

**ANÁLISIS DEL EFECTO DEL FENÓMENO EL NIÑO EN LA HIDROCLIMATOLOGÍA
DE LAS SUBCUENCAS DE LOS RÍOS LAS PIEDRAS Y MOLINO EN EL MUNICIPIO
DE POPAYÁN.**

**LINA MARIA BETANCUR BETANCOURT
XIOMARA MACA SANDOVAL**

**Director:
Ing. Luis Jorge González M.**



**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
POPAYÁN
2016**

**ANÁLISIS DEL EFECTO DEL FENÓMENO EL NIÑO EN LA HIDROCLIMATOLOGÍA
DE LAS SUBCUENCAS DE LOS RÍOS LAS PIEDRAS Y MOLINO EN EL MUNICIPIO
DE POPAYÁN.**

INVESTIGACIÓN APLICADA

**Documento final, modalidad investigación como requisito parcial para optar al
título de Ingeniera Ambiental.**

**Director:
Ing. Luis Jorge González M.**

**Codirector:
Ing. Víctor Hugo Zuñiga**



**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
POPAYÁN
2016**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Ing. Luis Jorge González Muñoz
Director

Jurado

Jurado

Popayán, 8 de septiembre de 2016.

LINA BETANCUR BETANCOURT.

A Dios por permitir culminar esta meta propuesta.

*A mis padres **Adolfo Rodríguez** y **Dolly Betancourt** por esforzarse día a día para ofrecerme sus mejores enseñanzas, por brindarme su amor incondicional y guiarme en el camino, gracias a ellos aprendí que los sueños se consiguen si se trabaja con amor, esfuerzo, dedicación y perseverancia.*

*A mis hermanos **Vicky** y **Andrés Felipe** por confiar en mí y extenderme su mano cuando más lo necesito, por ser mi ejemplo en la vida y estar siempre dispuestos a compartirme sus conocimientos.*

*A **John Muñoz** por regalarme su tiempo, apoyo y compañía durante todos estos años*

*A mi abuela **Teresa Arango** por sus enriquecedores consejos y por enseñarme a llevar la vida con calma.*

Y a mis familiares por su acompañarme en este camino.

XIOMARA MACA SANDOVAL.

A Dios por las bendiciones recibidas Día a día

*A mis Padres **Noraldo Maca** y **Melba Sandoval** por todos los esfuerzos que han realizado para bríndame lo mejor, por su amor incondicional, por impulsarme con sus consejos y ejemplo a ser cada día una mejor persona, hija y hermana.*

*A mi hermano **Miguel** por ser la fuente que me da alegrías, fuerza y motivación*

*A mis Abuelos **Jaime** y **Gloria** por todo su cariño, sus oraciones y apoyo.*

A mi familia por estar siempre conmigo y brindarme lo mejor de sí.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a todas las personas las personas que fueron partícipes de nuestro proceso de formación, en especial a quienes compartieron con nosotras la culminación de nuestra carrera

Al ingeniero Luis Jorge González por depositar en nosotras su confianza y enriquecer nuestro conocimiento

Al Ingeniero Víctor Hugo Zúñiga por su disposición, por compartirnos sus conocimientos, experiencias y guiarnos en este camino

Al ingeniero Carlos Gallardo por su interés, apoyo y significativo aporte

A la división ambiental del Acueducto y Alcantarillado de Popayán a cargo de la Dra. Lilitiana Recaman por estar atentos a nuestra labor académica

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
1. ANTECEDENTES DE ESTUDIO	2
2. OBJETIVOS	3
2.1 OBJETIVO GENERAL	3
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	3
3. METODOLOGÍA.....	4
3.1 PRIMERA FASE:	4
3.2 SEGUNDA FASE:.....	5
3.3 TERCERA FASE.....	7
4 RESULTADOS Y ANALISIS DEL ESTUDIO	8
EL FENOMENO EL NIÑO Y EL INDICE ONI.	8
5 SUBCUENCA RIO LAS PIEDRAS.....	12
5.1 GENERALIDADES	12
5.1.1 Ubicación del área de estudio	12
5.1.2 División de la subcuenca	13
5.1.3 Clima	13
5.1.4 Uso del suelo.....	13
5.1.5 Hidrología	14
5.2 ESTUDIOS HISTORICO	15
5.2.1 Análisis histórico	15
5.2.2 Oferta hídrica.....	20
5.2.2.1 Oferta hídrica superficial	21
5.2.2.2 Oferta hídrica neta.....	21
5.2.2.2.1 Calculo del factor de reducción para mantener el estiaje R_e	22
5.2.2.2.2 Calculo del factor de reducción para proteger las fuentes frágiles R_f	23
5.2.2.2.3 Calculo de la oferta hídrica neta.	24
5.2.3 Índice de escasez.....	24

5.2.3.1	Demanda hídrica.....	25
5.2.3.2	Cálculo del índice de escasez	26
5.3	SEGUIMIENTO DURANTE EL FENOMENO DEL NIÑO	28
5.3.1	Oferta hídrica.....	28
5.3.1.1	Aporte de las microcuencas.....	28
5.3.1.2	Oferta hídrica superficial	30
5.3.1.3	Oferta hídrica neta	31
5.3.1.3.1	Calculo del factor de reducción para mantener el estiaje R_e	31
5.3.1.3.2	Calculo del factor de reducción para proteger las fuentes frágiles R_f	32
5.3.1.3.3	Calculo de la oferta hídrica neta	32
5.3.2	Índice de escasez.....	33
5.3.2.1	Demanda hídrica.....	33
5.3.2.2	Cálculo del índice de escasez	34
5.4	ANALISIS HIDROCLIMATOLOGICO DURANTE EL FENOMENO	35
5.4.1	Climograma	35
5.4.1.1	Temperatura.....	35
5.4.1.1.1	Isotermas	36
5.4.1.2	Precipitaciones	36
5.4.1.2.1	Isoyetas	36
5.4.1.3	Climograma.....	37
5.4.2	Caudales.....	38
5.4.3	Balance hídrico	39
5.4.3.1	Evapotranspiración por el método de Thornthwaite	40
5.4.3.2	Reserva hídrica del suelo	41
6	SUBCUENCA RIO MOLINO	44
6.1	GENERALIDADES	44
6.1.1	UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	44
6.1.2	DIVISIÓN DE LA SUBCUENCA.....	44
6.1.3	Clima	45
6.1.4	Uso del suelo.....	46
6.2	ANALISIS HISTORICO.....	47
6.3	SEGUIMIENTO DURANTE EL FENOMENO DELNIÑO.....	48

6.3.1	Oferta hídrica	48
6.3.1.1	Aportes de las microcuencas.....	48
6.3.1.2	Determinación de la oferta hídrica superficial	50
6.3.1.2.1	Método de las isoyetas	50
6.3.1.2.2	Calculo de la oferta hídrica.....	50
6.3.1.2.3	Calculo de la oferta hídrica neta	52
6.4	INDICE DE ESCASEZ PARA EL FENOMENO	52
6.4.1	Demanda hídrica	52
6.4.2	Cálculo del índice de escasez.....	53
6.5	ANALISIS HIDROCLIMATOLÓGICO DURANTE EL FENOMENO	53
6.5.1	Climograma	53
6.5.1.1	Temperatura.....	54
6.5.1.1.1	Isotermas	54
6.5.1.2	Precipitaciones	54
6.5.1.2.1	Isoyetas	54
6.5.1.3	Climograma.....	54
6.5.2	Caudales.....	55
6.5.3	Balance hídrico	56
6.5.3.1	Evapotranspiración por el método de Thornthwaite	56
6.5.3.2	Reserva hídrica del suelo	56
7.	CONCLUSIONES	59
8.	RECOMENDACIONES	60
	BIBLIOGRAFÍA	61
	ANEXOS	63

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Estaciones utilizadas para el análisis.....	4
Cuadro 2. Puntos de aforo subcuencas Rio Las Piedras y Molino.	6
Cuadro 3. Eventos fenómeno El Niño, periodos de desarrollo e intensidades.	10
Cuadro 4. División por corregimientos y veredas.....	13
Cuadro 5. Tipo de uso del suelo presente en la subcuenca rio Las Piedras.	14
Cuadro 6. Codificación de cuencas hidrográficas para subcuenca rio La Las Piedras. 15	
Cuadro 7. Oferta hídrica superficial histórica rio Las Piedras.	21
Cuadro 8. Oferta Hídrica Neta histórica rio Las Piedras.	24
Cuadro 9. Categorías de agrupación del índice de escasez.....	25
Cuadro 10. Resumen de la demanda para la subcuenca rio Las Piedras.	26
Cuadro 11. Índice de escasez histórico rio Las Piedras	26
Cuadro 12. Aportes de Caudal de las microcuencas del rio Las Piedras	28
Cuadro 13. Oferta hídrica para fenómeno el Niño 2015-2016 rio Las Piedras.	31
Cuadro 14. Oferta Hídrica neta para el Fenómeno El Niño	33
Cuadro 15. Caudal promedio acueductos verdales subcuenca río Las Piedras.	33
Cuadro 16. Índice de Escasez en el fenómeno del Niño subcuenca Las Piedras	34
Cuadro 17. Temperatura mensual.	36
Cuadro 18. Parámetros estadísticos.....	36
Cuadro 19. Precipitaciones medias mensuales.	37
Cuadro 20. Parámetros estadísticos.....	38
Cuadro 21. División por corregimientos y veredas.....	45
Cuadro 22. Uso del suelo para zona rural de la subcuenca rio Molino	46
Cuadro 23. Codificación de cuencas hidrográficas.....	47
Cuadro 24. Caudal de las microcuencas del rio Molino.	48
Cuadro 25. Precipitaciones medias mensuales subcuenca Molino (2015 - 2016).....	50
Cuadro 26. Escorrentía media calculada.....	51
Cuadro 27. Oferta hídrica para fenómeno el Niño 2015-2016 rio Molino.....	52
Cuadro 28. Oferta Hídrica neta.....	52
Cuadro 29. Caudal promedio acueductos verdales subcuenca río Molino.	53
Cuadro 30. Índice de Escasez en el fenómeno del Niño subcuenca Molino.....	53
Cuadro 31. Temperatura mensual.	54
Cuadro 32. Parámetros estadísticos.....	54

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Escala de reducciones para protección de fuentes frágiles	23
Tabla 2. Índices de escasez históricos.....	27
Tabla 3. Caudales medios mensuales Rio Molino	48

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Índice ONI para periodos con fenómeno.	9
Figura 2. Ubicación subcuenca río Las Piedras.....	12
Figura 3. Caudales móviles en fenómenos.....	17
Figura 4. Caudales móviles medios anuales	17
Figura 5. Anomalías porcentuales.	18
Figura 6. Fluctuación de caudales.	20
Figura 7. Caudales mínimos históricos rio Las Piedras	22
Figura 8. Curva de duración de caudales anuales rio Las Piedras.....	23
Figura 9. Índices de escasez históricos subcuenca Las Piedras.....	27
Figura 10. Porcentajes de aporte por mes durante el estudio.	30
Figura 11. Caudales mínimos en el Fenómeno El Niño 2015-2016.....	31
Figura 12. Curva de duración de caudales fenómeno El Niño.....	32
Figura 13. Índices hídricos.....	34
Figura 14. Climograma	38
Figura 15. Curva de frecuencias y duración de caudales, estación Puente Carretera.	39
Figura 16. Balance hídrico estación de Héctor Arias	43
Figura 17. Balance hídrico estación de Deyanira Conejo	43
Figura 18. Ubicación de la subcuenca rio Molino	44
Figura 19. Porcentaje De aportes por microcuencas.....	50
Figura 20. Climograma	55
Figura 21. Curva de caudales ponderados en el fenómeno.	56
Figura 22. Balance Hídrico Estación FIC.....	58
Figura 23. Balance Hídrico Estación Narcisa Bonilla.....	58

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Calculo anomalía porcentual estacional de caudales	18
Ecuación 2. Oferta hídrica neta.	21
Ecuación 3. Factor de reducción para mantener el régimen de estiaje Re.	22
Ecuación 4. Índice de escasez.	24
Ecuación 5. Evapotranspiración	40
Ecuación 6. Índice de calor mensual	40
Ecuación 7. Exponente a	40
Ecuación 8. Ajuste de la Eto.....	41
Ecuación 9. Calculo de la reserva	41
Ecuación 10. Potencial de retención	51
Ecuación 11. Calculo de esorrentía	51
Ecuación 12. Estimación del caudal para la cuenca hidrográfica.	51

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A. Tabla índice ONI.	63
ANEXO B. Datos de caudales medios mensuales y cálculos, estación Puente Carretera rio Las Piedras.....	65
ANEXO C. Caudales medios móviles.....	67
ANEXO D. Calculo Anomalías Porcentuales.....	69
ANEXO E. Caudales medios diarios mayo 2015 a abril 2016 Estación Puente Carretera, Rio Las Piedras.	70
ANEXO F. Isotermas medias mensuales Subcuenca Las Piedras para el fenomeno El Niño 2015-2016	73
ANEXO G. Isoyetas medias mensuales Subcuenca Las Piedras para el fenomeno El Niño 2015-2016	77
ANEXO H. Balances Hídricos subcuenca rio Las Piedras	80
ANEXO I. Balances Hídricos totales subcuenca rio Las Piedras	80
ANEXO J. Caudales máximos, medios, mínimos, mensuales subcuenca Molino, Bocatoma.	81
ANEXO K. Isoyetas medias mensuales subcuenca Molino para el fenomeno El Niño 2015-2016.	82
ANEXO L. Isotermas subcuenca Molino para el fenómeno El Niño 2015-2016.....	85
ANEXO M. Balances Hídricos subcuenca rio Molino.	88
ANEXO N. Balances Hídricos totales subcuenca rio Las Piedras.....	88

INTRODUCCIÓN

Proporcional al acelerado crecimiento de la población mundial, se han incrementado el consumo de bienes y servicios, en consecuencia de ello también la demanda de recursos para satisfacer tales necesidades, es por esto que el hombre se ha beneficiado de manera exagerada de la naturaleza trayendo consigo consecuencias negativas e irreversibles a nuestro ecosistema, como la variación en los componentes del sistema atmosférico, el denominado cambio climático, el cual corresponde a la alteración de los parámetros climáticos que se han visto afectados durante un tiempo considerable, lo que conlleva a la presentación de episodios que evidencian efectos antrópicos sobre el clima en la Tierra, afectando de manera permanente la distribución de algunos componentes vitales, es por ello que se hace necesario estudiar de manera precisa y específica los sectores más afectados por estas variaciones.

Las variaciones atmosféricas más relevantes en nuestro país son los fenómenos de El Niño y la Niña. El Niño, objeto de este estudio, es un fenómeno de naturaleza océano atmosférico que se presenta con alguna regularidad en las aguas del océano Pacífico (cada 3 a 7 años) y que dependiendo de la intensidad que logre puede afectar el clima mundial, modificando el comportamiento de los períodos lluviosos y secos. En nuestro país, El Niño modifica las temporadas invernales reduciendo la cantidad total de lluvia que se presenta en los departamentos del Caribe y de la región Andina, principalmente. Al llegar la temporada seca de bajos volúmenes de lluvia, el déficit de precipitación se hace mayor por lo que de no haber tomado las precauciones necesarias, los impactos en algunos sectores productivos pueden hacerse mayores por un creciente del déficit acumulado de precipitación. (IDEAM, 2006).

La recurrencia del fenómeno el Niño y en consecuencia el aumento de las temperaturas y la disminución significativa de precipitaciones en el municipio de Popayán durante estos periodos ha llevado a que se haga necesario estudios permanentes para la mitigación de su impacto, esto es evidente gracias a los reportes que institutos como el IDEAM y la NOAA, así como estudios locales.

1. ANTECEDENTES DE ESTUDIO

En aras de mitigar, a nivel local, los efectos ocasionados por el cambio y la variabilidad climática se adelantan estudios que permiten caracterizar dichos efectos para hacer frente a esta problemática mundial y fomentar de manera incluyente alternativas que hagan un mundo sostenible frente a estos drásticos cambios. Debido a esto, fenómenos como El Niño han incrementado su intensidad comprometiendo las características naturales de los ecosistemas así como la disponibilidad y distribución normal de los recursos fundamentales como el agua.

Colombia, por su ubicación geográfica en el Pacífico Tropical, lo que caracteriza su clima, se ve altamente influenciada y comprometida por los efectos del fenómeno El Niño. En la región Andina, por ejemplo, la reducción en las precipitaciones e incremento de la temperatura media ha generado grandes pérdidas dada la reducción en la oferta hídrica.

El Municipio de Popayán, en los últimos años ha tenido un crecimiento poblacional significativo y con ello un incremento en la demanda de los recursos. En periodos secos muy acentuados, generados por el efecto del fenómeno El Niño, se puede presentar un déficit en la oferta hídrica con incremento en la temperatura, lo que a su vez puede impactar sectores como el productivo, el energético entre otros. Por esto es conveniente generar análisis permanentes de sus principales fuentes abastecedoras, estos trabajos se vienen desarrollando de manera conjunta entre entidades públicas y privadas que han logrado consolidar una base de información.

Las subcuencas de los ríos Las Piedras y Molino, que representan el 0.42% de la superficie del departamento del Cauca, son las fuentes hídricas que alimentan de manera permanente el acueducto municipal y algunos acueductos interveredales que se ubican a lo largo de las cuencas, declarándose como focos prioritarios de conservación.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Monitorear y analizar el impacto que genera el actual fenómeno El Niño en la hidroclimatología de las subcuencas de los ríos Las Piedras y Molino.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar la oferta hídrica de las subcuencas de los ríos Las Piedras y Molino durante el actual fenómeno El Niño, haciendo un seguimiento a las principales microcuencas de estos ríos.
- Determinar el índice de escasez para la subcuenca del río Molino y actualizar el índice para la subcuenca del río Las Piedras durante el fenómeno El Niño.
- Realizar un análisis hidroclimatológico de la subcuenca río Las Piedras.
- Realizar un análisis hidroclimatológico de la subcuenca río Molino.

3. METODOLOGÍA

3.1 PRIMERA FASE: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.

Esta fase fue llevada a cabo con la revisión de información histórica y actualizada de datos hidroclimatológicos relevantes de las subcuencas para consolidar un fundamento matemático y así posteriormente analizar y relacionar el comportamiento hídrico de cada subcuenca con el comportamiento climático de la zona y así determinar su afectación por el fenómeno El Niño.

De los datos históricos a recopilar para realizar los análisis pertinentes, se usaron datos de temperaturas y precipitaciones diarios, mensuales y anuales de las estaciones presentes en las cuencas, las cuales se describen de manera detallada en el cuadro 1, así como registro de caudales en algunos puntos de las subcuencas y estudios previos de oferta hídrica e índice de escasez para consolidar el documento, esta información fue obtenida y complementada de distintas fuentes: División Ambiental, del Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A E.S.P Fundación Pro Cuenca río Las Piedras, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA).

Cuadro 1. Estaciones utilizadas para el análisis.

ESTACION	SUBCUENCA	ELEVACION msnm	COORDENADAS	
			Latitud Y	Longitud X
Cesar Hidalgo	Cuenca Cauca	2044	2.4507139	-76.521619
Evelio Campo	Río Palacé	2090	2.4586139	-76.515158
Manuel Gurrute	Río Las Piedras	2135	2.4445722	-76.495922
Deyanira Conejo	Río Las Piedras	2151	2.4531528	-76.472808
Octaviano Lame	Río Las Piedras	2447	2.4384889	-76.449861
Nicanor Santiago	Río Las Piedras	2514	2.4586583	-76.455978
Aquileo Ortega	Río Las Piedras	2545	2.4442306	-76.446469
Sandra Sánchez	Río Las Piedras	2272	2.4565556	-76.497444
Alberto Sánchez	Río Palacé	2344	2.46625	-76.452111
Adriana Mariaca	Río Las Piedras	2389	2.45275	-76.466556
Héctor Arias	Río Las Piedras	2488	2.4223611	-76.472056
Fernando Gurrute	Río Las Piedras	2610	2.4648056	-76.440944
Elena Mapayo	Río Molino	2047	2.43775	-76.564806
Marcelina Lame	Río Molino	2057	2.4337778	-76.557669
Narcisa Bonilla	Río Molino	2308	2.394	-76.529472
Carlos A. León	Río Molino	2525	2.3758611	-76.525281
Saúl Bonilla	Río Molino	2539	2.3839722	-76.514028

ESTACION	SUBCUENCA	ELEVACION msnm	COORDENADAS	
			Latitud Y	Longitud X
Felipe Becerra	Río Pisojé	1804	2.4427861	-76.526942
Alejandro Jojoa	Río Pisojé	1850	2.4684056	-76.557925
Mirian Escobar	Río Pisojé	2110	2.4122778	-76.536056
Lucina Caldón	Río San Francisco	2318	2.3969111	-76.480222
Rubén Delio	Río San Francisco	2811	2.3824167	-76.441472
Julio Guauña	Río San Francisco	2944	2.3663333	-76.452389
Absalón Escobar	Río San Francisco	3134	2.3745833	-76.422889
Isabel Iziquita	Río San Francisco	3330	2.3695833	-76.40025
Carlos Maca	Río Hondo	2270	2.3913611	-76.550139
Fernando Levasa	Río Cauca	2380	2.376075	-76.497831
Alfonso Hinga	Río Hondo	2460	2.3644167	-76.562083
El Lago	Río Las Piedras	2020	2.4488889	-76.521667
El Diviso	Río Las Piedras	2264	2.4433333	-76.463333
Pisojé Alto	Río Pisojé	1830	2.4691278	-76.558389
Bocatoma Molino	Río Molino	1834	2.439725	-76.573817
Santa Bárbara	Río Molino	1907	2.4281278	-76.568836
El Umuy	Río Molino	2525	2.3900278	-76.510583
FIC Unicauca	Río Molino	1728	2.446875	-76.597239
Aeropuerto GLV	Río Molino	1752	2.4524389	-76.611397
Arrayanales	Río Las Piedras	2563	2.4478333	-76.435875
Puracé	Río San Francisco	2608	2.3805222	-76.456211
Polindara	Río Palacé	2733	2.5	-76.416667
Palacé	Río Palacé	2048	2.5058806	-76.501869

Fuente: Acueducto y alcantarillado de Popayán.

3.2 SEGUNDA FASE: OBTENCIÓN DE DATOS, FASE DE CAMPO.

Esta investigación se desarrolló en conjunto con La División Ambiental de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A E.S.P, quienes suministraron información valiosa y trascendental para la construcción del presente documento, se programaron salidas de campo, las que tenían como objeto realizar aforos en las microcuencas que abastecen la cuenca principal de cada uno de los ríos, las cuales se realizaron con medidores de flujo, MOLINETE HIDRAULICO, se utilizó un medidor manual, el cual mide las revoluciones de la hélice en la corriente y otro automático, el cual registra la velocidad del flujo, los dos operan a una altura y a un tiempo determinado, al 40% de profundidad y 30 segundos respectivamente, para este estudio, el molinete manual trabajo con hélice número 6 y el automático con un sensor, los dos medidores se utiliza el principio de área velocidad para calcular el caudal.

Cabe resaltar que en la subcuenca río Las Piedras debido a investigaciones anteriores, que habían adoptado esta metodología, ya se tenían establecidos algunos puntos de aforo, caso contrario para la subcuenca del río Molino en la cual no se contaba con levantamiento de información de este tipo. Inicialmente se determinaron las microcuencas a aforar, estos puntos corresponde a los relacionados en la cuadro 2.

Cuadro 2. Puntos de aforo subcuencas Río Las Piedras y Molino.

	SUBCUENCA RIO LAS PIEDRAS	SUBCUENCA RIO MOLINO
N°	MICROCUENCA	MICROCUENCA
1	Antes de aguas claras	Antes de san Miguel
2	Aguas Claras	San Miguel
3	puente alto	Agua Regada
4	Palmichal	San José - Poblazon
5	La chorrera	Incora- Santa Helena
6	Arrayanales	Alto pesares
7	Diviso	La Palma
8	Pichagua en el puente	Antes de san Carlos
9	El Vaho	San Carlos
10	Carnicería	Canchoncho
11	El Canelo	Novirabo
12	Santa Teresa	Puente Molino
13	puente Carretera	las Agüitas Marleni Vidal
14		Los Chorros
15		Pata de venao
16		La Honda
17		Jesús Pame
18		Filipillas
19		Bocatoma

Fuente: acueducto y alcantarillado de Popayán, elaboración propia.

Los aforos se realizaron durante el desarrollo del fenómeno El Niño desde el mes de septiembre de 2015 al mes de marzo del 2016, se procuró realizar la actividad una vez por mes para la subcuenca río Las Piedras, y por temas logísticos, una vez cada dos meses para la subcuenca río Molino.

3.3 TERCERA FASE: cálculos y análisis.

En esta fase se evaluó la intensidad del actual el fenómeno El Niño, su afectación en el aporte hídrico en las subcuencas y se actualizo el índice de escasez para la subcuenca rio Las Piedras y se determinó para la subcuenca rio Molino, así como la generación de balances hídricos, climogramas, curva de duración de caudales, elaboración de mapas de isotermas e isoyetas.

4 RESULTADOS Y ANALISIS DEL ESTUDIO.

Es de resaltar que se contó con una base de datos mayor consolidada para el río Las Piedras, la cual ha sido objeto de estudio de campos interdisciplinarios quienes han aportado de manera significativa al conocimiento de aspectos tanto cualitativos como cuantitativos de la subcuenca. Para el caso del río Molino su información cuantitativa, no reporta muchos años de seguimiento lo que causo limitaciones en el estudio aquí presentado.

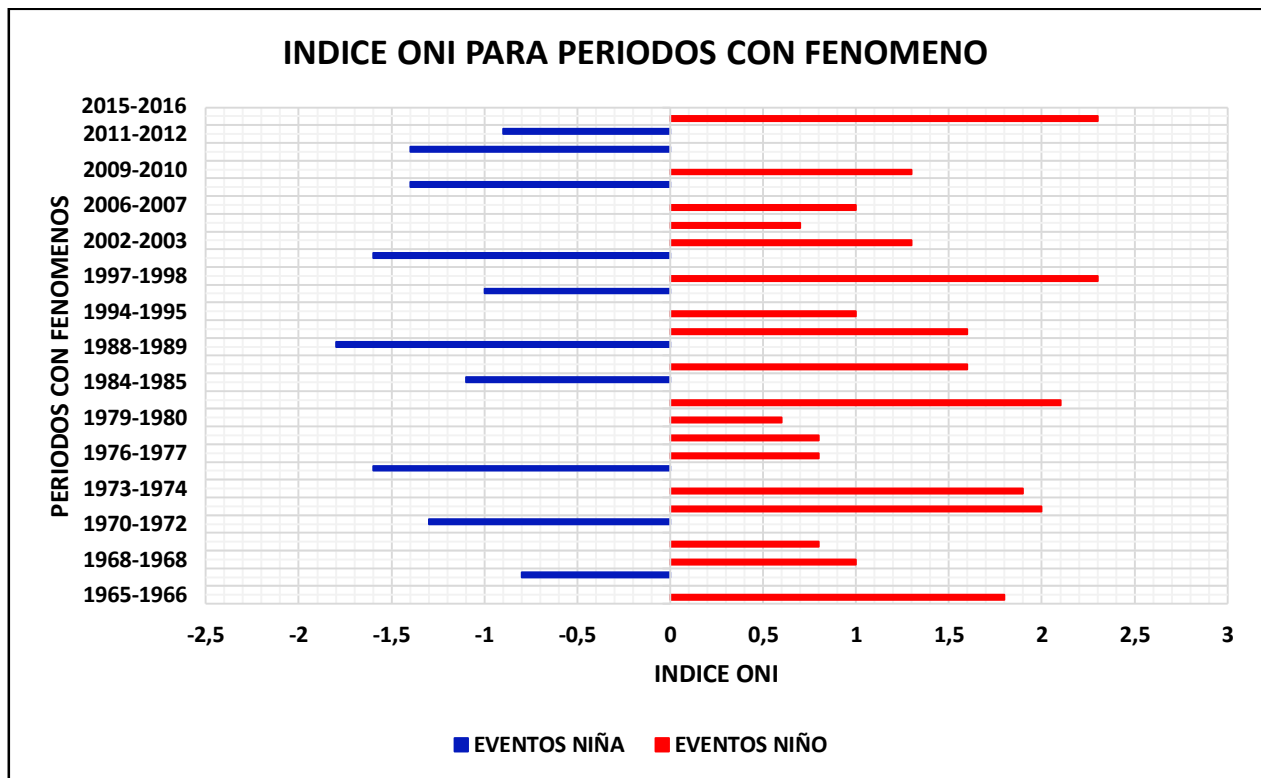
EL FENOMENO EL NIÑO Y EL INDICE ONI.

A diferencia de la Niña, la principal incidencia del fenómeno El Niño, para la zona de estudio, es la drástica disminución de las precipitaciones por las altas temperatura que alcanza, lo que implica el déficit de agua, por tanto se ve altamente comprometida la oferta hídrica natural por esta razón las investigaciones alrededor del ENOS (El Niño-Oscilación del Sur) se basan en estudios hidroclimatológicos lo cual entrega un croquis de la situación.

Los cambios registrados hasta el momento en los regímenes de lluvia y de caudal relacionados con las fases extremas de El ENOS, están ocasionando alteraciones en los procesos naturales que conforman el ciclo hidrológico y están afectando la dinámica y la distribución espaciotemporal de la oferta hídrica en las diferentes regiones del país, tanto en cantidad, como en calidad (IDEAM , 2002), es por ello que instituciones se han unificado con el objeto de tener un registro sólido de estos episodios. La NOAA, Administración Nacional Oceánica y Atmosférica, reporta de forma trimestral del ONI, Índice Oceánico Niño, definido como una serie de tiempo elaborada a partir de las anomalías de la temperatura superficial marina (Jiménez Quiroz , 2008), este estándar fue construido para identificar eventos cálidos y fríos en el océano Pacífico tropical, se calcula como la media móvil de tres meses de las anomalías de la temperatura superficial del mar. La identificación de estos episodios se da cuando el valor del ONI supera el umbral de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ durante por lo menos cinco períodos consecutivos, anomalías positivas para el Niño y negativas para la Niña, en donde la media móvil se subdivide en débil con una anomalía de 0,5 a 0,9, moderada de 1,0 a 1,4, fuerte de 1,5 a 1,9 y muy fuerte $\geq 2,0$ (Null, 2016), del mismo modo podemos tomar los periodos sin anomalías como periodos NEUTROS, los cuales servirán de referente para hacer una comparación significativa.

El seguimiento del ONI, correspondiente a los últimos 66 años, está justificada en el ANEXO A, el cual contiene el valor del índice trimestre a trimestre tras los años de estudio, información que se resume en la Figura 1.

Figura 1. Índice ONI para periodos con fenómeno.



Fuente: elaboración propia

Centrándonos en nuestro objeto de estudio, el cuadro 3 Describe de manera específica los años, intensidades y clasificación de los episodios del fenómeno el Niño desde el año de 1950 hasta el año en curso.

Cuadro 3.Eventos fenómeno El Niño, periodos de desarrollo e intensidades.

EVENTOS NIÑO			
TRMESTRE INICIAL	TRIMESTRE FINAL	VALORES MEDIA MOVIL ONI	CLASIFICACIÓN
Junio-Julio-Agosto 1951	Diciembre-Enero-Febrero 1952	0.5; 0.7; 0.8; 0.9; 0.7; 0.6; 0.5	Débil
Diciembre-Enero-Febrero 1953	Diciembre-Enero-Febrero 1954	0.5; 0.6; 0.7; 0.7; 0.7; 0.7; 0.7; 0.7; 0.8; 0.8; 0.8; 0.7; 0.7	Débil
Marzo-Abril-Mayo 1957	Junio-Julio-Agosto 1958	0.6; 0.7; 0.9; 1.0; 1.2; 1.1; 1.2; 1.3; 1.6; 1.7; 1.5 ; 1.2; 0.8; 0.7; 0.6; 0.5	Fuerte
Septiembre-Ocubre-Noviembre 1958	Enero-Febrero-Marzo 1959	0.5; 0.6; 0.6; 0.6; 0.5	Débil
Junio-Julio-Agosto 1963	Enero-Febrero-Marzo 1964	0.7; 1.0; 1.1; 1.2; 1.2; 1.1; 1.0 ; 0.6	Moderado
Mayo-Junio-Julio 1965	Marzo-Abril-Mayo 1966	0.7; 1.0; 1.3; 1.6; 1.7; 1.8 ; 1.5; 1.3; 1.0; 0.9; 0.6	Fuerte
Octubre-Noviembre-Diciembre 1968	Mayo-Junio-Julio 1969	0.6; 0.8; 0.9; 1.0; 0.9; 0.7; 0.6; 0.5	Débil
Julio-Agosto-Septiembre 1969	Diciembre-Enero-Febrero 1970	0.5; 0.8; 0.8; 0.8; 0.7; 0.6	Débil
Abril-Mayo-Junio 1972	Febrero-Marzo-Abril 1973	0.6; 0.8; 1.1; 1.3; 1.5; 1.8; 2.0; 1.9; 1.7; 1.2; 0.6	Fuerte
Agosto-Septiembre-October 1976	Enero-Febrero-Marzo 1977	0.5; 0.7; 0.8; 0.8; 0.7; 0.6	Débil
Agosto-Septiembre-October 1977	Diciembre-Enero-Febrero 1978	0.5; 0.6; 0.8; 0.8; 0.7	Débil
Septiembre-Ocubre-Noviembre 1979	Enero-Febrero-Marzo 1980	0.5; 0.5; 0.6; 0.6; 0.5	Débil
Marzo-Abril-Mayo 1982	Mayo-Junio-Julio 1983	0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 1.0; 1.5; 1.9; 2.1; 2.1; 2.1 ; 1.8; 1.5; 1.2; 1.0; 0.7	Muy Fuerte
Agosto-Septiembre-October 1986	Enero-Marzo-Abril 1988	0.7; 0.9; 1.0; 1.1; 1.1; 1.2; 1.1; 1.0; 0.9; 1.1; 1.4; 1.6; 1.6; 1.4; 1.2; 1.1; 0.8; 0.5	Moderado
Mayo-Junio-Julio 1991	Junio-Julio-Agosto 1992	0.6; 0.7; 0.7; 0.7; 0.8; 1.2; 1.4; 1.6; 1.5; 1.4; 1.2; 1.0 ; 0.8; 0.5	Moderado
Septiembre-October-Noviembre 1994	Febrero-Marzo-Abril 1995	0.6; 0.9; 1.0; 0.9; 0.7; 0.5	Débil
Abril-Mayo-Junio 1997	Abril-Mayo-Junio 1998	0.6; 1.0; 1.4; 1.7; 2.0; 2.2; 2.3; 2.3 ; 2.1; 1.8; 1.4; 1.0; 0.5	Muy Fuerte
Mayo-Junio-Julio 2002	Enero-Febrero-Marzo 2003	0.7; 0.8; 0.9; 1.0; 1.2; 1.3; 1.1 ; 0.9; 0.6	Moderado
Junio-Julio-Agosto 2004	Marzo-Abril-Mayo 2005	0.5; 0.7; 0.7; 0.7; 0.7; 0.7; 0.6; 0.6; 0.5; 0.5	Débil
Agosto-Septiembre-October 2006	Diciembre-Enero-Febrero 2007	0.5; 0.8; 0.9; 1.0; 0.7	Débil
Junio-Julio-Agosto 2009	Marzo-Abril-Mayo 2010	0.5; 0.6; 0.7; 1.0; 1.2; 1.3; 1.3; .1.1 ; 0.8; 0.5	Moderado
Febrero-Marzo-Abril 2015	abril-mayo-junio 2016	0.5; 0.7; 0.9; 1.0; 1.2; 1.5; 1.8; 2.1; 2.2; 2.3; 2.2,1.9,1.5,1.1,0.7	Muy Fuerte

Fuente: (Centro de predicción climática de la NOAA). Edición Propia

El anexo A, tras los años de seguimiento, registra el desarrollo de 36 eventos, de los cuales se presentaron 14 temporadas de La Niña, 22 de El Niño. Se consideran además 5 periodos neutros donde las anomalías no superaron el valor para provocar algún tipo de variación climática. De los periodos de El Niño, el cuadro 3 registra que el 50% de los eventos fueron de magnitud DEBIL, el 22.74% MODERADOS, el 13.63% FUERTES y la misma cifra para los clasificados como MUY FUERTES.

Como se es de esperar, las ocurrencias del fenómeno en sus episodios DEBILES, son cortos, por lo cual no tiene tanta repercusión, mientras que en los FUERTES se prolonga su desarrollo de manera continua hasta que después de un pico llega al debilitamiento lo que implica un mayor impacto, además de ello al transcurrir de los años su intensidad aumenta y se convierte en un fenómeno recurrente e intenso.

El fenómeno del niño más largo se presentó desde el trimestre agosto-septiembre-octubre de 1986 hasta enero-marzo-abril de 1988, en donde el ONI alcanzado en este periodo fue de hasta 1,6 por lo cual se clasifico como MODERADO. Los Niños MUY FUERTES que se han presentado han sido los de marzo-abril-mayo de 1982 hasta mayo-junio-julio de 1983, abril-mayo-junio de 1997 hasta abril-mayo-junio de 1998 y el de febrero-abril-mayo de 2015 hasta el último registro que se tiene en abril-mayo-junio de 2016 con valores de ONI alcanzado referentes a 2.1, 2.3 y 2.3 respectivamente.

Este estudio se centró en el fenómeno El Niño en curso, ya que al igual que el de 1997-1998, ha alcanzado el mayor valor del índice ONI lo que sugiere una alerta ante las incidencias del fenómeno ya que se ve altamente comprometida la oferta hídrica y su distribución en las diferentes zonas que la demandan.

5 SUBCUENCA RIO LAS PIEDRAS

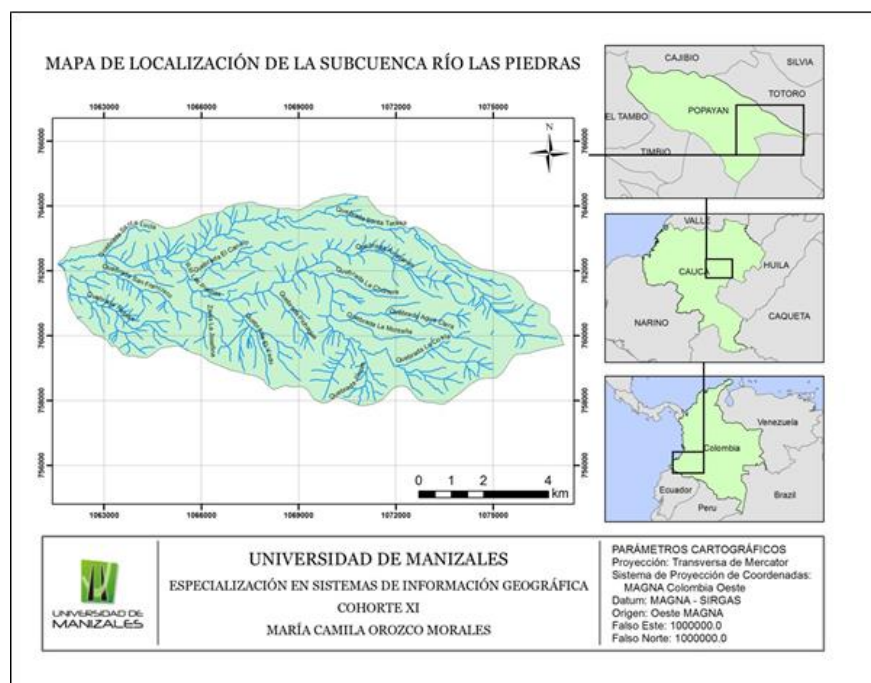
5.1 GENERALIDADES

5.1.1 Ubicación del área de estudio

La subcuenca del río Las Piedras abarca el 0.023% del territorio del departamento del Cauca con una extensión de 6.626 hectáreas, la cuales oscilan entre los 1980 y 3820 msnm.

Esta subcuenca, de acuerdo con el Plan de Ordenación y Manejo de la Subcuenca (POMCH) del Río Las Piedras elaborado por la C.R.C y la división Ambiental de acueducto y alcantarillado de Popayán en el año 2006, tiene sus coordenadas geográficas a $76^{\circ} 31' 10''$ al Oeste de Greenwich y $2^{\circ} 21' 45''$ de latitud Norte, en el nacimiento del río y a $76^{\circ} 23' 45''$ longitud Oeste y $2^{\circ} 25' 40''$ de latitud Norte en la desembocadura del río Cauca.

Figura 2. Ubicación subcuenca río Las Piedras



Fuente: (Orozco Morales, 2015)

5.1.2 División de la subcuenca

La Subcuenca del río Las Piedras está ubicada en los municipios de Popayán y Totoró, cuenta con dos corregimientos y diez veredas, en el cuadro 4 se encuentra su división, además de la población registrada en el censo realizado para el POMCH en el año 2006 (CRC, 2006).

Cuadro 4. División por corregimientos y veredas.

SUBCUENCA RÍOLAS PIEDRAS			
MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDAS	POBLACIÓN
Popayán	Quintana	Laureles	78
		El Canelo	104
		La Laguna	225
		San Juan	474
		San Ignacio	234
		Quintana	329
	La Las Piedras	Huacas	318
		San Isidro	235
Totoró		Santa Teresa	141
		San Juan (parte alta)	S.I.

S.I: Sin Información

Fuente: POMCH Las Piedras, 2006

5.1.3 Clima

La variación altitudinal de la subcuenca se encuentra entre los 1980 y 3820 msnm, presentando tres tipos diferentes de pisos térmicos: templados (1000 a 2000 msnm), fríos (2001 a 3000 msnm) y paramo (3200 a 3700 msnm) (Castañeda Tiria, 2014), la temperatura media de la zona varía según los pisos altitudinales de los 18.4°C en la parte baja, a los 10.4°C en la parte alta.

5.1.4 Uso del suelo

Entre Los usos más frecuentes que se le dan al suelo en la subcuenca se encuentran la protección (49%), pastoreo vacuno (25%) y Agrícolas heterogéneas (17%), esto según el estudio cobertura y uso del suelo en la subcuenca del río Las Piedras, departamento del Cauca, uno de los estudios realizados más recientes

sobre la zona y con el cual se puede obtener el cuadro 5. en el que se plasman todos los usos asignados a estos suelos.

Cuadro 5. Tipo de uso del suelo presente en la subcuenca río Las Piedras.

USO	ÁREA_HAS	%
Protección	3238,67	49,43
Pastoreo Vacuno	1675,01	25,57
Agrícolas heterogéneas	1113,95	17
Protección y aprovechamiento selectivo de especie	231,02	3,53
Regeneración	222,87	3,4
Producción y extracción	59,69	0,91
Unidades habitacionales de carácter rural	10,67	0,16
Total	6551,88	100

Fuente: (POMCH Las Piedras, 2006)

5.1.5 Hidrología

La subcuenca Las Piedras pertenece a la cuenca Cauca, zona hidrográfica Magdalena-Cauca, con una red de drenaje conformada por las subcuencas de aguas claras y peñas blancas. A su corriente principal llegan catorce cuencas de orden 3, según la codificación de Gravellius, y cuatro cuencas de orden 4. En la cuadro 6 se encuentra detallada la codificación de cuencas hidrográficas para subcuenca río La Las Piedras.

Cuadro 6. Codificación de cuencas hidrográficas para subcuenca rio La Las Piedras.

CODIFICACION DE CUENCAS					
Zona hidrográfica Magdalena-Cauca					
Corriente					
Orden					
Z.H	Cuenca	Subcuenca	Afluentes		
0	1	2	3	4	
Magdalena-Cauca	Cauca	Rio Las Piedras	Qda. Agua Colorada		
				Qda. Robles	
			Qda. Carnicería		
				Zo La Josefina	
			Qda. El Vado		
			Qda. Pichagua		
			Qda. El Cedro		
			Qda. Las Juntas		
		Qda. Peñas Blancas			
			Qda. La Costa		
			Qda. Aguas Claras		
				Qda. San Pablo	
			Qda. La Chorrera		
			Qda. Arrayanales		
			Zo El Arado		
			Qda. El Limonar		
			Qda. Santa Teresa		
		Caño El Muerto			

Fuente: (POMCH Las Piedras, 2006)

5.2 ESTUDIOS HISTORICO

5.2.1 Análisis histórico

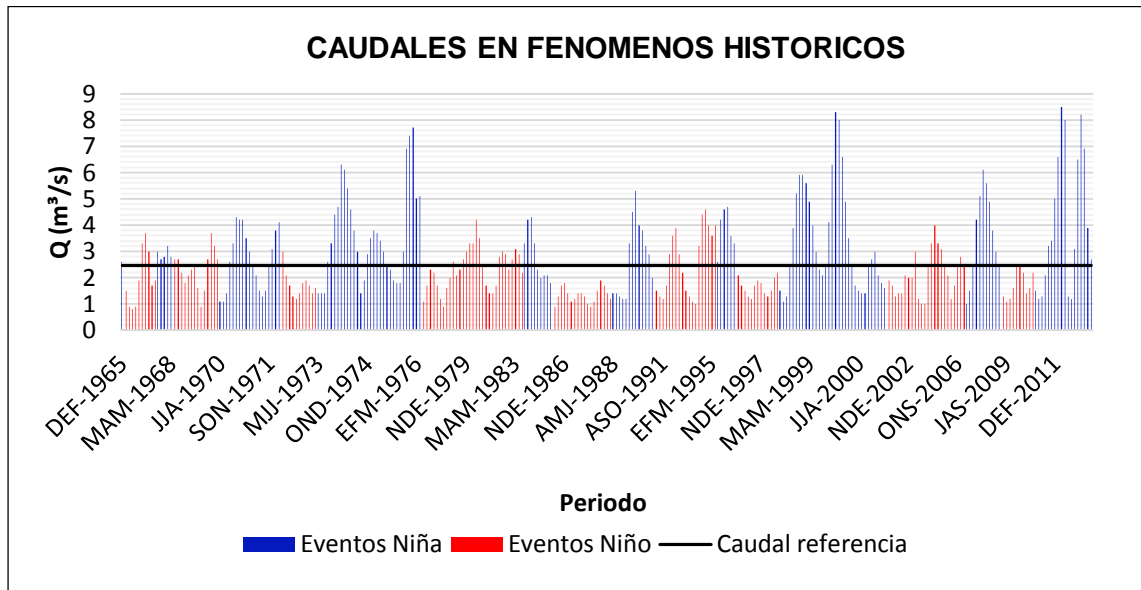
En el seguimiento en la cuenca del rio Las Piedras, específicamente en la estación de **PUNTE CARRETERA**, se encuentra un histórico consolidado del valor de los caudales desde 1964 hasta 2015, de los cuales se trabajó con los datos de los caudales medios mensuales en (m³/s), se encuentran resaltados los años de **1981, 1990, 1993, 2013 y 2014** en los que no se encontraron anomalías que trascendieran los periodos estipulados para considerarse fenómenos, por lo que se toman como

los **años neutros** para posteriores evaluaciones. El anexo B muestra los valores consolidados en los que se resaltan algunos espacios, correspondiente a valores de caudal de algunos meses de los cuales no se tienen registro, lo cual causa gran incertidumbre en el estudio por lo que se determinaron sacando el caudal promedio mensual interanual, se define como la media de los caudales medios mensuales para un mes dado durante un período de n años, a partir de ello se pudo calcular el valor del caudal promedio por año y a su vez el promedio de estos, denominado caudal medio interanual del caudal medio por año, con un valor de **2,47** (m³/s).

Para generar una relación de caudales con el índice ONI correspondiente a cada año, se suavizaron los valores de caudal, sacando la media móvil a los datos por trimestre, por ejemplo, se tomaron los datos de enero-febrero-marzo y se sacó un promedio, el valor obtenido corresponde al mes de febrero, para el mes de marzo se tomó el trimestre febrero-marzo-abril y así sucesivamente, luego se calculó el valor promedio de caudal de los valores móviles para cada año y luego el promedio de estos obteniendo un valor de **2,48** (m³/s), como lo muestra el anexo C, siendo este un valor representativo y al analizar que no hubo diferencia con el valor del caudal medio interanual del caudal medio por año, se tomó como caudal referente para el análisis de la figura 3.

El anexo C, además, contiene los valores de caudales móviles, en rojo los correspondientes a los periodos de Niño, donde alcanzó un valor máximo de 4.6 m³/s correspondiente al mes de diciembre de 1994 en donde se registra un Niño Débil, con ONI máximo de 1.0 para ese fenómeno, un valor mínimo de 0.8 m³/s para el mes de agosto de 1967 con un desarrollo de niño fuerte con ONI 1.8. En azul se encuentran los datos correspondientes a los eventos Niña con un caudal móvil máximo 8.5m³/s y un mínimo de 1.0 m³/s y ONI -0.8 y -0.6 respectivamente, es así como se evidencia que los caudales móviles en los eventos Niña no son inferiores que el mínimo de los eventos Niño, lo que corrobora que la metodología utilizada no genera una gran variación.

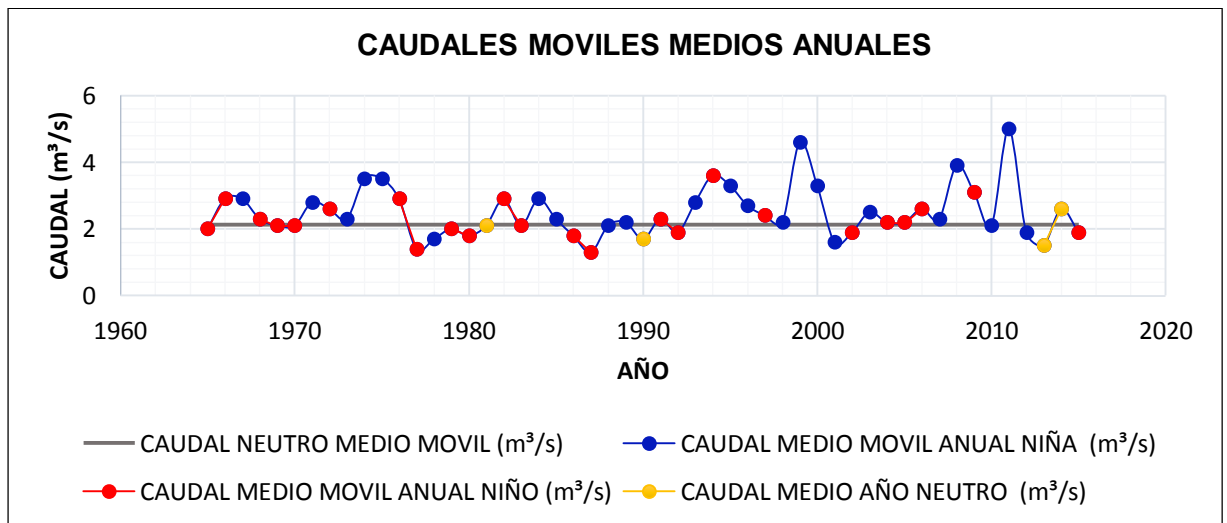
Figura 3.Caudales móviles en fenómenos



Fuente: elaboración propia

Al notar tanta diferencia con respecto al valor referencia, se determinó el valor de 2,14 (m³/s) para el caudal medio móvil para los periodos neutros el cual es el referente en la figura 4, la cual representa la fluctuación de todos los caudales con respecto al valor del caudal neutro medio móvil.

Figura 4.Caudales móviles medios anuales



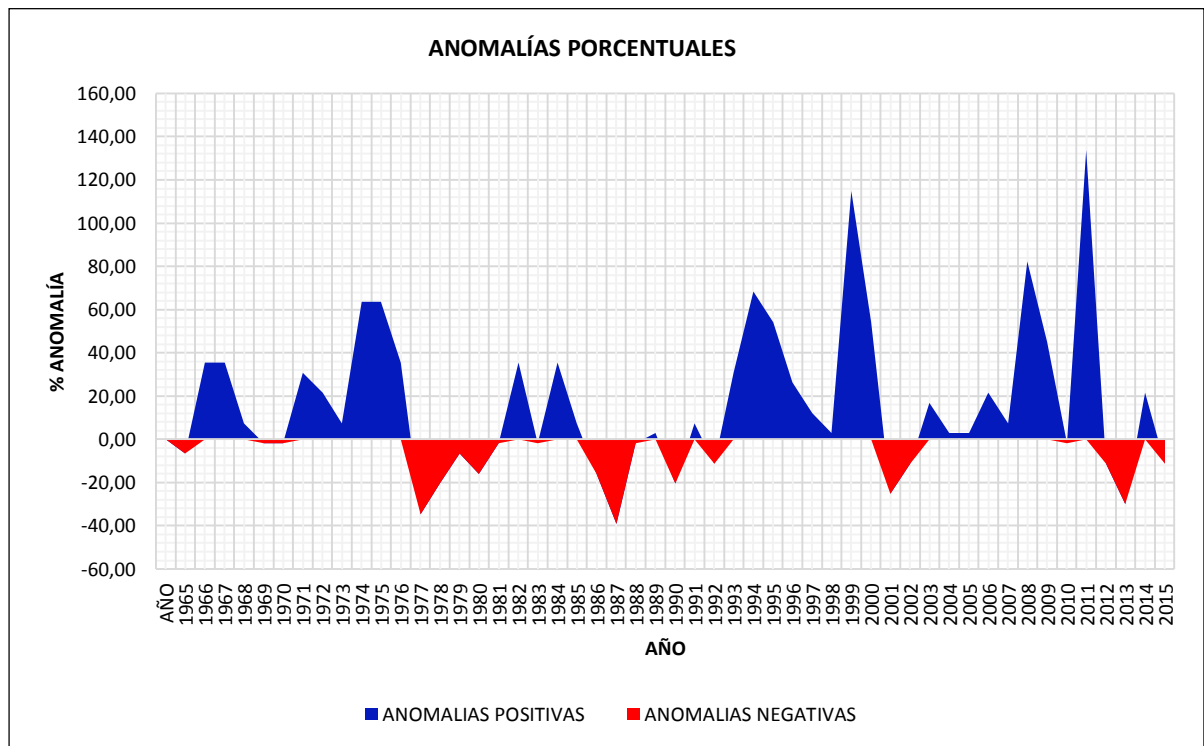
Fuente: Elaboración propia.

Donde se observa que los periodos de la Niña están, en la mayoría de las ocasiones por encima del valor del caudal referente, mientras que en periodos Niño no se aleja significativamente, ni por encima ni por debajo del caudal medio móvil, lo que indica la reducción del flujo. Las variaciones de caudal calculadas como anomalías estacionales porcentuales con la ecuación 1, los cálculos corresponden al anexo D, las que son representadas en la figura 5.

Ecuación 1.Calculo anomalía porcentual estacional de caudales

$$\text{Anomalía porcentual estacional} = \left(\left(\frac{\text{valor estacional (m}^3/\text{s)}}{\text{valor normal estacional (m}^3/\text{s)}} \right) * 100\% \right) - 100$$

Figura 5. Anomalías porcentuales.



Fuente: Elaboración propia.

De la figura 5, se puede analizar que en los años de estudio, en el 30% de los casos donde se presenta el mayor déficit en un rango del 20% al 40% en la reducción de caudal con respecto al caudal medio móvil neutro, evidencia una disminución de la disponibilidad hídrica considerable, en donde entre las más significativas están la del año 1987 con menor registro de caudal 1,3(m³/s), con una retracción del 39,25%, este periodo (1986-1988) se desarrolló de manera prolongada un fenómeno El Niño

clasificado, con respecto al índice ONI, como moderado y la del año de 1977 en presencia de un evento Niño hasta 1987 clasificado como débil, tiene un caudal de 1,4 (m³/s) que equivale a una disminución del 34,58%.

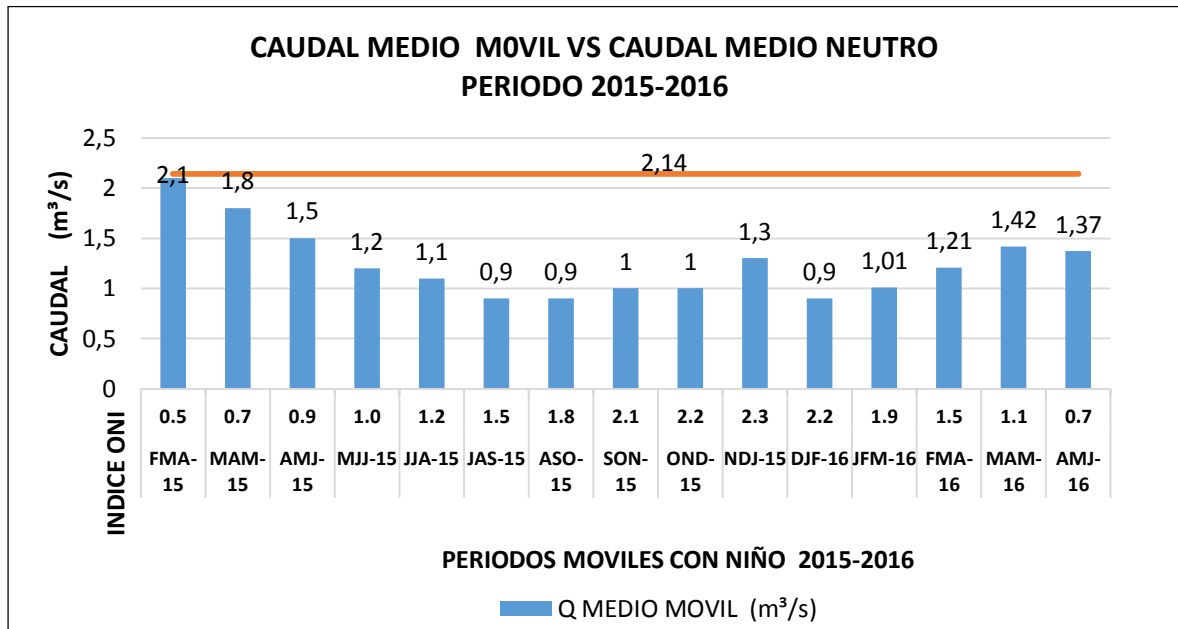
El otro 70% que registra una disminución de caudal ,no tan significativa, <20%, donde del valor mínimo corresponde a una reducción 1.86%, sucede de manera repetida en los años 1969,1970, 1981,1983, 1988, 2010 en donde el periodo 1969 y 1970 se desarrolla un Niño débil , en 1981 fue un periodo neutro, 1983 presento Niño fuerte, 1988 desarrollo un Evento Niña fuerte precedido de un Niño fuerte, finalmente el 2010 presento los dos fenómenos en su transcurso, esto evidencia que las reducciones de caudal no solo se dan en periodos de Fenómenos del Niño aunque cabe resaltar que cuándo no es en esta circunstancia las reducciones son mínimas.

Finalmente se puede analizar que en el histórico en los eventos Niño, el periodo con el mayor un déficit de caudal, con una reducción del 39,25% fue el del año 1987, por lo cual se podría asegurar que el caudal de ese periodo fue el más afectado por el fenómeno El Niño en la subcuenca del Rio Las Piedras.

Para los Caudales en "exceso" con respecto a la media móvil neutra, se muestran que del 100% de los casos, el 26% sobrepasa el valor referente en más de un 50% lo que es un valor considerable, estos pertenecen a los años en lo que se desarrollan Fenómenos de la Niña por lo cual se aprecian estos incrementos, y en solo 2 de los casos se presenta el 100% de la excedencia.

Teniendo como foco el fenómeno el niño en curso desde el mes de febrero de 2015 donde se registra anomalía, hasta el mes de mayo de 2016 hasta se tienen los datos validados por el IDEAM en cuanto a los caudales medios en puente carretera y calculando su media móvil, la figura 6 muestra la fluctuación de caudales en este periodo, con su ONI correspondiente.

Figura 6. Fluctuación de caudales.



Fuente: elaboración propia

Esta grafica muestra cómo ha medida en que se fortalece el fenómeno, disminuye el caudal disponible en el río con respecto al valor que se ha tomado como estándar cuando este se debilita nuevamente se recupera la disponibilidad hídrica. El periodo inicia con el valor de índice 0.5 donde se empieza a registrar fenómeno con un caudal medio móvil de 2.1 (m³/s), los menores registros de caudal se presentan en la maduración del fenómeno considerado desde el trimestre julio- agosto-septiembre de 2015 hasta diciembre-enero-febrero de 2016 con variaciones desde 0.9 (m³/s) hasta 1.3 (m³/s), por lo que podemos asegurar que han sido los valores mínimos de caudal medio móvil registrados en fenómenos de Niño clasificados como muy fuertes ya que al año de 1982 y 1998 les corresponden caudales medios móviles mínimos de 1,4 y 2 (m³/s) respectivamente.

5.2.2 Oferta hídrica

El agua que después de haberse precipitado sobre la cuenca y satisfecho las cuotas de evapotranspiración e infiltración del sistema suelo, escurre por los cauces mayores de los ríos y demás corrientes superficiales, alimenta lagos, lagunas y reservorio se denomina oferta hídrica, también hace referencia al volumen disponible de agua para satisfacer la demanda generada por las actividades sociales y económicas del hombre (CORPONARIÑO , 2009)

El conocimiento del caudal del río, su confiabilidad y extensión de la serie del registro histórico son variables que pueden influir en la estimación de la oferta hídrica superficial. Cuando existe información histórica confiable de los caudales con series extensas, el caudal medio anual del río es la oferta hídrica de la cuenca. (CORPONARIÑO , 2009)

5.2.2.1 Oferta hídrica superficial

Finalizado este bosquejo histórico del fenómeno, el cuadro 7 describe la oferta hídrica histórica, la cual corresponde al promedio mensual interanual

Cuadro 7. Oferta hídrica superficial histórica río Las Piedras.

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Q (m ³ /s)	3,27	3,12	3,02	3,01	2,55	1,69	1,34	1,13	1,07	1,70	3,37	4,35

Fuente. IDEMA 2016, edición propia.

5.2.2.2 Oferta hídrica neta

Esta oferta se determina a partir de la oferta superficial con la ecuación 2, además incorpora la determinación del factor de reducción para mantener el régimen de estiaje (R_e) y el factor de reducción para protección de fuentes frágiles (R_f) parámetros característicos de la cuenca.

Ecuación 2. Oferta hídrica neta.

$$O_n = O_t * [1 - (R_e * R_f)]$$

Donde:

O_t : Oferta hídrica superficial total (m³/s).

R_e : Factor de reducción para mantener el régimen de estiaje.

R_f ; Factor de reducción para protección de fuentes frágiles.

5.2.2.2.1 Cálculo del factor de reducción para mantener el estiaje R_e

Este factor, se establece con base en las características del régimen de estiaje de la fuente abastecedora, se calcula en base a la ecuación 3

Ecuación 3. Factor de reducción para mantener el régimen de estiaje R_e .

$$Re[\%] = \frac{Q_{97.5\%}}{\bar{Q}} * 100$$

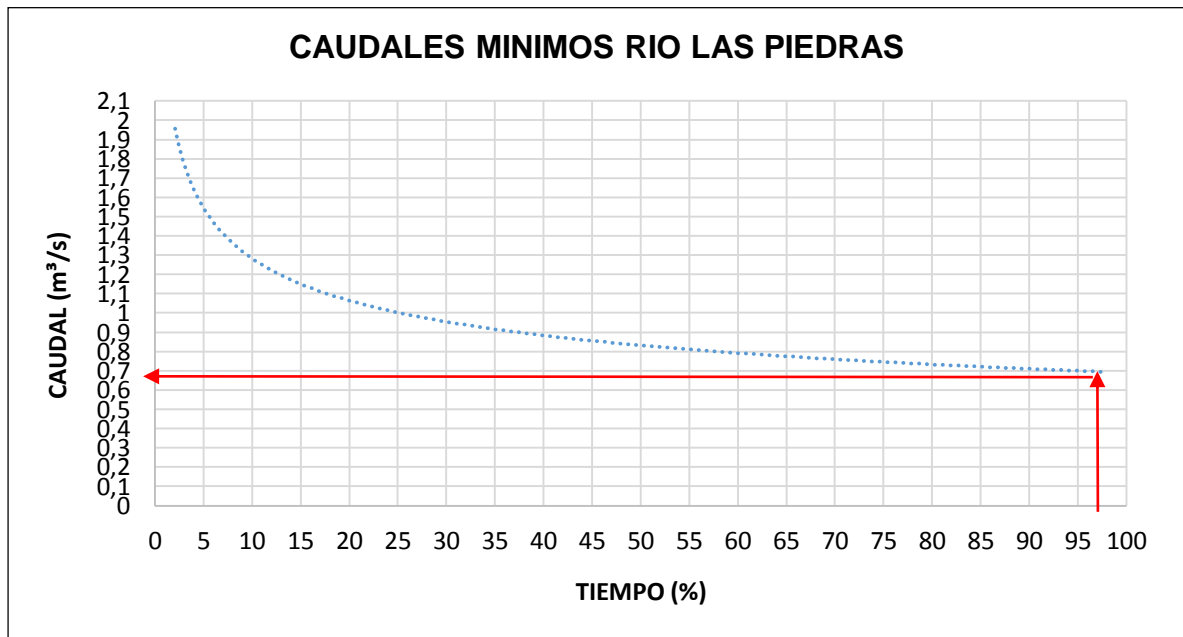
Donde:

$Q_{97.5\%}$: Caudal de estiaje, caudal con el 97,5% de probabilidad de excedencia, por lo que se construye la curva de los caudales medios anuales de los mínimos diarios en m^3/s (Domínguez, Rivera, Vanegas, & Moreno, 2008).

\bar{Q} : Caudal modal, caudal de mayor probabilidad de ocurrencia durante el año, se calcula como el promedio aritmético de los caudales que son superados el 75% del tiempo durante el año, se obtiene de la curva de frecuencia y duración de caudales.

La figura 7 corresponde a la curva de caudales mínimos históricos para el río Las Piedras, de aquí obtenemos que el $Q_{97.5\%}$ corresponde a **0,69** (m^3/s)

Figura 7. Caudales mínimos históricos río Las Piedras

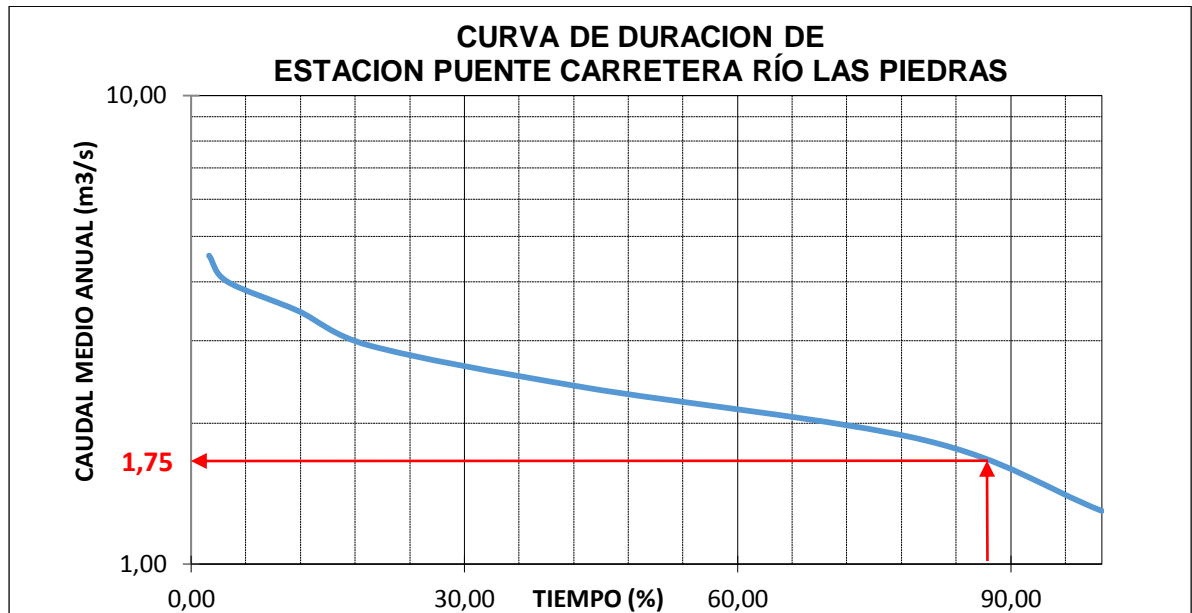


Fuente: elaboración propia.

Para poder determinar \bar{Q} , la figura 8 muestra la curva de duración de caudales anuales para el río Las Piedras, de esta tenemos que el valor de \bar{Q} es de **1,75** (m³/s).

Con estos valores obtenidos y utilizado la ecuación 3 tenemos finalmente un $R_e = 39\%$

Figura 8. Curva de duración de caudales anuales río Las Piedras.



Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.2.2 Calculo del factor de reducción para proteger las fuentes frágiles

R_f

Este factor, depende del coeficiente de variación (Cv) de los caudales mínimos, se determina a partir de la tabla 1.

Tabla 1. Escala de reducciones para protección de fuentes frágiles

CV	R_f (%)
0 - 0.2	15
0.2 - 0.3	25
0.3 - 0.4	35
0.4 - 0.6	40
> 0.6	50

Fuente. (Domínguez et al., 2008)

El coeficiente de variación correspondiente a los datos históricos es de **0,34** por lo que se obtiene un R_f 35 %

5.2.2.2.3 Calculo de la oferta hídrica neta.

Utilizado la ecuación 2 y los valores obtenidos de R_f y R_e , el cuadro 8 consolida los valores de la oferta hídrica neta histórica teniendo en cuenta que aquí se incluye el caudal que ha sido extraído (demandado) a lo largo de la cuenca.

Cuadro 8. Oferta Hídrica Neta histórica rio Las Piedras.

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Q (m ³ /s)	3,13	2,94	2,87	2,86	2,46	1,71	1,40	1,22	1,16	1,71	3,17	4,03

Fuente: Elaboración propia

5.2.3 Índice de escasez

Como previamente sea mencionado el recurso hídrico es vital para el desarrollo humano y económico de la sociedad, es por esta razón que hace necesario el análisis de indicadores de oferta hídrica disponible y la relación con la demanda existente por parte de las fuentes abastecedoras. Esta relación establece los parámetros de evaluación para el índice de escasez y es calculada en condiciones hidrológicas medias y secas, a partir de estos estudios se pueden tomar las medidas correspondientes en los planes de ordenamiento y manejo de las cuencas hidrográficas teniendo en cuenta los niveles menos favorables (GONZALEZ L. J., 2008)

Ecuación 4. Índice de escasez.

$$I_e = \frac{D}{O} \times 100\%$$

Donde:

I_e = índice de escasez (%)

D = Demanda de agua (m³/s)

O_n = Oferta hídrica neta (m³/s)

El índice de escasez cuenta con cinco categorías que permiten determinar los umbrales críticos de presión sobre el recurso hídrico, estas categorías se pueden observar en el siguiente cuadro.

Cuadro 9. Categorías de agrupación del índice de escasez

CATEGORIA	RANGO	COLOR	EXPLICACIÓN
Alto	>50%	ROJO	Demanda Alta (D.A)
Medio Alto	21-50%	NARANJA	Demanda Apreciable (D.AP)
Medio	11-20 %	AMARILLO	Demanda Baja (D.B)
Mínimo	1-10%	VERDE	Demanda Muy Baja (D.MB)
No Significativo	1%	AZUL	Demanda No Significativa (D.NS)

Fuente. (IDEAM, 2004)

Para Colombia, el IDEAM introdujo la siguiente escala de valoración para las categorías del índice de escasez:

Demanda Alta: la demanda que supera el 50% del agua ofrecida potencialmente por la fuente abastecedora.

Demanda Apreciable: el nivel de demanda de agua se encuentra entre el 21 y 50% de la oferta neta.

Demanda Baja: Los requerimientos de agua están entre el 10 y el 20% de la oferta hídrica neta.

Demanda Muy Baja: la demanda de agua se encuentra entre el 1 y el 10% de los volúmenes de agua ofrecidos por la fuente.

Demanda No significativa: Demanda menor al 1% de la oferta hídrica neta.

5.2.3.1 Demanda hídrica

La demanda de agua utilizada para las actividades socioeconómicas de la subcuenca Las Piedras se compone de la sumatoria de demandas sectoriales, tales como la doméstica, industrial y pecuaria. De donde el uso doméstico hace referencia a lo destinado para los Acueductos Verdales, en la zona rural, y lo derivado para el Acueducto de Popayán, zona urbana. El uso industrial se basa en el consumo de la piscifactoría El Diviso, la cual es la única industria dentro del área de estudio. El uso pecuario está dado por el consumo a nivel pecuario y pequeñas huertas. (Zúñiga Silva & Vísquez Pancho, 2011)

La demanda de agua de los diferentes acueductos verdales, fue estimada, teniendo en cuenta la población que se abastece con 150L/hab/día (Recaman, 2006).

La Piscifactoría el Diviso tiene un caudal asignado de 385L/s, con un factor de retorno de 0.8, según la concesión de aguas. (CRC, 2006)

Para efectos del estudio del índice de escasez histórico se tuvo en cuenta la demanda observada en el cuadro 10 obtenida a través del estudio de evaluación de oferta y demanda hídrica de la subcuenca del río Las Piedras realizado en el 2006 y base de estudio para el índice de escasez desde la época.

Cuadro 10.Resumen de la demanda para la subcuenca río Las Piedras.

DEMANDA HIDRICA		
Uso	Demandada (L/s)	%
Domestico	751	77
Agropecuario	150	15
Piscifactoría El Diviso (no retorna)	77	8
Demanda Total	978	100

Fuente: (Recaman, 2006).

De este modo se obtiene que la Demanda histórica que se utiliza para el posterior cálculo para la cuenca del río Las Piedras está en el orden de **0.98 m³/s**.

5.2.3.2 Cálculo del índice de escasez

Con la obtención de los datos correspondientes a la oferta neta y la demanda hídrica del cuadro 10, respectivamente se calculó el índice de escasez histórico con la ecuación 4, el cuadro 11 justifica tales cálculos

Cuadro 11.Índice de escasez histórico río Las Piedras

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
I.E (%)	36	39	40	40	46	66	81	93	98	66	36	28
ESCALA	D.AP	D.AP	D.AP	D.AP	D.AP	D.A	D.A	D.A	D.A	D.A	D.AP	D.AP

Fuente: Elaboración propia

Como es de esperar, los meses en los que se presenta un incremento significativo del índice ONI, donde la disponibilidad es menor y la demanda hídrica es un factor constante, son las épocas donde el índice de escasez evidencia una fuerte presión sobre el recurso hídrico, en este estudio del índice histórico para la subcuenca Las

Piedras, esta condición se presenta en 5 de los 12 meses lo que denota una urgencia máxima en el ordenamiento de la oferta y la demanda por lo que la baja disponibilidad del agua puede ser un factor limitante del desarrollo de la zona.

Haciendo una comparación de los índices de escasez calculados por el POMCH Las Piedras en el 2006, por Zúñiga y Víquez en el 2010 en su trabajo de grado titulado “ANÁLISIS DE LA OFERTA HÍDRICA DE LA SUBCUENCA RIO LAS PIEDRAS Y SU AFECTACIÓN POR EL FENÓMENO EL NIÑO”, se obtiene datos registrados en la tabla 2 con los que se consolido la figura 9.

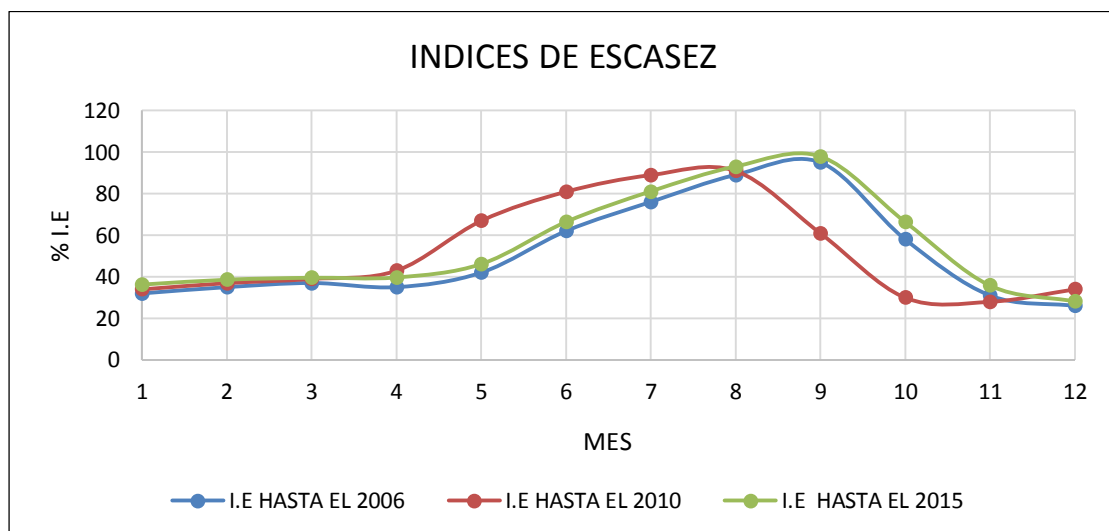
Tabla 2. Índices de escasez históricos.

AÑO \ MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
HASTA 2006	32	35	37	35	42	62	76	89	95	58	31	26
HASTA 2010	34	37	39	43	67	81	89	91	61	30	28	34
HASTA 2015	36	39	40	40	46	66	81	93	98	66	36	28

Fuente: (CRC, 2006), (Zúñiga Silva & Víquez Pancho, 2011), datos propios.

El comportamiento de la curva de los índices del año 2010 registra una variación con respecto a las otras dos curvas, los índices del 2006 y el 2015 tiene un crecimiento similar y varían por lo general en los mismos meses, se podría decir que en la misma proporción, los meses con el mayor valor de índice para los tres casos son agosto y septiembre.

Figura 9. Índices de escasez históricos subcuenca Las Piedras.



Fuente: Elaboración propia.

5.3 SEGUIMIENTO DURANTE EL FENOMENO DEL NIÑO

El seguimiento a los parámetros hidroclimatológicas de la subcuenca se realizaron durante el año hidrológico escogido desde mayo 2015 a abril de 2016, donde se evidencia una mayor afectación por el desarrollo del fenómeno El Niño 2015-2016.

5.3.1 Oferta hídrica

5.3.1.1 Aporte de las microcuencas.

Para Determinar la oferta hídrica de las subcuencas de los ríos Las Piedras y con el fin de consolidar datos referentes a caudales del Fenómeno El Niño del 2015-2016, en la subcuenca del río Las Piedras, se realizaron aforos mensuales en las microcuencas representativas del río, iniciando en el mes de septiembre del año 2015 y finalizando en febrero del año 2016, los aforos son descritos en el cuadro 12

Cuadro 12. Aportes de Caudal de las microcuencas del río Las Piedras

SUBCUENCA RIO LAS PIEDRAS						
MICROCUENCA	CAUDAL AFORADO (m³/s)					
	17/09/15	19/10/15	11/30/15	12/28/15	1/25/16	2/22/16
Antes de aguas claras	0.089	0.091	0.097	0.079	0.084	0.101
Aguas Claras	0.088	0.177	0.123	0.066	0.096	0.093
puente alto	0.200	0.244	0.234	0.182	0.143	0.242
Palmichal	0.016	0.006	0.009	0.025	0.009	0.008
La chorrera	0.004	0.002	0.002	0.004	0.001	0.004
Arrayanales	0.083	0.147	0.159	0.085	0.154	0.141
Diviso	0.317	0.347	0.408	0.418	0.185	0.362
Pichagua en el puente	0.010	0.029	0.029	0.012	0.022	0.023
El Vaho	0.035	0.010	0.041	0.052	0.034	0.027
Carnicería	0.036	0.056	0.046	0.017	0.011	0.028
El Canelo	0.008	0.029	0.048	0.017	0.016	0.033
Santa Teresa	0.065	0.112	0.129	0.056	0.122	0.087
puente Carretera	0.651	0.526	1.390	0.581	1.184	0.676

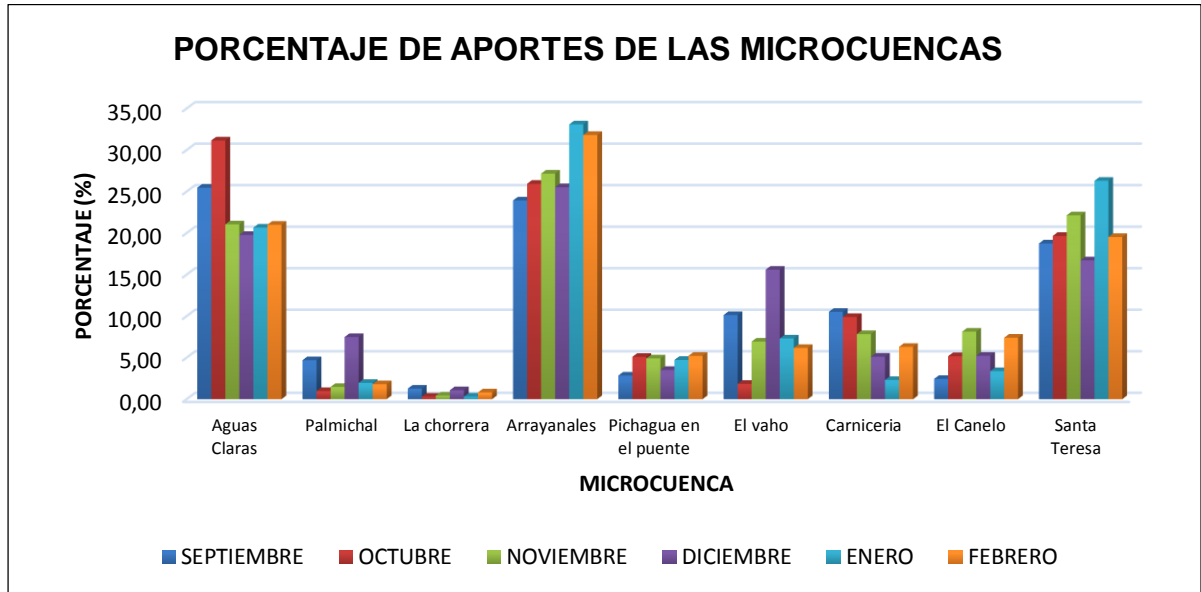
Fuente: Elaboración propia

Los valores resaltados en amarillo correspondientes a Santa Teresa y Puente Carretera en enero de 2016, arrayanales y el canelo en febrero de 2016, donde no fue imposible realizar aforos ya que en el momento de hacerlo llovió, razón por la cual aumento de manera considerable el flujo de las microcuencas, por tal razón no era un dato confiable, por lo que estos valores fueron determinados realizando una correlación entre los datos existentes en cada punto, con el fin de tener la información y hacer su posterior análisis. El porcentaje de aportes referente a las microcuencas, a lo largo del monitoreo se registran en el figura 10.

Los puntos de aforo como antes de Aguas Claras, Puente Alto, el Diviso y Puente Carretera no se incluyeron en el porcentaje de aportes ya que estos son puntos de confluencia, en donde llegan los aportes de las microcuencas anteriores a cada uno, en el cuadro 11 están, según su ubicación, desde aguas arriba hasta aguas abajo, es decir que a Puente Carretera llega el flujo superficial disponible y aportado en toda la cuenca, menos el caudal captado por las demandas aguas arriba de la bocatoma.

El aporte de las microcuencas al flujo principal del río fue constante durante el monitoreo pero obviamente en distinta proporción, siendo Santa Clara, Santa Teresa y Arrayanales los contribuyentes más significativos. Arrayanales fue el principal afluente en 4 de los 6 meses, con una contribución por encima del 20% y La Chorrera presentó el menor aporte, siempre por debajo al 1%, Palmichal en el mes de diciembre aumento su aporte cuando en los demás meses no había sido grande, Pichagua en el puente, el Vaho, Carnicería y el Canelo fueron contribuyentes en un porcentaje menor al 10 % en todos los meses de seguimiento.

Figura 10. Porcentajes de aporte por mes durante el estudio.



Fuente: elaboración propia

5.3.1.2 Oferta hídrica superficial

Conocer el aporte de las microcuenca en "tiempo real" muy seguramente ocasiona que se incurra en una cantidad menor de errores en el cálculo de la oferta hídrica para el periodo de estudio, pero se debe ser consiente que los aforos no son un dato representativo para esta determinación ya que es un dato puntual el cual se midió una vez en el mes lo que no podría describir el comportamiento hídrico de la cuenca para el periodo por lo cual se solicitó al IDEAM los datos de caudal de la estación puente carrera desde el año 2015 hasta el año 2016. Fueron enviados dos registros diarios de caudal en el rio Las Piedras desde el día 1 de enero de 2015 hasta el 31 de julio de 2016, el anexo E muestra los caudales medios diarios para el periodo de este estudio, estos se sistematizaron de manera que se calculó el caudal medio diario, luego el caudal medio mensual de tal manera que estos corresponden a la oferta hídrica para el ya mencionada, en aras de que el índice de escasez, que se determinara más adelante, se estipulo como periodo de estudio desde el mes de Mayo de 2015 hasta el mes de Abril de 2016, los cuales registran ONI con inicio y debilitamiento, respectivamente, del fenómeno El Niño, El cuadro 13 muestra la oferta hídrica para el estudio.

Cuadro 13.Oferta hídrica para fenómeno el Niño 2015-2016 rio Las Piedras.

MES	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Q (m ³ /s)	1.37	1.26	1.05	0.92	0.84	0.85	1.31	0.88	1.01	0.84	1.18	1.61

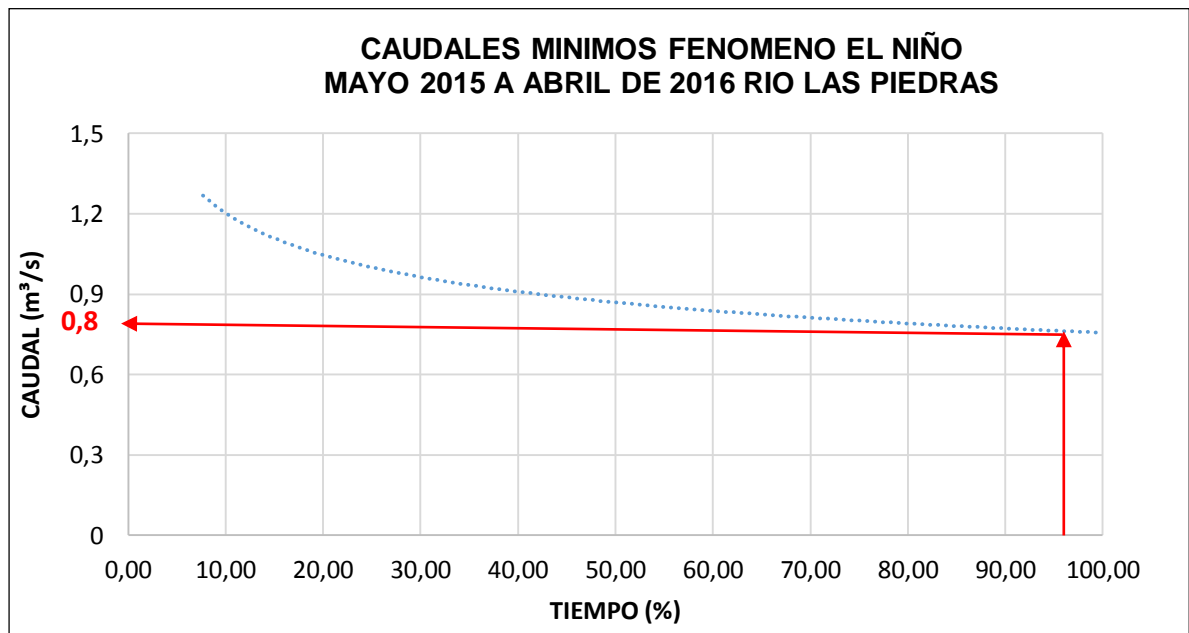
Fuente. IDEAM 2016, edición propia

5.3.1.3 Oferta hídrica neta

5.3.1.3.1 Calculo del factor de reducción para mantener el estiaje R_e

De este modo a partir de la figura 11, obtenemos que el valor de Q_{97.5%} es de **0,8** (m³/s)

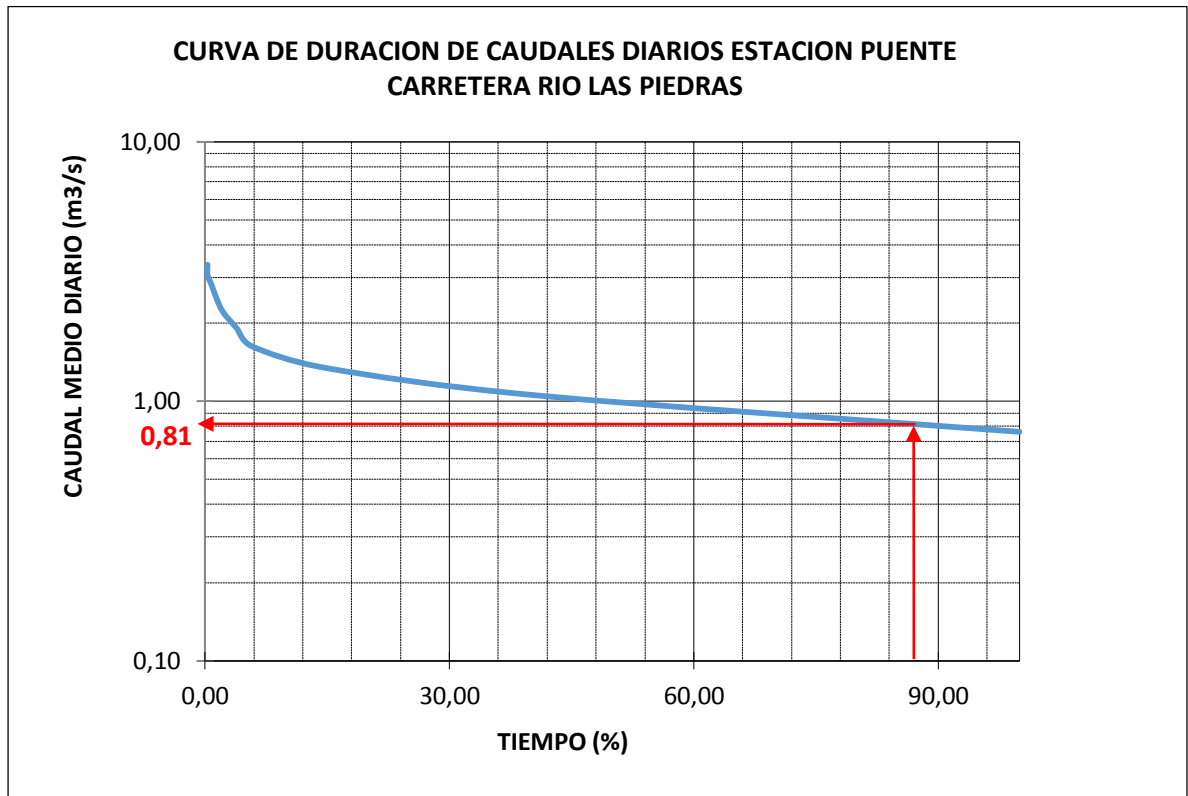
Figura 11. Caudales mínimos en el Fenómeno El Niño 2015-2016



Fuente: Elaboración propia

De la figura 12 se tiene que el valor del caudal modal \bar{Q} es de **0,81**(m³/s)

Figura 12. Curva de duración de caudales fenómeno El Niño



Fuente: elaboración propia.

Por tanto tenemos que el factor para mantener el régimen estiaje R_e es del orden del **90%**

5.3.1.3.2 Cálculo del factor de reducción para proteger las fuentes frágiles R_f

Con el valor del coeficiente de variación de los caudales medios del año hidrológico de estudio el cual corresponde a un valor de **0,23** se obtiene que el valor del factor R_f con base en la tabla 1 es de **25%**

5.3.1.3.3 Cálculo de la oferta hídrica neta

Utilizado la ecuación 4 y los valores obtenidos de R_f y R_e , el cuadro 13 consolida los valores de la oferta hídrica neta para el periodo del fenómeno El Niño, teniendo en cuenta que aquí se incluye el caudal que ha sido extraído (demandado) a lo largo de la cuenca.

Cuadro 14. Oferta Hídrica neta para el Fenómeno El Niño

MES	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Q (m ³ /s)	1,4	1,26	1,1	1,00	0,93	0,94	1,3	0,97	1,06	0,94	1,4	1,5

Fuente: elaboración propia.

5.3.2 Índice de escasez

5.3.2.1 Demanda hídrica

La demanda hídrica para el fenómeno el Niño en la subcuenca Las Piedras se incrementara en el ámbito doméstico, se toma como referente que esta abarca la demanda de la zona rural y urbana, para zona rural se determina a partir de las soluciones de agua en la cuenca que se plasman el cuadro 15, para la demanda en la zona urbana se hace referencia a la concesión al Acueducto en la bocatoma la cual corresponde a 800 lps.

Cuadro 15. Caudal promedio acueductos verdales subcuenca río Las Piedras.

N °	ACUEDUCTO VEREDAL O SOLUCIÓN DE AGUA	QUEBRADA	CAUDAL PROMEDIO (L/S)	PORCENTAJE DE CAPTACIÓN
1	Solución de agua Quintana	La Chorrera	3,28	100%
2	Finca de Miguel Escobar	La Cristalina	0,07	100%
3	Finca de Aida Lame	La Cristalina	0,32	100%
4	Llanos-Guacas	Quebrada Carnicería	23,52	37,67%
6	Solución de agua Quebrada El Trébol	Quebrada El Trébol	8,08	73,89%
7	Solución de agua Quebrada Santa Teresa	Quebrada Santa Teresa	14,18	5,78%
8	Quebrada Santa Teresa Cana Abierto	Quebrada Santa Teresa	5,51	58,76
9	Solución de agua El Canelo	El Canelo	10,27	42,45%

Fuente: (Rios, 2016)

Así se tiene que la oferta hídrica domestica total es de **0,865** m³/s. tomando los valores de demanda agropecuaria y de la piscifactoría el diviso de la cuadro 9,

obtenemos una demanda hídrica total de **1.09 m³/s** para el periodo del fenómeno el Niño.

5.3.2.2 Cálculo del índice de escasez

Con los datos y la base teórica anterior, el cuadro 16 muestra el cálculo del índice de escasez para el fenómeno el Niño.

Cuadro 16. Índice de Escasez en el fenómeno del Niño subcuenca Las Piedras

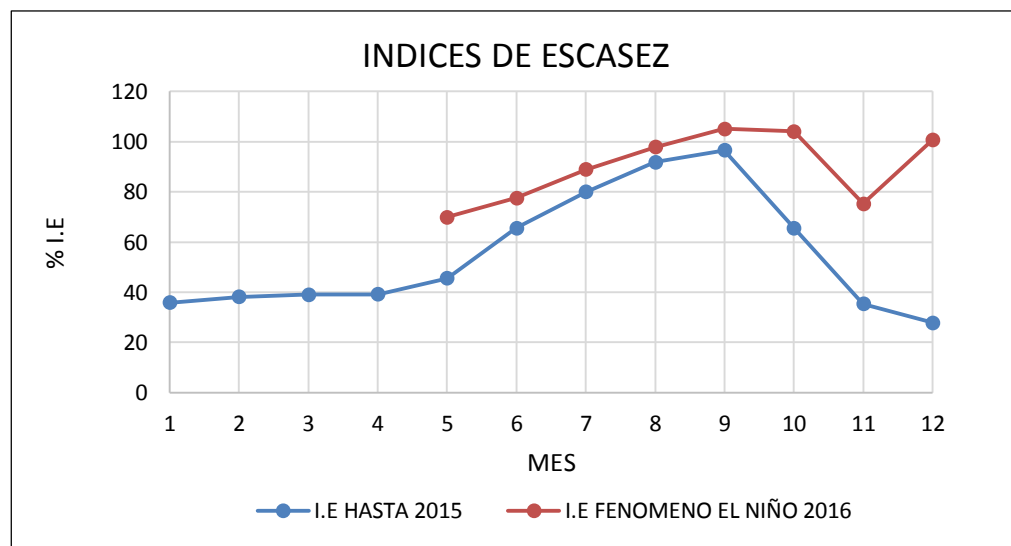
MES	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
I.E (%)	70	78	89	98	105	104	75	101	92	104	70	65
ESCALA	D.A	D.A	D.A	D.A	D.A	D.A	D.A	D.A	D.A	D.A	D.A	D.A

Fuente: Elaboración propia.

El cuadro anterior refleja un panorama crítico para la subcuenca durante el año de estudio en el que se tiene una demanda alta, donde el 33% de los datos corresponden a un índice de escasez mayor al 100%, se puede pensar que el fenómeno ha sido muy fuerte y hace que se recurran a fuentes terciarias de abastecimiento hídrico, como la quebrada PISOJÉ y el río Cauca.

De este modo se puede analizar el comportamiento de los índices de la subcuenca en la figura 13.

Figura 13. Índices hídricos



Fuente: Elaboración propia.

Esta relaciona el índice de escasez histórico con los índices de los meses que se tienen en común con año hidrológico escogido para el estudio, el comportamiento de las curvas es similar, con una significativa alza en los valores, pero desde mayo hasta octubre, las curvas tienen la misma tendencia, en el mes de noviembre del año de estudio se presenta una disminución en el índice, lo que se puede justificar con las lluvias presentes en el mes, pues registra una precipitación ponderada de 257 mm en la cuenca, el valor más alto en el año, a lo que se debe el aumento del caudal medio para ese mes, lo que amortiguó un poco el déficit de agua con la que venía la cuenca, posterior a ello, el aumento de la temperatura y las precipitaciones ponderadas no mayores a 24 mm en el mes de diciembre hicieron que el valor del índice volviera a un valor muy alto, en general el estado hidrológico de la subcuenca para el periodo de estudio se ve en un continuo desbalance.

5.4 ANALISIS HIDROCLIMATOLOGICO DURANTE EL FENOMENO

El análisis hidroclimático en una cuenca tiene como objetivo la búsqueda de información sobre su estado y de factores que puedan inferir en ocurrencias futuras para así disminuir la toma equivocada de decisiones en el manejo de distintos episodios. El análisis presentado a continuación se realizó para el periodo de mayo de 2015 a abril de 2016, los datos de temperaturas y precipitaciones hacen referencia a los valores determinados a partir de isotermas e isoyetas.

5.4.1 Climograma

Un Climograma es una representación gráfica de la información climatológica anual en una zona determinada. En el eje de abscisas se representan los meses del año, en el eje de ordenadas izquierdo los promedios mensuales de la temperatura y en el eje de las ordenadas derecho los promedios mensuales de la precipitación. Generalmente, las escalas de temperatura y precipitación se toman de manera que $2T (^{\circ}\text{C}) = p (\text{mm})$ (Zúñiga López & Crespo Del Arco, 2010).

5.4.1.1 Temperatura

La temperatura, al igual que las precipitaciones, es un factor importante para la caracterización de una cuenca hidrográfica, así como para la definición de la vida

existente en ella ya que influye en el régimen de los caudales, las precipitaciones, las características del suelo, entre otras.

5.4.1.1.1 Isotermas

Las temperaturas ponderadas mensuales se determinaron con la herramienta ArGis 10, a partir de los datos de las estaciones del cuadro 2, con los cuales se obtuvo los mapas de las isotermas mensuales, anexo F, a partir de estas se obtiene el cuadro 17.

Cuadro 17. Temperatura mensual.

MES	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
T (°C)	16	15	16	16	15	16	16	17	17	16	16	16

Fuente: Elaboración Propia.

La temperatura de la cuenca siempre estuvo en su rango normal según su piso longitudinal, entre 15°C Y 17°C los parámetros estadísticos calculados se muestran en el cuadro 18

Cuadro 18. Parámetros estadísticos.

PARAMETROS ESTADISTICOS	
MEDIA ARITMETICA	16
DESVIACION ESTANDAR	0,56
COEFICIENTE DE VARIACION	0,04
COEFICIENTE DE ASIMETRIA	0,37

Fuente: Elaboración propia.

5.4.1.2 Precipitaciones

El municipio de Popayán ha sido históricamente, gracias a su ubicación geográfica, de precipitaciones generosas, lo que ha hecho que la zona cuente con una disponibilidad hídrica regular en la mayoría del tiempo, pero en épocas de verano o fenómenos como El Niño no se cuenta con las regulaciones necesarias para disminuir el desabastecimiento hídrico con lo que se hace necesario estudiar el impacto en estas instancias.

5.4.1.2.1 Isoyetas

Las precipitaciones para este fenómeno se hallaron con el programa ArGis 10, generando mapas de precipitaciones que se encuentran en el anexo G, con lo que se consolida el cuadro 19.

Cuadro 19. Precipitaciones medias mensuales.

MES	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
PREC. (mm)	40	15	12	6	34	81	257	24	170	74	168	202

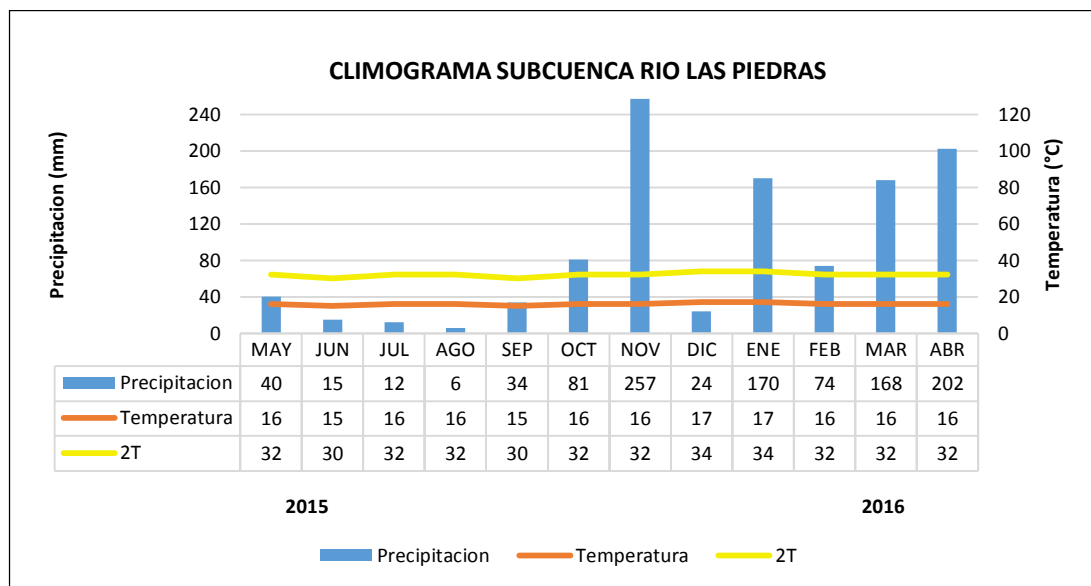
Fuente: Elaboración propia

5.4.1.3 Climograma

La figura 14 representa, en resumen, los valores de precipitación y temperatura media mensuales de la subcuenca, de donde se puede observar que de los 1083 mm de lluvia anual, los meses en los que se presentó una mayor cantidad de lluvia fueron el noviembre de 2015, abril y enero de 2016, solo el trimestre mencionado aportó un 58% de las lluvias anuales en la subcuenca, con estos aportes significativos de lluvia durante el año a evaluar, podemos considerar estos meses de mayor aporte como meses de amortiguamiento en el balance hídrico de la subcuenca, haciendo así que los efectos producidos por el fenómeno El Niño se disminuyan.

Por otra parte, la temperatura no tuvo variaciones significativas mes a mes, su media anual fue de 16°C, pero aun así hubo meses de aridez, es decir, cuando el doble de la temperatura es igual o mayor que las precipitaciones registradas, esto según el índice de Gausson (Perea, Jiménez, García, Vanderlinden, & Muriel, 2006). Los meses de aridez que reporta el Climograma realizado son mayo, junio, julio, agosto y diciembre de 2015, para los meses estudiados del año 2016 se pueden determinar que no clasifican como meses áridos. El aumento relativo entre la precipitación y una temperatura poco variable puede estar relacionada con la disminución paulatina de ONI después de su pico de maduración, tal y como se observa en el cuadro 3, esto dando pie a una lenta recuperación de la zona, de la misma forma en la que el índice de escasez disminuye en esos meses, esto no implica que sea una reducción significativa tal y como lo evidencia el cuadro 16.

Figura 14. Climograma



Fuente: Elaboración propia.

5.4.2 Caudales

Los caudales a analizar en esta sección serán los del anexo E, correspondientes a los diarios registrados en la estación puente carretera durante el periodo de estudio, a partir de estos se consolida el cuadro 20.

Cuadro 20. Parámetros estadísticos

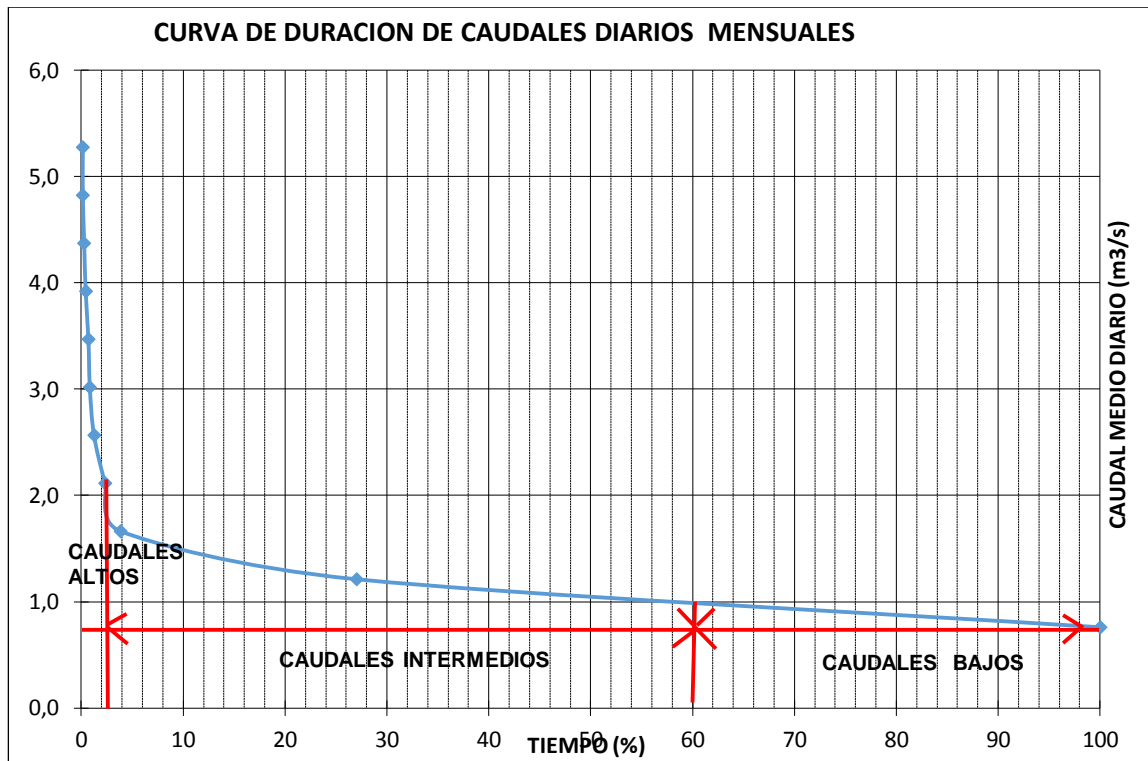
PARAMETROS ESTADISTICOS	
VALOR MAXIMO	0,76
VALOR MINMO	5,73
MEDIA ARITMETICA	1,09
DESVIACION ESTANDAR	0,42
COEFICIENTE DE VARIACION	0,38
COEFICIENTE DE ASIMETRIA	4,90

Fuente: Elaboración propia

Además de estos parámetros, para conocer el comportamiento hídrico en una cuenca, es indispensable estudiar la curva de frecuencia y duración de caudales para así determinar la ocurrencia de los caudales altos, intermedios y bajos, la figura 15 muestra el comportamiento del año de estudio, en un 2% del tiempo se presentaron los caudales altos que van desde 2,1 a 5,73 m³/s, el 60% del tiempo se presentan

los caudales intermedios que varían desde 2,2 a 1m³/s, el 38% del tiempo se presentaron los caudales más bajos que varían desde 1 a 0,76m³/s, aquí vemos que estos valores son significativamente bajos y se presentan en gran porción del tiempo lo que puede evidenciar un fuerte déficit hídrico en la zona durante el estudio.

Figura 15. Curva de frecuencias y duración de caudales, estación Puente Carretera.



Fuente: Elaboración propia

5.4.3 Balance hídrico

La distribución espacial de la precipitación, como aporte de agua, y de la evapotranspiración, como demanda de la vegetación y de la atmósfera, permiten evaluarla distribución potencial de los déficit y excedentes de humedad en el suelo. La finalidad del balance hídrico es, por tanto, estimar la reserva de agua en el suelo si se conoce su capacidad de almacenamiento, reserva de agua para los meses secos, y determinar cómo varía esta varía a lo largo de un periodo de tiempo (generalmente un año). La capacidad de reserva de agua de un suelo es

fundamental para los suelos sometidos a pocas o medianas precipitaciones. (Leiva Gutiérrez, 2012).

El balance hídrico relaciona los datos de temperatura y precipitación por tanto se utilizaron estaciones que contaran con la información de ambos parámetros, estas correspondieron a las de Héctor Arias y Deyanira Conejo para la subcuenca del río Las Piedras, los datos y cálculos de este balance son los correspondientes a los anexos H e I, el balance hídrico se muestra en las figuras 16 y 17

5.4.3.1 Evapotranspiración por el método de Thornthwaite

Evapotranspiración (ET) es la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo (Velázquez Pérez & Peña Peña)

Para calcular la evapotranspiración de referencia (Eto), la cual se calcula suponiendo un total de 30 días por mes, incluye la relación entre la temperatura media del aire y está dada por la siguiente ecuación.

Ecuación 5. Evapotranspiración

$$Eto = 1.6 \left(\frac{10 T_a}{I} \right)^a$$

Donde:

Eto = Evapotranspiración de referencia (cm/mes)

T_a = Temperatura media del mes (°C)

I = Índice calórico anual (igual a la suma de los índices calóricos mensuales)

Ecuación 6. Índice de calor mensual

$$I_j = \left(\frac{T_a}{5} \right)^{1.514} \quad \text{Luego, } I = \sum_{i=1}^{12} I_j$$

Ecuación 7. Exponente *a*

$$a = (675 * 10^{-9})I^3 - (771 * 10^{-7})I^2 + (179 * 10^{-4})I + 0.492$$

Con la Eto se puede obtener la evapotranspiración real (ETR), que es el volumen de agua que realmente se evapotranspira mensualmente.

Ecuación 8. Ajuste de la Eto

$$ETR = Eto * Ajuste \quad \text{Donde, } Ajuste = \frac{n*N}{360}$$

n = Número de días del mes diferente a 30 días

N = Horas de iluminación diaria, igual a 12 (6am – 6pm). Está en función de la latitud del lugar (citar Libro)

5.4.3.2 Reserva hídrica del suelo

La reserva del suelo (R) está relacionada con la precipitación y evapotranspiración real mensual. Para un mes que produzca más entradas que salidas, ($P > ETR$), el agua en exceso conformara las reservas en el suelo, de forma contraria, cuando las salidas sean más que las entradas ($P < ETR$), se reducirán las reservas. Se ha asumido una capacidad de almacenamiento, o reserva, de agua en el suelo es de 100 mm a un metro de profundidad. (Jiménez Otálora , 1994)

Para calcular la reserva primero se determina el mes con mayor precipitación y se adopta el valor de capacidad de almacenamiento asumido como valor de referencia.

Ecuación 9. Calculo de la reserva

$$R_i = R_{i-1} + H_i$$

Donde:

R_i = Reserva mes actual

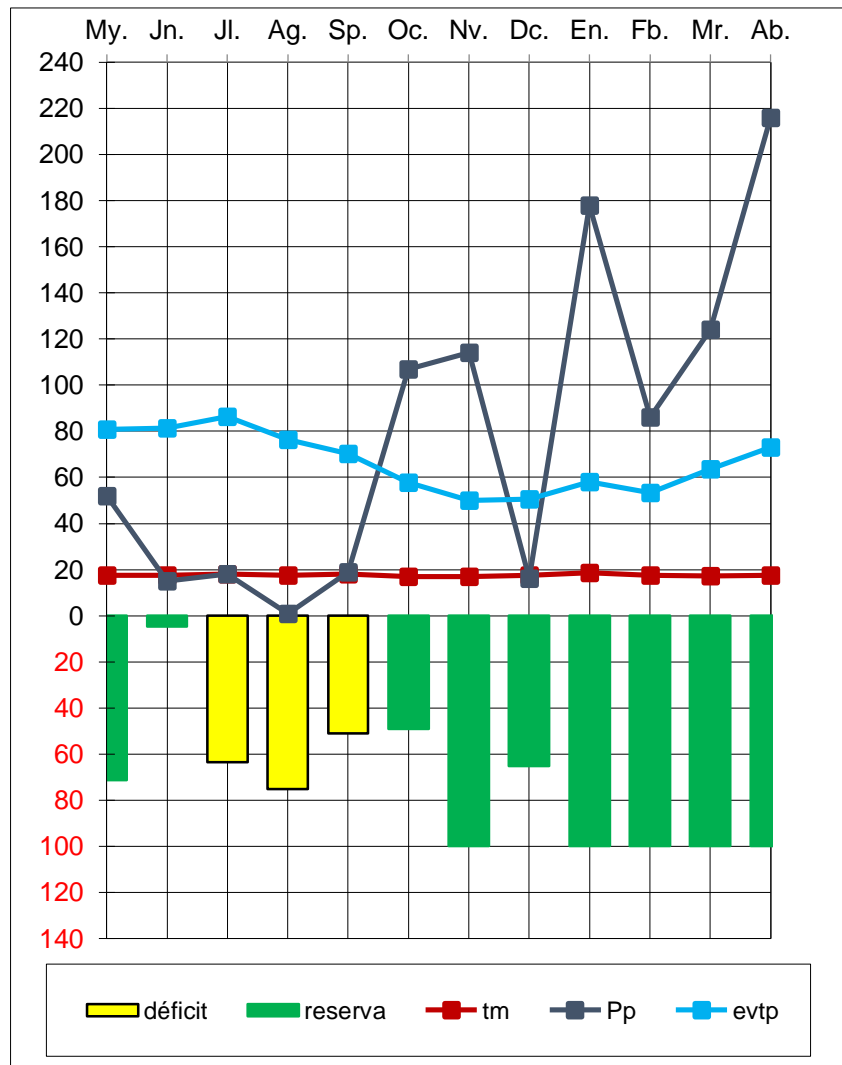
R_{i-1} = Reserva mes anterior

H_i = Humedad actual

Los meses que superaron la capacidad de retención de suelo, para la estación Deyanira Conejo, fueron noviembre de 2015, enero, marzo y abril de 2016, en estos meses hubo una cantidad de precipitación significativamente más grande que en otros meses durante el fenómeno, lo cual permitió generar un exceso hídrico en la subcuenca y, se presume, permitió una ligera disminución en el índice de escasez, como la capacidad de almacenamiento máxima fue alcanzada en tres de los cuatro meses con reservas, se dice que el excedente fue perdido por escorrentía e infiltración. La estación Héctor Arias, ubicada también en la zona de estudio, presenta un comportamiento similar a la estación analizada previamente, registrando excesos hídricos en los mismos meses, tal y como se aprecian en las figuras 16 y 17. Por otra parte los meses de junio, julio y agosto de 2015, son los

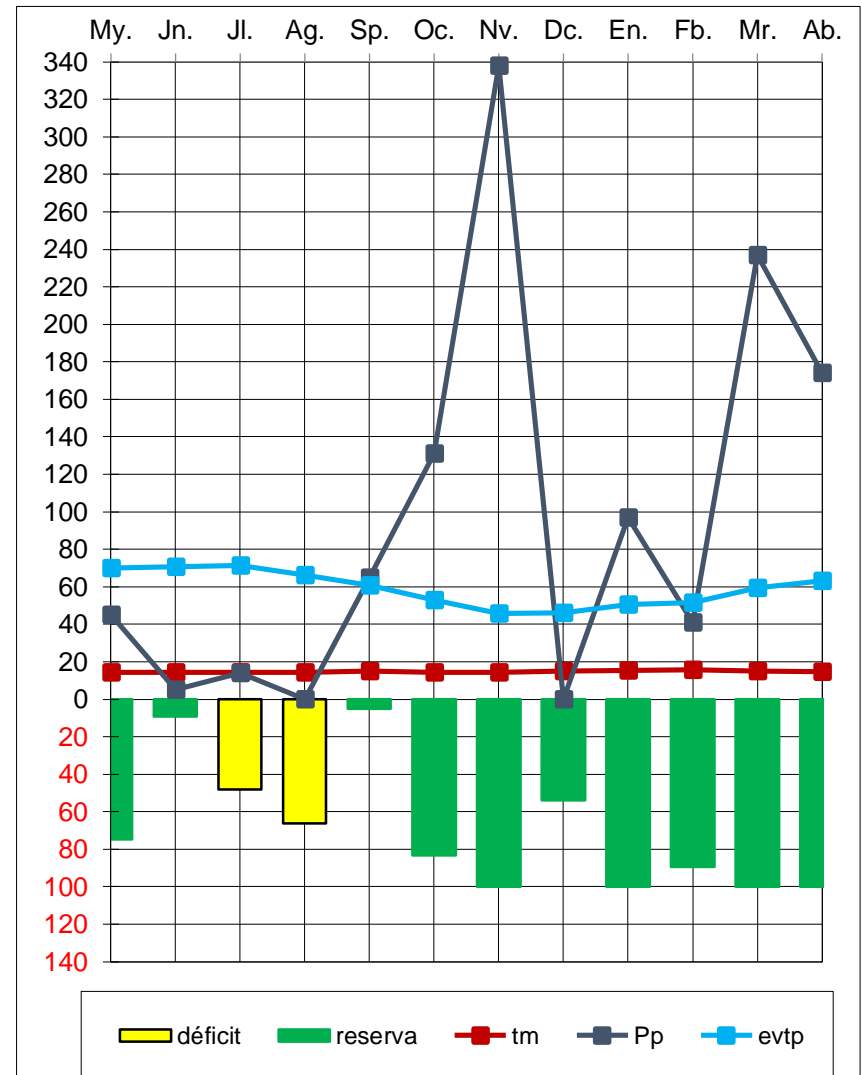
meses que presentan déficit hídrico, las precipitaciones en la zona sumado a las pocas o inexistentes reservas en el suelo hicieron de estos meses fueran críticos en cuanto a la disponibilidad del recurso, en el cuadro 16 se puede apreciar que en efecto estos meses son los que, junto a diciembre, tiene un mayor valor en el índice de escasez.

Figura 16. Balance hídrico estación de Héctor Arias



Fuente: Elaboración propia

Figura 17. Balance hídrico estación de Deyanira Conejo



Fuente: Elaboración propia

inicialmente, la información fue tomada de la más reciente actualización del POMCH Molino (CRC, 2006)

Cuadro 21. División por corregimientos y veredas.

SUBCUENCA RÍO MOLINO		
ZONA RURAL		
CORREGIMIENTO	VEREDA	POBLACIÓN
Poblazón	Santa Elena	239
	Resguardo de Poblazón	1.029
	Santa Bárbara	378
Santa Bárbara	Pisojé bajo	300
	El hogar	236
	La claridad	200
El sendero	El sendero	800
	El arenal	208
	Tres cruces	70
	Pueblillo alto	250
	Pueblillo centro	S.I
	Molanga	S.I
	Pomona	369
	Real Pomona	195
Samanga	Samanga	600
	Tinajas	57
	Siloé	586
	La paila	254
	Montebello	132
ZONA URBANA		
COMUNAS	3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9	103.135

S.I: Sin Información.

Fuente: POMCH Molino, 2006.

6.1.3 Clima

La subcuenca tiene una variación de altitud que se encuentra entre los 1680 a 2880 msnm con lo que se puede decir que la zona presenta dos pisos térmicos; templados y fríos, según la clasificación de Caldas, donde por medio de las líneas isotermas se ha podido estimar que la temperatura media es de 17.5°C

6.1.4 Uso del suelo

Por el plan de manejo de la subcuenta rio Molino, sabemos que un total de 5080.63 has, de la zona rural, han estado siendo usadas para diferentes actividades socioeconómicas que se resumen en el cuadro 22.

Cuadro 22. Uso del suelo para zona rural de la subcuenca rio Molino

USO	ÁREA HAS	(%)
Pecuario	2444,58	48,12
Protección conservación	749,82	14,76
Recuperación	600,21	11,81
Agricultura tradicional	433,67	8,54
Industrial	342,93	6,75
Conservación extracción	127,59	2,51
Protección recuperación	119,55	2,35
Residencial	75,92	1,49
Extracción recuperación	68,6	1,35
Excedentes	55,52	1,09
Recreacional	28,14	0,55
Extracción pecuario	27,37	0,54
Extracción	3,72	0,07
Educativo	3,01	0,06
TOTAL	5080,63	100,00

Fuente: POMCH Molino 2006

La subcuenca Rio Molino pertenece a la zona hidrográfica de Magdalena-Cauca, cuenca del Rio Cauca, esta es una de las cinco zonas hidrográficas del país. Algunas de las aguas superficiales que alimentan a la subcuenca se encuentran enunciadas en el esta información fue tomada de el plan de manejo de la cuenca y se encuentra cuadro 23 ordenada por la jerarquía usada en la codificación de cuencas hidrográficas propuesta por la metodología de Gravellius, metodología que es empleada actualmente por el IDEAM en todo el territorio nacional.

Cuadro 23. Codificación de cuencas hidrográficas

CODIFICACION DE CUENCAS Zona hidrográfica Magdalena-Cauca					
Corriente					
Orden					
Z.H	Cuenca	Subcuenca	Afluentes		
0	1	2	3	4	5
Magdalena-Cauca	Cauca	Rio Molino	Rio Ejido	Qda. Tejares	
				Qda. La Monja	
				Qda. La Chorrera	
				Qda. Santa Mónica	
				Qda. Los sauces	
			Qda. Dos agüitas	Qda. Tinajas	
				Qda. Molanga	
			Qda. Quitacalsón		
			Qda. La cantera		
			Qda. Del Sanjón	Qda. Linderos de claridad	
				Qda. Matarredonda	Qda. La Ciénaga
			Qda. Filipilla		
			Qda. La Honda		
			Qda. Patevenado		
			Qda. El Alejo		
			Qda. Piedragrande o Villurco		
			Qda. Aguarregada		
			Qda. San José		
			Qda. San Roque		
			Qda. De Pesares		
Qda. El Consuelo					
Qda. Santa Teresa					

Fuente: (POMCH Molino, 2006)

6.2 ANALISIS HISTORICO.

Para la subcuenca del rio Molino se cuenta con poca información, los datos de la lectura diaria desde febrero de 2009 hasta diciembre de 2013 del limnómetro que se ubicaba bocatoma del rio y convertida en caudal por la curva de gastos, fueron suministrados por La División Ambiental del Acueducto, anexo J, posterior a este año no se tiene datos ya

que esta estación fue arrasada en la avalancha que ocurrió en la cuenca el día 24 de diciembre del año 2013.

Los caudales medios mensuales se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Caudales medios mensuales Rio Molino

CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m ³ /s) 2009 -2013												
ESTACION		Bocatoma										
CORRIENTE		Rio Molino										
AÑO	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
2009		1.323	1.193	1.191	1.121	0.902	0.819	0.67	0.501	0.611	0.925	1.026
2010	0.925	0.847	0.749	0.854	0.896	0.92	0.907	0.919	0.904	0.933	1.433	1.46
2011	1.192	1.335	1.817	1.625	1.456	1.114	0.927	0.782	0.762	1.085	1.48	2.052
2012	1.664	1.419	1.174	1.263	1.018	0.859	0.778	0.715	0.632	0.745	0.886	1.209
2013	1.071	1.024	0.919	0.906	1.007	0.97	0.856	0.782	0.746	0.701	1.022	1.646

Fuente. División Ambiental, Acueducto y Alcantarillado de Popayán.

6.3 SEGUIMIENTO DURANTE EL FENOMENO DEL NIÑO

6.3.1 Oferta hídrica

6.3.1.1 Aportes de las microcuencas

Para aportar a la información de la subcuenca, al igual que en el Rio Las Piedras se realizaron aforos de manera puntual. El cuadro 24 muestra el consolidado de estas mediciones, cabe resaltar que sus reportes no son continuos ya que en se presentaron diversas circunstancias que no permitían el acceso a las microcuencas.

Cuadro 24. Caudal de las microcuencas del rio Molino.

SUBCUENCA RIO MOLINO			
MICROCUENCA	CAUDAL AFORADO (m ³ /s)		
	21/09/2015	16/11/2015	21/1/2016
Antes de san Miguel	0.079	0.000	0.057
San Miguel	0.017	0.019	0.011
Agua Regada	0.015	0.019	0.004
San José-Poblazon	0.005	0.004	0.004
Incora- Santa Helena	0.009	0.008	0.008
Alto pesares	0.008	0.010	0.028
La Palma	0.006	0.006	0.006
Antes de san Carlos	0.013	0.006	0.012
San Carlos	0.025	0.011	0.008
Canchoncho	0.006	0.004	0.004

SUBCUENCA RIO MOLINO			
MICROCUENCA	CAUDAL AFORADO (m³/s)		
	21/09/2015	16/11/2015	21/1/2016
Novirabo	0.001	0.002	0.001
Puente Molino	0.080	0.043	0.112
las Aguitas Marleni Vidal	0.004	0.002	0.003
Los Chorros	0.003	0.007	0.001
pata de venao	0.002	0.014	0.009
La Honda	0.005	0.009	0.008
Jesús Pame	0.008	0.020	0.012
Filipillas	0.015	0.015	0.015
Bocatoma	0.164	0.228	0.188

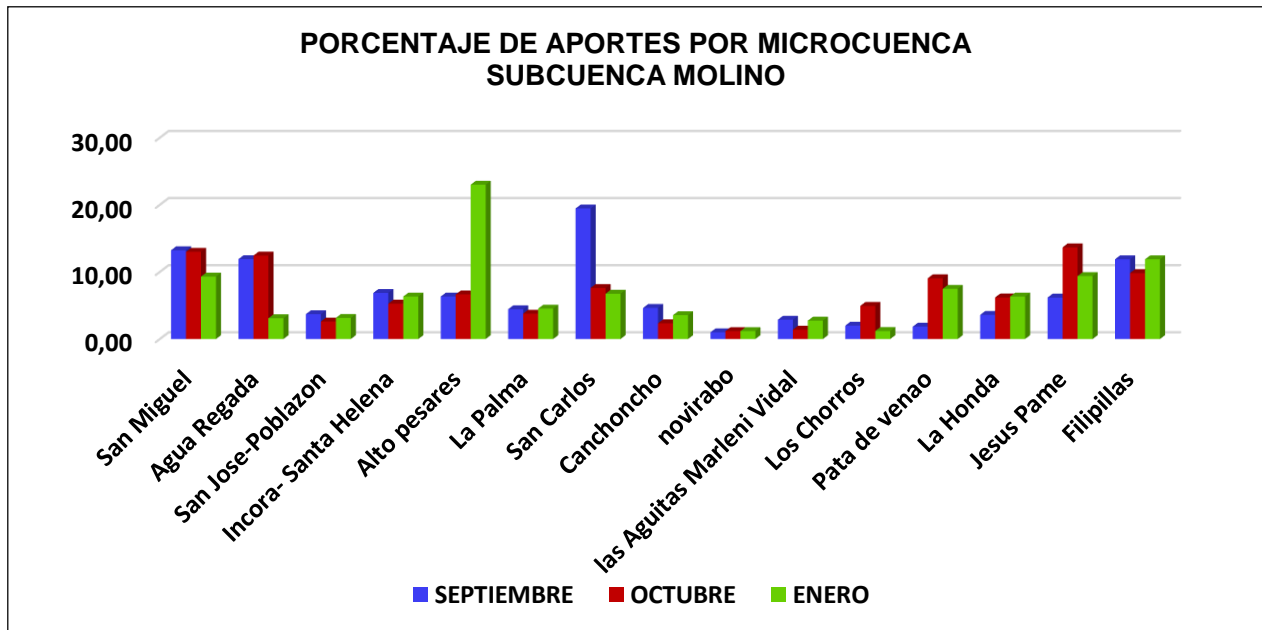
Fuente: Elaboración propia.

Haciendo la comparación de los valores puntuales aforados en la bocatoma para los meses de estudio, con los valores diarios mínimos de caudal, del anexo J, en el mes correspondiente en registros históricos, se evidencia que en el mes de septiembre, el valor mínimo diario entre 2009 y 2013 fue de 0.567 (m³/s) muy por encima del 0.164 (m³/s) que se aforo en 2015, así como para el mes de noviembre de 2009 al 2013 los valores mínimos de caudal oscilaron entre 0.756 y 1.53 (m³/s) frente a un 0.228 (m³/s) en el 2015, así mismo para el mes de enero entre 2010 y 2013, ya que para el 2009 no existe registro, el valor mínimo fue 0.75 (m³/s) y en el 2016 de 0.188 (m³/s) secuencia que constata la intensidad del fenómeno y su afectación sobre la cuenca.

El porcentaje de aporte de cada una de las microcuencas a la vertiente principal del río durante el estudio está representada en la figura 19.

Al igual que en la subcuenca río Las Piedras, el río Molino tiene puntos de confluencia, estos corresponden a Antes de San Miguel, Antes de San Carlos, Puente Molino, Los Chorros y La Bocatoma. Esta grafica nos muestra la constancia del afluente San Miguel con su aporte en la misma proporción todos los meses, oscilando entre el 12 y 14%, se podría estimar como el mayor aportante ya que en las otras microcuencas su aporte fluctúa en gran manera dependiendo del mes, el menor aportante es Novirabo con un porcentaje alrededor de 1%.

Figura 19. Porcentaje De aportes por microcuencas



Fuente: Elaboración Propia.

6.3.1.2 Determinación de la oferta hídrica superficial

La oferta hídrica natural de la cuenca para el periodo el Niño desde mayo 2015 hasta abril 2016 se determinó por el método que relaciona el área de la cuenca con los datos de precipitaciones de las estaciones descritas en el cuadro 2.

6.3.1.2.1 Método de las isoyetas

Para ello se usó el programa ArGis 10 con el cual se construyeron isoyetas y se calculó la precipitación media, los mapas se encuentran en el anexo K.

Cuadro 25. Precipitaciones medias mensuales subcuena Molino (2015 - 2016).

MES	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
PRECIPITACION (mm)	48	14	17	5	22	135	197	30	179	89	177	35

Fuente: Elaboración propia

6.3.1.2.2 Calculo de la oferta hídrica.

El cálculo de estos caudales se realizó con la metodología descrita por el Servicio de Conservación de suelos (S.C.S), el cual parte del principio de precipitaciones registradas

en la cuenca durante el periodo, así como de características de la cuenca ya que estos valores se generan a partir de cálculos de la escorrentía lo que implica el conocimiento de la cobertura, del tipo y de condición hidrológica del suelo.

Ecuación 10. Potencial de retención

$$S = \frac{25400}{CN} - 254; \quad S = 84,67$$

Donde:

S: Potencial de retención de agua por el suelo sobre el área de drenaje en el momento de inicio de la precipitación (mm)

CN: Curva número de escorrentía, **75** para la cuenca molino (GONZALEZ, 2015)
Obteniendo S determino el valor de la escorrentía real por mes

Ecuación 11. Calculo de escorrentía

$$Pe = \frac{(P - 0,2 S)^2}{P + 0,8 S}$$

Donde:

Pe = Escorrentía media (mm)

P = sumatoria de precipitaciones medias = Precipitación total (mm) = **949 mm**

0,2 S = Pérdidas iniciales = 20%

0,8 S =Infiltración durante la ESD = 80%.

Los valores calculados de Pe están en el cuadro 26

Cuadro 26. Escorrentía media calculada.

MES	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
ESCORRENTIA (Pe) (mm):	8,53	0,08	0,00	2,03	0,27	68,51	122,58	1,87	106,68	33,13	104,60	3,15

Fuente: Elaboración propia

Ecuación 12. Estimación del caudal para la cuenca hidrográfica.

$$Q = \frac{Pe * A}{86,4 * 10^6 * n} + Qb$$

Donde:

Q: Caudal medio en (m³/s)

Pe: escorrentía media por mes (mm)

A: Área de la cuenca hidrográfica (m²) = **58060000m²**

n: Número de días del mes

Qb: Caudal base (m³/s) = **0,270m³/s** el cual corresponde al mínimo caudal registrado en la cuenca Molino en el fenómeno el Niño en el año de 1997

El caudal medio mensual correspondiente a la oferta hídrica se registra en el cuadro 27.

Cuadro 27. Oferta hídrica para fenómeno el Niño 2015-2016 rio Molino.

MES	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Q (m ³ /s)	0,45	0,27	0,27	0,31	0,28	1,76	3,02	0,31	2,58	1,04	2,54	0,34

Fuente: elaboración propia

6.3.1.2.3 Calculo de la oferta hídrica neta

Continuando con el cálculo de los parámetros se obtuvo R_e : 0,26 y R_f : 0.50 y se obtuvo la oferta Neta a partir de la ecuación 2, esta se muestra en el cuadro 28

Cuadro 28. Oferta Hídrica neta

MES	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
On (m ³ /s)	0,40	0,24	0,23	0,27	0,24	1,53	2,62	0,27	2,25	0,90	2,21	0,30

Fuente: elaboración propia.

6.4 INDICE DE ESCASEZ PARA EL FENOMENO

6.4.1 Demanda hídrica

Para la determinación de la demanda hídrica total para la subcuenca del rio Molino se debe tener en cuenta que la demanda industrial y agrícola queda inmersa en la demanda doméstica por tanto esta demanda se involucra como un factor igual al 10% de la demanda doméstica, que en la cuenca no existe marcadamente una vocación industrial ni agrícola a de gran escala (CRC, 2006).

La demanda doméstica en la parte rural se determina con los caudales promedio de las soluciones de agua presentes en la cuenca, las cuales se muestran en el cuadro 29.

Tenemos que la demanda hídrica domestica rural es de **0,04 m³/s**, cabe resaltar que los datos del cuadro 29 son gracias al estudio realizado en este mismo periodo, por otra parte la demanda en la zona urbana está determinada por la concesión del Acueducto para la captación del caudal el cual es de **0,15 m³/s** lo que finalmente nos lleva a tener un valor de demanda hídrica domestica total de **0,19 m³/s**

Cuadro 29.Caudal promedio acueductos veredales subcuenca río Molino.

N°	ACUEDUCTO VEREDAL O SOLUCIÓN DE AGUA	QUEBRADA	CAUDAL PROMEDIO (L/S)	PORCENTAJE DE CAPTACIÓN
1	Santa Bárbara	El Chicle	0,65	100%
2	El Arado(santa bárbara)	La Honda	0,51	100%
3	El Sendero	La Honda	0,40	100%
4	Pueblillo Alto	Candamo	2,08	100%
5	Bosques del Rio Molino	Cacería Puerto Amor	0,34	100%
6	El Hogar	Liceo Lame	0,99	100%
7	El Hogar	Cerro Alto-Los Chorritos	0,27	100%
8	San Antonio	El Umuy	0,68	100%
9	San Antonio	Alto Pesares fuente alterna	0,25	
10	Santa Helena	Alto Pesares	0,12	100%
11	El Arado(santa Helena)	Canchoncho	1,23	100%
12	San Rafael	La Palma	0,48	100%
13	Inter-veredal	San Antonio (inter-veredal)	22,78	35,87%
14	El sendero	Pata de Venado	12,29	45,65%

Fuente: (Rios, 2016)

6.4.2 Cálculo del índice de escasez

Utilizando la ecuación 4, se calculó el índice de escasez para el periodo del fenómeno, los resultados obtenidos se presentan en el cuadro 30.

Cuadro 30.Índice de Escasez en el fenómeno del Niño subcuenca Molino.

MES	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
IE (%)	48,01	80,38	80,88	69,56	79,10	12,44	7,24	70,34	8,46	21,05	8,61	64,13
ESCALA	D.AP	D.A	D.A	D.A	D.A	D.B	D.MB	D.A	D.MB	D.AP	D.MB	D.A

Fuente: Elaboración propia

6.5 ANALISIS HIDROCLIMATOLÓGICO DURANTE EL FENOMENO

6.5.1 Climograma

El Climograma para la cuenca molino se determinó con el mismo mecanismo descrito para la subcuenca Las Piedras

6.5.1.1 Temperatura

6.5.1.1.1 Isotermas

Para el cálculo de las isotermas para la subcuenca del río Molino se utilizó la metodología ya mencionada en la cuenca del río Las Piedras, se utilizaron los datos de las estaciones meteorológicas con coordenadas descritas en el cuadro 2, los mapas se encuentran en el anexo L, de donde se realizaron los cálculos con los que se obtuvo el cuadro 31.

Cuadro 31. Temperatura mensual.

MES	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
T (°C)	19	17	19	20	20	19	19	21	19	19	19	18

Fuente: Elaboración propia.

La variación de la temperatura a lo largo de la cuenca en el periodo de estudio no varió drásticamente, el cuadro 32 consolida los parámetros estadísticos fundamentales.

Cuadro 32. Parámetros estadísticos

PARAMETROS ESTADISTICOS	
MEDIA ARITMETICA	19
DESVIACION ESTANDAR	1,05
COEFICIENTE DE VARIACION	0,05
COEFICIENTE DE ASIMETRIA	0,26

Fuente: Elaboración propia.

6.5.1.2 Precipitaciones

6.5.1.2.1 Isoyetas

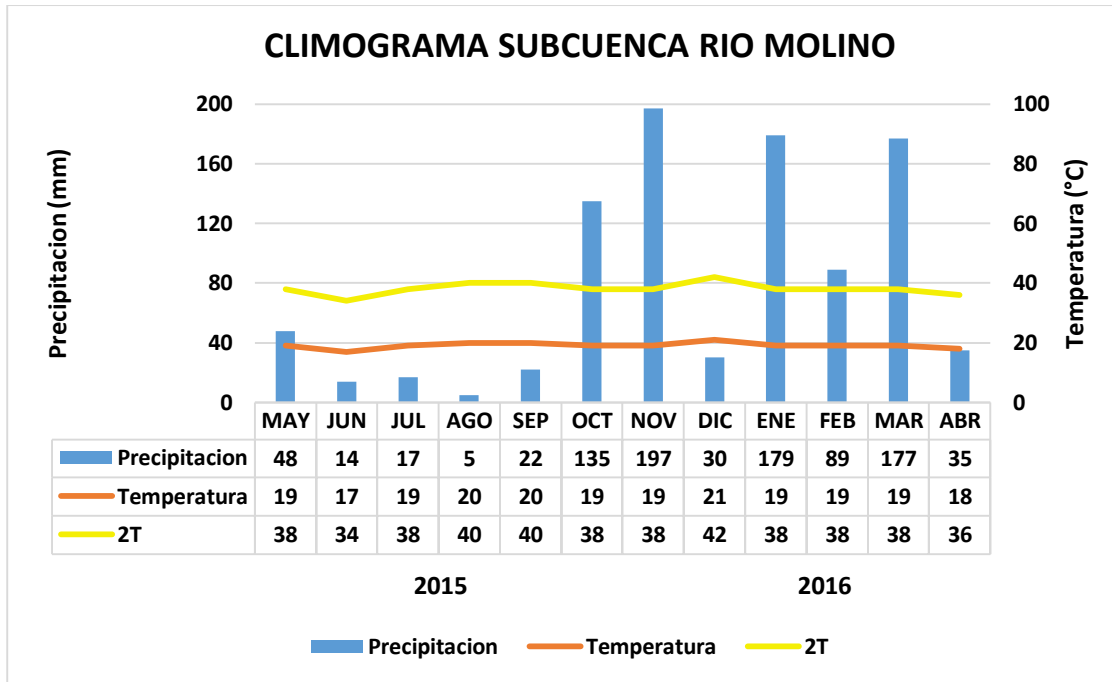
La metodología utilizada fue la descrita para la subcuenca del río Las Piedras, las precipitaciones mensuales calculadas para la subcuenca a partir de los mapas generados, anexo k, con el programa ArGis 10, corresponden a las anteriormente descritas en el cuadro 25.

6.5.1.3 Climograma

Para la subcuenca Molino se tiene que el 58% de sus precipitaciones, de un total de 948 mm anual, están concentradas en los tres meses de noviembre 2015, enero y marzo del 2016, un comportamiento similar al de la subcuenca Las Piedras, aunque se presenta una variación en el mes de abril, donde en Molino hay una disminución considerable de las precipitaciones, haciendo que este mes junto con los meses de mayo, junio, julio,

agosto, septiembre y diciembre del 2015 se presente un periodo de aridez, con efectos significativos sobre la zona.

Figura 20. Climograma



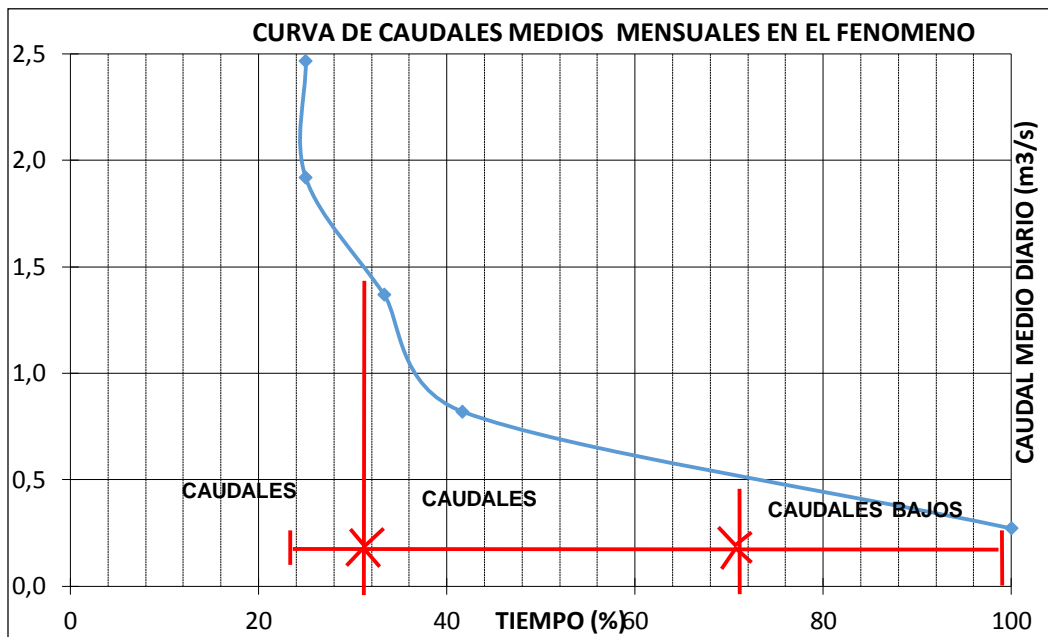
Fuente: Elaboración propia

6.5.2 Caudales

Los caudales a analizar para la subcuenca Molino para el periodo del fenómeno, corresponden a los calculados en la secciones anteriores referente a la oferta hídrica superficial, cuadro 27, a partir de ellos se construyó la curva de caudales medios, representados en la figura 21.

La curva nos muestra como los caudales máximos que coinciden en un rango de 2,47 a 1,42 m³/s se presentan alrededor del 8% del tiempo total, los intermedios el 22% presentándose en un gran periodo y los mínimos en mayor proporción tomando casi el 29%, lo que refleja que esta subcuenca presenta en la mayoría del tiempo caudales de 0,5 y 0,27 también m³/s, por lo que se puede resaltar que en el fenómeno, la cuenca no conto con una gran disponibilidad hídrica pero en cierto modo pudo abastecer su demanda.

Figura 21. Curva de caudales ponderados en el fenómeno.



Fuente: Elaboración propia

6.5.3 Balance hídrico

El balance hídrico para la subcuenca Molino se determinó bajo los mismos criterios que para la subcuenca Las Piedras, las estaciones que aquí se escogieron corresponden a las de Narcisca Bonilla, estación ubicada sobre los 2308 msnm y la de la Universidad del Cauca ubicada en el campus de Tulcán a 1728 msnm, los cálculos de la Eto y los demás se encuentran en los anexos M y N.

6.5.3.1 Evapotranspiración por el método de Thornthwaite

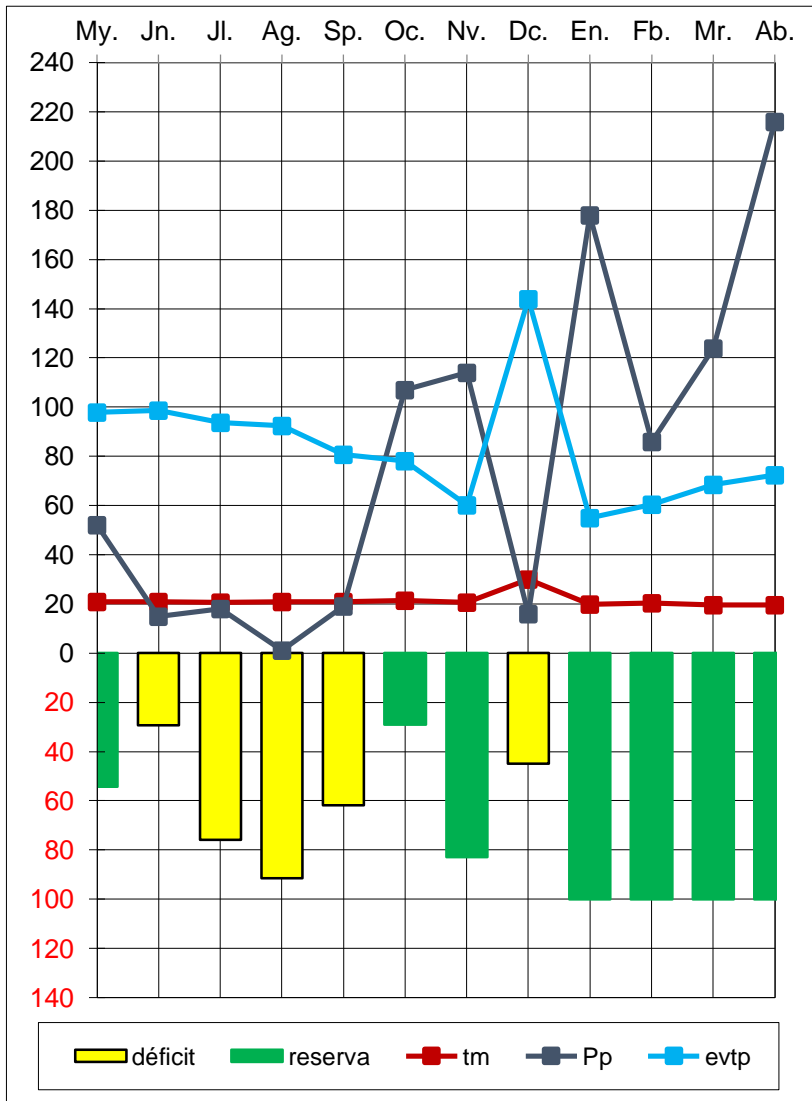
El cálculo de la Eto y la ETR se realizaron de la misma forma descrita para la subcuenca Las Piedras y los resultados obtenidos para este cálculo se encuentran en el anexo M.

6.5.3.2 Reserva hídrica del suelo

Esta zona tuvo un comportamiento similar al presentado en la subcuenca río Las Piedras, se puede ver el exceso hídrico se presenta en los meses de enero hasta abril de 2016 para ambas estaciones elegidas como estudio. El déficit fue de un periodo ligeramente mas largo, de junio hasta septiembre de 2015 y con un cambio importante en el mes de diciembre en la estación FIC donde a pesar que mes anterior tenía una significativa reserva de agua, no fue lo suficiente para mantener las reservas del mes de diciembre, llevando a este mes a un punto crítico en cuanto a escasez del recurso, tal y

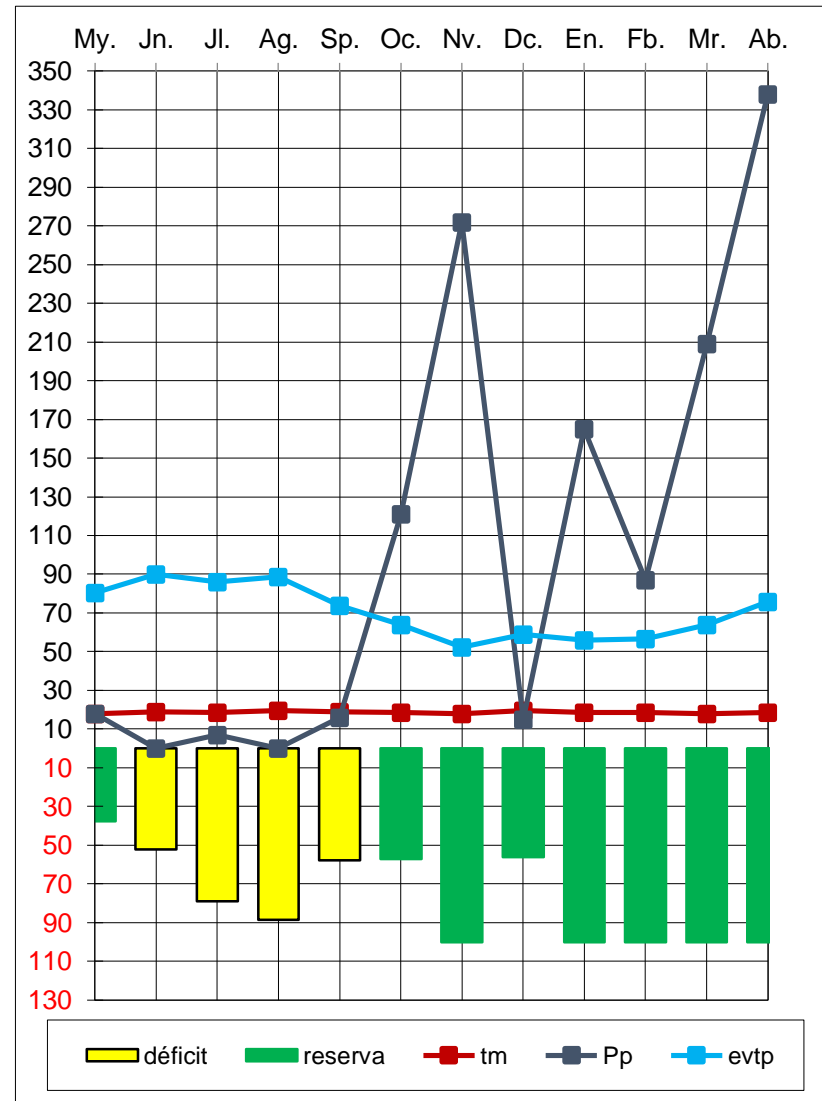
como se aprecia en el cuadro 30, esta fuerte variación en la capacidad de retención del suelo se da por el aumento en la temperatura y en consecuencia el elevado valor de evapotranspiración alcanzando en este mes, más de 140mm. En las figuras 20 y 21 se puede apreciar gráficamente el comportamiento de las precipitaciones y su relación con el exceso y el déficit hídrico en la subcuenca.

Figura 22. Balance Hídrico Estación FIC.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 23. Balance Hídrico Estación Narcisa Bonilla.



Fuente: Elaboración Propia

7. CONCLUSIONES

Los episodios de variabilidad climática se presentan cada vez de manera más intensa y frecuente, en el caso del fenómeno el Niño, según al ONI el 50% de los eventos son débiles y estos se registran al inicio del periodo histórico estudiado mientras que los eventos moderados, fuertes y muy fuertes representan el 50% de las ocurrencias, las cuales se han desarrollado en los últimos años, haciendo referencia a los periodos 1986-1988, 1997-1998 y 2015-2016.

En el cálculo de anomalías porcentuales históricas para la subcuenca Las Piedras, los porcentajes más bajos corresponden a los periodos del niño con clasificación muy fuertes.

La oferta hídrica neta para la subcuenca del río Las Piedras en periodo del fenómeno en estudio disminuyó con respecto a los valores de oferta neta histórica que se tenía para la zona.

Para la subcuenca Las Piedras, el índice de escasez histórico calculado en esta investigación con la oferta hídrica neta hasta 2015 aumentó de manera proporcional todos los meses en relación con el índice calculado con la oferta hídrica neta hasta 2009 (calculado en el estudio de Víquez y Zúñiga), lo que indica una explotación constante del recurso donde se tiene registro histórico que se necesita de una redistribución de los cargos de demanda

El índice normalizado de precipitación y la rosa de los vientos para las cuencas Las Piedras y Molino temas propuestos en el anteproyecto de esta investigación, no se pudieron desarrollar a falta de la información requerida.

Para la subcuenca río Las Piedras, Los meses de aridez que reporta el Climograma realizado son mayo, junio, julio, agosto y diciembre de 2015, para los meses estudiados del año 2016 se pueden determinar que no clasifican como meses áridos

La relación oferta – demanda en la subcuenca río Molino evidencia un periodo, entre junio y septiembre de 2015, de deficiencias hídricas al igual que altos índices de aridez, los cuales causan efectos negativos sobre la oferta hídrica superficial ocasionando con ello que la demanda no sea abastecida en su totalidad.

Debido a la diferencia significativa de las demandas hídricas entre las subcuencas, se pudo observar que el fenómeno afectó de forma considerable a la subcuenca Las Piedras y en menor proporción a la subcuenca Molino.

8. RECOMENDACIONES

Se hace pertinente y necesario un estudio constante de las cuencas en los diferentes periodos meteorológicos que se puedan presentar para poder realizar acciones frente a la administración del recurso hídrico.

Ya que a lo largo del recorrido histórico hay mayores episodios de fenómenos del Niño y su incidencia es más impactante sobre algunas zonas, se hace necesario disminuir la demanda de las fuentes buscando métodos para la optimización del recurso hídrico, como riego de precisión y de bajo consumo en la zona agrícola, almacenamientos como tanques en las viviendas para el consumo en horas de la noche y disminución de las pérdidas de agua por diferentes conducciones.

Trabajar en conjunto con la comunidad de la zona rural para que se generen proyectos enfocados en la construcción de sistemas de almacenamiento hídrico que puedan suministrar el recurso en épocas críticas del fenómeno.

Ya se obtuvo nuevamente la curva de gastos en la bocatoma del río Molino, a través de una pasantía en el presente año con la que se registran diariamente los caudales del río Molino para así ampliar la información esta subcuenca y poder hacer nuevos estudios y seguimientos más a fondo

Seguir poniendo en práctica los conocimientos impartidos sobre la meteorología de las dos subcuencas, los métodos de manejo del recurso hídrico, la preservación de los recursos naturales de dichas áreas y los conocimientos culturales de la población.

BIBLIOGRAFÍA

- Acueducto y Alcantarillado de Popayán. (Febrero de 2016). Caudales históricos. bocatoma Molino 2009 - 2013. Popayán.
- Acueducto y Alcantarillado de Popayán. (Enero de 2016). Caudales medios mensuales, estación Puente Carretera rio Piedras. Popayán.
- Castañeda Tiria, P. (2014). *Zonificación climatológica según el modelo caldas – lang de la cuenca rio negro mediante el uso del sistema de información geográfica sig*. Bogotá. Recuperado el 28 de 05 de 2016, de <http://bit.ly/2alarlo>
- Centro de predicción climática de la NOAA. (s.f.). *Climate prediction center*. Recuperado el 27 de Mayo de 2016, de <http://bit.ly/29LNC2H>
- CORPONARIÑO. (2009). *Índice de escasez de agua superficial cuenca rio pasto 2008-2009*. Pasto.
- CRC. (2006). *Plan de Ordenación y Manejo de la Subcuenca Hidrográfica río Molino - Quebraca Pubús*. Popayán.
- CRC. (2006). *Plan de Ordenación y Manejo de la Subcuenca Hidrográfica del Río Las Piedras*. Popayán, Cauca.
- Domínguez, E. A., Rivera, G., Vanegas, R., & Moreno, P. (2008). Relaciones demanda-oferta de agua y el índice de escasez de agua como herramientas de evaluación del recurso hídrico colombiano. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias*, XXXII, 195 - 212.
- GONZALEZ. (2015). *Estudio hidrológico*. Popayán .
- GONZALEZ, L. J. (2008). *Hidrología* . Popayán : Universidad del Cauca.
- IDEAM . (2002). *Efectos Naturales y Socioeconómicos del Fenómeno El Niño en Colombia*. Bogotá D.C.
- IDEAM . (Julio de 2016). Caudales medios diarios 2015 - 2016, estación Puente Carretera rio Piedras . Cali.
- IDEAM. (2004). *Metodología del cálculo del índice de escasez*. Bogotá.
- IDEAM. (2006). *El Niño en Colombia* .
- Jiménez Otálora , F. (1994). *Planificación y manejo de los recursos hidrológicos en la agricultura mediante el balance hídrico*. Para concurso de agricultura sostenible, Costa Rica.
- Jiménez Quiroz , M. H. (2008). *Indicadores climáticos una manera para identificar la variabilidad climática a escala global*.
- Leiva Gutiérrez, N. (2012). *Metodología para el cálculo de la humedad del suelo usando parámetros topográficos (MDE), climáticos y edáficos en un sector del piedemonte depositacional del municipio de Villavicencio*. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá .
- Null, J. (18 de Marzo de 2016). Obtenido de <http://ggweather.com/enso/oni.htm>

- Orozco Morales, M. C. (2015). *Cobertura y uso del suelo en la subcuenca del río las piedras, departamento del cauca*. Tesis Especialización, Manizales. Obtenido de <http://bit.ly/2aO3oZV>
- Perea, F., Jiménez, J., García, I., Vanderlinden, K., & Muriel, J. (Enero de 2006). Caracterización hidroclimática en vertisuelos de la campiña de Carmona. *CARDEL*(4), 1394. Recuperado el 29 de 07 de 2016, de <http://bit.ly/2bxOfiQ>
- Recaman, L. (2006). *Evaluación de la oferta y demanda hídrica de la subcuenca del río Las piedras*. Popayán.
- Rios, A. M. (2016). *Análisis de la oferta hídrica de zonas de conservación, soluciones de agua y acueductos veredales en las subcuencas río las piedras y río molino y análisis de parámetros físico químicos y bacteriológicos de las principales fuentes de abastecimiento de agu*. Popayan.
- Velázquez Pérez, F., & Peña Peña, E. (s.f.). Necesidades hidricas de los granos. Recuperado el 29 de 07 de 2016, de <http://bit.ly/2c9x58t>
- Zúñiga López, I., & Crespo Del Arco, E. (2010). *Meteorología y climatología*. UNED.
- Zúñiga Silva, V. H., & Vísquez Pancho, H. Y. (2011). *Análisis de la oferta hídrica de la subcuenca rio Las Piedras y su afectación por el fenómeno El Niño*. Universidad del Cauca , Popayán.

ANEXOS

ANEXO A. Tabla índice ONI.

AÑO	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1950	-1.4	-1.2	-1.1	-1.2	-1.1	-0.9	-0.6	-0.6	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8
1951	-0.8	-0.6	-0.2	0.2	0.2	0.4	0.5	0.7	0.8	0.9	0.7	0.6
1952	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2	0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3
1953	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.7
1954	0.7	0.4	0	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.7	-0.7	-0.6	-0.5	-0.5
1955	-0.6	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.6	-0.6	-1.0	-1.4	-1.6	-1.4
1956	-0.9	-0.6	-0.6	-0.5	-0.5	-0.4	-0.5	-0.5	-0.4	-0.4	-0.5	-0.4
1957	-0.3	0	0.3	0.6	0.7	0.9	1.0	1.2	1.1	1.2	1.3	1.6
1958	1.7	1.5	1.2	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6
1959	0.6	0.5	0.4	0.2	0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
1960	-0.1	-0.2	-0.1	0	-0.1	-0.2	0	0.1	0.2	0.1	0	0
1961	0	0	-0.1	0	0.1	0.2	0.1	-0.1	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2
1962	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4
1963	-0.4	-0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.7	1.0	1.1	1.2	1.2	1.1
1964	1.0	0.6	0.1	-0.3	-0.6	-0.6	-0.7	-0.7	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8
1965	-0.5	-0.3	-0.1	0.1	0.4	0.7	1.0	1.3	1.6	1.7	1.8	1.5
1966	1.3	1.0	0.9	0.6	0.3	0.2	0.2	0.1	0	-0.1	-0.1	-0.3
1967	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.2	0	0	-0.2	-0.3	-0.4	-0.4	-0.5
1968	-0.7	-0.8	-0.7	-0.5	-0.1	0.2	0.5	0.4	0.3	0.4	0.6	0.8
1969	0.9	1.0	0.9	0.7	0.6	0.5	0.4	0.5	0.8	0.8	0.8	0.7
1970	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.3	-0.6	-0.8	-0.8	-0.8	-0.9	-1.2
1971	-1.3	-1.3	-1.1	-0.9	-0.8	-0.7	-0.8	-0.7	-0.8	-0.8	-0.9	-0.8
1972	-0.7	-0.4	0	0.3	0.6	0.8	1.1	1.3	1.5	1.8	2.0	1.9
1973	1.7	1.2	0.6	0	-0.4	-0.8	-1.0	-1.2	-1.4	-1.7	-1.9	-1.9
1974	-1.7	-1.5	-1.2	-1.0	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.4	-0.6	-0.7	-0.6
1975	-0.5	-0.5	-0.6	-0.6	-0.7	-0.8	-1.0	-1.1	-1.3	-1.4	-1.5	-1.6
1976	-1.5	-1.1	-0.7	-0.4	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.5	0.7	0.8	0.8
1977	0.7	0.6	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.8	0.8
1978	0.7	0.4	0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.1	0
1979	0	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.5	0.6
1980	0.6	0.5	0.3	0.4	0.5	0.5	0.3	0.2	0	0.1	0.1	0
1981	-0.2	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	0
1982	0	0.1	0.2	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.5	1.9	2.1	2.1
1983	2.1	1.8	1.5	1.2	1.0	0.7	0.3	0	-0.3	-0.6	-0.8	-0.8
1984	-0.5	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3	-0.6	-0.9	-1.1
1985	-0.9	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3
1986	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0	0.2	0.4	0.7	0.9	1.0	1.1

AÑO	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1987	1.1	1.2	1.1	1.0	0.9	1.1	1.4	1.6	1.6	1.4	1.2	1.1
1988	0.8	0.5	0.1	-0.3	-0.8	-1.2	-1.2	-1.1	-1.2	-1.4	-1.7	-1.8
1989	-1.6	-1.4	-1.1	-0.9	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1
1990	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4
1991	0.4	0.3	0.2	0.2	0.4		0.7	0.7	0.7	0.8	1.2	1.4
1992	1.6	1.5	1.4	1.2	1.0	0.8	0.5	0.2	0	-0.1	-0.1	0
1993	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	0.6	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
1994	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.9	1.0
1995	0.9	0.7	0.5	0.3	0.2	0	-0.2	-0.5	-0.7	-0.9	-1.0	-0.9
1996	-0.9	-0.7	-0.6	-0.4	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.5
1997	-0.5	-0.4	-0.2	0.1	0.6	1.0	1.4	1.7	2.0	2.2	2.3	2.3
1998	2.1	1.8	1.4	1.0	0.5	-0.1	-0.7	-1.0	-1.2	-1.2	-1.3	-1.4
1999	-1.4	-1.2	-1.0	-0.9	-0.9	-1.0	-1.0	-1.0	-1.1	-1.2	-1.4	-1.6
2000	-1.6	-1.4	-1.1	-0.9	-0.7	-0.7	-0.6	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8	-0.8
2001	-0.7	-0.6	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3
2002	-0.2	-0.1	0.1	0.2	0.4	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.1
2003	0.9	0.6	0.4	0	-0.2	-0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4
2004	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
2005	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.2	0.1	0	0	-0.1	-0.4	-0.7
2006	-0.7	-0.6	-0.4	-0.2	0.0	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	0.9	1.0
2007	0.7	0.3	0	-0.1	-0.2	-0.2	-0.3	-0.6	-0.8	-1.1	-1.2	-1.3
2008	-1.4	-1.3	-1.1	-0.9	-0.7	-0.5	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.5	-0.7
2009	-0.8	-0.7	-0.4	-0.1	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	1.0	1.2	1.3
2010	1.3	1.1	0.8	0.5	0	-0.4	-0.8	-1.1	-1.3	-1.4	-1.3	-1.4
2011	-1.3	-1.1	-0.8	-0.6	-0.3	-0.2	-0.3	-0.5	-0.7	-0.9	-0.9	-0.8
2012	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.4	0.4	0.2	-0.2
2013	-0.4	-0.5	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.5	-0.6	-0.4	-0.2	0	0	0	0	0.2	0.4	0.6	0.6
2015	0.5	0.4	0.5	0.7	0.9	1.0	1.2	1.5	1.8	2.1	2.2	2.3
2016	2.2	1.9	1.5	1.1	0.7							

Fuente: (Centro de prediccion climatica de la NOAA), 2016.

ANEXO B. Datos de caudales medios mensuales y cálculos, estación Puente Carretera río Las Piedras.

CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m³/s) 1965 -2015													
ESTACION		Puente carretera											
CORRIENTE		Río Las Piedras											
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	PROM ANUAL
1965	3	2,2	1,6	2,5	2,4	1,1	1	0,6	0,9	1,3	3,5	5,1	2,1
1966	2,5	1,5	1,7	1,8	2,1	1,4	1,5	1	1	1,7	4,8	17,8	3,2
1967	3,6	4,5	3,9	2,6	2,3	1,9	1,8	1,3	0,9	1	4,2	2,5	2,5
1968	2,3	3,4	2,8	3,4	2,1	1,6	2,1	0,9	1	2,4	3,4	2,3	2,3
1969	2,4	1,8	1,1	3,5	2,2	1,6	0,9	0,9	1	2,7	4,4	3,9	2,2
1970	1,2	2,9	2,3	1	2	1,3	1,1	1	1,1	2	4,7	3,3	2
1971	4,8	4,5	3,3	2,7	2,9	1,9	1,5	1,2	1,1	2,2	4	3,1	2,8
1972	4,2	4,9	3,9	4,2	2,6	2,2	1,5	1,3	1,1	1,1	2	2,4	2,6
1973	1,4	1,2	1,5	2,2	1,4	1,4	1,3	1,4	1,6	4,9	3,4	4,8	2,2
1974	6	8,1	4,2	3,8	5,9	1,6	1,4	1,2	1,2	1,5	2,9	4,2	3,5
1975	3,5	3,8	3,8	2,5	2,8	1,8	2,3	1,6	1,4	2,4	5,3	13	3,7
1976	3,9	6,3	4,8	4,2	2	1,4	1,2	0,9	0,9	1,6	2,6	2,6	2,7
1977	1,5	1,1	1	1,4	1,7	1,1	0,9	0,7	0,8	1,2	2,9	1,8	1,3
1978	3,1	1,3	1,3	2,2	1,6	1,2	1,1	1	1	1,4	2,1	3,4	1,7
1979	1,9	1,4	3,8	1,8	1,7	1,9	1,1	1	1,1	1,6	4,1	2,5	2
1980	2,6	4,7	2,7	1,8	1,5	1,2	1	0,9	0,9	1,1	1,4	1,8	1,8
1981	1,7	2	2	3,3	4,6	2,1	1,1	0,9	0,7	0,7	2,5	2,2	2
1982	4,4	4,1	4,4	4,8	3,5	2,1	1,6	1,3	1,2	1,6	2,4	4,3	3
1983	2,1	2,3	2,5	3,3	3,6	1,7	1,2	1	1	1,3	1,6	2,7	2
1984	3,7	2,5	2,3	3,8	3,4	2,4	1,6	1,4	1,5	3	5,3	4,4	2,9
1985	3,2	2,2	1,6	2,2	2,6	1,6	1,3	1,2	1,1	3,8	2,9	3,2	2,2
1986	3,3	2,7	3,2	1,9	1,5	1,4	0,9	0,7	0,7	1,2	2,1	1,9	1,8
1987	1,3	1,1	1	1,4	1,8	1,1	0,9	0,9	0,8	1,6	2,2	1,8	1,3
1988	1,2	1,1	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1	1,1	1,6	7,1	4,8	2,1
1989	4	3,2	4,3	2,2	2,3	1,4	1,2	1	1	1,5	1,9	2,3	2,2
1990	2,5	2,1	1,8	2,4	1,9	1,2	0,9	1,4	0,7	1,1	2,2	2,5	1,7
1991	3,1	2,2	3,6	2,8	2,2	1,7	1,4	1,3	1,2	1,1	2,8	4,8	2,4
1992	3,4	3,5	1,7	1,5	1,3	1	1,1	0,9	1	0,9	2,6	3,7	1,9
1993	3,3	2,6	3,6	4,2	3,8	2,3	1,8	1,5	1,4	1,6	2,8	5	2,8
1994	5,2	3,8	4,8	5,2	3,1	2,7	2,4	2	1,9	3	4,8	5,4	3,7
1995	3,5	3,1	4,3	4,7	4	2,4	2	1,9	1,6	2,4	3,9	6,3	3,3
1996	3,8	4	3	3	4,7	1,7	1,3	0	0,7	2,3	2,3	2,8	2,5
1997	7,6	3,8	3,6	2,9	1,8	1,7	1,5	1,2	1,1	1,4	2,5	1,7	2,6
1998	1,2	1,3	1,3	1,8	2,8	2,1	1,3	1,1	1	1,8	4,3	5,5	2,1
1999	5,9	6,4	5,3	5	4,3	2,7	1,9	2,4	2	2,8	7,4	8,7	4,6

CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m ³ /s) 1965 -2015													
ESTACION		Puente carretera											
CORRIENTE		Rio Las Piedras											
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	PROM ANUAL
2000	9	6,3	4,5	3,8	2,1	1,5	1,6	1,4	1,3	1,4	4,4	2,4	3,3
2001	2,2	1,7	1,6	1,4	1,4	1,3	1,2	1,1	1,2	1,3	1,8	2,7	1,6
2002	2,4	1,6	1,8	3,2	2	2,2	1,5	1,3	1,2	1,6	1,5	3,1	2
2003	1,5	1,5	6,1	6,4	1,9	1,6	1,3	1,2	1,1	1,6	2,3	3	2,5
2004	3,5	1,7	1,4	3,6	1,9	1,4	1,2	0,9	0,9	1,3	5,4	3,1	2,2
2005	3,5	3,4	2,3	1,9	2,1	1,3	1,1	1	1	1,7	2,8	5	2,3
2006	3,9	3	3,3	3,9	3,2	2,3	1,5	1,2	1,1	1,3	2,6	3,7	2,6
2007	2	1,4	1,2	2,7	2,1	1,8	1,1	1	0,9	2,7	3,6	6,3	2,2
2008	5,2	6,9	4,8	3	3,7	2,2	1,4	1,6	1,1	1,2	5,7	11,6	4
2009	4,5	4,6	6	5,6	2,6	1,5	1,3	1,1	1	1,4	2,5	3,3	3
2010	1,6	1,6	1,1	2,2	3,2	2,1	1,3	1,1	1,1	1,7	3,4	4,4	2,1
2011	3,4	7,3	9,1	9,1	5,8	3,4	1,7	1,3	1	1,3	7,1	11,2	5,1
2012	6,2	3,4	2	2,8	1,2	0,9	0,7	0,6	0,6	0,7	0,9	2,1	1,8
2013	1	1,1	1,1	1,2	1,4	0,9	0,7	0,7	0,6	0,7	4,1	5,4	1,6
2014	2,7	3,8	6,2	1,7	2,4	1,4	1,2	1	1	1,3	3	5,2	2,6
2015	1,71	2,44	2,17	1,82	1,37	1,26	1,05	0,92	0,84	0,85	1,31	0,88	1,4
QMMIPM	3,27	3,12	3,02	3,01	2,55	1,69	1,34	1,13	1,07	1,70	3,37	4,35	
CAUDAL MEDIO INTERANUAL DEL CAUDAL MEDIO POR AÑO													2,47

Fuente: (Acueducto y Alcantarillado de Popayán, 2016)

ANEXO C. Caudales medios móviles

MEDIAS MOVILES CAUDALES (m ³ /s) 1965 -2014													
ESTACION		Puente carretera											
CORRIENTE		Rio Las Piedras											
AÑO	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDE	PROMEDIO MOVIL ANUAL
1965	2.6	2.3	2.1	2.2	2	1.5	0.9	0.8	0.9	1.9	3.3	3.7	2
1966	3	1.9	1.7	1.9	1.8	1.7	1.3	1.2	1.2	2.5	8.1	8.7	2.9
1967	8.6	4	3.7	2.9	2.3	2	1.7	1.3	1.1	2	2.6	3	2.9
1968	2.7	2.8	3.2	2.8	2.4	1.9	1.5	1.3	1.4	2.3	2.7	2.7	2.3
1969	2.2	1.8	2.1	2.3	2.4	1.6	1.1	0.9	1.5	2.7	3.7	3.2	2.1
1970	2.7	2.1	2.1	1.8	1.4	1.5	1.1	1.1	1.4	2.6	3.3	4.3	2.1
1971	4.2	4.2	3.5	3	2.5	2.1	1.5	1.3	1.5	2.4	3.1	3.8	2.8
1972	4.1	4.3	4.3	3.6	3	2.1	1.7	1.3	1.2	1.4	1.8	1.9	2.6
1973	1.7	1.4	1.6	1.7	1.7	1.4	1.4	1.4	2.6	3.3	4.4	4.7	2.3
1974	6.3	6.1	5.4	4.6	3.8	3	1.4	1.3	1.3	1.9	2.9	3.5	3.5
1975	3.8	3.7	3.4	3	2.4	2.3	1.9	1.8	1.8	3	6.9	7.4	3.5
1976	7.7	5	5.1	3.7	2.5	1.5	1.2	1	1.1	1.7	2.3	2.2	2.9
1977	1.7	1.2	1.2	1.4	1.4	1.2	0.9	0.8	0.9	1.6	2	2.6	1.4
1978	2.1	1.9	1.6	1.7	1.7	1.3	1.1	1	1.1	1.5	2.3	2.5	1.7
1979	2.2	2.4	2.3	2.4	1.8	1.6	1.3	1.1	1.2	2.3	2.7	3	2
1980	3.3	3.3	3.1	2	1.5	1.2	1	0.9	1	1.1	1.4	1.6	1.8
1981	1.8	1.9	2.4	3.3	3.3	2.6	1.4	0.9	0.8	1.3	1.8	3.1	2.1
1982	3.6	4.3	4.4	4.2	3.5	2.4	1.7	1.4	1.4	1.7	2.8	3	2.9
1983	2.9	2.3	2.7	3.1	2.9	2.2	1.3	1.1	1.1	1.3	1.9	2.7	2.1
1984	3	2.8	2.9	3.2	3.2	2.5	1.8	1.5	2	3.3	4.2	4.3	2.9
1985	3.3	2.3	2	2.1	2.1	1.8	1.4	1.2	2	2.6	3.3	3.1	2.3
1986	3.1	3.1	2.6	2.2	1.6	1.3	1	0.8	0.9	1.3	1.7	1.8	1.8
1987	1.4	1.1	1.2	1.4	1.4	1.3	1	0.9	1.1	1.5	1.9	1.7	1.3
1988	1.4	1.2	1.3	1.4	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2	3.3	4.5	5.3	2.1
1989	4	3.8	3.2	2.9	2	1.6	1.2	1.1	1.2	1.5	1.9	2.3	2.2
1990	2.3	2.1	2.1	2	1.8	1.3	1.2	1	1.1	1.3	1.9	2.6	1.7
1991	2.6	3	2.9	2.9	2.2	1.8	1.5	1.3	1.2	1.7	2.9	3.6	2.3
1992	3.9	2.9	2.2	1.5	1.3	1.1	1	1	0.9	1.5	2.4	3.2	1.9
1993	3.2	3.2	3.5	3.9	3.4	2.6	1.9	1.6	1.5	1.9	3.1	4.3	2.8
1994	4.7	4.6	4.6	4.4	3.7	2.7	2.4	2.1	2.3	3.2	4.4	4.6	3.6
1995	4	3.6	4	4.3	3.7	2.8	2.1	1.8	2	2.6	4.2	4.6	3.3
1996	4.7	3.6	3.3	3.6	3.1	2.6	1	0.7	1	1.8	2.5	4.2	2.7
1997	4.7	5	3.4	2.8	2.1	1.7	1.5	1.3	1.2	1.7	1.9	1.8	2.4
1998	1.4	1.3	1.5	2	2.2	2.1	1.5	1.1	1.3	2.4	3.9	5.2	2.2
1999	5.9	5.9	5.6	4.9	4	3	2.3	2.1	2.4	4.1	6.3	8.3	4.6

MEDIAS MOVILES CAUDALES (m ³ /s) 1965 -2014													
ESTACION		Puente carretera											
CORRIENTE		Rio Las Piedras											
AÑO	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDE	PROMEDIO MOVIL ANUAL
2000	8	6.6	4.9	3.5	2.5	1.7	1.5	1.4	1.4	2.4	2.7	3	3.3
2001	2.1	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2	1.4	1.9	2.3	1.6
2002	2.2	1.9	2.2	2.3	2.5	1.9	1.7	1.3	1.4	1.4	2.1	2	1.9
2003	2	3	4.7	4.8	3.3	1.6	1.4	1.2	1.3	1.7	2.3	2.9	2.5
2004	2.7	2.2	2.2	2.3	2.3	1.5	1.2	1	1	2.5	3.3	4	2.2
2005	3.3	3.1	2.5	2.1	1.8	1.5	1.1	1	1.2	1.8	3.2	3.9	2.2
2006	4	3.4	3.4	3.5	3.1	2.3	1.7	1.3	1.2	1.7	2.5	2.8	2.6
2007	2.4	1.5	1.8	2	2.2	1.7	1.3	1	1.5	2.4	4.2	5.1	2.3
2008	6.1	5.6	4.9	3.8	3	2.4	1.7	1.4	1.3	2.7	6.2	7.3	3.9
2009	6.9	5	5.4	4.7	3.2	1.8	1.3	1.1	1.2	1.6	2.4	2.5	3.1
2010	2.2	1.4	1.6	2.2	2.5	2.2	1.5	1.2	1.3	2.1	3.2	3.4	2.1
2011	5	6.6	8.5	8	6.1	3.6	2.1	1.3	1.2	3.1	6.5	8.2	5
2012	6.9	3.9	2.7	2	1.6	0.9	0.7	0.6	0.6	0.7	1.2	1.3	1.9
2013	1.4	1.1	1.1	1.2	1.2	1	0.8	0.7	0.7	1.8	3.4	4.1	1.5
2014	4	4.2	3.9	3.4	1.8	1.7	1.2	1.1	1.1	1.8	3.2	3.8	2.6
2015	3,9	3,1	3,1	2,9	2,2	1,5	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9	1,3	1,9
CAUDAL MEDIO INTERANUAL DEL CAUDAL MEDIO MOVIL POR AÑO													2.48

ANEXO D. Calculo Anomalías Porcentuales.

AÑO	CAUDAL ANUAL VALOR ESTACIONAL (m³/s)	NORMAL ESTACIONAL (m³/s)	ANOMALIA	AÑO	CAUDAL ANUAL VALOR ESTACIONAL (m³/s)	NORMAL ESTACIONAL (m³/s)	ANOMALIA
1965	2	2.14	-6.54	1991	2.3	2.14	7.48
1966	2.9	2.14	35.51	1992	1.9	2.14	-11.21
1967	2.9	2.14	35.51	1993	2.8	2.14	30.84
1968	2.3	2.14	7.48	1994	3.6	2.14	68.22
1969	2.1	2.14	-1.87	1995	3.3	2.14	54.21
1970	2.1	2.14	-1.87	1996	2.7	2.14	26.17
1971	2.8	2.14	30.84	1997	2.4	2.14	12.15
1972	2.6	2.14	21.50	1998	2.2	2.14	2.80
1973	2.3	2.14	7.48	1999	4.6	2.14	114.95
1974	3.5	2.14	63.55	2000	3.3	2.14	54.21
1975	3.5	2.14	63.55	2001	1.6	2.14	-25.23
1976	2.9	2.14	35.51	2002	1.9	2.14	-11.21
1977	1.4	2.14	-34.58	2003	2.5	2.14	16.82
1978	1.7	2.14	-20.56	2004	2.2	2.14	2.80
1979	2	2.14	-6.54	2005	2.2	2.14	2.80
1980	1.8	2.14	-15.89	2006	2.6	2.14	21.50
1981	2.1	2.14	-1.87	2007	2.3	2.14	7.48
1982	2.9	2.14	35.51	2008	3.9	2.14	82.24
1983	2.1	2.14	-1.87	2009	3.1	2.14	44.86
1984	2.9	2.14	35.51	2010	2.1	2.14	-1.87
1985	2.3	2.14	7.48	2011	5	2.14	133.64
1986	1.8	2.14	-15.89	2012	1.9	2.14	-11.21
1987	1.3	2.14	-39.25	2013	1.5	2.14	-29.91
1988	2.1	2.14	-1.87	2014	2.6	2.14	21.50
1989	2.2	2.14	2.80	2015	1.5	2.14	-29.91
1990	1.7	2.14	-20.56				

ANEXO E. Caudales medios diarios mayo 2015 a abril 2016 Estación Puente Carretera, Rio Las Piedras.

DIA	CAUDAL	DIA	CAUDAL	DIA	CAUDAL	DIA	CAUDAL
5/1/2015	1.466	6/1/2015	1.235	7/1/2015	1.1965	8/1/2015	1.235
5/2/2015	1.466	6/2/2015	1.235	7/2/2015	1.158	8/2/2015	1.1195
5/3/2015	3.634	6/3/2015	1.1965	7/3/2015	1.081	8/3/2015	1.004
5/4/2015	1.5045	6/4/2015	1.158	7/4/2015	1.081	8/4/2015	1.004
5/5/2015	1.466	6/5/2015	1.158	7/5/2015	1.081	8/5/2015	1.004
5/6/2015	1.4275	6/6/2015	1.158	7/6/2015	1.081	8/6/2015	1.004
5/7/2015	1.389	6/7/2015	1.235	7/7/2015	1.081	8/7/2015	0.927
5/8/2015	1.3505	6/8/2015	1.2735	7/8/2015	1.081	8/8/2015	0.927
5/9/2015	1.312	6/9/2015	1.235	7/9/2015	1.004	8/9/2015	0.927
5/10/2015	1.312	6/10/2015	1.389	7/10/2015	1.004	8/10/2015	0.927
5/11/2015	1.312	6/11/2015	1.1965	7/11/2015	1.004	8/11/2015	0.927
5/12/2015	1.312	6/12/2015	1.158	7/12/2015	1.004	8/12/2015	0.927
5/13/2015	1.312	6/13/2015	1.158	7/13/2015	1.004	8/13/2015	0.8885
5/14/2015	1.312	6/14/2015	1.158	7/14/2015	1.004	8/14/2015	0.85
5/15/2015	1.312	6/15/2015	1.1195	7/15/2015	1.004	8/15/2015	0.85
5/16/2015	1.31	6/16/2015	1.08	7/16/2015	1.00	8/16/2015	0.85
5/17/2015	1.24	6/17/2015	1.08	7/17/2015	1.004	8/17/2015	1.0425
5/18/2015	1.24	6/18/2015	1.08	7/18/2015	1.004	8/18/2015	1.004
5/19/2015	1.24	6/19/2015	1.08	7/19/2015	1.004	8/19/2015	0.927
5/20/2015	1.24	6/20/2015	1.08	7/20/2015	1.004	8/20/2015	0.927
5/21/2015	1.24	6/21/2015	1.27	7/21/2015	1.004	8/21/2015	0.85
5/22/2015	1.24	6/22/2015	1.27	7/22/2015	1.004	8/22/2015	0.85
5/23/2015	1.24	6/23/2015	1.75	7/23/2015	1.004	8/23/2015	0.85
5/24/2015	1.24	6/24/2015	1.82	7/24/2015	1.004	8/24/2015	0.85
5/25/2015	1.24	6/25/2015	1.50	7/25/2015	1.004	8/25/2015	0.85
5/26/2015	1.24	6/26/2015	1.16	7/26/2015	1.004	8/26/2015	0.85
5/27/2015	1.24	6/27/2015	1.27	7/27/2015	1.00	8/27/2015	0.85
5/28/2015	1.24	6/28/2015	1.47	7/28/2015	1.00	8/28/2015	0.85
5/29/2015	1.24	6/29/2015	1.31	7/29/2015	1.08	8/29/2015	0.85
5/30/2015	1.24	6/30/2015	1.39	7/30/2015	1.16	8/30/2015	0.85
5/31/2015	1.24			7/31/2015	1.35	8/31/2015	0.85

Fuente: (IDEAM , 2016)

DIA	CAUDAL	DIA	CAUDAL	DIA	CAUDAL	DIA	CAUDAL
9/1/2015	0.85	10/1/2015	1.235	11/1/2015	1.004	12/1/2015	1.5045
9/2/2015	0.85	10/2/2015	1.081	11/2/2015	1.71775	12/2/2015	1.235
9/3/2015	0.85	10/3/2015	0.85	11/3/2015	2.146	12/3/2015	1.081

DIA	CAUDAL	DIA	CAUDAL	DIA	CAUDAL	DIA	CAUDAL
9/4/2015	0.85	10/4/2015	0.8275	11/4/2015	1.389	12/4/2015	1.0425
9/5/2015	0.85	10/5/2015	0.805	11/5/2015	1.081	12/5/2015	1.004
9/6/2015	0.85	10/6/2015	0.805	11/6/2015	2.0465	12/6/2015	1.004
9/7/2015	0.85	10/7/2015	0.805	11/7/2015	2.8515	12/7/2015	1.004
9/8/2015	0.85	10/8/2015	0.805	11/8/2015	2.47475	12/8/2015	1.004
9/9/2015	0.85	10/9/2015	0.805	11/9/2015	1.389	12/9/2015	0.927
9/10/2015	0.85	10/10/2015	0.805	11/10/2015	1.1195	12/10/2015	0.85
9/11/2015	0.85	10/11/2015	0.805	11/11/2015	1.081	12/11/2015	0.85
9/12/2015	0.85	10/12/2015	0.85	11/12/2015	1.004	12/12/2015	0.85
9/13/2015	0.85	10/13/2015	0.8885	11/13/2015	1.004	12/13/2015	0.85
9/14/2015	0.85	10/14/2015	1.1195	11/14/2015	0.9655	12/14/2015	0.85
9/15/2015	0.8275	10/15/2015	1.0425	11/15/2015	0.927	12/15/2015	0.85
9/16/2015	0.805	10/16/2015	0.8885	11/16/2015	0.927	12/16/2015	0.85
9/17/2015	0.85	10/17/2015	0.85	11/17/2015	0.927	12/17/2015	0.85
9/18/2015	0.85	10/18/2015	0.85	11/18/2015	0.927	12/18/2015	0.85
9/19/2015	0.85	10/19/2015	0.85	11/19/2015	0.927	12/19/2015	0.85
9/20/2015	0.85	10/20/2015	0.85	11/20/2015	0.927	12/20/2015	0.85
9/21/2015	0.8275	10/21/2015	0.8275	11/21/2015	0.9655	12/21/2015	0.85
9/22/2015	0.805	10/22/2015	0.805	11/22/2015	1.0425	12/22/2015	0.85
9/23/2015	0.805	10/23/2015	0.805	11/23/2015	1.158	12/23/2015	0.85
9/24/2015	0.805	10/24/2015	0.8275	11/24/2015	1.1195	12/24/2015	0.85
9/25/2015	0.805	10/25/2015	0.85	11/25/2015	1.081	12/25/2015	0.85
9/26/2015	0.805	10/26/2015	0.8275	11/26/2015	1.081	12/26/2015	0.8275
9/27/2015	0.805	10/27/2015	0.805	11/27/2015	1.004	12/27/2015	0.805
9/28/2015	0.7825	10/28/2015	0.805	11/28/2015	1.004	12/28/2015	0.805
9/29/2015	0.76	10/29/2015	0.805	11/29/2015	1.1195	12/29/2015	0.805
9/30/2015	0.805	10/30/2015	0.805	11/30/2015	2.4025	12/30/2015	0.805
		10/31/2015	0.805			12/31/2015	0.805

Fuente: (IDEAM , 2016)

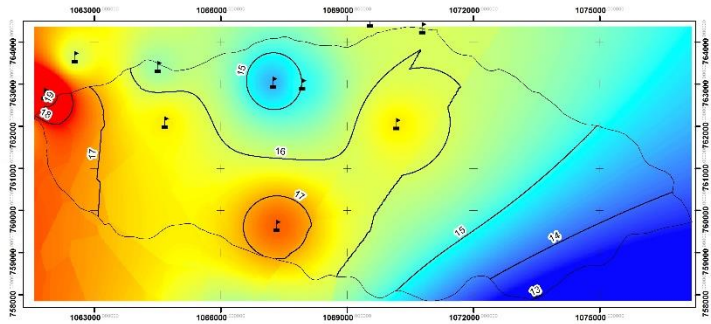
DIA	CAUDAL	DIA	CAUDAL	DIA	CAUDAL	DIA	CAUDAL
1/1/2016	0.805	2/1/2016	0.85	3/1/2016	0.85	4/1/2016	1.158
1/2/2016	0.805	2/2/2016	0.85	3/2/2016	0.85	4/2/2016	1.1195
1/3/2016	0.805	2/3/2016	0.85	3/3/2016	0.85	4/3/2016	1.3505
1/4/2016	0.805	2/4/2016	0.85	3/4/2016	0.85	4/4/2016	1.81725
1/5/2016	0.805	2/5/2016	0.85	3/5/2016	0.85	4/5/2016	2.672
1/6/2016	1.235	2/6/2016	0.85	3/6/2016	1.158	4/6/2016	2.08025
1/7/2016	0.8885	2/7/2016	0.85	3/7/2016	0.85	4/7/2016	1.94875
1/8/2016	0.8885	2/8/2016	0.85	3/8/2016	1.004	4/8/2016	1.466

DIA	CAUDAL	DIA	CAUDAL	DIA	CAUDAL	DIA	CAUDAL
1/9/2016	1.158	2/9/2016	0.85	3/9/2016	1.915	4/9/2016	1.389
1/10/2016	1.081	2/10/2016	0.85	3/10/2016	1.1195	4/10/2016	1.312
1/11/2016	1.3505	2/11/2016	0.85	3/11/2016	1.2735	4/11/2016	1.2735
1/12/2016	1.543	2/12/2016	0.85	3/12/2016	1.5045	4/12/2016	1.235
1/13/2016	1.7515	2/13/2016	0.8275	3/13/2016	1.389	4/13/2016	1.389
1/14/2016	1.466	2/14/2016	0.805	3/14/2016	1.466	4/14/2016	2.409
1/15/2016	1.158	2/15/2016	0.805	3/15/2016	1.389	4/15/2016	2.08025
1/16/2016	1.004	2/16/2016	0.805	3/16/2016	1.2735	4/16/2016	1.7515
1/17/2016	1.004	2/17/2016	0.805	3/17/2016	1.158	4/17/2016	1.466
1/18/2016	0.9655	2/18/2016	0.805	3/18/2016	1.158	4/18/2016	1.68575
1/19/2016	0.927	2/19/2016	0.805	3/19/2016	1.158	4/19/2016	1.543
1/20/2016	0.927	2/20/2016	0.805	3/20/2016	1.158	4/20/2016	1.466
1/21/2016	0.927	2/21/2016	0.805	3/21/2016	1.1195	4/21/2016	1.389
1/22/2016	0.85	2/22/2016	0.805	3/22/2016	1.0425	4/22/2016	1.389
1/23/2016	0.85	2/23/2016	0.927	3/23/2016	1.004	4/23/2016	1.389
1/24/2016	0.85	2/24/2016	0.927	3/24/2016	1.004	4/24/2016	1.312
1/25/2016	0.85	2/25/2016	0.85	3/25/2016	0.9655	4/25/2016	1.235
1/26/2016	0.85	2/26/2016	0.85	3/26/2016	0.927	4/26/2016	1.235
1/27/2016	1.158	2/27/2016	0.85	3/27/2016	0.927	4/27/2016	1.389
1/28/2016	1.004	2/28/2016	0.85	3/28/2016	0.927	4/28/2016	1.2735
1/29/2016	0.85	2/29/2016	0.85	3/29/2016	0.9655	4/29/2016	2.86925
1/30/2016	0.85			3/30/2016	2.6655	4/30/2016	2.0145
1/31/2016	0.85			3/31/2016	1.3505		

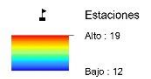
Fuente: (IDEAM , 2016)

ANEXO F. Isotermas medias mensuales Subcuenca Las Piedras para el fenómeno El Niño 2015-2016

ISOTERMA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO PIEDRAS
MAYO 2015



CONVENCIONES

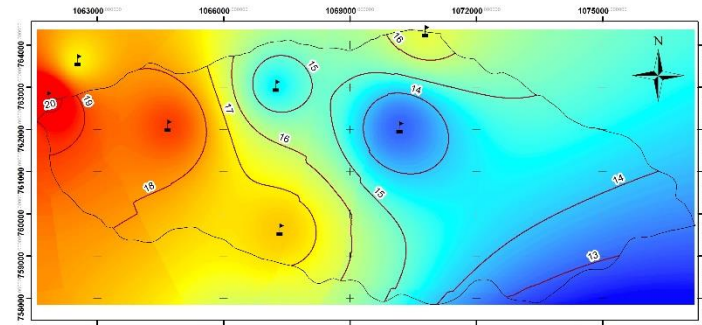


ESCALA:
1:65,000



Cartografía: IGAC
Datos Climatológicos: Estaciones SAAT
Elaboró: Lina Betancourt y Xiomara Maca

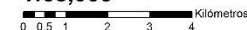
ISOTERMA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO PIEDRAS
JUNIO 2015



CONVENCIONES

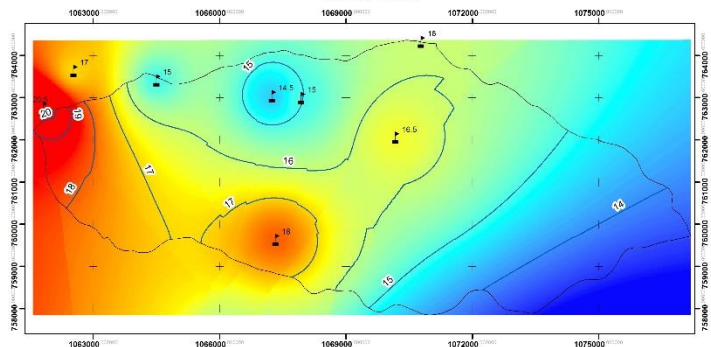


ESCALA:
1:65,000



Cartografía: IGAC
Datos Climatológicos: Estaciones SAAT
Elaboró: Lina Betancourt y Xiomara Maca

ISOTERMA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO PIEDRAS
JULIO 2015



CONVENCIONES

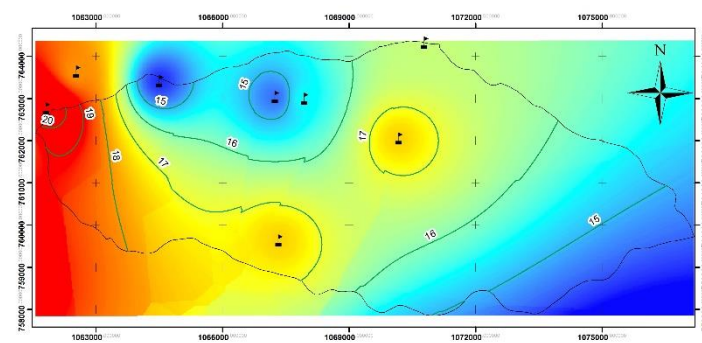


ESCALA:
1:65,000



Cartografía: IGAC
Datos Climatológicos: Estaciones SAAT
Elaboró: Lina Betancourt y Xiomara Maca

ISOTERMA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO PIEDRAS
AGOSTO 2015



CONVENCIONES

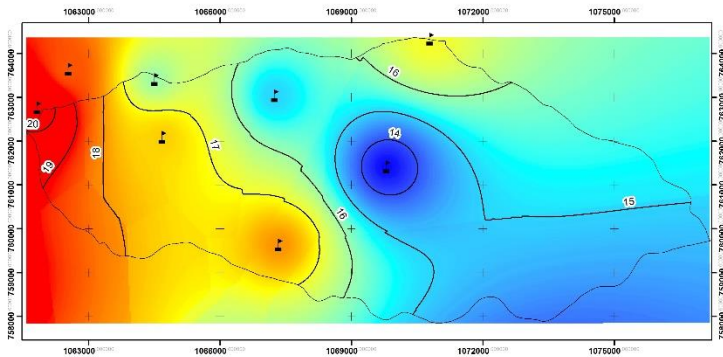


ESCALA:
1:65,000



Cartografía: IGAC
Datos Climatológicos: Estaciones SAAT
Elaboró: Lina Betancourt y Xiomara Maca

**ISOTERMA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO PIEDRAS
SEPTIEMBRE 2015**



CONVENCIONES

Estaciones
Temperatura Media
Alto : 20
Bajo : 13

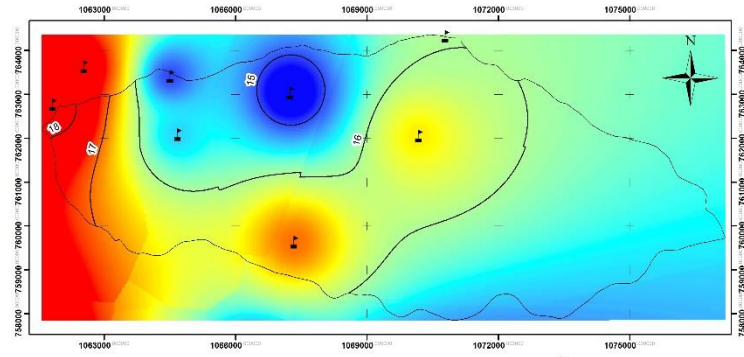
ESCALA:

1:65,000
0 0.5 1 2 3 4 Kilómetros



Cartografía: IGAC
Datos Climatológicos: Estaciones SAAT
Elaboró: Lina Betancourt y Xiomara Maca

**ISOTERMA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO PIEDRAS
OCTUBRE 2015**



CONVENCIONES

Estaciones
Temperatura Media
Alto : 18
Bajo : 14

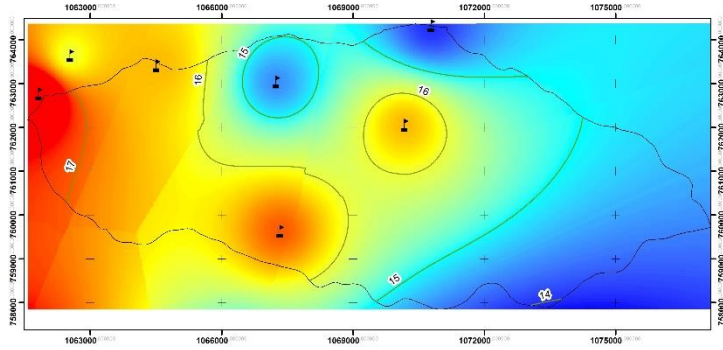
ESCALA:

1:65,000
0 0.5 1 2 3 4 Kilómetros



Cartografía: IGAC
Datos Climatológicos: Estaciones SAAT
Elaboró: Lina Betancourt y Xiomara Maca

**ISOTERMA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO PIEDRAS
NOVIEMBRE 2015**



CONVENCIONES

Estaciones
Temperatura Media
Alto : 18
Bajo : 13

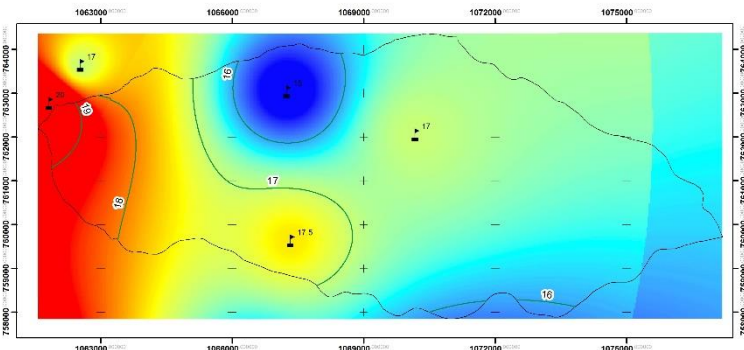
ESCALA:

1:65,000
0 0.5 1 2 3 4 Kilómetros



Cartografía: IGAC
Datos Climatológicos: Estaciones SAAT
Elaboró: Lina Betancourt y Xiomara Maca

**ISOTERMA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO PIEDRAS
DICIEMBRE 2015**



CONVENCIONES

Estaciones
Temperatura Media
Alto : 19
Bajo : 15

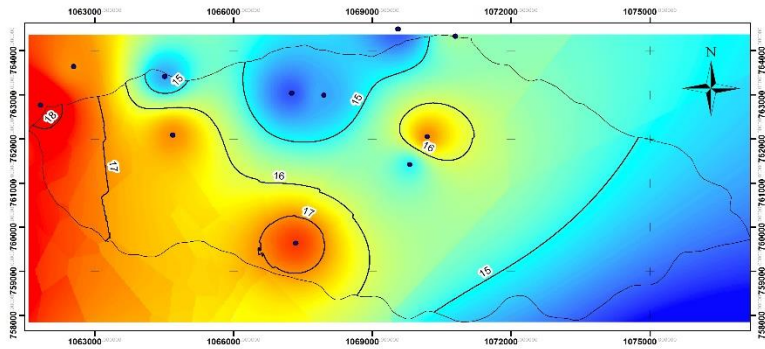
ESCALA:

1:65,000
0 0.5 1 2 3 4 Kilómetros



Cartografía: IGAC
Datos Climatológicos: Estaciones SAAT
Elaboró: Lina Betancourt y Xiomara Maca

**ISOTERMA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO PIEDRAS
ENERO 2015**



CONVENCIONES

- Estaciones
- Temperatura Media**
Alto : 18
Bajo : 13

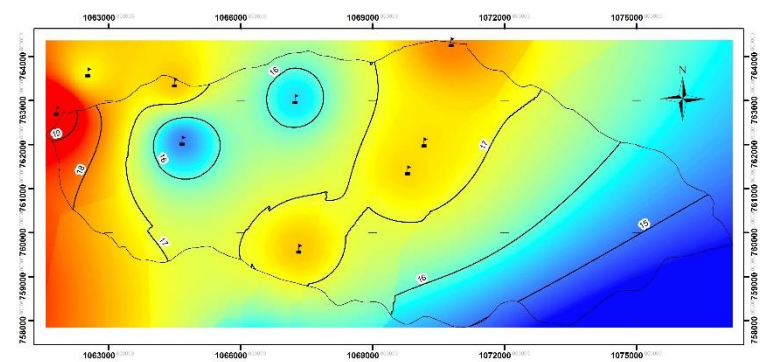
ESCALA:

1:65,000



Cartografía: IGAC
Datos Climatológicos: Estaciones SAAT
Elaboró: Lina Betancourt y Xiomara Maca

**ISOTERMA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO PIEDRAS
FEBRERO 2016**

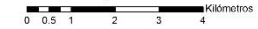


CONVOCATORIA

- Estaciones
- Temperatura**
Alto : 20
Bajo : 13

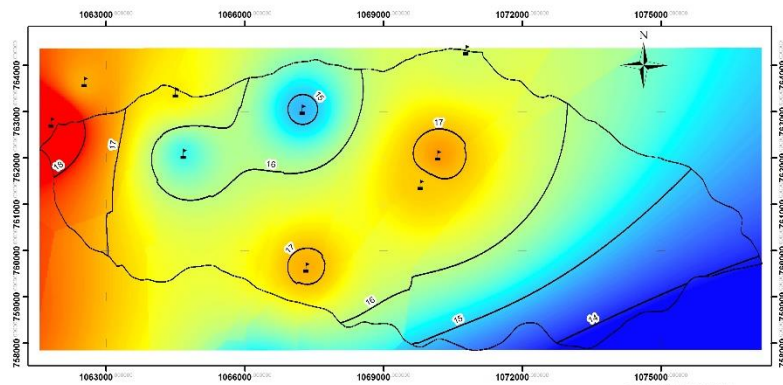
ESCALA:

1:65,000



Cartografía: IGAC
Datos Climatológicos: Estaciones SAAT
Elaboró: Lina Betancourt y Xiomara Maca

**ISOTERMA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO PIEDRAS
MARZO 2016**

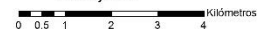


CONVENCIONES

- Estaciones
- Temperatura**
Alto : 19
Bajo : 12

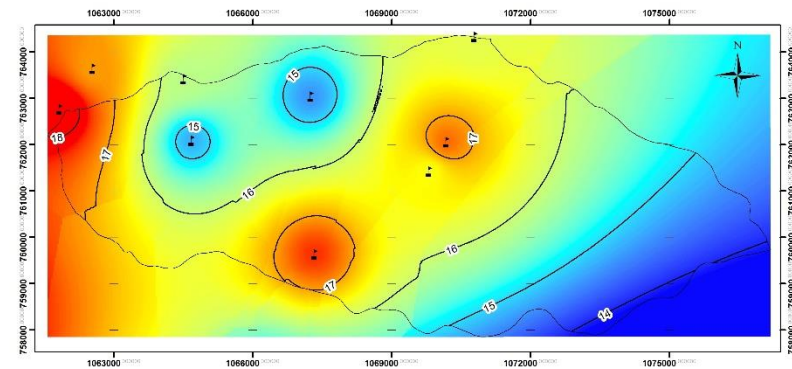
ESCALA:

1:65,000



Cartografía: IGAC
Datos Climatológicos: Estaciones SAAT
Elaboró: Lina Betancourt y Xiomara Maca

**ISOTERMA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO PIEDRAS
ABRIL 2016**



CONVENCIONES

- Estaciones
- Temperatura**
Alto : 18
Bajo : 12

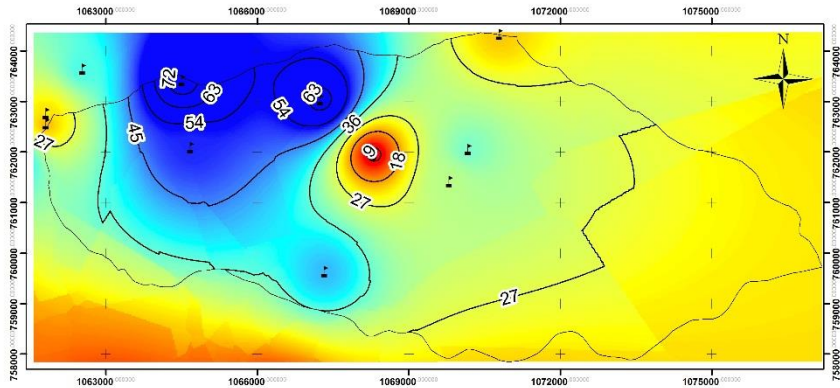
ESCALA:

1:65,000



Cartografía: IGAC
Datos Climatológicos: Estaciones SAAT
Elaboró: Lina Betancourt y Xiomara Maca

**ISOYETA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO PIEDRAS
SEPTIEMBRE 2015**



CONVENCIONES

- Estaciones
- Precipitación**
- Alto: 76
- Bajo: 8

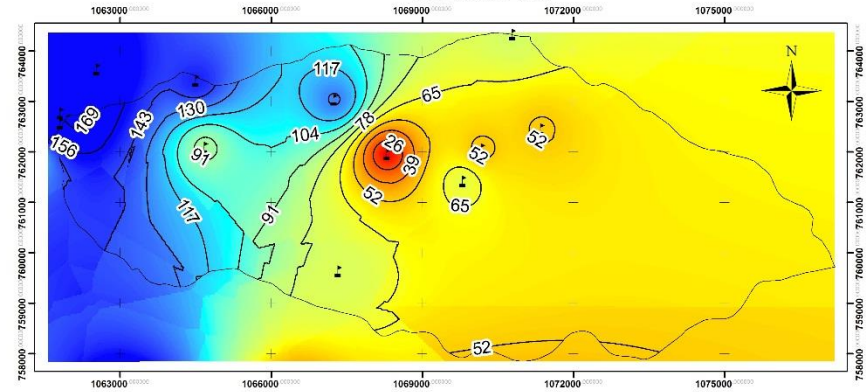
ESCALA:

1:65,000



Cartografía: IGAC
 Datos Climatológicos: Estaciones SAAT
 Elaboró: Lina Betancourt
 y Xiomara Maca

**ISOYETA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO PIEDRAS
OCTUBRE 2015**



CONVENCIONES

- Estaciones
- Precipitación**
- Alto: 197
- Bajo: 17

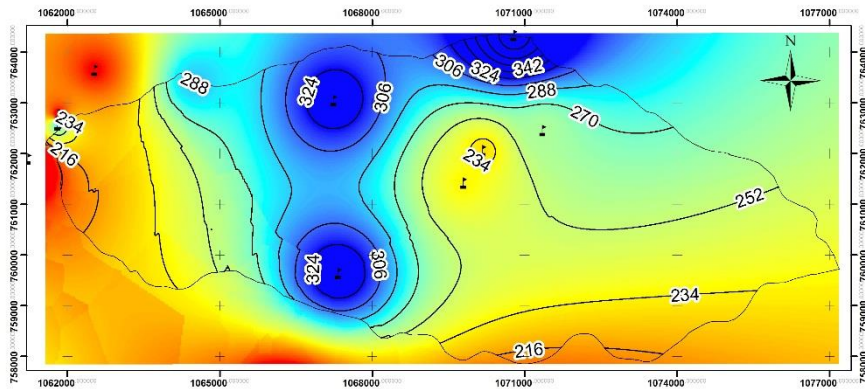
ESCALA:

1:65,000



Cartografía: IGAC
 Datos Climatológicos: Estaciones SAAT
 Elaboró: Lina Betancourt
 y Xiomara Maca

**ISOYETA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO PIEDRAS
NOVIEMBRE 2015**



CONVENCIONES

- Estaciones
- Precipitación**
- Alto: 406
- Bajo: 173

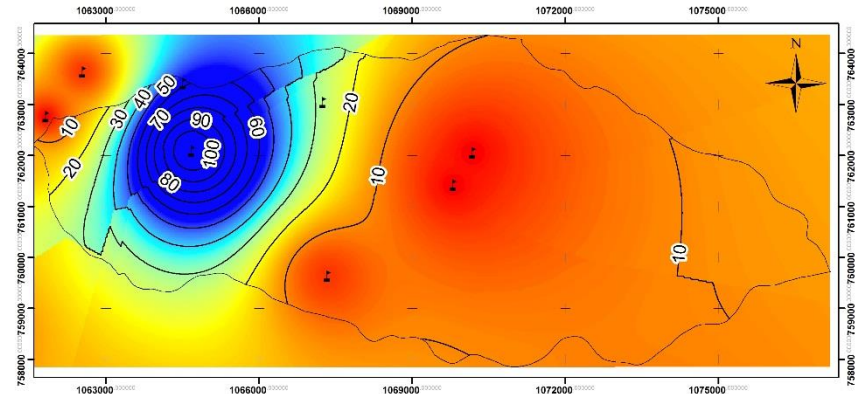
ESCALA:

1:65,000



Cartografía: IGAC
 Datos Climatológicos: Estaciones SAAT
 Elaboró: Lina Betancourt
 y Xiomara Maca

**ISOYETA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO PIEDRAS
DICIEMBRE 2015**



CONVENCIONES

- Estaciones
- Precipitación**
- Alto: 108
- Bajo: 2

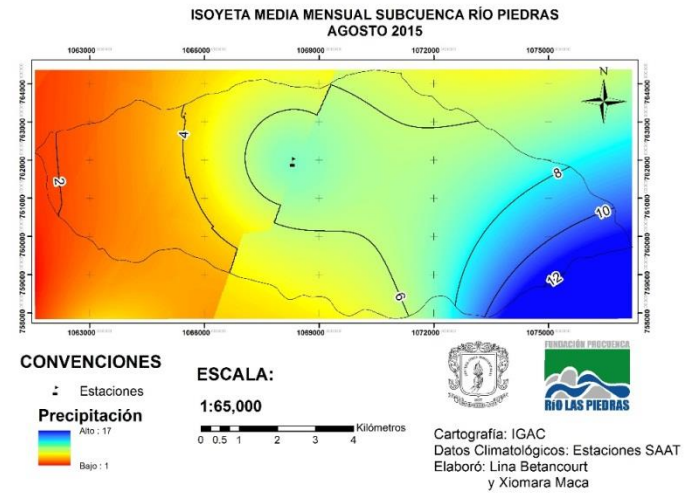
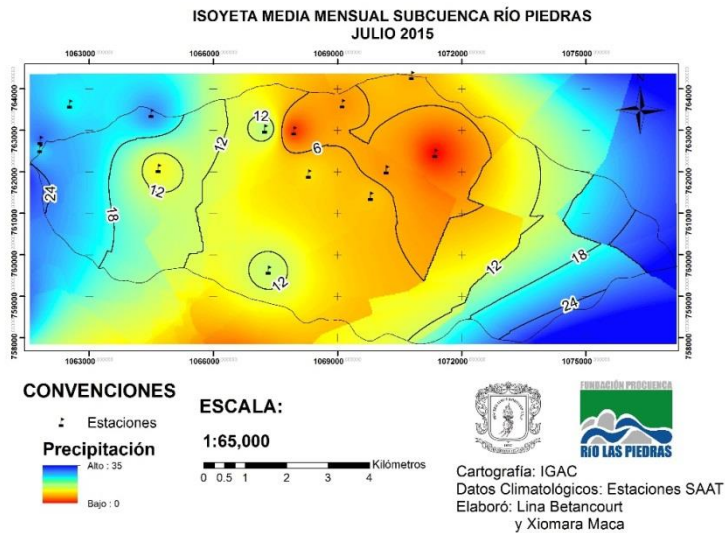
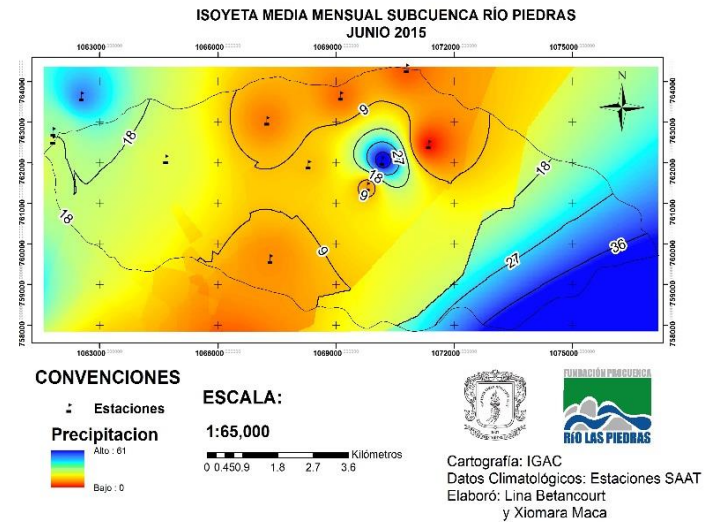
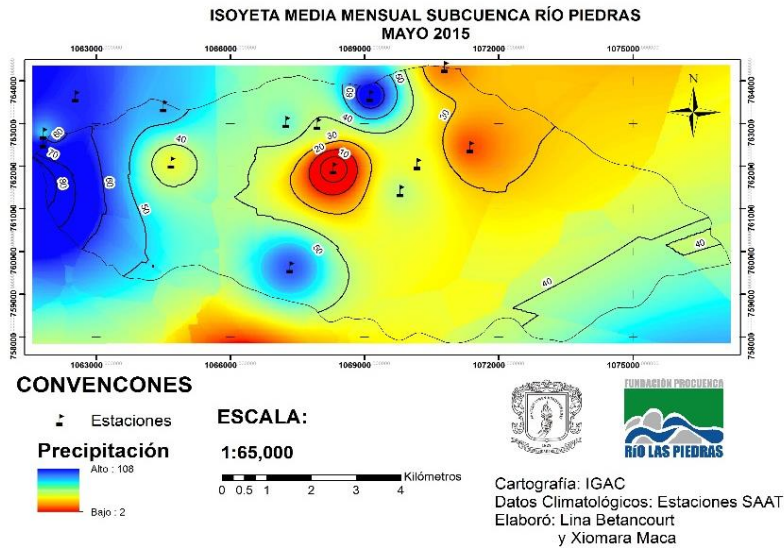
ESCALA:

1:65,000

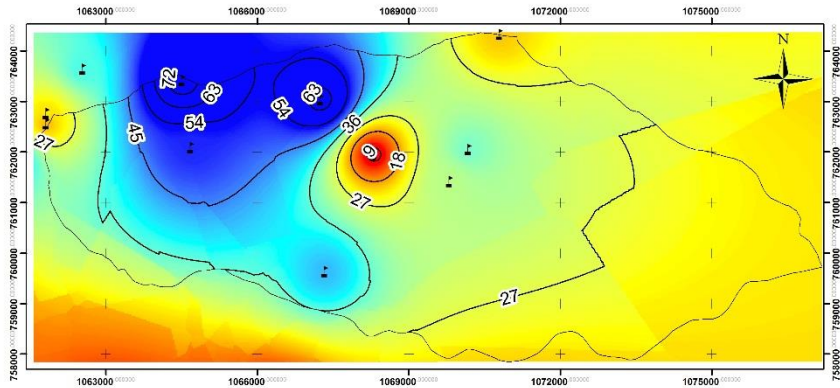


Cartografía: IGAC
 Datos Climatológicos: Estaciones SAAT
 Elaboró: Lina Betancourt
 y Xiomara Maca

ANEXO G. Isoyetas medias mensuales Subcuenca Las Piedras para el fenomeno El Niño 2015-2016



**ISOYETA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO PIEDRAS
SEPTIEMBRE 2015**



CONVENCIONES

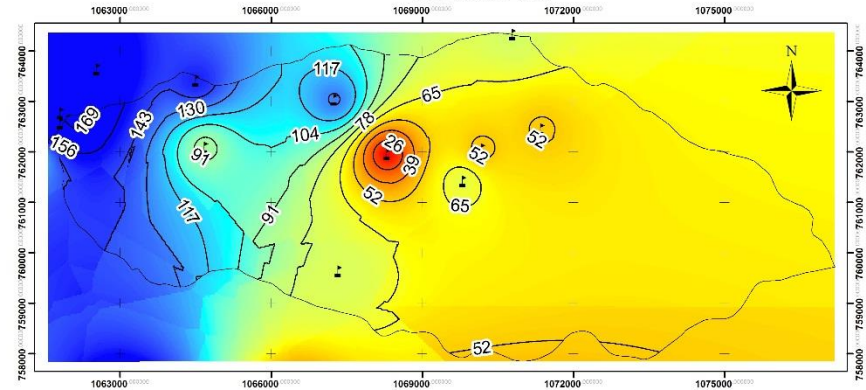
- Estaciones
- Precipitación**
- Alto: 76
- Bajo: 8

ESCALA:
1:65,000



Cartografía: IGAC
Datos Climatológicos: Estaciones SAAT
Elaboró: Lina Betancourt
y Xiomara Maca

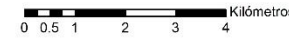
**ISOYETA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO PIEDRAS
OCTUBRE 2015**



CONVENCIONES

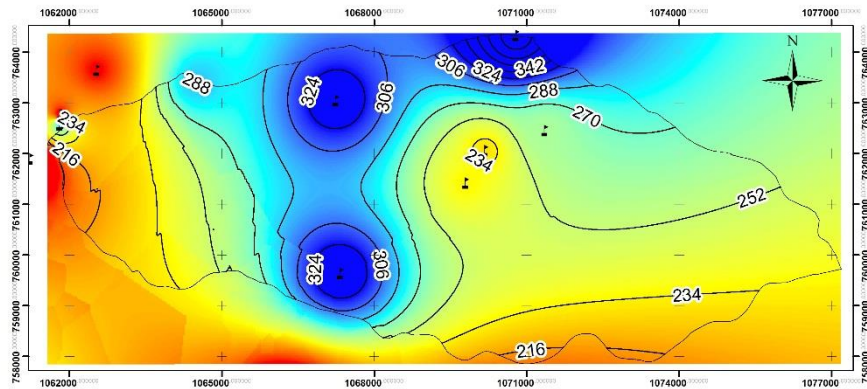
- Estaciones
- Precipitación**
- Alto: 197
- Bajo: 17

ESCALA:
1:65,000



Cartografía: IGAC
Datos Climatológicos: Estaciones SAAT
Elaboró: Lina Betancourt
y Xiomara Maca

**ISOYETA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO PIEDRAS
NOVIEMBRE 2015**



CONVENCIONES

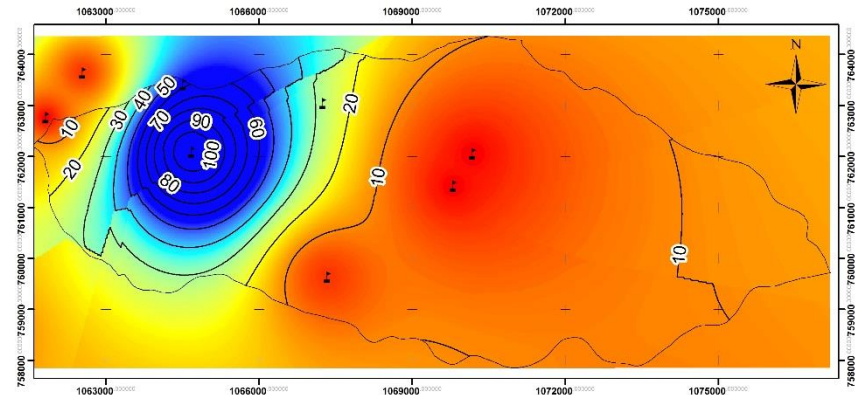
- Estaciones
- Precipitación**
- Alto: 406
- Bajo: 173

ESCALA:
1:65,000



Cartografía: IGAC
Datos Climatológicos: Estaciones SAAT
Elaboró: Lina Betancourt
y Xiomara Maca

**ISOYETA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO PIEDRAS
DICIEMBRE 2015**



CONVENCIONES

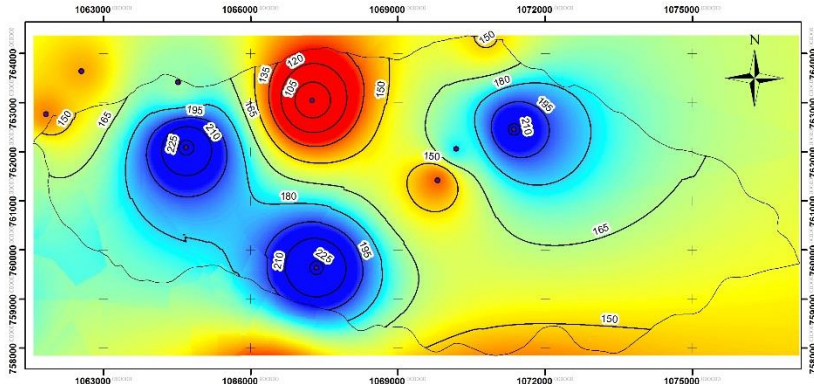
- Estaciones
- Precipitación**
- Alto: 108
- Bajo: 2

ESCALA:
1:65,000



Cartografía: IGAC
Datos Climatológicos: Estaciones SAAT
Elaboró: Lina Betancourt
y Xiomara Maca

ISOYETA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO PIEDRAS
ENERO 2016

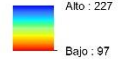


CONVENCIONES

• Estaciones

Precipitación

Valor



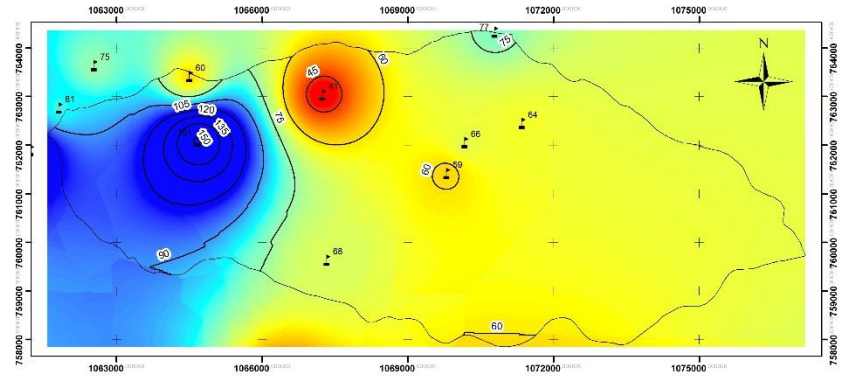
ESCALA:

1:65,000



Cartografía: IGAC
Datos Climatológicos: Estaciones SAAT
Elaboró: Lina Betancourt
y Xiomara Maca

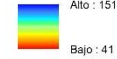
ISOYETA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO PIEDRAS
FEBRERO 2016



CONVENCIONES

• Estaciones

Precipitación



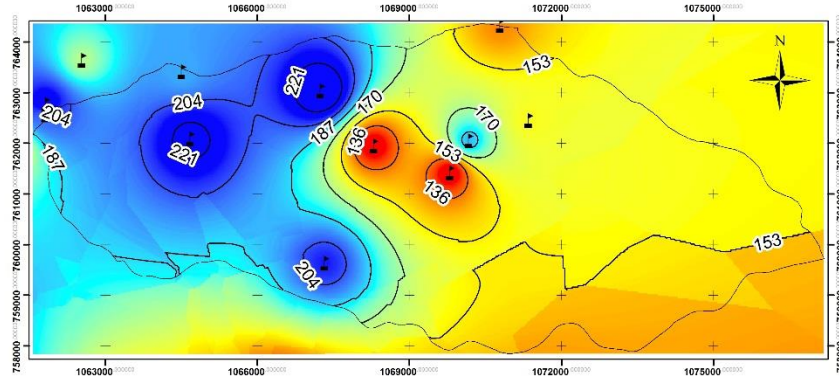
ESCALA:

1:65,000



Cartografía: IGAC
Datos Climatológicos: Estaciones SAAT
Elaboró: Lina Betancourt
y Xiomara Maca

ISOYETA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO PIEDRAS
MARZO 2016



CONVENCIONES

• Estaciones

Precipitación

Valor



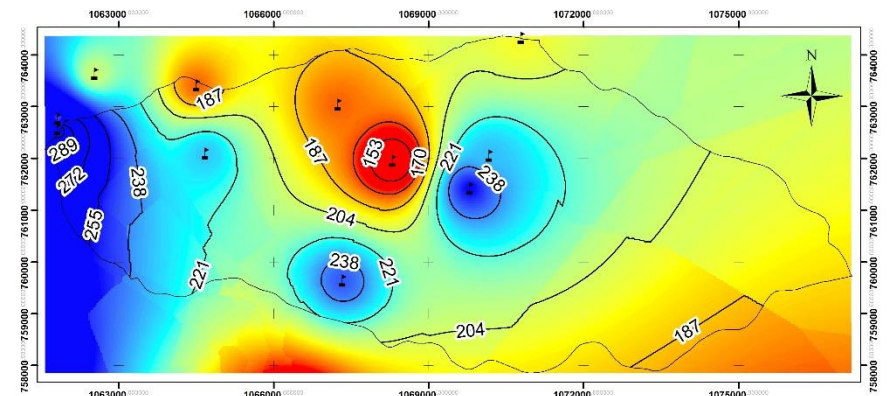
ESCALA:

1:65,000



Cartografía: IGAC
Datos Climatológicos: Estaciones SAAT
Elaboró: Lina Betancourt
y Xiomara Maca

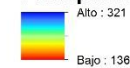
ISOYETA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO PIEDRAS
ABRIL 2016



CONVENCIONES

• Estaciones

Precipitación



ESCALA:

1:65,000



Cartografía: IGAC
Datos Climatológicos: Estaciones SAAT
Elaboró: Lina Betancourt
y Xiomara Maca

ANEXO H. Balances Hídricos subcuenca rio Las Piedras

BALANCE HIDRICO ESTACION DEYANIRA CONEJO												
	My.	Jn.	Jl.	Ag.	Sp.	Oc.	Nv.	Dc.	En.	Fb.	Mr.	Ab.
tm	14.5	14.5	14.5	14.5	15	14.5	14.5	15	15.5	15.6	14.87	14.63
i	5.01	5.01	5.01	5.01	5.28	5.01	5.013	5.28	5.57	5.61	5.208	5.083
evt	55.6	55.6	55.6	55.6	58.5	55.6	55.63	58.5	61.6	62.1	57.73	56.38
ajuste	1.26	1.27	1.28	1.19	1.04	0.95	0.82	0.79	0.82	0.83	1.03	1.12
evtp	70.1	70.7	71.2	66.2	60.8	52.8	45.62	46.2	50.5	51.5	59.47	63.15
Pp	45	5	14	0	65	131	338	0	97	41	237	174
humedad	-25.1	-65.7	-57.2	-66.2	4.19	78.2	292.4	-46.2	46.5	-10.5	177.5	110.8
reserva	74.9	9.25	0	0	5.19	83.3	100	53.8	100	89.5	100	100
evtr	70.1	70.7	23.3	0	60.8	52.8	45.62	46.2	50.5	51.5	59.47	63.15
déficit	0	0	48	66.2	0	0	0	0	0	0	0	0
exceso	0	0	0	0	0	0	275.7	0	0.28	0	167	110.8

Fuente: Elaboración propia

BALANCE HIDRICO ESTACION HECTOR ARIAS												
	My.	Jn.	Jl.	Ag.	Sp.	Oc.	Nv.	Dc.	En.	Fb.	Mr.	Ab.
tm	17.5	17.5	18.0	17.5	18.0	17.0	17.0	17.5	18.5	17.5	17.1	17.6
i	6.7	6.7	7.0	6.7	7.0	6.4	6.4	6.7	7.2	6.7	6.4	6.7
evt	64.1	64.1	67.4	64.1	67.4	60.9	60.9	64.1	70.8	64.3	61.7	65.1
ajuste	1.3	1.3	1.3	1.2	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.8	1.0	1.1
evtp	80.8	81.5	86.3	76.3	70.1	57.9	49.9	50.7	58.1	53.4	63.5	72.9
Pp	52	15	18	1	19	107	114	16	178	86	124	216
humedad	-28.8	-66.5	-68.3	-75.3	-51.1	49.1	64.1	-34.7	119.9	32.6	60.5	143.1
reserva	71	5	0	0	0	49	100	65	100	100	100	100
evtr	80.8	81.5	22.7	1.0	19.0	57.9	49.9	50.7	58.1	53.4	63.5	72.9
déficit	0.0	0.0	63.6	75.3	51.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
exceso	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.2	0.0	85.2	32.6	60.5	143.1

Fuente: Elaboración propia

ANEXO I. Balances Hídricos totales subcuenca rio Las Piedras

BALANCE HIDRICO TOTALES ESTACION DEYANIRA CONEJO	
Temperatura media mensual (°C)	14.81
Índice de calor anual	62.10
Parámetro (a)	1.47
Evapotranspiración potencial o de referencia (mm)	708.28
Precipitación media mensual (mm)	1147.00
Reserva ideal (%)	100.00
Déficit (mm)	114.15
Exceso (mm)	553.87
Torrencialidad R (mm)	818.44

BALANCE HIDRICO, VALORES TOTALES ESTACION HECTOR ARIAS	
Temperatura media mensual (°C)	17.57
Índice de calor anual	80.44
Parámetro (a)	1.79
Evapotranspiración potencial o de referencia (mm)	69.07
Precipitación media mensual (mm)	946.00
Reserva ideal (%)	100
Déficit (mm)	190
Exceso (mm)	334.65
Torrencialidad R (mm)	435.97

ANEXO J. Caudales máximos, medios, mínimos, mensuales subcuenca Molino, Bocatoma.

CAUDALES MAXIMOS MENSUALES (m³/s) 2009-2013												
ESTACION		Bocatoma										
CORRIENTE		Rio Molino										
AÑO	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
2009		1.742	1.249	1.561	1.249	1.084	0.934	0.756	0.567	1.145	1.223	1.308
2010	1.223	1.308	0.798	1.033	1.323	1.159	0.982	0.982	0.982	1.884	3.283	1.704
2011	1.561	2.351	2.625	2.802	2.745	1.369	1.033	0.91	0.864	2.257	2.586	2.944
2012	2.433	1.561	1.369	2.663	1.137	0.934	0.842	0.756	0.676	1.439	1.773	1.496
2013	1.34	1.192	1.035	1.152	1.297	1.138	0.91	0.798	0.778	0.866	1.631	5.909

Fuente: (Acueducto y Alcantarillado de Popayán, 2016)

CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m³/s) 2009 -2013												
ESTACION		Bocatoma										
CORRIENTE		Rio Molino										
AÑO	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
2009		1.323	1.193	1.191	1.121	0.902	0.819	0.67	0.501	0.611	0.925	1.026
2010	0.925	0.847	0.749	0.854	0.896	0.92	0.907	0.919	0.904	0.933	1.433	1.46
2011	1.192	1.335	1.817	1.625	1.456	1.114	0.927	0.782	0.762	1.085	1.48	2.052
2012	1.664	1.419	1.174	1.263	1.018	0.859	0.778	0.715	0.632	0.745	0.886	1.209
2013	1.071	1.024	0.919	0.906	1.007	0.97	0.856	0.782	0.746	0.701	1.022	1.646

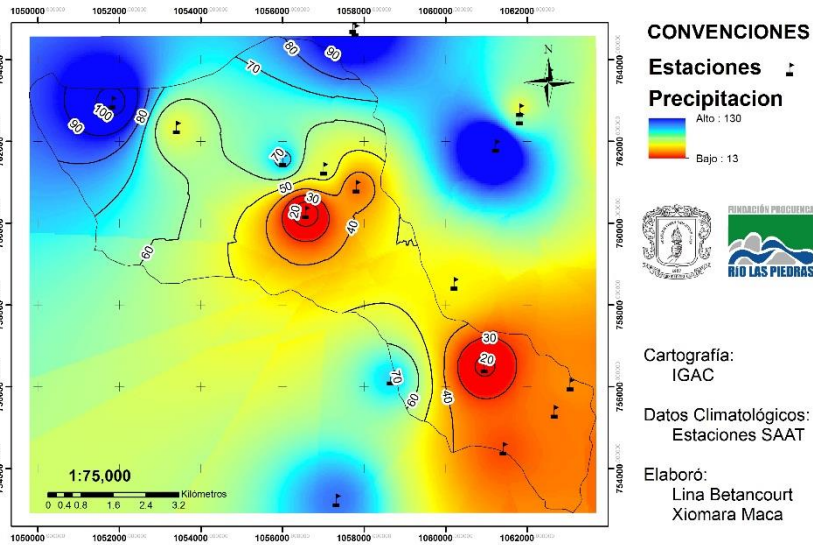
Fuente: (Acueducto y Alcantarillado de Popayán, 2016)

CAUDALES MINIMOS MENSUALES (m³/s) 2009-2013												
ESTACION		Bocatoma										
CORRIENTE		Rio Molino										
AÑO	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
2009		1.137	1.137	0.982	0.982	0.798	0.756	0.567	0.441	0.386	0.756	0.982
2010	0.756	0.756	0.676	0.676	0.704	0.842	0.842	0.864	0.842	0.777	1.192	1.249
2011	1.032	0.982	1.463	1.309	1.249	0.982	0.798	0.715	0.787	1.05	1.53	1.564
2012	1.463	1.308	0.983	0.982	0.934	0.798	0.715	0.676	0.787	1.05	1.53	1.084
2013	0.982	0.934	0.842	0.842	0.007	0.887	0.842	0.756	0.787	1.05	1.53	1.133

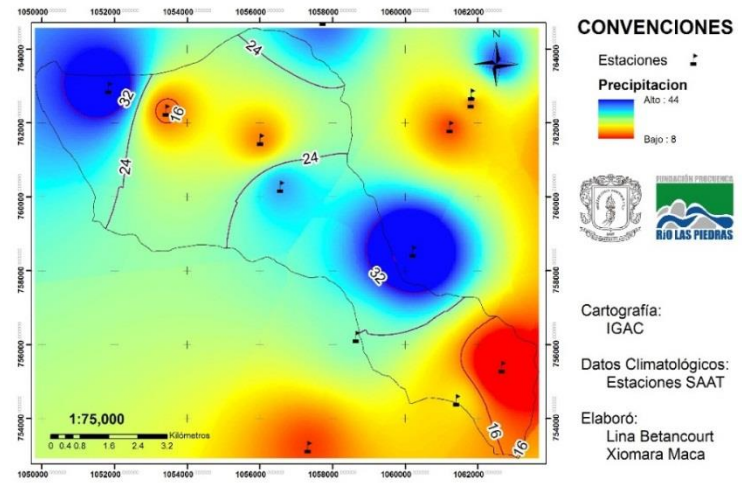
Fuente: (Acueducto y Alcantarillado de Popayán, 2016)

ANEXO K. Isoyetas medias mensuales subcuenca Molino para el fenomeno El Niño 2015-2016.

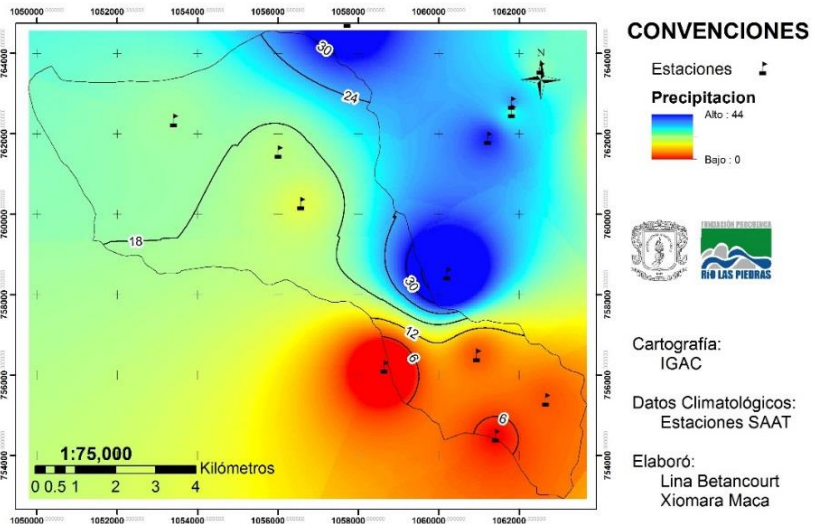
**ISOYETA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO MOLINO
MAYO 2015**



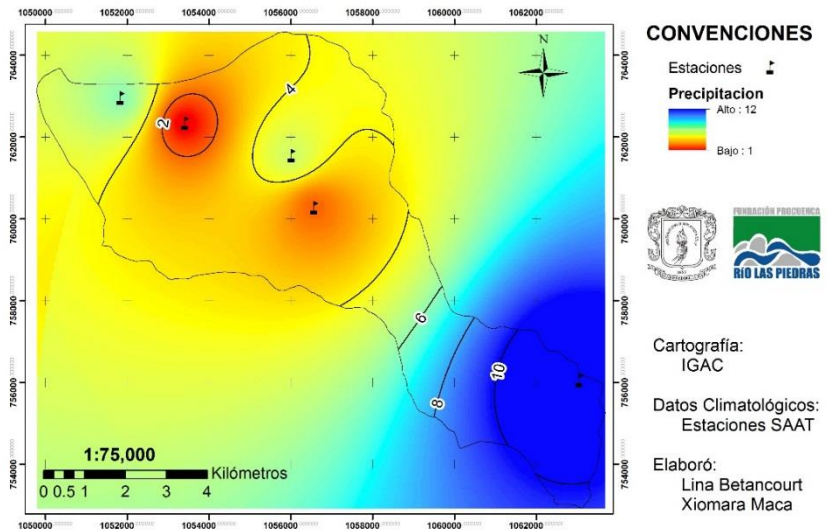
**ISOYETA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO MOLINO
JUNIO 2015**



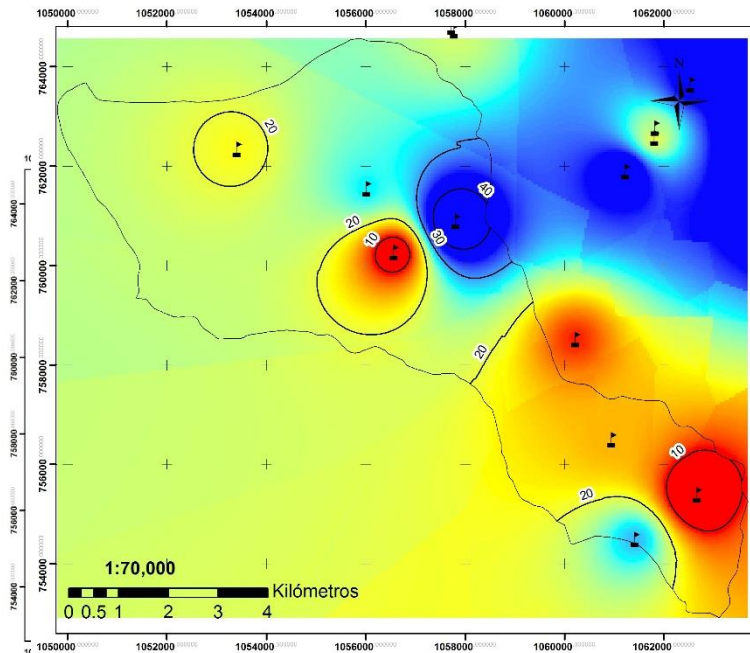
**ISOYETA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO MOLINO
JULIO 2015**



**ISOYETA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO MOLINO
AGOSTO 2015**



**ISOYETA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO MOLINO
SEPTIEMBRE 2015**



CONVENCIONES

Estaciones 
Precipitación
 Alto : 52

 Bajo : 2

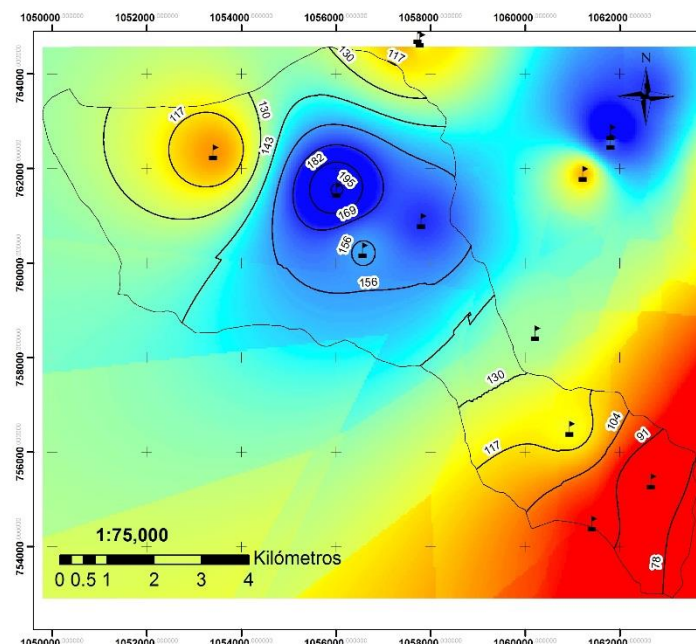


Cartografía:
 IGAC

Datos Climatológicos:
 Estaciones SAAT

Elaboró:
 Lina Betancourt
 Xiomara Maca

**ISOYETA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO MOLINO
OCTUBRE 2015**



CONVENCIONES

Estaciones 
Precipitación
 Alto : 197

 Bajo : 63

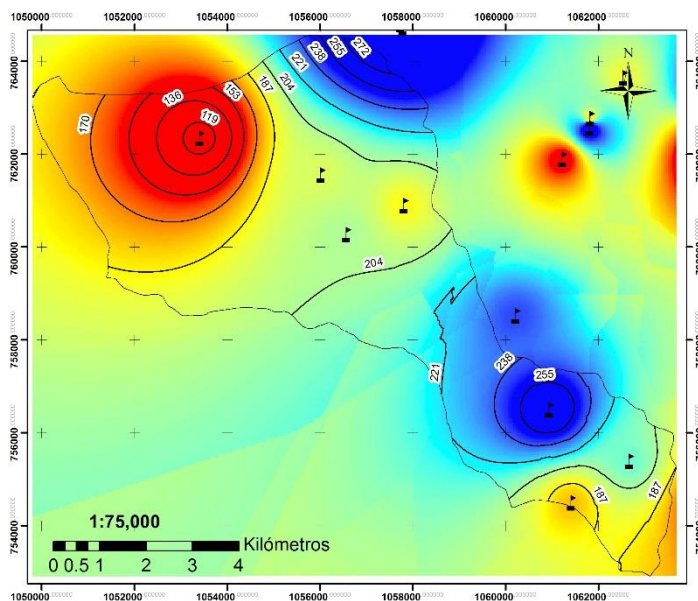


Cartografía:
 IGAC

Datos Climatológicos:
 Estaciones SAAT

Elaboró:
 Lina Betancourt
 Xiomara Maca

**ISOYETA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO MOLINO
NOVIEMBRE 2015**



CONVENCIONES

Estaciones 
Precipitación
 Alto : 298

 Bajo : 114

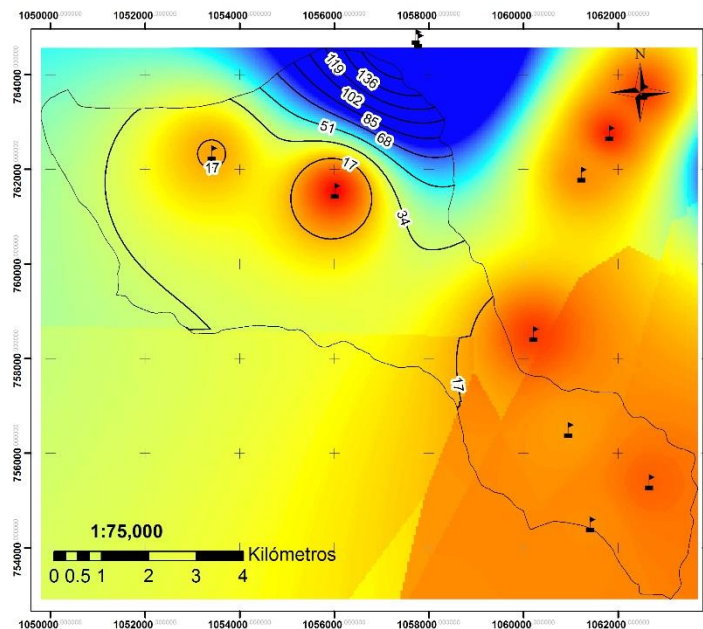


Cartografía:
 IGAC

Datos Climatológicos:
 Estaciones SAAT

Elaboró:
 Lina Betancourt
 Xiomara Maca

**ISOYETA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO MOLINO
DICIEMBRE 2015**



CONVENCIONES

Estaciones 
Precipitación
 Alto : 181

 Bajo : 1

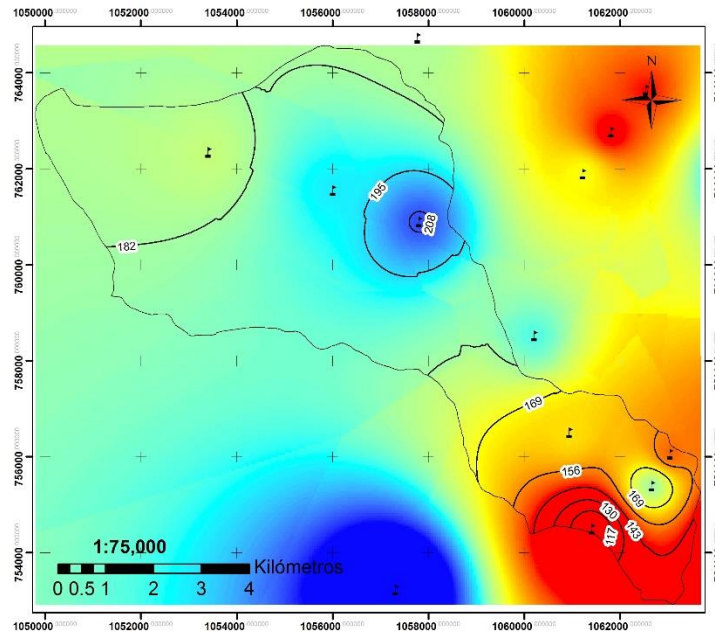


Cartografía:
 IGAC

Datos Climatológicos:
 Estaciones SAAT

Elaboró:
 Lina Betancourt
 Xiomara Maca

**ISOYETA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO MOLINO
ENERO 2016**



CONVENCIONES

Estaciones 
 Precipitación
 Alto : 250
 Bajo : 106

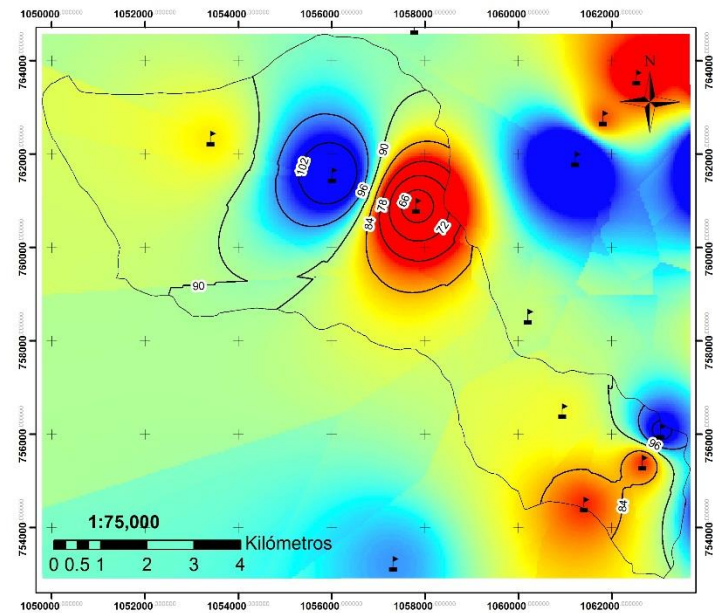


Cartografía:
 IGAC

Datos Climatológicos:
 Estaciones SAAT

Elaboró:
 Lina Betancourt
 Xiomara Maca

**ISOYETA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO MOLINO
FEBRERO 2016**



CONVENCIONES

Estaciones 
 Precipitación
 Alto : 117
 Bajo : 63

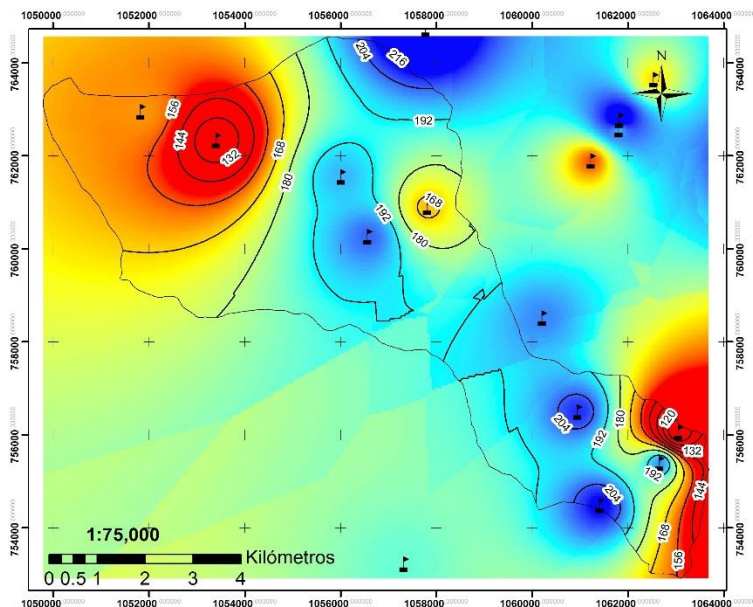


Cartografía:
 IGAC

Datos Climatológicos:
 Estaciones SAAT

Elaboró:
 Lina Betancourt
 Xiomara Maca

**ISOYETA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO MOLINO
MARZO 2016**



CONVENCIONES

Estaciones 
 Precipitación
 Alto : 230
 Bajo : 97

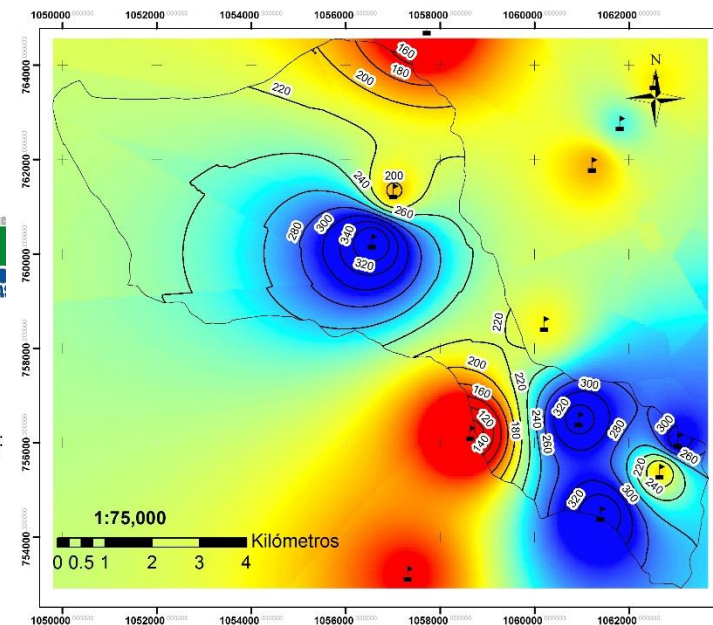


Cartografía:
 IGAC

Datos Climatológicos:
 Estaciones SAAT

Elaboró:
 Lina Betancourt
 Xiomara Maca

**ISOYETA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO MOLINO
ABRIL 2016**



CONVENCIONES

Estaciones 
 Precipitación
 Alto : 359
 Bajo : 111



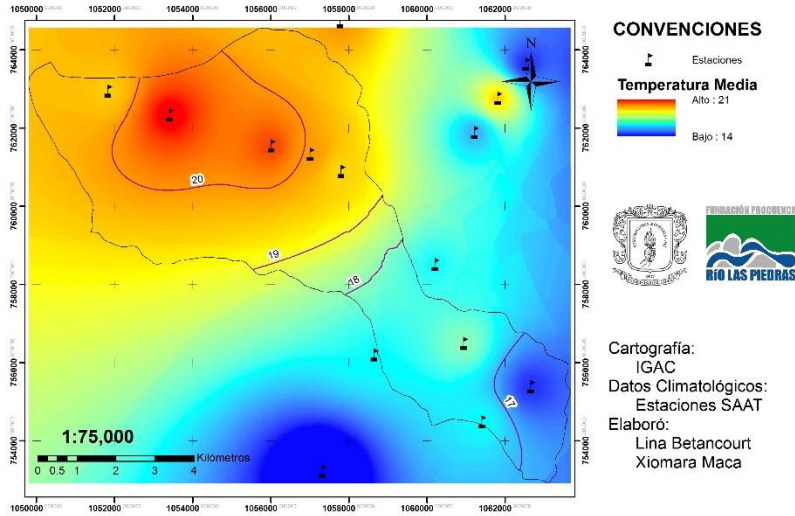
Cartografía:
 IGAC

Datos Climatológicos:
 Estaciones SAAT

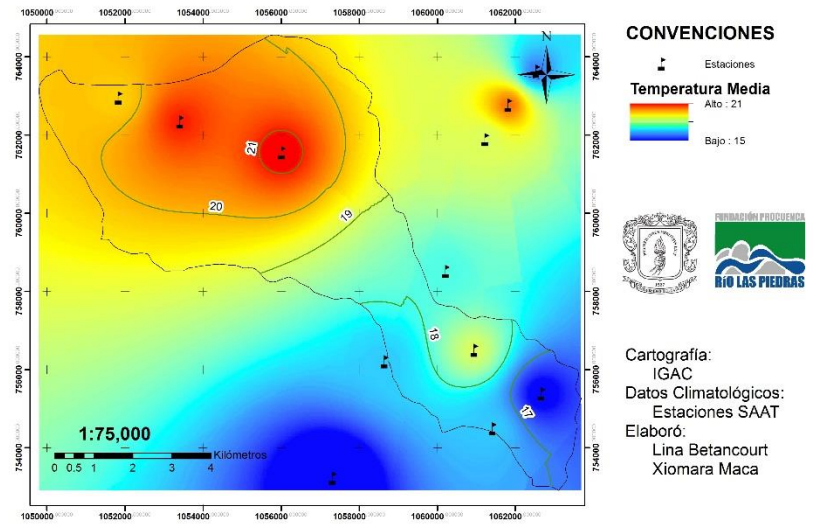
Elaboró:
 Lina Betancourt
 Xiomara Maca

ANEXO L. Isotermas subcuenca Molino para el fenómeno El Niño 2015-2016.

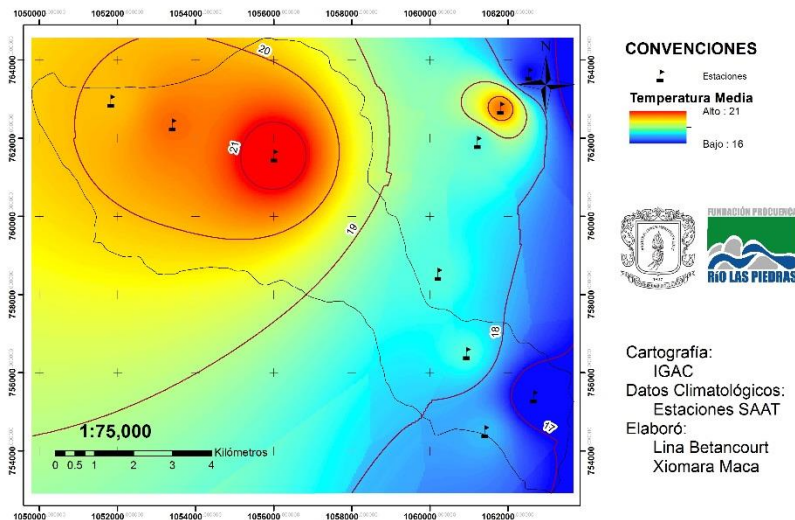
**ISOTERMA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO MOLINO
MAYO 2015**



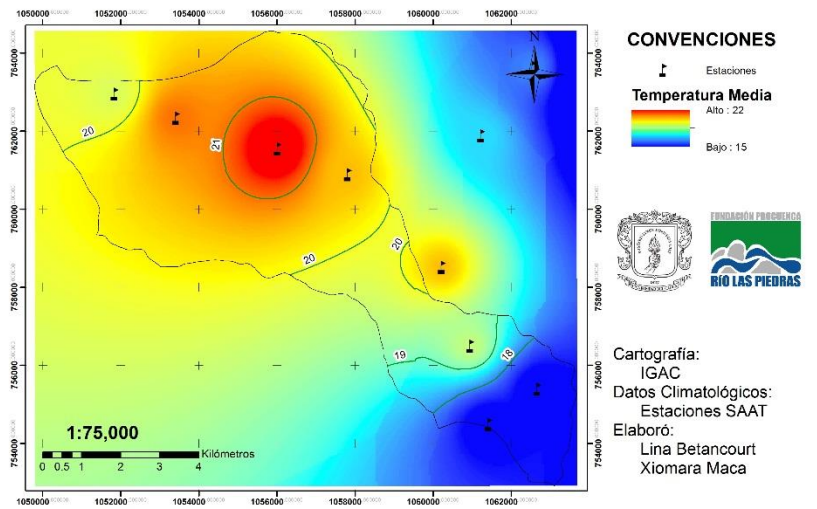
**ISOTERMA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO MOLINO
JUNIO 2015**



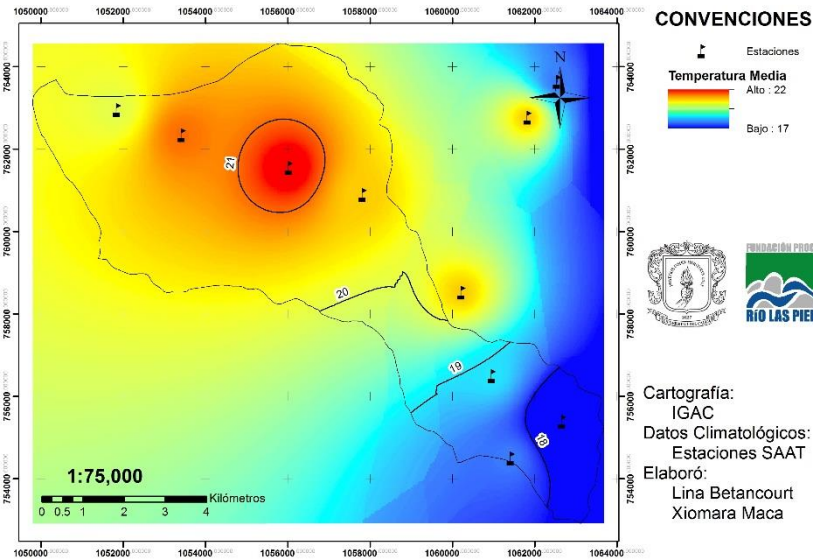
**ISOTERMA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO MOLINO
JULIO 2015**



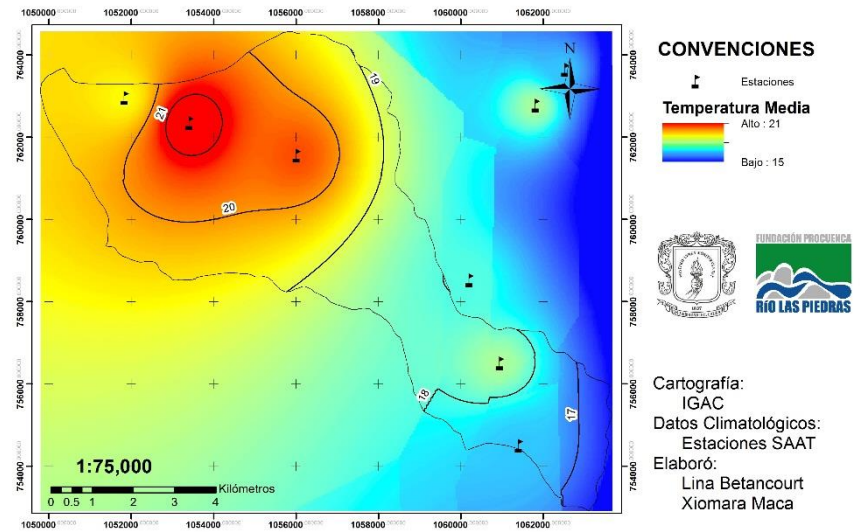
**ISOTERMA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO MOLINO
AGOSTO 2015**



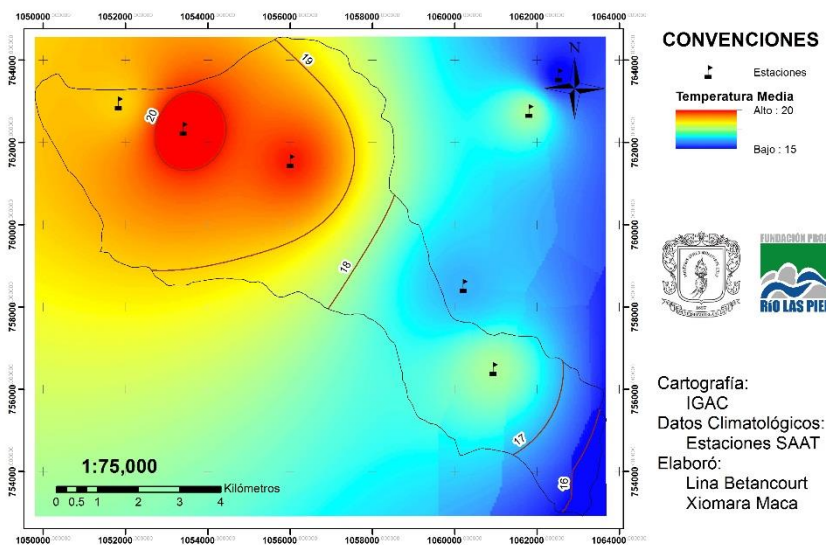
**ISOTERMA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO MOLINO
SEPTIEMBRE 2015**



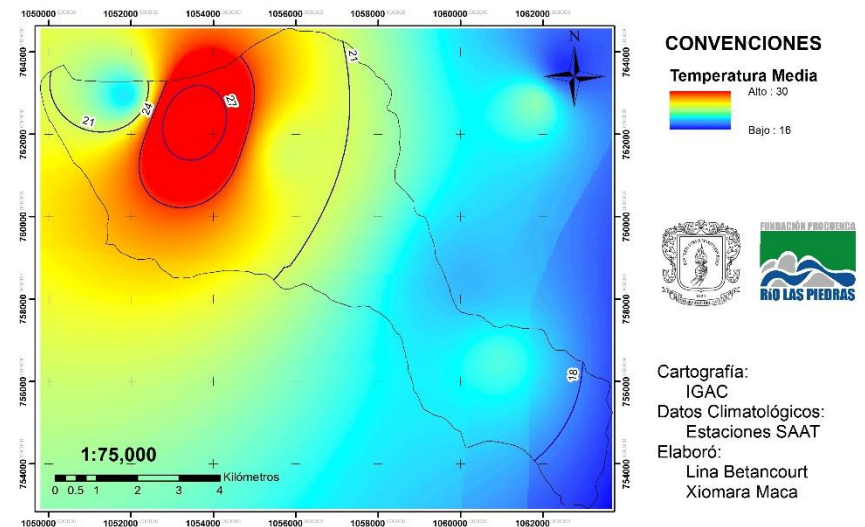
**ISOTERMA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO MOLINO
OCTUBRE 2015**



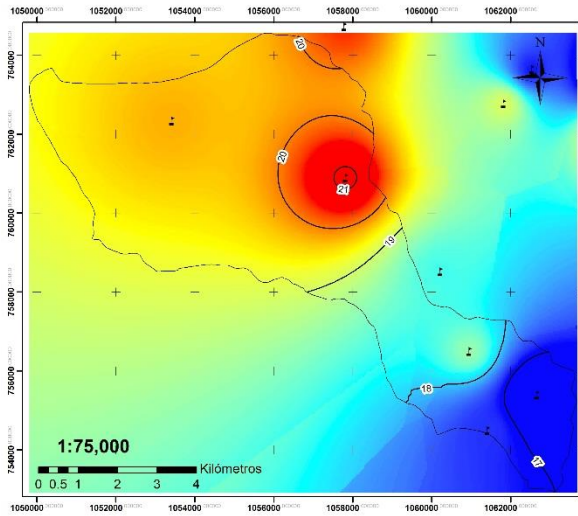
**ISOTERMA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO MOLINO
NOVIEMBRE 2015**



**ISOTERMA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO MOLINO
DICIEMBRE 2015**



**ISOTERMA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO MOLINO
ENERO 2016**



CONVENCIONES

Estaciones

Temperatura

Alto : 21

Bajo : 16



Cartografía:

IGAC

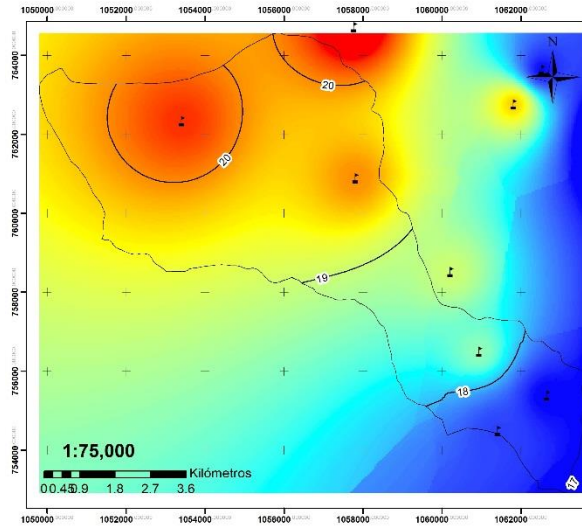
Datos Climatológicos:

Estaciones SAAT

Elaboró:

Lina Betancourt
Xiomara Maca

**ISOTERMA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO MOLINO
FEBRERO 2016**



CONVENCIONES

Estaciones

Temperatura

Alto : 21

Bajo : 16



Cartografía:

IGAC

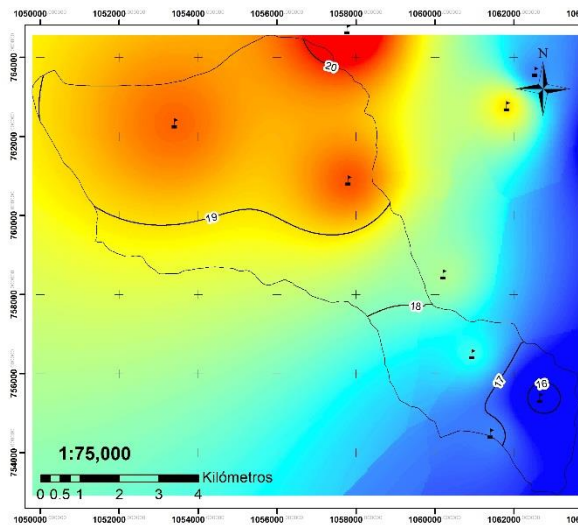
Datos Climatológicos:

Estaciones SAAT

Elaboró:

Lina Betancourt
Xiomara Maca

**ISOTERMA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO MOLINO
MARZO 2016**



CONVENCIONES

Estaciones

Temperatura

Alto : 21

Bajo : 15



Cartografía:

IGAC

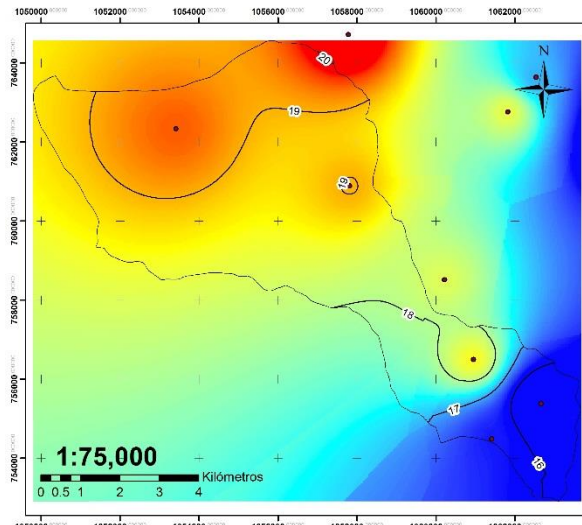
Datos Climatológicos:

Estaciones SAAT

Elaboró:

Lina Betancourt
Xiomara Maca

**ISOTERMA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO MOLINO
ABRIL 2016**



CONVENCIONES

Estaciones

Temperatura

Alto : 20

Bajo : 15



Cartografía:

IGAC

Datos Climatológicos:

Estaciones SAAT

Elaboró:

Lina Betancourt
Xiomara Maca

ANEXO M. Balances Hídricos subcuenca rio Molino.

BALANCE HIDRICO ESTACION NARCISA BONILLA												
	My.	Jn.	Jl.	Ag.	Sp.	Oc.	Nv.	Dc.	En.	Fb.	Mr.	Ab.
tm	18	19	18.5	19.5	19	18.5	18	19.5	18.6	18.7	17.8	18.5
i	6.95	7.55	7.25	7.85	7.55	7.25	6.95	7.85	7.32	7.34	6.81	7.27
evt	63.81	70.83	67.27	74.47	70.83	67.27	63.81	74.47	68.07	68.37	62.11	67.51
ajuste	1.26	1.27	1.28	1.19	1.04	0.95	0.82	0.79	0.82	0.83	1.03	1.12
evtp	80.40	89.95	86.11	88.62	73.66	63.91	52.32	58.83	55.82	56.75	63.97	75.61
Pp	18	0	7	0	16	121	272	15	165	87	209	338
humedad	-62.4	-90.0	-79.1	-88.6	-57.7	57.1	219.7	-43.8	109.2	30.3	145.0	262.4
reserva	38	0	0	0	0	57	100	56	100	100	100	100
evtr	80.40	37.60	7.00	0.00	16.00	63.91	52.32	58.83	55.82	56.75	63.97	75.61
déficit	0.00	52.35	79.11	88.62	57.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
exceso	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	176.77	0.00	65.35	30.25	145.03	262.39

Fuente: Elaboración propia

BALANCE HIDRICO ESTACION FIC												
	My.	Jn.	Jl.	Ag.	Sp.	Oc.	Nv.	Dc.	En.	Fb.	Mr.	Ab.
tm	21.0	21.0	20.5	21.0	21.0	21.5	20.5	30.0	19.8	20.4	19.7	19.5
i	8.8	8.8	8.5	8.8	8.8	9.1	8.5	15.1	8.0	8.4	8.0	7.8
evt	77.6	77.6	73.3	77.6	77.6	82.1	73.3	182.1	67.0	72.7	66.4	64.7
ajuste	1.3	1.3	1.3	1.2	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.8	1.0	1.1
evtp	97.8	98.6	93.8	92.4	80.7	78.0	60.1	143.8	55.0	60.3	68.4	72.5
Pp	52	15	18	1	19	107	114	16	178	86	124	216
humedad	-45.8	-83.6	-75.8	-91.4	-61.7	29.0	53.9	-127.8	123.0	25.7	55.6	143.5
reserva	54	0	0	0	0	29	83	0	100	100	100	100
evtr	97.8	69.2	18.0	1.0	19.0	78.0	60.1	98.9	55.0	60.3	68.4	72.5
déficit	0.0	29.4	75.8	91.4	61.7	0.0	0.0	44.9	0.0	0.0	0.0	0.0
exceso	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.0	25.7	55.6	143.5

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N. Balances Hídricos totales subcuenca rio Las Piedras.

BALANCE HIDRICO, VALORES TOTALES ESTACION NARCISA BONILLA	
Temperatura media mensual (°C)	18.63
Índice de calor anual	87.93
Parámetro (a)	1.93
Evapotranspiración potencial o de referencia (mm)	845.96
Precipitación media mensual (mm)	1248.00
Reserva ideal (%)	100
Déficit (mm)	278
Exceso (mm)	679.79
Torrencialidad R (mm)	743.74

BALANCE HIDRICO, VALORES TOTALES ESTACION FIC	
Temperatura media mensual (°C)	21.32
Índice de calor anual	108.44
Parámetro (a)	2.39
Evapotranspiración potencial o de referencia (mm)	1001.46
Precipitación media mensual (mm)	946.00
Reserva ideal (%)	100
Déficit (mm)	303
Exceso (mm)	247.82
Torrencialidad R (mm)	435.97

