1986	82	44,0	63
1986	222	149,7	185,85
1986	471	487,9	479,45
1986	342	303,3	322,65
1986	128	129,9	128,95
1987	103	117,0	110
1987	41	39,6	40,3
1987	182	153,5	167,75
1987	153	168,1	160,55
1987	215	272,7	243,85
1987	28	50,5	39,25
1987	81	65,2	73,1
1987	44	22,2	33,1
1987	120	156,2	138,1
1987	297	292,0	294,5
1987	248	274,1	261,05
1987	182	114,5	148,25
1988	140	152,9	146,45
1988	245	132,6	188,8
1988	99	179,4	139,2
1988	292	305,2	298,6
1988	123	100,7	111,85
1988	324	201,3	262,65
1988	105	90,8	97,9
1988	134	106,3	120,15

1988	213	95,1	154,05
1988	176	223,1	199,55
1988	657	520,9	588,95
1988	343	222,2	282,6
1989	316	150,4	233,2
1989	295	265,8	280,4
1989	233	296,1	264,55
1989	162	66,9	114,45
1989	98	92,1	95,05
1989	140	119,6	129,8
1989	62	58,1	60,05
1989	55	54,9	54,95
1989	138	99,3	118,65
1989	190	174,2	182,1
1989	252	355,4	303,7
1989	376	273,3	324,65
1990	237	121,6	179,3
1990	246	299,3	272,65
1990	225	196,9	210,95
1990	334	236,9	285,45
1990	60	182,7	121,35
1990	60	4,0	32
1990	88	60,4	74,2
1990	61	13,4	37,2
1990	160	136,5	148,25
1990	341	317,5	329,25
1990	278	275,4	276,7
1990	327	207,8	267,4
1991	275	116,9	195,95
1991	121	53,0	87
1991	366	436,1	401,05
1991	182	141,2	161,6
1991	165	133,7	149,35
1991	152	65,6	108,8
1991	46	37,0	41,5
1991	38	0,5	19,25
1991	179	95,2	137,1
1991	67	99,7	83,35
1991	333	467,9	400,45
1991	390	343,3	366,65
1992	148	182,7	165,35
1992	172	199,2	185,6
1992	62	115,3	88,65

1992	165	229,7	197,35
1992	104	84,1	94,05
1992	43	12,5	27,75
1992	28	30,4	29,2
1992	55	53,0	54
1992	130	189,2	159,6
1992	109	78,2	93,6
1992	442	464,1	453,05
1992	204	356,3	280,15
1993	292	273,6	282,8
1993	285	207,9	246,45
1993	293	257,0	275
1993	251	192,3	221,65
1993	189	276,9	232,95
1993	15	32,9	23,95
1993	31	34,8	32,9
1993	17	30,9	23,95
1993	153	174,2	163,6
1993	185	200,9	192,95
1993	34,3	354,2	194,25
1993	37,2	193,4	115,3
1994	31,9	156,8	94,35
1994	15,5	70,0	42,75
1994	26,4	168,8	97,6
1994	52,6	196,0	124,3
1994	229	111,5	170,25
1994	84	70,2	77,1
1994	57	34,4	45,7
1994	0	1,4	0,7
1994	88	110,4	99,2
1994	310	300,2	305,1
1994	430	236,0	333
1994	108	131,5	119,75
1995	77	76,6	76,8
1995	135	78,6	106,8
1995	158	174,8	166,4
1995	242	219,1	230,55
1995	175	121,8	148,4
1995	116	128,8	122,4
1995	75	110,9	92,95
1995	72	97,5	84,75
1995	65	35,5	50,25
1995	293	239,2	266,1

1995	249	184,6	216,8
1995	448	354,9	401,45
1996	316	324,6	320,3
1996	226	198,8	212,4
1996	267	336,8	301,9
1996	206	262,8	234,4
1996	164	172,3	168,15
1996	131	91,8	111,4
1996	47	36,4	41,7
1996	83	18,4	50,7
1996	75	94,6	84,8
1996	458	331,1	394,55
1996	200	252,9	226,45
1996	334	311,2	322,6
1997	402	225,1	313,55
1997	119	186,6	152,8
1997	346	260,6	303,3
1997	157	168,6	162,8
1997	91	82,3	86,65
1997	239	88,1	163,55
1997	1	4,2	2,6
1997	0	0,0	0
1997	117	92,6	104,8
1997	139	148,3	143,65
1997	217	176,6	196,8
1997	163	69,1	116,05
1998	27	37,3	32,15
1998	183	121,1	152,05
1998	158	151,9	154,95
1998	127	166,7	146,85
1998	127	180,4	153,7
1998	30	62,0	46
1998	43	72,4	57,7
1998	148	115,2	131,6
1998	196	79,5	137,75
1998	380	366,4	373,2
1998	474	401,5	437,75
1998	349	255,3	302,15
1999	226	241,6	233,8
1999	357	297,7	327,35
1999	287	301,4	294,2
1999	330	256,8	293,4
1999	132	193,5	162,75

1999	123	166,4	144,7
1999	55	25,6	40,3
1999	49	53,3	51,15
1999	236	249,0	242,5
1999	293	231,7	262,35
1999	570	458,5	514,25
1999	460	462,3	461,15
2000	361	340,1	350,55
2000	330	350,4	340,2
2000	223	230,7	226,85
2000	217	195,4	206,2
2000	182	186,5	184,25
2000	149	100,4	124,7
2000	127	146,4	136,7
2000	66	64,5	65,25
2000	78	143,6	110,8
2000	264,2	159,5	211,85
2000	320,7	293,7	307,2
2000	224	238,1	231,05
2001	158	180,2	169,1
2001	178	189,6	183,8
2001	136	118,7	127,35
2001	59	93,5	76,25
2001	141	95,4	118,2
2001	116	68,8	92,4
2001	63	52,3	57,65
2001	0	0,5	0,25
2001	200	116,5	158,25
2001	256	187,4	221,7
2001	451	412,6	431,8
2001	328	335,3	331,65
2002	242	266,2	254,1
2002	106	98,9	102,45
2002	131	212,0	171,5
2002	299	252,2	275,6
2002	76	74,8	75,4
2002	13	39,2	26,1
2002	48	10,9	29,45
2002	15	16,0	15,5
2002	56	70,1	63,05
2002	304	177,6	240,8
2002	54	50,3	52,15
2002	282	203,6	242,8

2003	133	119,6	126,3
2003	103	127,2	115,1
2003	131	190,4	160,7
2003	105	154,7	129,85
2003	99	100,8	99,9
2003	114	106,2	110,1
2003	28	23,4	25,7
2003	57	25,9	41,45
2003	84	43,3	63,65
2003	278	323,1	300,55
2003	270	213,4	241,7
2003	165	165,5	165,25
2004	323	431,7	377,35
2004	82	111,8	96,9
2004	102	78,5	90,25
2004	107	123,2	115,1
2004	170	206,5	188,25
2004	11	19,3	15,15
2004	124	68,6	96,3
2004	7	5,5	6,25
2004	143	190,0	166,5
2004	363	246,3	304,65
2004	239	250,7	244,85
2004	199	408,2	303,6
2005	244	226,3	235,15
2005	192	157,8	174,9
2005	141	188,8	164,9
2005	178	204,6	191,3
2005	88	61,6	74,8
2005	30	46,7	38,35
2005	74	37,9	55,95
2005	89	41,6	65,3
2005	169	84,3	126,65
2005	372	454,1	413,05
2005	445	385,4	415,2
2005	465	413,9	439,45
2006	205	167,1	186,05
2006	188	146,7	167,35
2006	212	231,8	221,9
2006	188,1	323,0	255,55
2006	219	160,3	189,65
2006	193	45,3	119,15
2006	70	71,2	70,6

2006	140	13,0	76,5
2006	95	39,5	67,25
2006	277	206,8	241,9
2006	311	293,5	302,25
2006	373	229,9	301,45
2007	91,8	107,4	99,6
2007	122	151,4	136,7
2007	271	183,1	227,05
2007	286	300,3	293,15
2007	246	290,5	268,25
2007	23	34,7	28,85
2007	39,1	69,1	54,1
2007	24	43,0	33,5
2007	37	35,6	36,3
2007	466,9	431,6	449,25
2007	420	402,5	411,25
2007	499	374,2	436,6
2008	457	385,5	421,25
2008	179	219,9	199,45
2008	287	221,9	254,45
2008	259	204,1	231,55
2008	273	210,3	241,65
2008	113,2	129,1	121,15
2008	73	79,5	76,25
2008	208	206,5	207,25
2008	81	101,9	91,45
2008	374	421,4	397,7
2008	471	454,6	462,8
2008	338	298,7	318,35
2009	344	216,9	280,45
2009	101	94,0	97,5
2009	389	260,1	324,55
2009	104	122,5	113,25
2009	90	230,8	160,4
2009	41	80,2	60,6
2009	17	35,7	26,35
2009	78	29,1	53,55
2009	30	50,4	40,2
2009	346	241,6	293,8
2009	431	241,6	336,3
2009	416	391,4	403,7
2010	63	42,8	52,9
2010	203	150,7	176,85

2010	33	25,5	29,25
2010	300	227,7	263,85
2010	233	138,6	185,8
2010	155	144,9	149,95
2010	249	145,5	197,25
2010	70	80,8	75,4
2010	108	105,3	106,65
2010	257	338,9	297,95
2010	305	299,5	302,25
2010	247	224,9	235,95
2011	408	191,8	299,9
2011	309	419,5	364,25
2011	229	381,6	305,3
2011	267	235,4	251,2
2011	271	239,5	255,25
2011	73	84,1	78,55
2011	108	69,1	88,55
2011	54	67,5	60,75
2011	66	125,4	95,7
2011	354	309,1	331,55
2011	460	483,8	471,9
2011	412	397,1	404,55
2012	441	372,1	406,55
2012	193	200,8	196,9
2012	121	128,3	124,65
2012	216	250,2	233,1
2012	38	79,9	58,95
2012	38	56,9	47,45
2012	2	4,7	3,35
2012	14	43,2	28,6
2012	27	9,1	18,05
2012	308	360,3	334,15
2012	306	314,5	310,25
2012	148	178,0	163
2013	211	187,9	199,45
2013	131	114,2	122,6
2013	218	147,6	182,8
2013	147	136,3	141,65
2013	226	233,4	229,7
2013	47	46,4	46,7
2013	82	28,4	55,2
2013	52	50,8	51,4
2013	127	110,3	118,65

2013	232	172,2	202,1
2013	216	315,1	265,55
2013	263	372,7	317,85
2014	279	262,2	270,6
2014	286	329,1	307,55
2014	303	410,8	356,9
2014	117	146,6	131,8
2014	182	175,8	178,9
2014	39	43,8	41,4
2014	36	8,2	22,1
2014	42	19,8	30,9
2014	124	95,8	109,9
2014	241	276,6	258,8
2014	333	362,2	347,6
2014	233	340,4	286,7
2015	77	111,3	94,15
2015	172	242,0	207
2015	248	220,1	234,05
2015	151	171,2	161,1
2015	120	102,9	111,45
2015	34	37,3	35,65
2015	14	69,1	41,55
2015	1	5,6	3,3
2015	78	42,3	60,15
2015	197	183,7	190,35
2015	215	123,0	169
2015	37	327,3	182,15
2016	196	134,8	165,4
2016	88	115,2	101,6
2016	178	162,2	170,1
2016	181	283,2	232,1
2016	305	166,8	235,9
2016	42	47,5	44,75
2016	55	36,2	45,6
2016	19	8,4	13,7
2016	89	104,4	96,7
2016	314	368,1	341,05
2016	313	320,6	316,8
2016	393	274,4	333,7

Tabla A5. Cálculo de la mediana mensual histórica de las precipitaciones del período comprendido entre 1971 y 2016.

AÑO	MES											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1971	387	300	216	192	263	61	43	81	135	334	262	152
1972	233,0	125	209	241	124	78	29	112	133	266	285	179
1973	108	118	90	131	194	156	256	179	152	308	318	312
1974	256	273	285	120	141	90	90	84	145	237	407	246
1975	161	298	182	246	250	139	149	156	161	217	494	519
1976	189	237	364	192	70	77	0	15	115	327	237	134
1977	115	61	136	143	139	99	8	43	173	251	238	246
1978	90	123	114	217	145	52	44	23	112	237	312	378
1979	213	158	223	195	141	38	91	155	143	246	313	251
1980	217	227	165	164	109	106	40	54	108	244	224	245
1981	149	176	205	216	232	108	104	67	47	190	405	232
1982	320	222	265	178	274	28	36	12	103	217	274	232
1983	86	94	335	264	102	31	8	11	24	205	246	304
1984	308	137	179	127	151	95	73	123	248	266	308	278
1985	287	69	226	248	157	87	40	141	162	370	311	165
1986	207,5	215,9	154,8	280,2	180,5	55,9	5,7	63,0	185,9	479,5	322,7	129,0
1987	110,0	40,3	167,8	160,6	243,9	39,3	73,1	33,1	138,1	294,5	261,1	148,3
1988	146,5	188,8	139,2	298,6	111,9	262,7	97,9	120,2	154,1	199,6	589,0	282,6
1989	233,2	280,4	264,6	114,5	95,1	129,8	60,1	55,0	118,7	182,1	303,7	324,7
1990	179,3	272,7	211,0	285,5	121,4	32,0	74,2	37,2	148,3	329,3	276,7	267,4
1991	196,0	87,0	401,1	161,6	149,4	108,8	41,5	19,3	137,1	83,4	400,5	366,7
1992	165,4	185,6	88,7	197,4	94,1	27,8	29,2	54,0	159,6	93,6	453,1	280,2
1993	282,8	246,5	275,0	221,7	233,0	24,0	32,9	24,0	163,6	193,0	194,3	115,3
1994	94,4	42,8	97,6	124,3	170,3	77,1	45,7	0,7	99,2	305,1	333,0	119,8
1995	76,8	106,8	166,4	230,6	148,4	122,4	93,0	84,8	50,3	266,1	216,8	401,5
1996	320,3	212,4	301,9	234,4	168,2	111,4	41,7	50,7	84,8	394,6	226,5	322,6
1997	313,6	152,8	303,3	162,8	86,7	163,6	2,6	0,0	104,8	143,7	196,8	116,1
1998	32,2	152,1	155,0	146,9	153,7	46,0	57,7	131,6	137,8	373,2	437,8	302,2
1999	233,8	327,4	294,2	293,4	162,8	144,7	40,3	51,2	242,5	262,4	514,3	461,2
2000	350,6	340,2	226,9	206,2	184,3	124,7	136,7	65,3	110,8	211,9	307,2	231,1
2001	169,1	183,8	127,4	76,3	118,2	92,4	57,7	0,3	158,3	221,7	431,8	331,7
2002	254,1	102,5	171,5	275,6	75,4	26,1	29,5	15,5	63,1	240,8	52,2	242,8
2003	126,3	115,1	160,7	129,9	99,9	110,1	25,7	41,5	63,7	300,6	241,7	165,3
2004	377,4	96,9	90,3	115,1	188,3	15,2	96,3	6,3	166,5	304,7	244,9	303,6
2005	235,2	174,9	164,9	191,3	74,8	38,4	56,0	65,3	126,7	413,1	415,2	439,5
2006	186,1	167,4	221,9	255,6	189,7	119,2	70,6	76,5	67,3	241,9	302,3	301,5
2007	99,6	136,7	227,1	293,2	268,3	28,9	54,1	33,5	36,3	449,3	411,3	436,6
2008	421,3	199,5	254,5	231,6	241,7	121,2	76,3	207,3	91,5	397,7	462,8	318,4
2009	280,5	97,5	324,6	113,3	160,4	60,6	26,4	53,6	40,2	293,8	336,3	403,7
2010	52,9	176,9	29,3	263,9	185,8	150,0	197,3	75,4	106,7	298,0	302,3	236,0
2011	299,9	364,3	305,3	251,2	255,3	78,6	88,6	60,8	95,7	331,6	471,9	404,6
2012	406,6	196,9	124,7	233,1	59,0	47,5	3,4	28,6	18,1	334,2	310,3	163,0
2013	199,5	122,6	182,8	141,7	229,7	46,7	55,2	51,4	118,7	202,1	265,6	317,9
2014	270,6	307,6	356,9	131,8	178,9	41,4	22,1	30,9	109,9	258,8	347,6	286,7
2015	94,2	207,0	234,1	161,1	111,5	35,7	41,6	3,3	60,2	190,4	169,0	182,2
2016	165,4	101,6	170,1	232,1	235,9	44,8	45,6	13,7	96,7	341,1	316,8	333,7
Total General	6580,4	5602,4	6392,9	6214,7	4975,6	2526,2	1778,1	1553,4	3454,4	8630,9	10114,7	8734,9
Mediana	203,5	175,6	206,8	196,0	155,4	77,7	45,7	52,5	116,7	264,1	309,2	278,9

Tabla A6. Cálculo de la anomalía pluviométrica (Api), anomalía pluviométrica acumulada (APAi) y el IESP del período comprendido entre 1971 y 2016.

MEDIANAS MENSUALES	AÑO	MES	PREFINAL	Api	APAi	IESP
203,48	1971	1	386,5	183,03	183,03	1,72938
175,60	1971	2	299,5	123,90	306,925	1,99059
206,75	1971	3	216	9,25	316,175	2,01009
196,00	1971	4	192,05	-3,95	-3,95	1,33519
155,40	1971	5	263	107,60	103,65	1,56203
77,68	1971	6	60,5	-17,18	-17,175	1,30731
45,65	1971	7	43	-2,65	-19,825	1,30172
52,48	1971	8	81	28,53	8,7	1,36186
116,68	1971	9	134,5	17,83	26,525	1,39944
264,10	1971	10	333,75	69,65	96,175	1,54628
309,20	1971	11	261,5	-47,70	-47,7	1,24295
278,88	1971	12	151,75	-127,13	-174,825	0,97494
203,48	1972	1	233	29,53	-145,3	1,03719
175,60	1972	2	124,75	-50,85	-196,15	0,92999
206,75	1972	3	209	2,25	-193,9	0,93473
196,00	1972	4	241,2	45,20	-148,7	1,03002
155,40	1972	5	123,5	-31,90	-180,6	0,96277
77,68	1972	6	78,25	0,58	-180,025	0,96398
45,65	1972	7	28,75	-16,90	-196,925	0,92835
52,48	1972	8	112	59,53	-137,4	1,05384
116,68	1972	9	132,5	15,83	-121,575	1,08721
264,10	1972	10	266,1	2,00	-119,575	1,09142
309,20	1972	11	284,7	-24,50	-144,075	1,03977
278,88	1972	12	179,1	-99,78	-243,85	0,82942
203,48	1973	1	108	-95,48	-339,325	0,62814
175,60	1973	2	118	-57,60	-396,925	0,50671
206,75	1973	3	89,5	-117,25	-514,175	0,25951
196,00	1973	4	130,65	-65,35	-579,525	0,12174
155,40	1973	5	193,8	38,40	-541,125	0,20270
77,68	1973	6	155,95	78,28	-462,85	0,36772
45,65	1973	7	255,85	210,20	-252,65	0,81087
52,48	1973	8	178,95	126,48	-126,175	1,07751
116,68	1973	9	152,2	35,53	-90,65	1,15240
264,10	1973	10	307,8	43,70	-46,95	1,24453
309,20	1973	11	317,5	8,30	-38,65	1,26203
278,88	1973	12	311,55	32,68	-5,975	1,33092
203,48	1974	1	255,75	52,28	46,3	1,44113
175,60	1974	2	273,05	97,45	143,75	1,64657
206,75	1974	3	284,6	77,85	221,6	1,81070
196,00	1974	4	119,6	-76,40	-76,4	1,18245
155,40	1974	5	141,45	-13,95	-90,35	1,15304
77,68	1974	6	90,35	12,68	-77,675	1,17976
45,65	1974	7	89,75	44,10	-33,575	1,27273

52,48	1974	8	83,6	31,13	-2,45	1,33835
116,68	1974	9	145,35	28,68	26,225	1,39880
264,10	1974	10	236,5	-27,60	-27,6	1,28533
309,20	1974	11	407,25	98,05	70,45	1,49204
278,88	1974	12	245,65	-33,23	-33,225	1,27347
203,48	1975	1	160,5	-42,98	-76,2	1,18287
175,60	1975	2	298,1	122,50	46,3	1,44113
206,75	1975	3	182,2	-24,55	-24,55	1,29176
196,00	1975	4	246,25	50,25	25,7	1,39770
155,40	1975	5	249,65	94,25	119,95	1,59640
77,68	1975	6	138,6	60,93	180,875	1,72484
45,65	1975	7	148,5	102,85	283,725	1,94167
52,48	1975	8	156,45	103,98	387,7	2,16088
116,68	1975	9	160,65	43,98	431,675	2,25359
264,10	1975	10	216,85	-47,25	-47,25	1,24390
309,20	1975	11	494,1	184,90	137,65	1,63371
278,88	1975	12	519,45	240,58	378,225	2,14090
203,48	1976	1	188,6	-14,88	-14,875	1,31216
175,60	1976	2	236,95	61,35	46,475	1,44150
206,75	1976	3	364,35	157,60	204,075	1,77375
196,00	1976	4	192,2	-3,80	-3,8	1,33550
155,40	1976	5	69,9	-85,50	-89,3	1,15525
77,68	1976	6	77,1	-0,58	-89,875	1,15404
45,65	1976	7	0,25	-45,40	-135,275	1,05832
52,48	1976	8	15	-37,48	-172,75	0,97932
116,68	1976	9	114,7	-1,98	-174,725	0,97515
264,10	1976	10	327,35	63,25	-111,475	1,10850
309,20	1976	11	237,45	-71,75	-183,225	0,95723
278,88	1976	12	133,55	-145,33	-328,55	0,65086
203,48	1977	1	114,6	-88,88	-417,425	0,46349
175,60	1977	2	61,45	-114,15	-531,575	0,22283
206,75	1977	3	136,2	-70,55	-602,125	0,07410
196,00	1977	4	142,9	-53,10	-655,225	-0,03785
155,40	1977	5	139,35	-16,05	-671,275	-0,07169
77,68	1977	6	99,2	21,53	-649,75	-0,02631
45,65	1977	7	8,2	-37,45	-687,2	-0,10526
52,48	1977	8	42,65	-9,83	-697,025	-0,12598
116,68	1977	9	172,75	56,08	-640,95	-0,00776
264,10	1977	10	250,85	-13,25	-654,2	-0,03569
309,20	1977	11	238,45	-70,75	-724,95	-0,18485
278,88	1977	12	245,75	-33,13	-758,075	-0,25468
203,48	1978	1	90,1	-113,38	-871,45	-0,49370
175,60	1978	2	122,55	-53,05	-924,5	-0,60555
206,75	1978	3	113,55	-93,20	-1017,7	-0,80203
196,00	1978	4	216,6	20,60	-997,1	-0,75860
155,40	1978	5	144,65	-10,75	-1007,85	-0,78127

77,68	1978	6	51,85	-25,83	-1033,675	-0,83571
45,65	1978	7	43,9	-1,75	-1035,425	-0,83940
52,48	1978	8	23,25	-29,23	-1064,65	-0,90101
116,68	1978	9	111,75	-4,93	-1069,575	-0,91140
264,10	1978	10	237,45	-26,65	-1096,225	-0,96758
309,20	1978	11	311,6	2,40	-1093,825	-0,96252
278,88	1978	12	378,15	99,28	-994,55	-0,75323
203,48	1979	1	213,05	9,58	-984,975	-0,73304
175,60	1979	2	158,15	-17,45	-1002,425	-0,76983
206,75	1979	3	222,8	16,05	-986,375	-0,73599
196,00	1979	4	194,65	-1,35	-987,725	-0,73884
155,40	1979	5	141,3	-14,10	-1001,825	-0,76856
77,68	1979	6	37,8	-39,88	-1041,7	-0,85263
45,65	1979	7	90,85	45,20	-996,5	-0,75734
52,48	1979	8	155	102,53	-893,975	-0,54119
116,68	1979	9	143,3	26,63	-867,35	-0,48506
264,10	1979	10	246,35	-17,75	-885,1	-0,52248
309,20	1979	11	313,2	4,00	-881,1	-0,51405
278,88	1979	12	251,05	-27,83	-908,925	-0,57271
203,48	1980	1	216,75	13,28	-895,65	-0,54472
175,60	1980	2	227,4	51,80	-843,85	-0,43552
206,75	1980	3	164,5	-42,25	-886,1	-0,52459
196,00	1980	4	164,1	-31,90	-918	-0,59184
155,40	1980	5	108,85	-46,55	-964,55	-0,68998
77,68	1980	6	106,3	28,63	-935,925	-0,62963
45,65	1980	7	40,05	-5,60	-941,525	-0,64144
52,48	1980	8	54	1,53	-940	-0,63822
116,68	1980	9	108,05	-8,63	-948,625	-0,65641
264,10	1980	10	243,6	-20,50	-969,125	-0,69963
309,20	1980	11	223,9	-85,30	-1054,425	-0,87946
278,88	1981	12	244,5	-34,38	-1088,8	-0,95193
203,48	1981	1	148,55	-54,93	-1143,725	-1,06772
175,60	1981	2	176,3	0,70	-1143,025	-1,06625
206,75	1981	3	204,5	-2,25	-1145,275	-1,07099
196,00	1981	4	215,95	19,95	-1125,325	-1,02893
155,40	1981	5	231,7	76,30	-1049,025	-0,86807
77,68	1981	6	108,25	30,58	-1018,45	-0,80361
45,65	1981	7	103,9	58,25	-960,2	-0,68081
52,48	1981	8	66,5	14,03	-946,175	-0,65124
116,68	1981	9	46,8	-69,88	-1016,05	-0,79855
264,10	1981	10	190,2	-73,90	-1089,95	-0,95435
309,20	1981	11	404,65	95,45	-994,5	-0,75312
278,88	1981	12	232	-46,88	-1041,375	-0,85195
203,48	1982	1	319,9	116,43	-924,95	-0,60649
175,60	1982	2	221,55	45,95	-879	-0,50962
206,75	1982	3	265,2	58,45	-820,55	-0,38639

196,00	1982	4	178,2	-17,80	-838,35	-0,42392
155,40	1982	5	273,65	118,25	-720,1	-0,17462
77,68	1982	6	27,5	-50,18	-770,275	-0,28040
45,65	1982	7	36,2	-9,45	-779,725	-0,30033
52,48	1982	8	12,4	-40,08	-819,8	-0,38481
116,68	1982	9	103,2	-13,48	-833,275	-0,41322
264,10	1982	10	217,05	-47,05	-880,325	-0,51241
309,20	1982	11	274,1	-35,10	-915,425	-0,58641
278,88	1982	12	231,75	-47,13	-962,55	-0,68576
203,48	1983	1	86,4	-117,08	-1079,625	-0,93259
175,60	1983	2	94	-81,60	-1161,225	-1,10462
206,75	1983	3	334,95	128,20	-1033,025	-0,83434
196,00	1983	4	264,4	68,40	-964,625	-0,69014
155,40	1983	5	102,15	-53,25	-1017,875	-0,80240
77,68	1983	6	31,35	-46,33	-1064,2	-0,90007
45,65	1983	7	7,75	-37,90	-1102,1	-0,97997
52,48	1983	8	11,45	-41,03	-1143,125	-1,06646
116,68	1983	9	23,85	-92,83	-1235,95	-1,26215
264,10	1983	10	205,45	-58,65	-1294,6	-1,38580
309,20	1983	11	246,3	-62,90	-1357,5	-1,51841
278,88	1983	12	303,65	24,78	-1332,725	-1,46618
203,48	1984	1	307,9	104,43	-1228,3	-1,24603
175,60	1984	2	137,3	-38,30	-1266,6	-1,32677
206,75	1984	3	178,95	-27,80	-1294,4	-1,38538
196,00	1984	4	127,45	-68,55	-1362,95	-1,52990
155,40	1984	5	150,85	-4,55	-1367,5	-1,53949
77,68	1984	6	95,15	17,48	-1350,025	-1,50265
45,65	1984	7	72,65	27,00	-1323,025	-1,44573
52,48	1984	8	123,15	70,68	-1252,35	-1,29673
116,68	1984	9	247,8	131,13	-1121,225	-1,02029
264,10	1984	10	265,85	1,75	-1119,475	-1,01660
309,20	1984	11	308,15	-1,05	-1120,525	-1,01881
278,88	1984	12	277,6	-1,27	-1121,8	-1,02150
203,48	1985	1	287,15	83,68	-1038,125	-0,84509
175,60	1985	2	68,85	-106,75	-1144,875	-1,07015
206,75	1985	3	226,3	19,55	-1125,325	-1,02893
196,00	1985	4	248,05	52,05	-1073,275	-0,91920
155,40	1985	5	157,1	1,70	-1071,575	-0,91561
77,68	1985	6	87,2	9,53	-1062,05	-0,89553
45,65	1985	7	40,3	-5,35	-1067,4	-0,90681
52,48	1985	8	141,1	88,63	-978,775	-0,71997
116,68	1985	9	162,4	45,73	-933,05	-0,62357
264,10	1985	10	369,75	105,65	-827,4	-0,40084
309,20	1985	11	310,65	1,45	-825,95	-0,39778
278,88	1985	12	164,85	-114,03	-939,975	-0,63817
203,48	1986	1	207,50	4,03	-935,95	-0,62969

175,60	1986	2	215,90	40,30	-895,65	-0,54472
206,75	1986	3	154,80	-51,95	-947,6	-0,65425
196,00	1986	4	280,15	84,15	-863,45	-0,47684
155,40	1986	5	180,50	25,10	-838,35	-0,42392
77,68	1986	6	55,85	-21,83	-860,175	-0,46993
45,65	1986	7	5,65	-40,00	-900,175	-0,55426
52,48	1986	8	63,00	10,53	-889,65	-0,53207
116,68	1986	9	185,85	69,18	-820,475	-0,38624
264,10	1986	10	479,45	215,35	-605,125	0,06777
309,20	1986	11	322,65	13,45	-591,675	0,09613
278,88	1986	12	128,95	-149,93	-741,6	-0,21995
203,48	1987	1	110,00	-93,48	-835,075	-0,41702
175,60	1987	2	40,30	-135,30	-970,375	-0,70226
206,75	1987	3	167,75	-39,00	-1009,375	-0,78448
196,00	1987	4	160,55	-35,45	-1044,825	-0,85922
155,40	1987	5	243,85	88,45	-956,375	-0,67275
77,68	1987	6	39,25	-38,43	-994,8	-0,75375
45,65	1987	7	73,10	27,45	-967,35	-0,69588
52,48	1987	8	33,10	-19,38	-986,725	-0,73673
116,68	1987	9	138,10	21,43	-965,3	-0,69156
264,10	1987	10	294,50	30,40	-934,9	-0,62747
309,20	1987	11	261,05	-48,15	-983,05	-0,72898
278,88	1987	12	148,25	-130,63	-1113,675	-1,00437
203,48	1988	1	146,45	-57,03	-1170,7	-1,12459
175,60	1988	2	188,80	13,20	-1157,5	-1,09676
206,75	1988	3	139,20	-67,55	-1225,05	-1,23918
196,00	1988	4	298,60	102,60	-1122,45	-1,02287
155,40	1988	5	111,85	-43,55	-1166	-1,11468
77,68	1988	6	262,65	184,98	-981,025	-0,72471
45,65	1988	7	97,90	52,25	-928,775	-0,61456
52,48	1988	8	120,15	67,68	-861,1	-0,47188
116,68	1988	9	154,05	37,38	-823,725	-0,39309
264,10	1988	10	199,55	-64,55	-888,275	-0,52918
309,20	1988	11	588,95	279,75	-608,525	0,06060
278,88	1988	12	282,60	3,73	-604,8	0,06846
203,48	1989	1	233,20	29,73	-575,075	0,13112
175,60	1989	2	280,40	104,80	-470,275	0,35207
206,75	1989	3	264,55	57,80	-412,475	0,47392
196,00	1989	4	114,45	-81,55	-494,025	0,30200
155,40	1989	5	95,05	-60,35	-554,375	0,17476
77,68	1989	6	129,80	52,13	-502,25	0,28466
45,65	1989	7	60,05	14,40	-487,85	0,31501
52,48	1989	8	54,95	2,48	-485,375	0,32023
116,68	1989	9	118,65	1,97	-483,4	0,32440
264,10	1989	10	182,10	-82,00	-565,4	0,15152
309,20	1989	11	303,70	-5,50	-570,9	0,13993

278,88	1989	12	324,65	45,78	-525,125	0,23643
203,48	1990	1	179,30	-24,18	-549,3	0,18546
175,60	1990	2	272,65	97,05	-452,25	0,39007
206,75	1990	3	210,95	4,20	-448,05	0,39892
196,00	1990	4	285,45	89,45	-358,6	0,58750
155,40	1990	5	121,35	-34,05	-392,65	0,51572
77,68	1990	6	32,00	-45,68	-438,325	0,41942
45,65	1990	7	74,20	28,55	-409,775	0,47961
52,48	1990	8	37,20	-15,28	-425,05	0,44741
116,68	1990	9	148,25	31,58	-393,475	0,51398
264,10	1990	10	329,25	65,15	-328,325	0,65133
309,20	1990	11	276,70	-32,50	-360,825	0,58281
278,88	1990	12	267,40	-11,48	-372,3	0,55862
203,48	1991	1	195,95	-7,53	-379,825	0,54276
175,60	1991	2	87,00	-88,60	-468,425	0,35597
206,75	1991	3	401,05	194,30	-274,125	0,76560
196,00	1991	4	161,60	-34,40	-308,525	0,69307
155,40	1991	5	149,35	-6,05	-314,575	0,68032
77,68	1991	6	108,80	31,13	-283,45	0,74594
45,65	1991	7	41,50	-4,15	-287,6	0,73719
52,48	1991	8	19,25	-33,23	-320,825	0,66714
116,68	1991	9	137,10	20,43	-300,4	0,71020
264,10	1991	10	83,35	-180,75	-481,15	0,32914
309,20	1991	11	400,45	91,25	-389,9	0,52152
278,88	1991	12	366,65	87,78	-302,125	0,70657
203,48	1992	1	165,35	-38,13	-340,25	0,62619
175,60	1992	2	185,60	10,00	-330,25	0,64727
206,75	1992	3	88,65	-118,10	-448,35	0,39829
196,00	1992	4	197,35	1,35	-447	0,40114
155,40	1992	5	94,05	-61,35	-508,35	0,27180
77,68	1992	6	27,75	-49,93	-558,275	0,16654
45,65	1992	7	29,20	-16,45	-574,725	0,13186
52,48	1992	8	54,00	1,53	-573,2	0,13508
116,68	1992	9	159,60	42,93	-530,275	0,22557
264,10	1992	10	93,60	-170,50	-700,775	-0,13388
309,20	1992	11	453,05	143,85	-556,925	0,16939
278,88	1992	12	280,15	1,27	-555,65	0,17208
203,48	1993	1	282,80	79,33	-476,325	0,33931
175,60	1993	2	246,45	70,85	-405,475	0,48868
206,75	1993	3	275,00	68,25	-337,225	0,63257
196,00	1993	4	221,65	25,65	-311,575	0,68664
155,40	1993	5	232,95	77,55	-234,025	0,85014
77,68	1993	6	23,95	-53,73	-287,75	0,73687
45,65	1993	7	32,90	-12,75	-300,5	0,70999
52,48	1993	8	23,95	-28,53	-329,025	0,64985
116,68	1993	9	163,60	46,93	-282,1	0,74878

264,10	1993	10	192,95	-71,15	-353,25	0,59878
309,20	1993	11	194,25	-114,95	-468,2	0,35644
278,88	1993	12	115,30	-163,58	-631,775	0,01159
203,48	1994	1	94,35	-109,13	-740,9	-0,21847
175,60	1994	2	42,75	-132,85	-873,75	-0,49855
206,75	1994	3	97,60	-109,15	-982,9	-0,72867
196,00	1994	4	124,30	-71,70	-1054,6	-0,87983
155,40	1994	5	170,25	14,85	-1039,75	-0,84852
77,68	1994	6	77,10	-0,58	-1040,325	-0,84973
45,65	1994	7	45,70	0,05	-1040,275	-0,84963
52,48	1994	8	0,70	-51,78	-1092,05	-0,95878
116,68	1994	9	99,20	-17,48	-1109,525	-0,99562
264,10	1994	10	305,10	41,00	-1068,525	-0,90918
309,20	1994	11	333,00	23,80	-1044,725	-0,85901
278,88	1994	12	119,75	-159,13	-1203,85	-1,19448
203,48	1995	1	76,80	-126,68	-1330,525	-1,46154
175,60	1995	2	106,80	-68,80	-1399,325	-1,60659
206,75	1995	3	166,40	-40,35	-1439,675	-1,69165
196,00	1995	4	230,55	34,55	-1405,125	-1,61882
155,40	1995	5	148,40	-7,00	-1412,125	-1,63357
77,68	1995	6	122,40	44,73	-1367,4	-1,53928
45,65	1995	7	92,95	47,30	-1320,1	-1,43956
52,48	1995	8	84,75	32,28	-1287,825	-1,37152
116,68	1995	9	50,25	-66,43	-1354,25	-1,51156
264,10	1995	10	266,10	2,00	-1352,25	-1,50734
309,20	1995	11	216,80	-92,40	-1444,65	-1,70214
278,88	1995	12	401,45	122,58	-1322,075	-1,44373
203,48	1996	1	320,30	116,83	-1205,25	-1,19743
175,60	1996	2	212,40	36,80	-1168,45	-1,11985
206,75	1996	3	301,90	95,15	-1073,3	-0,91925
196,00	1996	4	234,40	38,40	-1034,9	-0,83829
155,40	1996	5	168,15	12,75	-1022,15	-0,81141
77,68	1996	6	111,40	33,73	-988,425	-0,74031
45,65	1996	7	41,70	-3,95	-992,375	-0,74864
52,48	1996	8	50,70	-1,77	-994,15	-0,75238
116,68	1996	9	84,80	-31,88	-1026,025	-0,81958
264,10	1996	10	394,55	130,45	-895,575	-0,54457
309,20	1996	11	226,45	-82,75	-978,325	-0,71902
278,88	1996	12	322,60	43,73	-934,6	-0,62684
203,48	1997	1	313,55	110,08	-824,525	-0,39478
175,60	1997	2	152,80	-22,80	-847,325	-0,44284
206,75	1997	3	303,30	96,55	-750,775	-0,23929
196,00	1997	4	162,80	-33,20	-783,975	-0,30929
155,40	1997	5	86,65	-68,75	-852,725	-0,45423
77,68	1997	6	163,55	85,88	-766,85	-0,27318
45,65	1997	7	2,60	-43,05	-809,9	-0,36394

52,48	1997	8	0,00	-52,48	-862,375	-0,47457
116,68	1997	9	104,80	-11,88	-874,25	-0,49961
264,10	1997	10	143,65	-120,45	-994,7	-0,75354
309,20	1997	11	196,80	-112,40	-1107,1	-0,99051
278,88	1997	12	116,05	-162,83	-1269,925	-1,33378
203,48	1998	1	32,15	-171,33	-1441,25	-1,69498
175,60	1998	2	152,05	-23,55	-1464,8	-1,74462
206,75	1998	3	154,95	-51,80	-1516,6	-1,85383
196,00	1998	4	146,85	-49,15	-1565,75	-1,95745
155,40	1998	5	153,70	-1,70	-1567,45	-1,96103
77,68	1998	6	46,00	-31,68	-1599,125	-2,02781
45,65	1998	7	57,70	12,05	-1587,075	-2,00241
52,48	1998	8	131,60	79,13	-1507,95	-1,83559
116,68	1998	9	137,75	21,08	-1486,875	-1,79116
264,10	1998	10	373,20	109,10	-1377,775	-1,56116
309,20	1998	11	437,75	128,55	-1249,225	-1,29014
278,88	1998	12	302,15	23,28	-1225,95	-1,24107
203,48	1999	1	233,80	30,33	-1195,625	-1,17714
175,60	1999	2	327,35	151,75	-1043,875	-0,85722
206,75	1999	3	294,20	87,45	-956,425	-0,67285
196,00	1999	4	293,40	97,40	-859,025	-0,46751
155,40	1999	5	162,75	7,35	-851,675	-0,45201
77,68	1999	6	144,70	67,03	-784,65	-0,31071
45,65	1999	7	40,30	-5,35	-790	-0,32199
52,48	1999	8	51,15	-1,33	-791,325	-0,32478
116,68	1999	9	242,50	125,83	-665,5	-0,05951
264,10	1999	10	262,35	-1,75	-667,25	-0,06320
309,20	1999	11	514,25	205,05	-462,2	0,36909
278,88	1999	12	461,15	182,28	-279,925	0,75337
203,48	2000	1	350,55	147,08	-132,85	1,06344
175,60	2000	2	340,20	164,60	31,75	1,41045
206,75	2000	3	226,85	20,10	51,85	1,45283
196,00	2000	4	206,20	10,20	62,05	1,47433
155,40	2000	5	184,25	28,85	90,9	1,53515
77,68	2000	6	124,70	47,03	137,925	1,63429
45,65	2000	7	136,70	91,05	228,975	1,82625
52,48	2000	8	65,25	12,78	241,75	1,85318
116,68	2000	9	110,80	-5,88	-5,875	1,33113
264,10	2000	10	211,85	-52,25	-58,125	1,22097
309,20	2000	11	307,20	-2,00	-60,125	1,21676
278,88	2000	12	231,05	-47,83	-107,95	1,11593
203,48	2001	1	169,10	-34,38	-142,325	1,04346
175,60	2001	2	183,80	8,20	-134,125	1,06075
206,75	2001	3	127,35	-79,40	-213,525	0,89336
196,00	2001	4	76,25	-119,75	-333,275	0,64089
155,40	2001	5	118,20	-37,20	-370,475	0,56247

77,68	2001	6	92,40	14,73	-355,75	0,59351
45,65	2001	7	57,65	12,00	-343,75	0,61881
52,48	2001	8	0,25	-52,23	-395,975	0,50871
116,68	2001	9	158,25	41,58	-354,4	0,59636
264,10	2001	10	221,70	-42,40	-396,8	0,50697
309,20	2001	11	431,80	122,60	-274,2	0,76544
278,88	2001	12	331,65	52,78	-221,425	0,87670
203,48	2002	1	254,10	50,63	-170,8	0,98343
175,60	2002	2	102,45	-73,15	-243,95	0,82921
206,75	2002	3	171,50	-35,25	-279,2	0,75490
196,00	2002	4	275,60	79,60	-199,6	0,92271
155,40	2002	5	75,40	-80,00	-279,6	0,75405
77,68	2002	6	26,10	-51,58	-331,175	0,64532
45,65	2002	7	29,45	-16,20	-347,375	0,61117
52,48	2002	8	15,50	-36,98	-384,35	0,53322
116,68	2002	9	63,05	-53,63	-437,975	0,42016
264,10	2002	10	240,80	-23,30	-461,275	0,37104
309,20	2002	11	52,15	-257,05	-718,325	-0,17088
278,88	2002	12	242,80	-36,08	-754,4	-0,24694
203,48	2003	1	126,30	-77,18	-831,575	-0,40964
175,60	2003	2	115,10	-60,50	-892,075	-0,53719
206,75	2003	3	160,70	-46,05	-938,125	-0,63427
196,00	2003	4	129,85	-66,15	-1004,275	-0,77373
155,40	2003	5	99,90	-55,50	-1059,775	-0,89074
77,68	2003	6	110,10	32,43	-1027,35	-0,82238
45,65	2003	7	25,70	-19,95	-1047,3	-0,86444
52,48	2003	8	41,45	-11,03	-1058,325	-0,88768
116,68	2003	9	63,65	-53,03	-1111,35	-0,99947
264,10	2003	10	300,55	36,45	-1074,9	-0,92262
309,20	2003	11	241,70	-67,50	-1142,4	-1,06493
278,88	2003	12	165,25	-113,63	-1256,025	-1,30448
203,48	2004	1	377,35	173,88	-1082,15	-0,93791
175,60	2004	2	96,90	-78,70	-1160,85	-1,10383
206,75	2004	3	90,25	-116,50	-1277,35	-1,34944
196,00	2004	4	115,10	-80,90	-1358,25	-1,51999
155,40	2004	5	188,25	32,85	-1325,4	-1,45074
77,68	2004	6	15,15	-62,53	-1387,925	-1,58255
45,65	2004	7	96,30	50,65	-1337,275	-1,47577
52,48	2004	8	6,25	-46,23	-1383,5	-1,57322
116,68	2004	9	166,50	49,83	-1333,675	-1,46818
264,10	2004	10	304,65	40,55	-1293,125	-1,38269
309,20	2004	11	244,85	-64,35	-1357,475	-1,51836
278,88	2004	12	303,60	24,73	-1332,75	-1,46623
203,48	2005	1	235,15	31,68	-1301,075	-1,39945
175,60	2005	2	174,90	-0,70	-1301,775	-1,40093
206,75	2005	3	164,90	-41,85	-1343,625	-1,48916

196,00	2005	4	191,30	-4,70	-1348,325	-1,49907
155,40	2005	5	74,80	-80,60	-1428,925	-1,66899
77,68	2005	6	38,35	-39,33	-1468,25	-1,75190
45,65	2005	7	55,95	10,30	-1457,95	-1,73018
52,48	2005	8	65,30	12,83	-1445,125	-1,70314
116,68	2005	9	126,65	9,97	-1435,15	-1,68212
264,10	2005	10	413,05	148,95	-1286,2	-1,36809
309,20	2005	11	415,20	106,00	-1180,2	-1,14462
278,88	2005	12	439,45	160,58	-1019,625	-0,80609
203,48	2006	1	186,05	-17,43	-1037,05	-0,84283
175,60	2006	2	167,35	-8,25	-1045,3	-0,86022
206,75	2006	3	221,90	15,15	-1030,15	-0,82828
196,00	2006	4	255,55	59,55	-970,6	-0,70274
155,40	2006	5	189,65	34,25	-936,35	-0,63053
77,68	2006	6	119,15	41,48	-894,875	-0,54309
45,65	2006	7	70,60	24,95	-869,925	-0,49049
52,48	2006	8	76,50	24,03	-845,9	-0,43984
116,68	2006	9	67,25	-49,43	-895,325	-0,54404
264,10	2006	10	241,90	-22,20	-917,525	-0,59084
309,20	2006	11	302,25	-6,95	-924,475	-0,60549
278,88	2006	12	301,45	22,58	-901,9	-0,55790
203,48	2007	1	99,60	-103,88	-1005,775	-0,77689
175,60	2007	2	136,70	-38,90	-1044,675	-0,85890
206,75	2007	3	227,05	20,30	-1024,375	-0,81611
196,00	2007	4	293,15	97,15	-927,225	-0,61129
155,40	2007	5	268,25	112,85	-814,375	-0,37338
77,68	2007	6	28,85	-48,83	-863,2	-0,47631
45,65	2007	7	54,10	8,45	-854,75	-0,45850
52,48	2007	8	33,50	-18,98	-873,725	-0,49850
116,68	2007	9	36,30	-80,38	-954,1	-0,66795
264,10	2007	10	449,25	185,15	-768,95	-0,27761
309,20	2007	11	411,25	102,05	-666,9	-0,06246
278,88	2007	12	436,60	157,73	-509,175	0,27006
203,48	2008	1	421,25	217,78	-291,4	0,72918
175,60	2008	2	199,45	23,85	-267,55	0,77946
206,75	2008	3	254,45	47,70	-219,85	0,88002
196,00	2008	4	231,55	35,55	-184,3	0,95497
155,40	2008	5	241,65	86,25	-98,05	1,13680
77,68	2008	6	121,15	43,48	-54,575	1,22846
45,65	2008	7	76,25	30,60	-23,975	1,29297
52,48	2008	8	207,25	154,78	130,8	1,61927
116,68	2008	9	91,45	-25,23	-25,225	1,29034
264,10	2008	10	397,70	133,60	108,375	1,57200
309,20	2008	11	462,80	153,60	261,975	1,89582
278,88	2008	12	318,35	39,48	301,45	1,97904
203,48	2009	1	280,45	76,98	378,425	2,14132

175,60	2009	2	97,50	-78,10	-78,1	1,17886
206,75	2009	3	324,55	117,80	39,7	1,42721
196,00	2009	4	113,25	-82,75	-82,75	1,16906
155,40	2009	5	160,40	5,00	-77,75	1,17960
77,68	2009	6	60,60	-17,08	-94,825	1,14360
45,65	2009	7	26,35	-19,30	-114,125	1,10291
52,48	2009	8	53,55	1,08	-113,05	1,10518
116,68	2009	9	40,20	-76,48	-189,525	0,94395
264,10	2009	10	293,80	29,70	-159,825	1,00657
309,20	2009	11	336,30	27,10	-132,725	1,06370
278,88	2009	12	403,70	124,83	-7,9	1,32686
203,48	2010	1	52,90	-150,58	-158,475	1,00941
175,60	2010	2	176,85	1,25	-157,225	1,01205
206,75	2010	3	29,25	-177,50	-334,725	0,63784
196,00	2010	4	263,85	67,85	-266,875	0,78088
155,40	2010	5	185,80	30,40	-236,475	0,84497
77,68	2010	6	149,95	72,28	-164,2	0,99734
45,65	2010	7	197,25	151,60	-12,6	1,31695
52,48	2010	8	75,40	22,93	10,325	1,36528
116,68	2010	9	106,65	-10,03	-10,025	1,32238
264,10	2010	10	297,95	33,85	23,825	1,39374
309,20	2010	11	302,25	-6,95	-6,95	1,32886
278,88	2010	12	235,95	-42,93	-49,875	1,23837
203,48	2011	1	299,90	96,43	46,55	1,44165
175,60	2011	2	364,25	188,65	235,2	1,83937
206,75	2011	3	305,30	98,55	333,75	2,04714
196,00	2011	4	251,20	55,20	388,95	2,16351
155,40	2011	5	255,25	99,85	488,8	2,37402
77,68	2011	6	78,55	0,88	489,675	2,37586
45,65	2011	7	88,55	42,90	532,575	2,46631
52,48	2011	8	60,75	8,28	540,85	2,48375
116,68	2011	9	95,70	-20,98	-20,975	1,29930
264,10	2011	10	331,55	67,45	46,475	1,44150
309,20	2011	11	471,90	162,70	209,175	1,78451
278,88	2011	12	404,55	125,68	334,85	2,04946
203,48	2012	1	406,55	203,08	537,925	2,47759
175,60	2012	2	196,90	21,30	559,225	2,52249
206,75	2012	3	124,65	-82,10	-82,1	1,17043
196,00	2012	4	233,10	37,10	-45	1,24865
155,40	2012	5	58,95	-96,45	-141,45	1,04531
77,68	2012	6	47,45	-30,23	-171,675	0,98158
45,65	2012	7	3,35	-42,30	-213,975	0,89241
52,48	2012	8	28,60	-23,88	-237,85	0,84207
116,68	2012	9	18,05	-98,63	-336,475	0,63415
264,10	2012	10	334,15	70,05	-266,425	0,78183
309,20	2012	11	310,25	1,05	-265,375	0,78404

278,88	2012	12	163,00	-115,88	-381,25	0,53975
203,48	2013	1	199,45	-4,03	-385,275	0,53127
175,60	2013	2	122,60	-53,00	-438,275	0,41953
206,75	2013	3	182,80	-23,95	-462,225	0,36904
196,00	2013	4	141,65	-54,35	-516,575	0,25446
155,40	2013	5	229,70	74,30	-442,275	0,41110
77,68	2013	6	46,70	-30,98	-473,25	0,34579
45,65	2013	7	55,20	9,55	-463,7	0,36593
52,48	2013	8	51,40	-1,08	-464,775	0,36366
116,68	2013	9	118,65	1,97	-462,8	0,36783
264,10	2013	10	202,10	-62,00	-524,8	0,23712
309,20	2013	11	265,55	-43,65	-568,45	0,14509
278,88	2013	12	317,85	38,98	-529,475	0,22726
203,48	2014	1	270,60	67,13	-462,35	0,36877
175,60	2014	2	307,55	131,95	-330,4	0,64696
206,75	2014	3	356,90	150,15	-180,25	0,96351
196,00	2014	4	131,80	-64,20	-244,45	0,82816
155,40	2014	5	178,90	23,50	-220,95	0,87770
77,68	2014	6	41,40	-36,28	-257,225	0,80123
45,65	2014	7	22,10	-23,55	-280,775	0,75158
52,48	2014	8	30,90	-21,58	-302,35	0,70609
116,68	2014	9	109,90	-6,78	-309,125	0,69181
264,10	2014	10	258,80	-5,30	-314,425	0,68063
309,20	2014	11	347,60	38,40	-276,025	0,76159
278,88	2014	12	286,70	7,82	-268,2	0,77809
203,48	2015	1	94,15	-109,33	-377,525	0,54761
175,60	2015	2	207,00	31,40	-346,125	0,61380
206,75	2015	3	234,05	27,30	-318,825	0,67136
196,00	2015	4	161,10	-34,90	-353,725	0,59778
155,40	2015	5	111,45	-43,95	-397,675	0,50512
77,68	2015	6	35,65	-42,03	-439,7	0,41653
45,65	2015	7	41,55	-4,10	-443,8	0,40788
52,48	2015	8	3,30	-49,18	-492,975	0,30421
116,68	2015	9	60,15	-56,53	-549,5	0,18504
264,10	2015	10	190,35	-73,75	-623,25	0,02956
309,20	2015	11	169,00	-140,20	-763,45	-0,26601
278,88	2015	12	182,15	-96,73	-860,175	-0,46993
203,48	2016	1	165,40	-38,08	-898,25	-0,55020
175,60	2016	2	101,60	-74,00	-972,25	-0,70621
206,75	2016	3	170,10	-36,65	-1008,9	-0,78348
196,00	2016	4	232,10	36,10	-972,8	-0,70737
155,40	2016	5	235,90	80,50	-892,3	-0,53766
77,68	2016	6	44,75	-32,93	-925,225	-0,60707
45,65	2016	7	45,60	-0,05	-925,275	-0,60718
52,48	2016	8	13,70	-38,78	-964,05	-0,68893
116,68	2016	9	96,70	-19,98	-984,025	-0,73104

264,10	2016	10	341,05	76,95	-907,075	-0,56881
309,20	2016	11	316,80	7,60	-899,475	-0,55279
278,88	2016	12	333,70	54,83	-844,65	-0,43720

CÁLCULO DEL PONDERADO DEL IESP

$$\text{Mes} = \frac{\text{Sin sequía} \times 1 + \text{S.Moderada} \times 3 + \text{S.Severa} + \text{S.Extraordinaria} + \text{S.Excepcional}}{\text{Total}}$$

$$\text{Enero} = \frac{24 \times 1 + 13 \times 3 + 8 \times 5 + 0 \times 7 + 0 \times 9}{45} = 2.3$$

$$\text{Febrero} = \frac{22 \times 1 + 13 \times 3 + 9 \times 5 + 1 \times 7 + 0 \times 9}{45} = 2.5$$

$$\text{Marzo} = \frac{25 \times 1 + 12 \times 3 + 7 \times 5 + 1 \times 7 + 0 \times 9}{45} = 2.3$$

$$\text{Abril} = \frac{23 \times 1 + 15 \times 3 + 6 \times 5 + 1 \times 7 + 0 \times 9}{45} = 2.3$$

$$\text{Mayo} = \frac{24 \times 1 + 15 \times 3 + 5 \times 5 + 1 \times 7 + 0 \times 9}{45} = 2.2$$

$$\text{Junio} = \frac{25 \times 1 + 15 \times 3 + 3 \times 5 + 2 \times 7 + 0 \times 9}{45} = 2.2$$

$$\text{Julio} = \frac{25 \times 1 + 15 \times 3 + 3 \times 5 + 2 \times 7 + 0 \times 9}{45} = 2.2$$

$$\text{Agosto} = \frac{24 \times 1 + 15 \times 3 + 4 \times 5 + 2 \times 7 + 0 \times 9}{45} = 2.3$$

$$\text{Septiembre} = \frac{25 \times 1 + 14 \times 3 + 5 \times 5 + 1 \times 7 + 0 \times 9}{45} = 2.2$$

$$\text{Octubre} = \frac{25 \times 1 + 14 \times 3 + 6 \times 5 + 0 \times 7 + 0 \times 9}{45} = 2.2$$

$$\text{Noviembre} = \frac{25 \times 1 + 12 \times 3 + 6 \times 5 + 1 \times 7 + 0 \times 9}{45} = 2.2$$

$$\text{Diciembre} = \frac{25 \times 1 + 11 \times 3 + 9 \times 5 + 0 \times 7 + 0 \times 9}{45} = 2.3$$

ANEXO B

Tabla B1. Demanda hídrica para uso doméstico extraída de la cuenca del río Las Piedras.

VEREDA	AÑO DE CONSTRUCCIÓN	USUARIOS (CASAS)	FUENTE ABASTECEDORA	CAUDAL CAPTADO (LPS)
Quintana	1997	38	La Chorrera	3
San Juan Bajo – La Laguna	1985	160	Mortiñal	3
San Juan Alto	1995	64	Santa Teresa	3
Las Guacas	2000	66	Carnidería	4
San Ignacio	2000	7 casas y 1 escuela	Chaparral	2
San Isidro	1998	40	Robles	3
El Canelo	1993	88	La Montaña	3
Las Guacas (bocatoma acueducto y alcantarillado de Popayán)	1962, 1978 y 1992 (planta de tratamiento)	49275	Río Las Piedras	*730
TOTAL				751

*Consumo medio planta Tablazo 2009 – 2010.

Tabla B2. Demanda hídrica de la piscifactoría El Diviso, considerada para uso industrial, extraída de la cuenca del río Las Piedras.

SITIO	INFRAESTRUCTURA	USUARIOS	USOS	FUENTE ABASTECE DORA	CAUDAL CAPTADO AGOSTO (LPS)
Piscifactoría El Diviso	Bocatoma lateral	1	Peces	Río Las Piedras	385
Factor de retorno al río = 0.8					308
Demanda interna no retornada					77

Tabla B3. Demanda hídrica para uso agropecuario, con derivaciones del río mediante canales en tierra, en la cuenca del río Las Piedras.

VEREDA	INFRAESTRUCTURA	USUARIOS	ESTADO	USOS	FUENTE ABASTECEDORA	CAUDAL CAPTADO (LPS)
Quintana	Canal abierto 1	1	T-SR	A-D	Qda Aguas Claras	5
	Canal abierto 2	10	T-SR	A-D-	Qda Aguas	20

				P	Claras	
	Canal abierto 3	3	T-SR	A-P	Qda La Chorrera	3
	Canal abierto 4	6	T-SR	A-P	Afluente Arrayanes	10
	Canal abierto 5	4	T-SR	A-P	Afluente Arrayanes	10
	Canal abierto 6	6	T-SR	A-P	Afluente Arrayanes	15
	Canal abierto 7	11 (incluye un lago de pesca deportiva)	T-SR	A-P	Qda Palmichal	10
Santa Teresa – San Juan	Canal abierto 1	1 (hacienda Santa Teresa)	T-SR	A	Qda Santa Teresa	5
	Canal abierto 2	1 (Mario Chartre)	T-SR	A-D-P	Qda Santa Teresa	5
	Canal abierto 3	6	T-SR	A-D	Qda Santa Teresa	10
	Canal abierto 4	10 (invasores)	T-SR	A-D-P	Qda Santa Teresa	5
		5		A-D	Qda Pichagua	12
San Ignacio	Canal abierto 1	1 (hacienda San Ignacio)	T-SR	A	Qda Pichagua	10
	Canal abierto 2	36 (parcelación)	T-SR	A-D	Qda El Trébol	10
El Canelo	Canal abierto	22		A-D	Qda La Montaña	10
El Canelo	Canal abierto	22	T-SR	A-D	Qda La Montaña	10
Los Laureles	Canal abierto	25	T-SR	A-D	Qda La Josefina (afluente de carnicería)	10
TOTAL						150

T-SR = Canales en tierra sin regulación o control. R = Regulado (concesión de aguas). A = Uso agrícola. D = Uso pecuario. P = Uso piscícola.

ANEXO C

Ejemplo de Aplicación de Índice de Vulnerabilidad de Embalse (IVE):

Para la obtención de información respecto al embalse Florida II, se dirigió a la respectiva entidad CEDELCA S.A. E.S.P. encargada de la operación del mismo, la cual facilitó información acerca de caudales de entrada diarios del embalse en el periodo 2013-2016. Además, la información sobre el volumen útil, el volumen muerto del embalse y su capacidad instalada de generación de energía. A continuación en la Tabla C1 se muestra dicha información:

Tabla C1. Información Embalse Florida II.

TIPO DE INFORMACIÓN	CANTIDAD
Capacidad Instalada de generación de energía	24400 Kw
Volumen Útil	211400 m ³
Volumen muerto	37000 m ³

Para determinar la magnitud en la disminución de las afluencias en el embalse Florida II, se toman los valores de caudales de entrada diarios al embalse. A partir de estos se calcula el promedio de caudales anuales (Q) como se muestra en la Tabla C2.

Tabla C2. Promedios anuales de entrada del Embalse Florida II.

AÑO	CAUDAL PROMEDIO RÍO CAUCA (m ³ /s)	CAUDAL PROMEDIO RÍO VINAGRE (m ³ /s)	GENERACIÓN DIARIA (Kw/h)
2013	8.40	0.74	7,481,673
2014	8.74	0.41	8,791,322
2015	8.24	0.38	7,461,945
2016	8.45	0.52	7,554,094

Como las entradas provienen del río Cauca y río Vinagre se sumaron estos caudales promedios obteniendo uno solo como se observa en la Tabla C3, de los cuales se tomaron los valores de los años 2014 y 2015 como referencia de un periodo en el que se presentó el fenómeno del Niño según el ONI.

Tabla C3. Sumatoria de Promedios anuales de entrada del Embalse Florida II.

AÑO	SUMA DE CAUDALES DE ENTRADA PROMEDIO (m ³ /s)
2013	9.14
2014	9.15
2015	8.61
2016	8.97

Para determinar las afluencias se utilizó la Ecuación C1.

$$\text{Cambio en afluencias} = \frac{Q_{\text{mayor}} - Q_{\text{menor}}}{Q_{\text{mayor}}} \times 100 \quad (\text{C1})$$

De la anterior ecuación se determinó que la magnitud en la disminución de afluencias fue de 5.87%

Para señalar los meses de variabilidad climática se tuvo en cuenta el ONI que permitió definir el episodio de variabilidad del fenómeno de El Niño que inició a finales del año 2014 y finalizó en los primeros meses de 2016 teniendo una duración aproximada de 19 meses, pero el período donde se presentó la variabilidad climática extrema comprende sólo 5 meses (octubre de 2015 a Febrero 2016) que son los considerados anómalos.

Según el estudio para determinar la vulnerabilidad y las opciones de adaptación del sector energético Colombiano frente al cambio climático, la importancia relativa de los embalses varía entre 1 y 11, considerando el 11 como el embalse con menor capacidad instalada. Por lo tanto, se opta asignarle al embalse Florida II el valor de 11 debido a la capacidad instalada de este que corresponde a 24.4 Mw cuyo valor es menor que los embalses considerados en el estudio mencionado.

En cuanto al orden según resiliencia del embalse, este está en función de la capacidad de almacenamiento total de los embalses, que se calcula según la Ecuación C2.

$$CAE = V_{total} + V_{muerto} \quad (C2)$$

Donde:

CAE: Capacidad de almacenamiento total del embalse

Vtotal: Volumen Total

Vmuerto: Volumen muerto

Por lo tanto, el volumen total del embalse es de 248400 m³, el cual permanece constante debido al funcionamiento de este embalse donde el caudal de entrada no se disminuye en periodos secos, en consecuencia la resiliencia es alta a la vulnerabilidad climática. De modo que se adopta la clasificación de 1 en un rango de 1 a 11, donde el 1 se refiere a los embalses más resilientes.

De acuerdo con los criterios anteriormente definidos y que se muestran en la Tabla C4, se calcula el índice de vulnerabilidad del embalse Florida II, con la Ecuación 7.17.

$$IVE = 100 \times \frac{[-5.87] \times 5 \times 1}{8 \times 11} = 33.35$$

Tabla C4. Aspectos a considerar en el Embalse La Florida II.

Embalse	Cambio en afluencias	Orden según aumento en variabilidad	Nº de meses en que aumenta variabilidad	Importancia relativa del embalse	Orden según resiliencia	Índice de vulnerabilidad del embalse –IVE	Nivel de Vulnerabilidad
Florida II.	-5,87%	8	5	11	1	33.35	2

El nivel de vulnerabilidad asignado corresponde al 2, que pertenece al embalse con un índice de vulnerabilidad menor a 100 y mayor a 10, donde la capacidad de generación de energía puede verse condicionada o comprometida por el cambio climático o la variabilidad climática. Aunque de acuerdo al puntaje obtenido por el índice de vulnerabilidad no se espera que los efectos sean significativos y se deben considerar las consecuencias debido al cambio climático y variabilidad climática sobre su capacidad de generación de energía.