

**ANÁLISIS DE LA OFERTA HÍDRICA DE LA SUBCUENCA RIO LAS PIEDRAS Y SU
AFECTACIÓN POR EL FENÓMENO EL NIÑO**



**VÍCTOR HUGO ZÚÑIGA SILVA
HOLMES YESID VÍQUEZ PANCHO**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL
POPAYAN
2011**

**ANÁLISIS DE LA OFERTA HÍDRICA DE LA SUBCUENCA RIO LAS PIEDRAS Y SU
AFECTACIÓN POR EL FENÓMENO EL NIÑO**

**Trabajo de grado presentado en modalidad de investigación como requisito para
optar el título de Ingenieros Ambientales**

VÍCTOR HUGO ZÚÑIGA SILVA

HOLMES YESID VÍQUEZ PANCHO

Director

Ingeniero LUIS JORGE GONZÁLEZ MUÑOZ

Profesor Departamento de Hidráulica

Facultad de Ingeniería Civil

Universidad del Cauca

UNIVERSIDAD DEL CAUCA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL

POPAYÁN

2011

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del director del trabajo de grado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Popayán, septiembre de 2011

DEDICATORIA

Víctor Hugo Zúñiga Silva

Esta tesis la quiero dedicar a mis Padres

Víctor Miguel Zúñiga Ruiz y Aura Elena

Silva Garcés por el infinito apoyo que me

brindan para el cumplimiento de mis

objetivos, por su amor, cariño, respeto y

confianza que me dieron la fuerza y

motivación para alcanzar esta meta, por sus

oraciones, bendiciones, consejos y ejemplo

que me permiten ver la vida de una forma

distinta.

Mi triunfo es el de ustedes.

Holmes Yesid Víquez Pancho

A Dios todo poderoso por darme la fuerza necesaria para cumplir esta meta tan anhelada.

A mi Padre José Holmes Víquez por estar siempre a mi lado y por ser mi apoyo hasta el último momento.

A mi Madre María Cristina Pancho por su amor y consejos.

A mis hermanos James Erney Víquez y Rosa Angélica Víquez por ser la fuerza y motivación.

A mi familia, en especial a mi Tía Avelina Pancho por su apoyo incondicional.

A mis amigos y compañeros con quienes compartí momentos inolvidables.

AGRADECIMIENTOS Y/O RECONOCIMIENTOS

Los autores de este trabajo de grado desean expresar un agradecimiento a las siguientes personas que colaboraron durante todo el proceso de elaboración, revisión y culminación de esta investigación.

A Dios todopoderoso y a nuestras familias por su apoyo incondicional en todo nuestro proceso de formación.

Al ingeniero Luis Jorge González Muñoz por su orientación, dedicación, apoyo y colaboración en la realización de este trabajo de grado.

A la División Ambiental del Acueducto y Alcantarillado de Popayán, especialmente Magister Liliana Recaman Mejía por su colaboración en el desarrollo de todas las actividades de la investigación, así como a su equipo de trabajo. Administradores agropecuarios Libardo Ahumada, Liliana Bravo, Liliana Torres; Facilitador Comunitario Yonny Escobar por brindarnos el espacio, tiempo, información y acompañamiento en las salidas de campo.

A las instituciones IDEAM, GEA y CRC por su colaboración e información suministrada.

A los habitantes de la subcuenca por la información suministrada en las encuestas.

A profesores, compañeros y amigos que contribuyeron con la realización de esta investigación.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE CUADROS.....	viii
LISTA DE ANEXOS.....	x
CAPÍTULO I.....	1
GENERALIDADES DEL ESTUDIO.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.2.1 Objetivo general.....	3
1.2.2 Objetivos específicos.....	3
1.3 METODOLOGÍA.....	4
1.4 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO.....	5
CAPÍTULO II.....	6
ASPECTOS GENERALES DE LA SUBCUENCA RÍO LAS PIEDRAS.....	6
2.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	6
2.2 DIVISIÓN DE CORREGIMIENTOS Y VEREDAS.....	9
2.3 ACCESO Y VÍAS DE COMUNICACIÓN.....	11
2.4 COBERTURA VEGETAL.....	11
2.4.1 Vegetación de Páramo.....	11
2.4.2 Vegetación subpáramo.....	12
2.4.3 Bosque denso.....	12
2.4.4 Bosque abierto.....	12
2.4.5 Bosque plantado.....	13
2.4.6 Rastrojo Denso.....	13
2.4.7 Rastrojo alto Denso.....	13
2.4.8 Rastrojo Alto.....	13
2.4.9 Rastrojo Alto Abierto.....	14
2.4.10 Rastrojo Bajo.....	14
2.4.11 Misceláneos.....	14
2.5 CLIMA.....	15

2.5.1 Vientos.....	15
2.5.2 Precipitación.....	15
2.5.4 Pisos Climáticos.....	15
2.6 ASPECTOS FÍSICO – GEOGRÁFICOS.....	18
2.7 GEOLOGÍA DE LA SUBCUENCA RÍO PIEDRAS.....	18
2.7.1 Unidades geológicas.....	19
2.8. GEOMORFOLOGÍA DE LA SUBCUENCA RÍO PIEDRAS.....	22
2.9. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	21
2.10 USO DEL SUELO.....	24
2.11 HIDROGRAFÍA.....	25
2.12 FLORA Y FAUNA.....	27
CAPITULO III.....	29
FASES DE DESARROLLO DEL ESTUDIO.....	29
3.1 GENERALIDADES.....	29
3.2 FASE DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN EXISTENTE.....	29
3.3 FASE DE CAMPO.....	30
3.4 FASE DE GABINETE.....	32
CAPITULO IV.....	33
AFECCIÓN DEL FENÓMENO EL NIÑO EN LA SUB CUENCA RIO PIEDRAS.....	33
4.1 GENERALIDADES.....	33
4.2 FENÓMENO EL NIÑO.....	33
4.3 INCIDENCIA HISTÓRICA DEL FENÓMENO EL NIÑO EN LA SUBCUENCA.....	37
4.3.1 Caudales.....	37
4.3.2 Precipitaciones.....	42
4.4 SEGUIMIENTO Y ANÁLISIS DEL RECIENTE FENÓMENO EL NIÑO EN LA SUBCUENCA.....	47
4.4.1 Caudales.....	47
4.4.2 Precipitaciones y temperaturas.....	56
4.4.2.1 Balance Hídrico.....	57
4.4.2.2 Climograma.....	67
4.5 CARACTERIZACIÓN ESTADÍSTICA.....	70
4.5.1 Caudales.....	71

4.5.2 Precipitaciones.....	75
4.6 ÍNDICE DE ESCASEZ.....	79
4.6.1 Demanda hídrica.....	80
4.6.2 Oferta hídrica.....	84
4.6.3 Cálculo del Índice de Escasez.....	87
CAPÍTULO V.....	94
AFECCIÓN DEL FENÓMENO EL NIÑO EN LA POBLACIÓN.....	94
5.1 GENERALIDADES.....	94
5.2 POBLACIÓN.....	94
5.2.1 Economía de la subcuenca.....	96
5.3 IMPACTOS DURANTE EL FENÓMENO EL NIÑO.....	97
5.3.1 Agrícola.....	99
5.3.2 Pecuario.	103
5.3.3 Población.....	107
5.3.4 Forestal.....	108
CAPÍTULO VI.....	110
CONCLUSIONES.....	110
CAPÍTULO VII.....	114
RECOMENDACIONES.....	114

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio.	7
Figura 2. Subcuenca Piedras y subcuencas vecinas.	8
Figura 3. Mapa corregimientos y veredas.	10
Figura 4. Mapa de unidades climáticas.	17
Figura 5. Mapa de unidades Geológicas	20
Figura 6. Miembro Polindara, vía Huacas-Quintana margen izquierdo río Las Piedras.	19
Figura 7. Miembro La Venta, margen derecha quebrada Aguas Claras.	22
Figura 8. Unidad A, parte alta quebrada Aguas Claras.	23
Figura 9. Unidad B, quebrada Arrayanales.	23
Figura 10. Red hidrográfica, subcuenca río Las Piedras.	26
Figura 11. Estaciones de Aforo y Pluviométricas en la subcuenca río Piedras.	31
Figura 12. Anomalías superficiales del Pacífico.	35
Figura 13. Caudales históricos anuales del río Piedras.	39
Figura 14. Caudales históricos mensuales del río Piedras.	40
Figura 15. Anomalías de caudales medios mensuales del río Las Piedras, afectados por el fenómeno El Niño respecto del caudal medio histórico (1969 a 2010).	42
Figura 16. Método de los Polígonos de Thiessen.	44
Figura 17. Variación de las precipitaciones y los caudales medios anuales con los eventos Niño-Niña en la subcuenca río Las Piedras.	46
Figura 18. Registro de caudales durante la ocurrencia del fenómeno El Niño en el río Piedras.	48
Figura 19. Caudal medio durante la incidencia del fenómeno El Niño y caudal medio histórico.	49
Figura 20. Aportes de microcuencas al río Piedras.	52
Figura 21. Estaciones de aforo en la subcuenca río Piedras.	53

Figura 22. Aporte de caudal por áreas de influencia de estaciones de aforo subcuenca río Las Piedras.	56
Figura 23. Caudales de estaciones de aforo subcuenca río Las Piedras.	56
Figura 24. Balance hídrico subcuenca río Piedras, estación San Pedro (2009 - 2010).....	63
Figura 25. Balance hídrico subcuenca río Piedras, estación Diviso (2009 - 2010).	64
Figura 26. Balance hídrico subcuenca río Piedras, estación El Lago (2009 - 2010)....	65
Figura 27. Balance hídrico subcuenca río Piedras, estación Diviso sin afectación del fenómeno El Niño.	66
Figura 28. Climograma estación San Pedro (2009 – 2010).	68
Figura 29. Climograma estación Diviso (2009 – 2010).	69
Figura 30. Climograma estación El Lago (2009 – 2010).	69
Figura 31. Histograma de frecuencias de caudales, estación Puente Carretera.....	72
Figura 32. Curva de frecuencia y duración de caudales medios mensuales, río Las Piedras, estación Puente Carretera.	74
Figura 33. Histograma de frecuencias de precipitaciones subcuenca río Piedras.	78
Figura 34. Curva de frecuencia y duración de precipitaciones medias mensuales, subcuenca río Piedras.	79
Figura 35. Curva de duración de caudales mínimos del río Las Piedras, estación Puente Carretera.	86
Figura 36. Índice de escasez mensual histórico, subcuenca río Las Piedras.	88
Figura 37. Índice de escasez (2009 - 2010), subcuenca río Piedras.	91
Figura 38. Comparación entre el Índice de escasez de la subcuenca río Las Piedras y el ONI, para el periodo (2009-2010).....	92
Figura 39. Distribución porcentual de familias por veredas.....	95
Figura 40. Cambio en los Factores.....	98
Figura 41. Disminución del agua disponible.....	98
Figura 42. Prácticas para riego de cultivos.....	99
Figura 43. Tipo de cultivo en producción.	101
Figura 44. Tipos de cultivo y sus afectaciones.	101

Figura 45. Tipos de cultivo y como afrontó la situación.	102
Figura 46. Pérdidas de cultivos.....	102
Figura 47. Perdidas económicas en los cultivos.	103
Figura 48. Especies en producción.	104
Figura 49. Afectación en las especies.	105
Figura 50. Como afronto la situación.....	105
Figura 51. Perdidas en las especies.	106
Figura 52. Perdidas económicas en las especies.	106
Figura 53. Efectos a nivel personal.	107
Figura 54. Tipos de afectación.	108
Figura 55. Incendios forestales en las laderas del río Piedras.	109

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. División de corregimientos y veredas.	9
Cuadro 2. Composición florística arbórea y arbustiva protectora.	27
Cuadro 3. Especies florísticas en extinción.	27
Cuadro 4. Coordenadas geográficas y planas de cada una de las estaciones de aforo.	30
Cuadro 5. Fenómenos El Niño ocurridos desde 1968 a 2010.	41
Cuadro 6. Cálculo de la precipitación media anual, año 1998 subcuenca río Las Piedras, método de Thiessen.	45
Cuadro 7. Precipitación media anual, subcuenca río Las Piedras. Método de Thiessen.	45
Cuadro 8. Aportes de microcuencas al río Piedras.	50
Cuadro 9. Aforos en estaciones subcuenca río Las Piedras durante incidencia del fenómeno El Niño.	55
Cuadro 10. Cálculo del balance hídrico de la subcuenca río Piedras, estación San Pedro durante fenómeno El Niño (Jun 2009-Abr 2010).	58
Cuadro 11. Resultados del balance hídrico, estación San Pedro.	58
Cuadro 12. Análisis de frecuencia de caudales, estación Puente Carretera.....	72
Cuadro 13. Parámetros estadísticos.	73
Cuadro 14. Análisis de frecuencias para precipitaciones medias mensuales, subcuenca río Piedras.	76
Cuadro 15. Parámetros estadísticos de precipitaciones..	77
Cuadro 16. Categorías de agrupación del índice de escasez.	80
Cuadro 17. Demanda de agua para uso doméstico.....	82
Cuadro 18. Demanda de agua, piscifactoría El Diviso.	82
Cuadro 19. Demanda de agua para uso agropecuario, con derivaciones del río mediante canales en tierra.....	83
Cuadro 20. Resumen demanda subcuenca río Las Piedras.	84

Cuadro 21. Oferta hídrica superficial histórica de la subcuenca río Las Piedras estación Puente Carretera.....	85
Cuadro 22. Escala de reducciones para protección de fuentes frágiles.....	86
Cuadro 23. Índice de escasez histórico, subcuenca río Las Piedras.	87
Cuadro 24. Índice de escasez 2009 - 2010, subcuenca río Las Piedras.	90
Cuadro 25. Distribución poblacional espacial y por sexo.	94
Cuadro 26. Distribución de familias por veredas.	95
Cuadro 27. Tipos de producción a nivel pecuario y agrícola en la subcuenca Piedras.	96

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Ocurrencia de fenómenos El Niña y La Niña, de acuerdo con el ONI.....	119
Anexo B. Caudales históricos anuales del río Piedras (1969 - 2010).	120
Anexo C. Caudales históricos mensuales del río Piedras (1969 - 2010).	121
Anexo D. Periodos de ocurrencia del fenómeno La Niña.	121
Anexo E. Registro histórico de caudales del río Piedras (1969 - 2010).	122
Anexo F. Correlación lineal estaciones El Lago y San Pedro.	124
Anexo G. Análisis de consistencia de datos pluviométricos por el método de dobles masas para estaciones de la subcuenca río Las Piedras.	125
Anexo H. Registro mensual de caudales del río Piedras (2009 - 2010).	126
Anexo I. Registros medios mensuales.	127
Anexo J. Cálculo del balance hídrico de la subcuenca río Piedras, estación Diviso durante fenómeno El Niño.	128
Anexo K. Resultados del balance hídrico, estación Diviso.	128
Anexo L. Cálculo del balance hídrico de la subcuenca río Piedras, estación El lago durante fenómeno El Niño.	129
Anexo M. Resultados del balance hídrico, estación El Lago.	129
Anexo N. Estimación del índice de escasez para la subcuenca del río Las Piedras.	130
Anexo O. Encuesta.....	131

CAPÍTULO I

GENERALIDADES DEL ESTUDIO

1.1 INTRODUCCIÓN

Según la Organización Meteorológica Mundial y la Agencia Nacional Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos (NOAA), el fenómeno El Niño presenta efectos devastadores como pérdidas de cultivos, disminución de la producción agrícola y pecuaria, reducción de caudales en los ríos, afectación en los sistemas de acueducto y producción de energía eléctrica entre otros.

En el contexto local el IDEAM ha establecido que El Niño modifica las temporadas invernales reduciendo la cantidad total de lluvia, mientras que en temporadas secas provoca déficit acumulativo de precipitación. Esto conlleva a reducción de caudal en los ríos y quebradas disminuyendo la disponibilidad del recurso hídrico para la población. Estas condiciones secas que se establecen durante la incidencia del fenómeno favorecen el incremento de temperaturas y la ocurrencia de incendios forestales en la región afectada.

La presente investigación ha tenido por finalidad analizar la oferta hídrica de la subcuenca río Las Piedras y su afectación por el fenómeno El Niño. Dicha subcuenca se ubica en el municipio de Popayán y se caracteriza por tener importantes áreas de cultivos agropecuarios, forestales y una significativa oferta hídrica, que se ve afectada durante la presencia del fenómeno El Niño.

El documento está constituido por siete capítulos que exponen las diversas temáticas tratadas en la investigación: el capítulo 1 corresponde a las generalidades de la investigación, en el capítulo 2 se hace referencia a las generalidades de la subcuenca donde se muestra la ubicación del área de estudio, tipos de población y sus conflictos, cobertura vegetal, cultivos, clima, vientos, precipitaciones, pisos climáticos, la geología, geomorfología, uso del suelo, flora, fauna e hidrografía. El capítulo 3 trata sobre las fases de desarrollo del trabajo. En el capítulo 4 se exponen los resultados que permiten identificar los efectos del fenómeno El Niño en la subcuenca a nivel histórico y del seguimiento al reciente fenómeno. Seguido por la actualización del índice de escasez, mostrando la demanda y la oferta hídrica. Como también la

caracterización estadística para caudales y precipitaciones. El capítulo 5 muestra los efectos del fenómeno en la población, a nivel agrícola, pecuario y forestal; finalmente en los capítulos 6 y 7 se realizan conclusiones y recomendaciones.

Es importante que la comunidad en general conozca los efectos del fenómeno El Niño en la subcuenca río Las Piedras para definir acciones sobre su manejo y conservación ante este evento, ya que la subcuenca es la principal fuente hídrica que abastece a más del 90% del municipio de Popayán y representa una gran importancia para la permanencia de la comunidad que hace uso de esta fuente.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Evaluar los efectos producidos por el fenómeno El Niño, según los registros históricos en la subcuenca río Las Piedras y monitorear dicho fenómeno durante el periodo del último trimestre del 2009 y el primer trimestre del 2010.

1.2.2 Objetivos específicos

- ✓ Identificar según información histórica cuales han sido los períodos más críticos de incidencia del Fenómeno El Niño y hacer un seguimiento del actual en la subcuenca río Las Piedras.
- ✓ Evaluar estadísticamente los diferentes parámetros que constituyen el clima con los datos meteorológicos de las estaciones ubicadas en la subcuenca del río Las Piedra.
- ✓ Recopilar información de caudales mediante aforos periódicos en las estaciones del río Las Piedras, para realizar un análisis comparativo con estudios anteriores y determinar cambios en la oferta hídrica.
- ✓ Realizar con base en la información de las estaciones meteorológicas el balance hídrico y climograma con el fin de analizar la disponibilidad del recurso hídrico y variabilidad climática en el área de la subcuenca durante el fenómeno.
- ✓ Determinar los efectos del fenómeno El Niño en algunos sectores, como pecuario, agrícola y forestal, ubicados principalmente en el área de la subcuenca del río Las Piedras.
- ✓ Determinar los niveles de abundancia o escasez en la subcuenca río Las Piedras, relacionando la oferta específica con la demanda correspondiente. Esta unidad de medida se conoce como índice de escasez.

1.3 METODOLOGÍA

La realización de la investigación requirió que en primera instancia se coordinaran actividades con la División Ambiental del Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A.E.S.P, luego se programaron salidas de campo al área de la subcuenca para realizar mediciones de caudal a las microcuencas que abastecen el río Piedras y estaciones de aforo; también fue necesario el procesamiento de información de las estaciones meteorológicas ubicadas en la subcuenca, recopilación de información hidroclimatológica histórica, realización de encuestas a las familias asentadas en el área de estudio, estas actividades se efectúan para verificar las alteraciones causadas por el fenómeno El Niño.

Para la recolección de información en campo se hicieron recorridos en el área de la subcuenca de agosto del 2009 a agosto del 2010, estas salidas se realizaron en el corregimiento de Quintana, Las Piedras y parte del municipio de Totoró, en la vereda de San Juan y Santa Teresa. En campo se hicieron aforos con molinete para la determinación de caudales y encuestas a un número determinado de familias para determinar los impactos por uso frente al fenómeno. Estas actividades se realizaron con la colaboración de técnicos del Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A.E.S.P.

La información hidroclimatológica fue suministrada por el IDEAM, la División Ambiental del Acueducto y el GEA, el procesamiento de esta información permite identificar los efectos del fenómeno El Niño mediante la elaboración de gráficos de caudales medios, balances hídricos y climogramas. Además se adquirió información de investigaciones donde se determina la demanda hídrica total sobre la subcuenca, importante para actualizar el índice de escasez.

Los mapas que muestran los puntos de aforo y estaciones meteorológicas se realizaron con herramientas de sistemas de información geográfica (SIG). Las coordenadas se obtuvieron con un GPS y se usó el software ARGIS, para realizar la captura, almacenamiento, manipulación, análisis y presentación de datos referenciados espacialmente.

1.4 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

La oferta hídrica de la subcuenca río Las Piedras es un tema de gran importancia ya que es la principal fuente de aporte hídrico para la comunidad tanto rural como urbana del municipio de Popayán, esta oferta puede presentar alteraciones de forma antrópica o por eventos naturales como el fenómeno El Niño. Teniendo en cuenta que el crecimiento de la población ha ocasionado expansión en la ocupación de áreas de la parte alta, donde existen nacederos de agua y que a su vez hacen parte de toda una cuenca, para nuestro caso la cuenca Cauca, ha generado problemas de deforestación y contaminación del agua.

Cuando se está frente al fenómeno El Niño, se puede generar disminución de la oferta hídrica, aumento de la temperatura, con consecuencias como brote de enfermedades, pérdida de animales, cultivos, e incendios forestales, dejando en evidencia la debilidad de las políticas municipales y la organización de sus habitantes, debido al insuficiente conocimiento de los problemas que se pueden generar.

Esta situación ha sido evidenciada por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán y los habitantes que se encuentran dentro del área de estudio, lo que ha determinado la necesidad de hacer un análisis sobre la oferta hídrica y su afectación por el fenómeno El Niño, con el propósito de establecer el posible efecto del fenómeno en la subcuenca río Las Piedras, lo cual es de gran importancia para definir acciones sobre el manejo y conservación de la subcuenca.

Además existe un esfuerzo regional que congrega a países conformados por Colombia, Ecuador, Perú y Chile en el marco de la Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS), que tiene como una de sus finalidades, la de intercambiar información para realizar el Estudio Regional del Fenómeno "El Niño" (ERFEN) y alertar en lo posible, de su futura presencia.

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DE LA SUBCUENCA RÍO LAS PIEDRAS

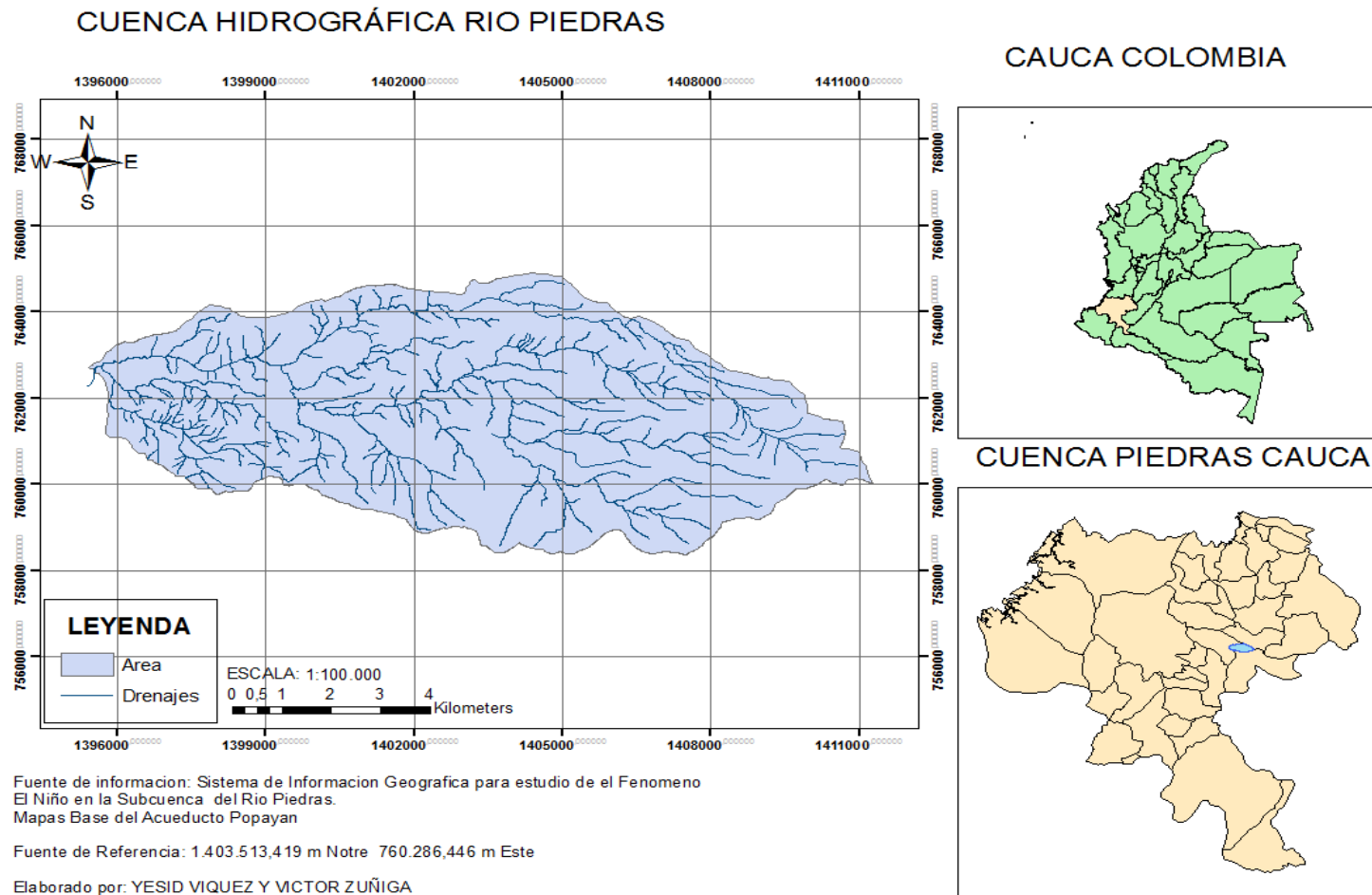
2.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

A continuación se representa la ubicación de la subcuenca del río Las Piedras, de acuerdo a la actualización del uso del suelo elaborada con la C.R.C y la División Ambiental del Acueducto, la subcuenca es la principal fuente abastecedora de la capital del departamento del Cauca.

- Ubicación: Municipio de Popayán y Totoró, al nororiente de la ciudad, en el flanco occidental de la cordillera central.
- Coordenadas geográficas: 2°21'45'' Latitud Norte y 76°31'10'' Longitud Oeste en el nacimiento del río. 2°25'40'' Latitud Norte y 76°23'45'' Longitud oeste en la desembocadura del río Cauca
- Rango de altitud: 1.980 - 3.820 msnm
- Extensión: 6.552,7 ha.

En la Figura 1 se observa la ubicación de la subcuenca río las Piedras.

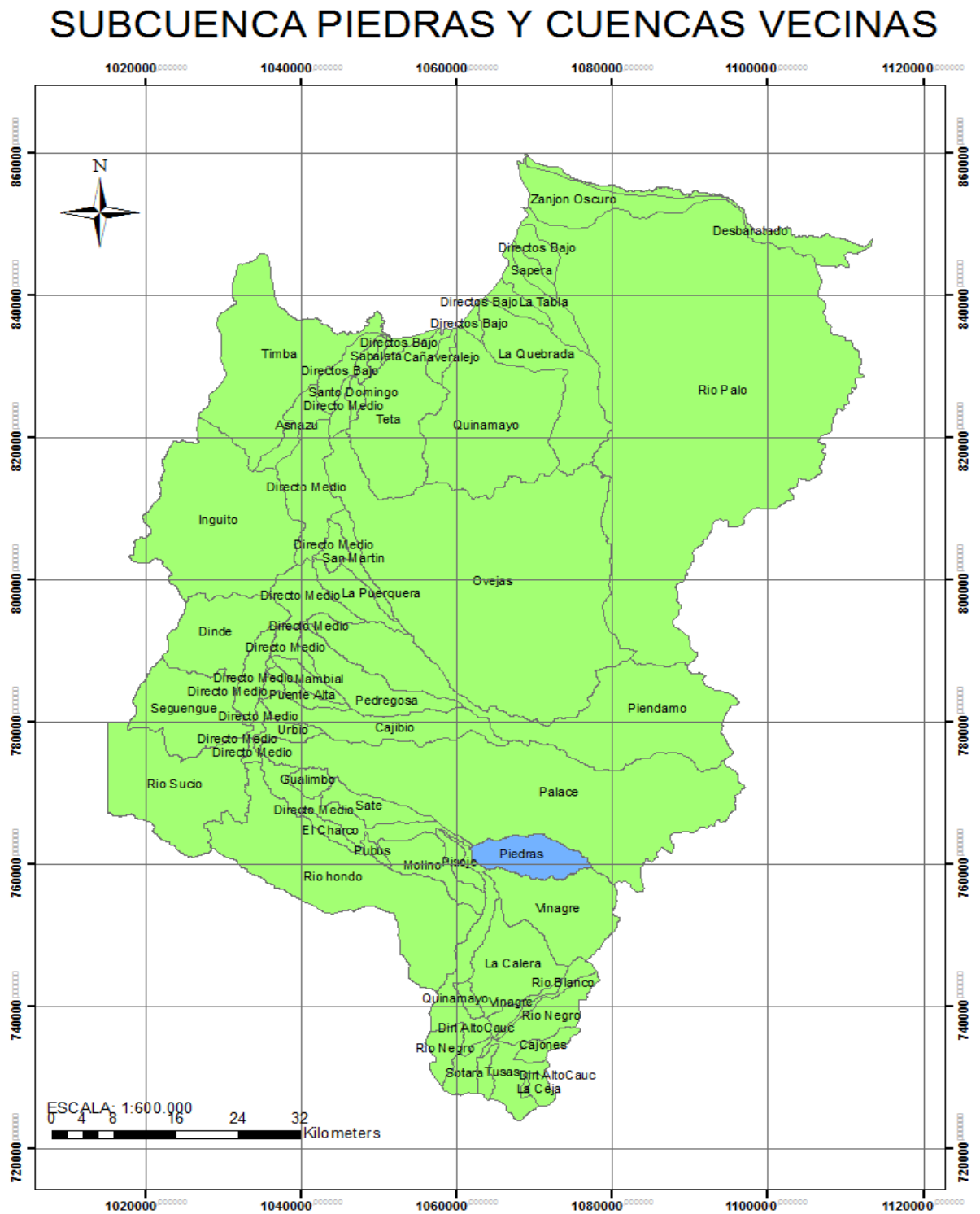
Figura 1. Ubicación del área de estudio.



Fuente: (Mapa base del Acueducto y Alcantarillado de Popayán), edición Propia

En la Figura 2 se observa la subcuenca Piedras y subcuencas vecinas.

Figura 2. Subcuenca Piedras y subcuencas vecinas.



Fuente: (Mapa base del Acueducto y Alcantarillado de Popayán), edición propia

2.2 DIVISIÓN DE CORREGIMIENTOS Y VEREDAS

La subcuenca comprende dos corregimientos: **Quintana**, identificado como el corregimiento 23 en el municipio de Popayán, al que pertenecen las veredas Quintana, San Ignacio, La Laguna, Parcelación el Canelo, Laureles, parte baja de San Juan; **Las Piedras**, corregimiento 22 al que pertenecen las veredas las Huacas y San Isidro. Las veredas Santa Teresa y parte alta de San Juan pertenecen al municipio de Totoró.

En el Cuadro 1 y la Figura 3 se observan las veredas que se encuentran sobre la subcuenca.

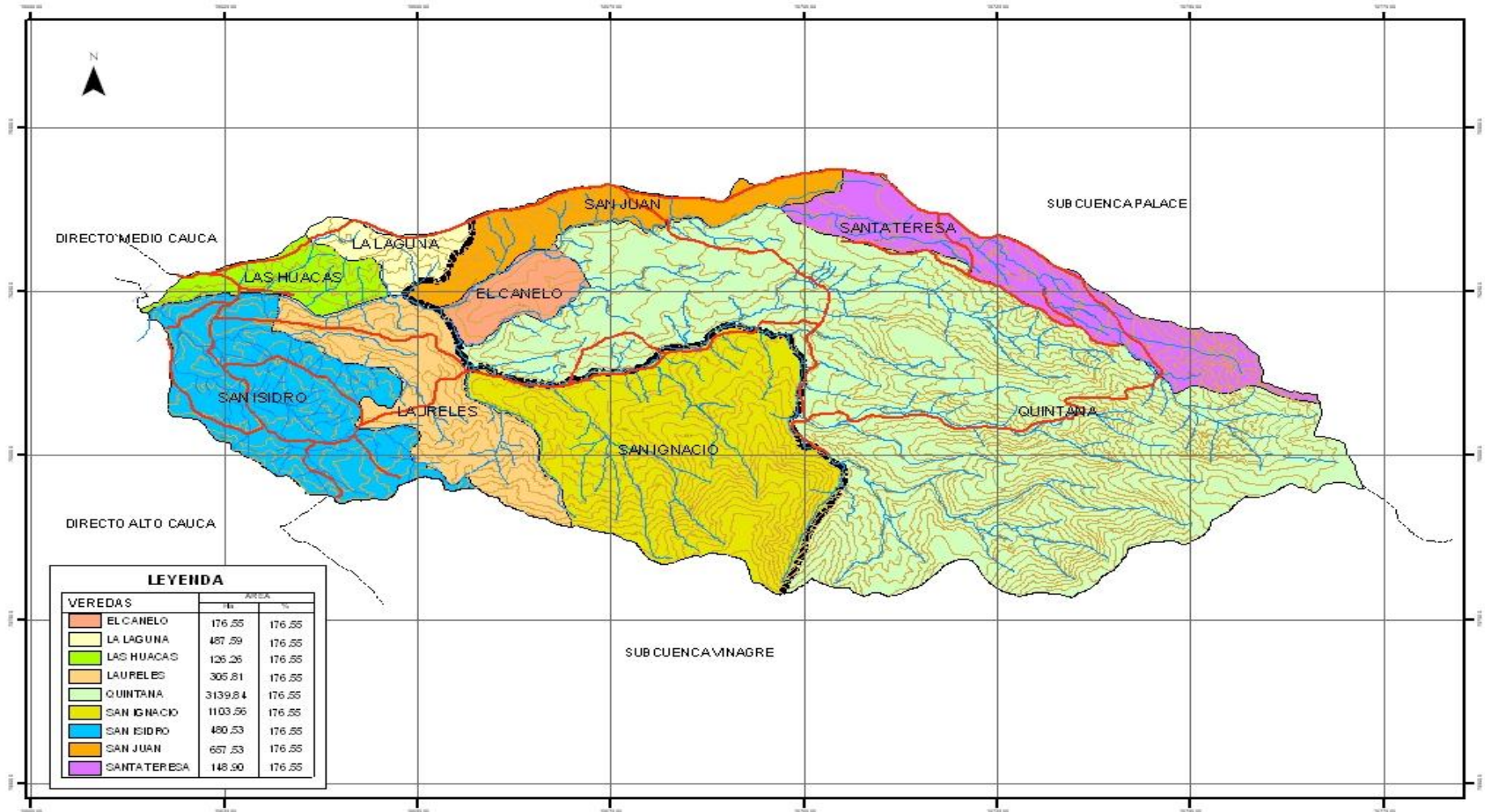
Cuadro 1. División de corregimientos y veredas.

MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDAS	POBLACION
POPAYÁN	QUINTANA	LAURELES	78
		EL CANELO	104
		LA LAGUNA	225
		SANJUAN	474
		SAN IGNACIO	234
		QUINTANA	329
	LAS PIEDRAS	HUACAS	318
		SAN ISIDRO	235
TOTORÓ		SANTATERESA	141
		SAN JUAN (PARTE ALTA)	S.I

*S.I: Sin Información

Fuente: (CRC, 2006).

Figura 3. Mapa corregimientos y veredas.



Fuente: Acueducto y Alcantarillado de Popayán, Corporación Autónoma Regional del Cauca

2.3 ACCESO Y VÍAS DE COMUNICACIÓN

Siendo este un elemento importante para llevar a cabo las actividades en la subcuenca, se resalta hasta ahora que el transporte público es deficiente, solo se presta el servicio público de colectivos hasta la vereda Las Huacas. El acceso a las demás veredas se hacen los días lunes, jueves y viernes por medio de chivas que hacen dos recorridos durante el día, también existe el servicio de moto-taxis que se pueden abordar frente al SENA-Alto de Cauca, que es donde inicia la vía que conduce a la subcuenca, luego de desprenderse de la vía pavimentada hacia el Oriente en un trayecto de aproximadamente 7 Kms, pavimentados, en buen estado, permitiendo ingresar a la parte baja de la subcuenca, Vereda las Huacas; donde en el sitio llamado la “Estación” se divide en 2 carreteras destapadas. Hacia la izquierda se dirige hacia las veredas de La Laguna, San Juan, Santa Teresa y Quintana en un recorrido de 25 Kms aproximadamente. Hacia la derecha conduce hacia las veredas de San Isidro, Laureles, parcelación El Canelo, San Ignacio y Quintana en un recorrido de aproximadamente 22 Kms. (CRC, 2006).

En general las carreteras se encuentran en regular estado y según sus pobladores se deterioran aún más en épocas de invierno. Su mantenimiento usualmente es realizado por la comunidad a través de “mingas”, luchando contra el abandono y el descuido de las autoridades gubernamentales.

Las viviendas en general no se ubican cerca de la vía, lo que implica que los habitantes terminen sus recorridos a pie o a caballo luego de ser dejados por el transporte público o particular en las cercanías de sus veredas.

2.4 COBERTURA VEGETAL

Este tema ha sido resumido del Plan de Ordenamiento y Manejo de la Subcuenca río Las Piedras, realizado por la CRC en 2006.

2.4.1 Vegetación de Páramo

Está conformado por la vegetación propia del páramo, se encuentran dos doseles, primero el Frailejón (*Espeletia Cuartasiana*), el segundo de Pajonales de

aproximadamente 50 cms de altura (*Calamagrostis recta*) y otras asociaciones vegetativas como El Mortiño (*Miconia sp*), La Piñuela de Páramo (*Puya sp*), Helecho (*Blechnum sp*), y también están asociados, los musgos (*Sphagnum sp*) y parches de lo que comúnmente es conocido como colchón de pobre (*Distichia sp*).

En las formaciones rocosas se encuentran sobre su superficie líquenes y musgos asociados a estas.

2.4.2 Vegetación subpáramo

Estas son extensiones de pastos naturales ubicados dentro de los rangos climáticos que determinan el subpáramo. Son áreas de intervenciones antrópicas considerables, para el pastoreo y en otro caso en la adecuación para el desarrollo de cultivos. Las especies predominante son el Aliso (*Agnus acuminata*), Arrayan (*Myrcianthes*), Chusque (*Chasquea sp*).

2.4.3 Bosque denso

En general, el bosque es una asociación de plantas con una estratificación definida (árboles, arbustos y herbáceas), razón por la cual ofrece una alta cobertura al suelo, hasta el 80% buen control de la escorrentía y en consecuencia, contribuye a regular el ciclo hidrológico de grandes áreas.

Estos ecosistemas son áreas de pequeños relictos de bosque natural denso poco intervenidos en donde predominan especies arbóreas naturales como el Arrayán (*myrrcianthes sp*), Encenillo (*Weinmannia pubnces*), Pino de páramo (*Hypericum Sp*), Guasguin (*Diplostephium glandulosum*), Mortiño (*miconia sp*), Helecho de páramo (*Blechnum Sp*), entre otras.

2.4.4 Bosque abierto

Este se entiende como pequeños relictos de bosques secundarios, en proceso de regeneración, que han sido y están expuestos a la constante y continua presión atmosférica. Ofrece una cobertura al suelo menor del 80%. Por su configuración estructural se encuentran especies como: Roble *Quercus (humboldtii)*, Laurel (*Lauraceae sp*), Aliso (*Alnus acuminata*), Motilon (*Brunellia sp*), Arrayán (*Myrrcianthes sp*), Encenillo (*Weinmannia sp*), Mano de Oso (*Oreopanax sp*), Cojón de chucha

(*Siparuna echinata*), huesillo (*Critoniopsis sp*), Siete cueros (*tibouchina mellis*), Laurel de cera (*Myrica pubescens*), Coral (*Nectandra sp*), etc

2.4.5 Bosque plantado

Como su nombre lo indica son bosques destinados a la explotación maderera, básicamente conformados por especies como el Pino (*Pinus patula*), y en menor proporción, especies de Eucalipto (Eucaliptos glóbulos), con una densidad de siembra de 2.5 mts por 2.5 mts, entre árbol. Estas plantaciones se encuentran en áreas de alta importancia ambiental especialmente en zonas como Los Llanitos y en un espectro importante de la quebrada San Juntas la cual da origen a toda una red hídrica que le genera un soporte importante a la cuenca. Son plantaciones que ejercen un impacto negativo sobre la biodiversidad, debido a que los bosques de pino y eucalipto, no presentan asociaciones vegetativas naturales, presentando un medio homogéneo, en las cuales la fauna encuentra un poco o nada de alimento para su subsistencia.

No obstante se evidencia un conflicto de uso de suelo por la ubicación de estos bosques pues se encuentran plantados en la parte alta de la subcuenca en donde deben predominar bosques protectores. Sin embargo cabe anotar que estas plantaciones representan tener madera para cortar y a la vez son una fuente de trabajo para las personas que se desempeñan cortando, aserrando, limpiando, etcétera.

2.4.6 Rastrojo Denso

Se entiende por rastrojo natural denso áreas de rastrojos naturales en procesos sucesionales avanzados, que presentan una vegetación herbácea exuberante y alta, está conformado por arbustos y árboles que en conjunto alcanzan una altura entre 5 y 7 m, se encuentra en la parte media de la subcuenca y las especies vegetales más comunes son gramíneas, helechos, Melastomatáceae, entre otras.

2.4.8 Rastrojo Alto

Es una estructura de vegetación de unos 5 a 6 metros de alto conformado por especies arbustivas y arbóreas, en bosques de segundo crecimiento, normalmente afectada por la actividad humana, se presentan en toda la subcuenca y las especies vegetales más comunes son en la parte baja (*Trichanthera sp*), (*alnus acuminata*), (*Mimosa sp*).

2.4.9 Rastrojo Alto Abierto

Rastrojo de unos 8 mts de alto conformado por especies arbóreas y arbustivas, afectados por la actividad humana, localizados hacia la parte baja de la subcuenca y con la presencia de la vegetación propia de este espacio. Guarango (*Mimosa sp*), (*Palicourea angustifolia*), Melastomaceas y algunos helechos.

2.4.10 Rastrojo Bajo

Está conformado por vegetación que alcanza una altura entre 0.6 cms y 1 m, se encuentra en la parte media de la subcuenca y las especies vegetales más comunes son: Helechos, Zarzas y algunas melastomaceas.

2.4.11 Misceláneos

Entendido como aquellas áreas destinadas a la explotación agrícola y en donde con muy poca frecuencia se encuentran especies típicas del bosque natural. Predominan cultivos de tubérculos (papa y ulluco) y hortalizas (cebolla, cebolleta, etcétera).

En la parte media se presentan cultivos de maíz, yuca, mora plátano guineo, tomate de árbol, lulo, papa, frijol, patata, chirimoya, durazno, café, arveja y hortalizas.

En la parte baja hay cultivos de maíz, yuca, frijol, arveja y hortalizas. Es conveniente señalar que la producción agrícola se fundamenta en una agricultura de subsistencia, caracterizada por la presencia de unidades productivas de tipo familiar.

Estos cultivos no proporcionan rendimientos económicos significativos, sino que en la mayoría de los casos son utilizados para el autoconsumo y se caracterizan por ser parcelas que se encuentran próximas a las casas de habitación.

2.5 CLIMA

La clasificación climática comprende tierras clasificadas como templada húmeda que están entre los 1900 – 2000 msnm, tierra moderadamente fría húmeda, entre los 2000 – 2800 msnm, tierra fría subhúmeda entre los 2800 – 3400 msnm y el páramo que se encuentra a más de 3400 msnm. El rango de altitud de la subcuenca es de 1980 a 3820 msnm. (Recaman, 2006).

2.5.1 Vientos

Debido a su ubicación geográfica, la subcuenca del río Piedras es afectada por la confluencia de vientos alisios del norte y del sureste, ocasionando un período lluvioso de octubre a mayo y un período seco de junio y septiembre. Además la formación de vientos diurnos y nocturnos o de montaña como consecuencia de la ubicación del territorio sobre la ladera montañosa genera una circulación del aire de forma descendente o ascendente y en consecuencia la presencia de lluvias a diversas horas del día o la noche.

2.5.2 Precipitación

Según el Plan de Ordenamiento y Manejo de la Subcuenca río Las Piedras, la precipitación de la subcuenca no es uniforme, debido a que es un clima típicamente ecuatorial de montaña con pisos térmicos como templado, frío y de paramo, y de los pisos bioclimáticos subandinos y altoandinos, los cuales se ven afectados por los vientos alisios y su geomorfología del área, generando precipitaciones de tipo orográfico. Encontrando así períodos de lluvias de octubre a mayo y un período seco de junio a septiembre, con períodos intensos de lluvias entre octubre y diciembre, haciendo que la oferta hídrica de la zona se mantenga, debido a sus largos meses de precipitación y la retención de aguas en los suelos.

2.5.4 Pisos Climáticos

En Colombia se encuentran climas cálido, templado, frío y de paramo, de acuerdo con la altitud y temperatura del lugar (CRC, 2006), de donde se obtiene la clasificación climática para la subcuenca río Las Piedras.

Clima Medio y Húmedo: Se presenta este clima, en la franja altitudinal por debajo de los 2000msnm, en una pequeña proporción de la parte baja de la subcuenca, en las veredas Las Huacas y San Isidro, con temperaturas promedio similares de 19,3°C.

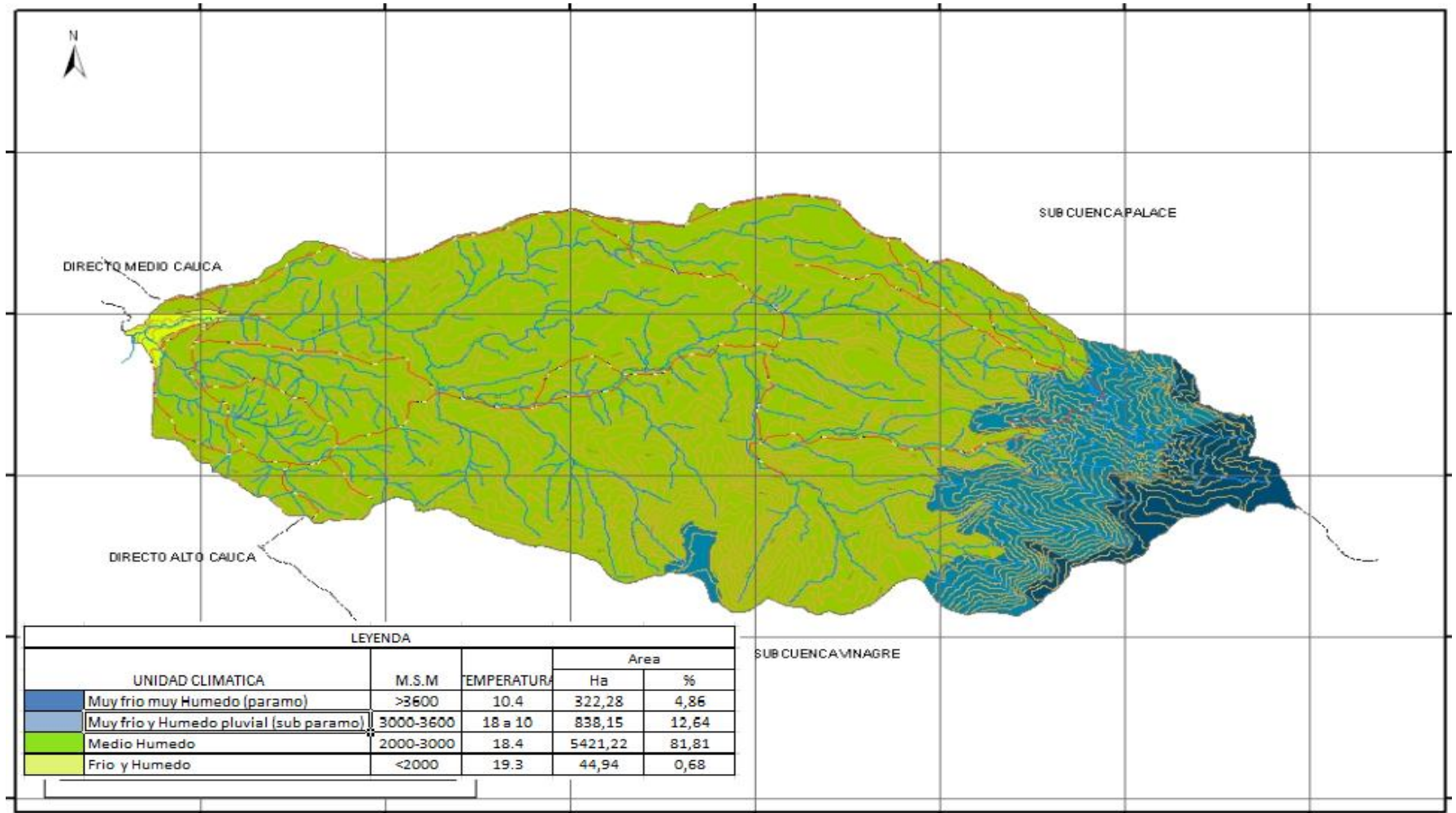
Clima Frío y Húmedo: Cubre la mayor extensión de la subcuenca, en la franja altitudinal de 2000 a los 3000 msnm en las veredas San Isidro, laureles, San Ignacio, parte media de Quintana, El Canelo, San Juan, Santa Teresa, La Laguna; con rangos promedio anual de temperatura de 18.4°C.

Clima Muy Frío y Húmedo Pluvial (Subpáramo): Se le ha designado esta categoría a la franja altitudinal de los 3000 a 3600 msnm, con valores de temperatura que oscilan entre los 18 a 10°C, con vientos fuertes, con una leve disminución de pluviosidad respecto a la categoría anterior.

Clima Muy Frío y Muy Húmedo (Páramo): La zona comprende una gran parte de área de páramo, por encima de los 3600msnm hasta la parte más alta de la subcuenca, con mayor extensión en la vereda Quintana y una pequeña franja de Santa Teresa; con rangos promedio anual de temperatura 10.4°C.

En la Figura 4 se observan las unidades climáticas de la subcuenca Piedras.

Figura 4. Mapa de unidades climáticas.



Fuente: Acueducto y Alcantarillado de Popayán, Corporación Autónoma Regional del Cauca

2.6 ASPECTOS FÍSICO – GEOGRÁFICOS

El relieve de la zona de estudio se caracteriza por hacer parte del nudo orográfico de la cordillera central, flanco occidental. Se encuentra clasificada como parte del área de influencia del Macizo Colombiano. Presentando lomas alargadas y con cimas altas aplanadas poco dicectadas, con direcciones oriente occidente y alta densidad. Hasta que desemboca el río Piedras al río Cauca. (Aguirre, 2006)

La subcuenca del río Las Piedras presenta una forma de oval redonda a oval oblonga, se observa una amplia variación de la pendiente proporcional al trayecto del río y la pendiente general de la cuenca siendo ambas altas. Estas características sugieren un escurrimiento rápido que forma crecientes súbitas y altos picos en los caudales. Los caudales medios y mínimos son regulados más por la composición de los suelos que por la cobertura vegetal. (CRC, 2006)

2.7 GEOLOGÍA DE LA SUBCUENCA RÍO LAS PIEDRAS

Es importante abordar este tema, debido a que se pueden tratar la geología del área, estratigrafía, fallas etc. Con el fin de conocer la composición de los suelos, la geomorfología del área y saber a ciencia cierta si se dan retenciones de agua y posibles problemas de erosión durante dicho fenómeno, ya que este puede influenciar en la pérdida o no, de cultivos vegetales o animales de los habitantes de la subcuenca, determinando a su vez la oferta hídrica del área.

La información geológica y geomorfológica de la subcuenca del río Piedras se obtuvo del estudio “Geología y Amenazas en la subcuenca del río Las Piedras”, por Mauricio Aguirre, 2006.

2.7.1 Unidades geológicas

Complejo Arquía: De acuerdo con la Figura 5, en el área se presenta la unidad denominada Esquistos de la Mina compuesta por un conjunto de esquistos verdes o metabasitas, de color verde grisáceo y oscuro, compuestos principalmente por minerales de anfíbol, clorita, plagioclasa, epidota y calcita. Localizados en la vereda Las Huacas al Occidente de la zona. (Orrego y Paris, 1991).

Miembro Polindara (TPppo): Constituido por flujos de lava andesítica color gris, de textura porfírica donde se aprecian abundantes fenocristales de horoblenda de hasta 0.5 cm de longitud, plagioclasa con indicios de alteración y biotita en poca proporción; envueltos en una matriz afanítica de color gris oscuro.

Estas lavas afloran en la parte media y alta del río Las Piedras en cercanías de la localidad de Quintana, en la parte alta de la quebrada Santa Teresa, en los predios La Cabaña y Congolo, al oriente de la subcuenca Figura 6.

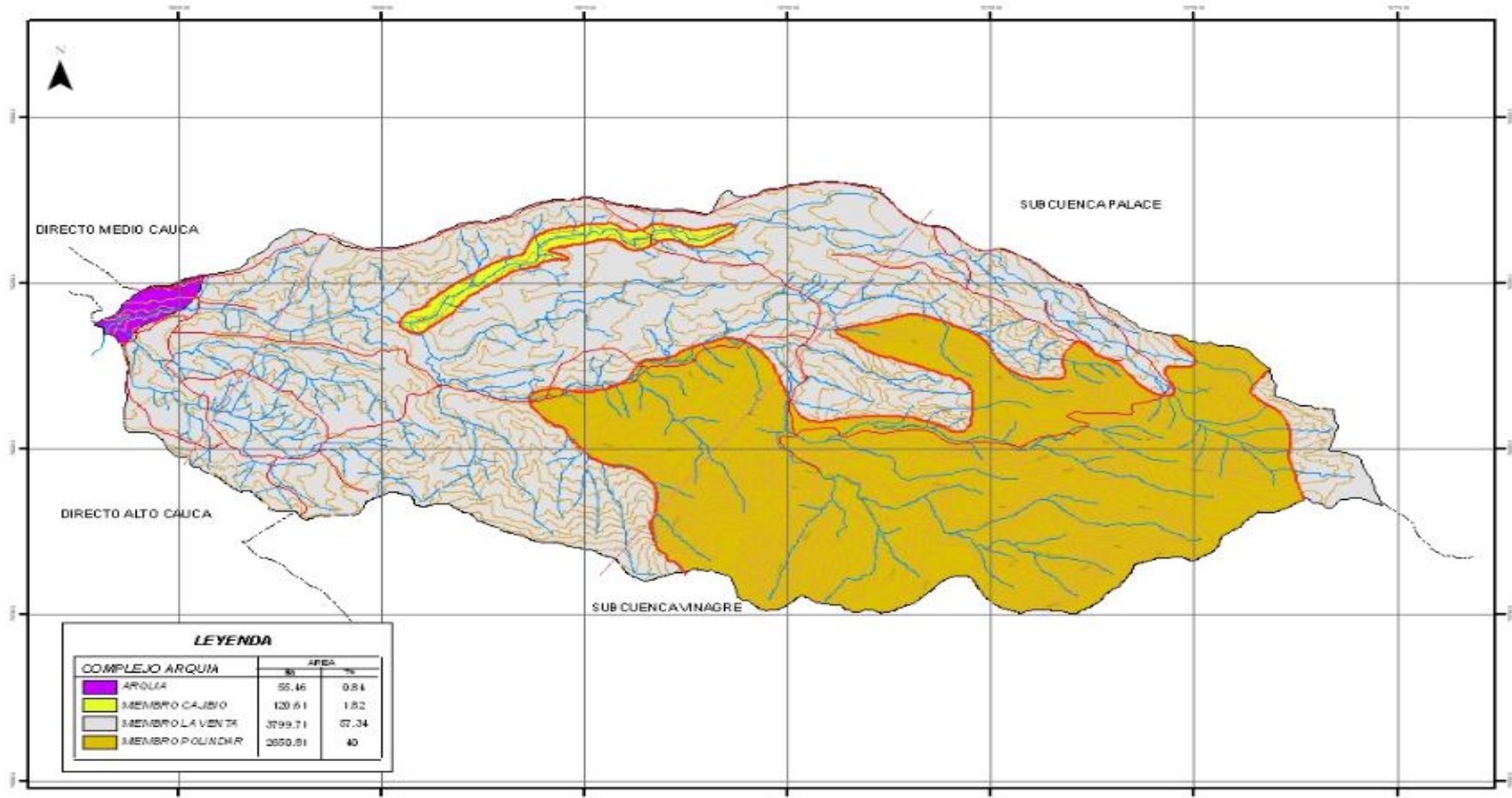
Por su morfología se pueden relacionar con focos volcánicos, ubicados en los sectores del páramo de Gabriel López, Polindara y la altiplanicie de Paletará. Su edad posiblemente es Plioceno, porque infrayacen los depósitos del Miembro Sombrerillo que según dataciones radiométricas K/Ar, arrojó una edad de 4.5 millones de años. (Torres, 1991).

Figura 6. Miembro Polindara, vía Huacas-Quintana margen izquierdo río Las Piedras.



Fuente: Equipo Técnico CRC, 2006

Figura 5. Mapa de unidades Geológicas.



Fuente: Acueducto y Alcantarillado de Popayán, Corporación Autónoma Regional del Cauca

Miembro Cajibío (Qpca): Formado por depósitos de flujos de ceniza y de ceniza y pómez, con algunos líticos de rocas metamórficas, la matriz está compuesta de ceniza con cristales de plagioclasa, hornblenda y biotita y son comúnmente de color blanco a rosado.

Aflora en la parte media de la subcuenca, en la Quebrada Santa Teresa entre la desembocadura de ésta al río Las Piedras y la Hacienda La Laguna en donde presentan espesores de +/- 20 m.

Este Miembro descansa discordantemente en contacto inclinado sobre los depósitos de los Miembros Sombrerillo y Julumito. El Miembro Cajibío está suprayacido discordantemente por depósitos del Miembro La Venta (TORRES, 1991).

Descripción Macroscópica: depósito de color gris areno–arcilloso con abundantes fragmentos de pómez hasta de 4 cm. de longitud y fragmentos líticos.

Descripción Microscópica:

Fenocristales: Principales cristales de feldespatos potásicos rotos y zonados; biotita.

Matriz: La roca está compuesta casi exclusivamente por una matriz vítrea de composición ácida constituida por esquirlas y pómez fibrosa, la cual contiene cristales de plagioclasa y biotita incluidos. El vidrio está alterado parcialmente.

Clasificación: Toba vítrea fenoandesítica.”

Miembro La Venta: Depósitos de flujos de ceniza y caída de ceniza, meteorizados con textura granular y minerales de color blanco. Se presentan fragmentos de cuarzo bipiramidal rotos, plagioclasa y en poca proporción biotita Figura 7.

En la zona de estudio cubren el mayor porcentaje areal, desde el poblado de Quintana hasta la Vereda Las Huacas.

Los depósitos del Miembro la Venta se consideran del cuaternario superior y estos cubren discordantemente todos los depósitos de la Formación Popayán, excepto los del Miembro Caldon. (TORRES, 1991).

Figura 7. Miembro La Venta, margen derecha quebrada Aguas Claras.



Fuente: Equipo Técnico CRC, 2006

2.8 GEOMORFOLOGÍA DE LA SUBCUENCA RÍO PIEDRAS

Según el estudio se puede observar la expresión geomorfológica de dos unidades referenciadas así:

Unidad A: Se presenta en la subcuenca del río Las Piedras en la parte occidental desde la cota 2000 msnm hasta la cota 3000 msnm al norte y se encuentra entre la finca La Esperanza, la localidad de Quintana y la vereda Las Huacas.

Se presenta en lomas alargadas, continuas con cimas altas aplanadas poco disectadas. El drenaje es pinado con variaciones a subparalelo, de densidad media y dirección Este-Oeste y Noroccidental preferiblemente. La unidad geológica aflorante está constituida por depósitos de la Formación Popayán – Miembro La Venta Figura 8.

Figura 8. Unidad A, parte alta quebrada Aguas Claras.



Fuente: Equipo Técnico CRC, 2006

Unidad B: Se encuentra en la parte sureste de la subcuenca entre los 2300 y 3800 msnm, en los predios de Pichagua, La Concepción, Cóngolo, la Cabaña y Campo Alegre. Está compuesto principalmente por depósitos del Miembro Polindara de la Formación Popayán. Los cerros de esta unidad se presentan altos, con drenaje de alta densidad sub-dendrítico a Pinado, con direcciones oriente – occidente Figura 9.

Figura 9. Unidad B, quebrada Arrayanales.



Fuente: Equipo Técnico CRC, 2006

2.9. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Según Aguirre, M. (2006), litológicamente la zona se encuentra conformada casi en su totalidad por depósitos de la Formación Popayán, los cuales están depositados horizontalmente y no han sido afectados con gran importancia por eventos orogénicos; presentando relaciones discordantes entre los diferentes depósitos que conforman sus miembros.

FALLAS: Los depósitos ubicados en la subcuenca del río Las Piedras están atravesados por fallas regionales con tendencia NE-SW, relacionadas al sistema de fallas de Romeral, al cual pertenecen la falla San Jerónimo que atraviesa la zona en la parte central, y la falla Silvia-Pijao que la cruza en la parte occidental.

PLIEGUES: Los depósitos observados se encuentran en posición horizontal

DISCORDANCIAS: En el área de la subcuenca los depósitos de los Miembros Polindara Y Cajibío están suprayacidos discordantemente por los depósitos del Miembro La Venta.

2.10 USO DEL SUELO

Según el Plan de Ordenamiento y Manejo de la Subcuenca río Las Piedras, las unidades de cobertura del suelo tienen un uso de acuerdo a su localización y a su oferta ambiental. En la actualidad, la zona de Quintana se encuentra conformada por campesinos e indígenas, lo cual genera unas condiciones especiales de distribución y utilización de la tierra.

Predominando la actividad ganadera, que ha generado la extensión de las tierras para pastos naturales o diferentes tipos de pastos, (*Kicuyo, la Yaragua, Pangola, en especial, la Grama*) y producción de ganado sin control genético, la compactación y erosión de los suelos y disminución de la retención de agua.

Además, cultivos de subsistencia como tubérculos, hortalizas, granos y frutas, que a su vez se encuentran limitados por cercas vivas en sembrados de fique. También, se

destacan otras formas de uso como: uso de protección realizado por La Fundación en el río Las Piedras con una serie de trabajos de conservación, repoblamiento y reforestación de los nacimientos, zonas con problemas erosivos y márgenes de ríos y quebradas ampliando la cobertura de bosque natural, especialmente en la parte alta de la subcuenca.

Tala selectiva para llevar a cabo los trabajos agrícolas, la comercialización de madera de los bosques plantados y de rápido crecimiento en áreas determinadas que representan características de deterioro o degradación.

Además, el uso de minería que corresponde a coberturas degradadas o eriales donde la cobertura original del suelo ha sido reducida a suelos completamente desnudos, por la explotación de minerales como: arena, basalto y graba.

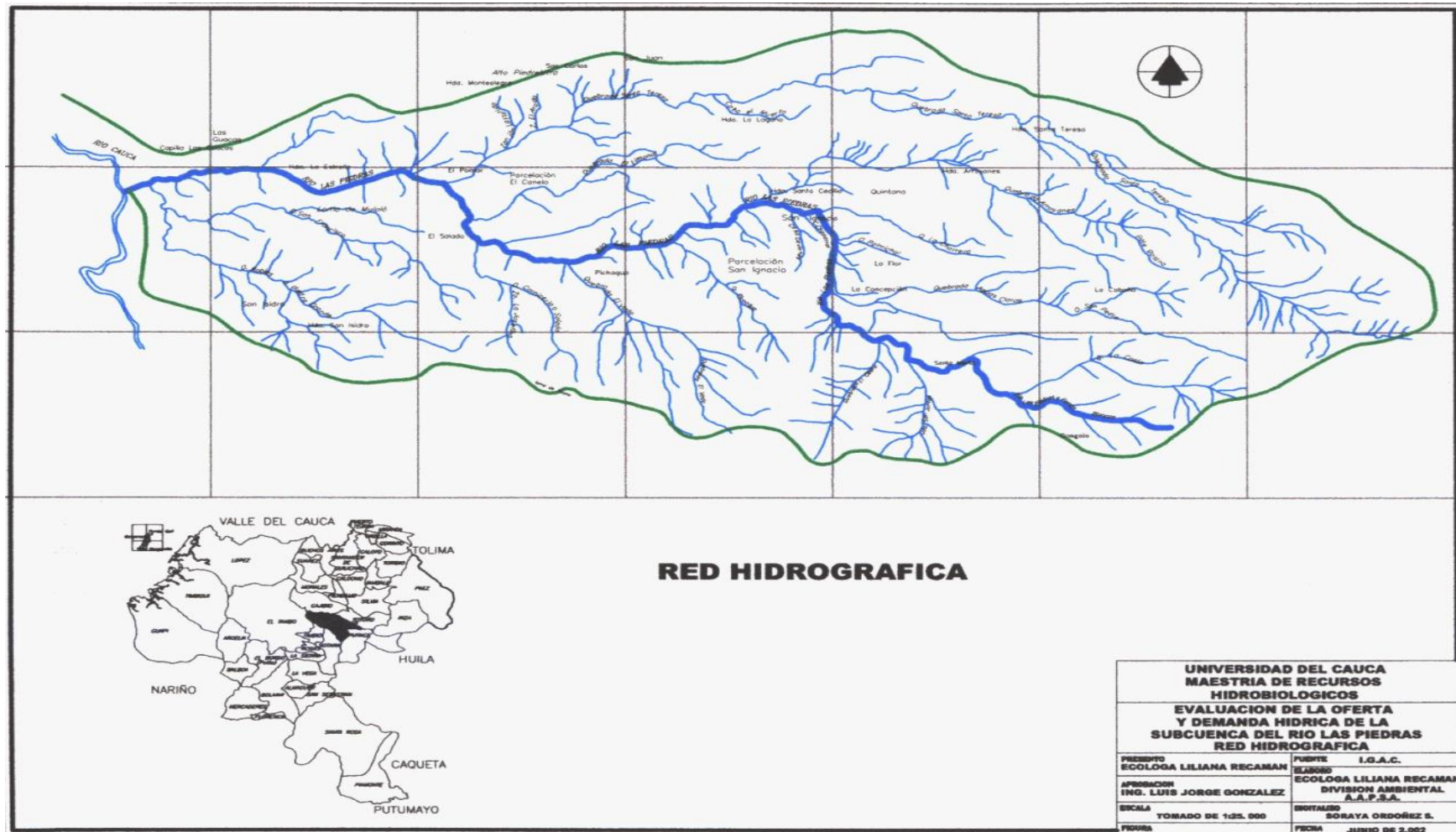
Y finalmente, espacios construidos, que se han ido extendiendo por el crecimiento poblacional de la comunidad.

2.11 HIDROGRAFÍA

El sistema hidrográfico está conformado por una red de drenaje que empieza en Aguas Claras, generando el nacimiento del río Las Piedras, alimentado por 13 micro cuencas como Buena Vista, Aguas Claras, Palmichal, La Chorrera, Arrayanales, Pichagua, El Vaho, Carnicería, El Limonal, El Arado, Santa Teresa, Robles y el río las Piedras. La corriente Robles o Piedra Grande ya no es afluente del río Las Piedras porque vierte sus aguas al embalse Florida II. El río Las Piedras desemboca al río Cauca con dirección de este a oeste para hacer parte de la cuenca Cauca.

En la Figura 10 se encuentra definida la red hidrográfica.

Figura 5. Red hidrográfica, subcuenca río Las Piedras.



2.12 FLORA Y FAUNA

La subcuenca río Las Piedras cuenta con una flora muy variada y compleja, debido a los diferentes tipos de ecosistemas relacionados con los pisos climáticos. De los cuales depende el tipo de especies y su hábitat. En el Cuadro 2 se puede ver la composición florística y arbustiva más predominante de la zona.

Cuadro 2. Composición florística arbórea y arbustiva protectora.

Estructura	Tipo de bosque	Especie	Nombre científico
Bosque	Denso abierto	Aliso	<i>Alnus jorullensis</i>
Bosque	Denso abierto	Laurel de cera	<i>Myrica pubescens</i>
Bosque	Denso abierto	Laurel comino	<i>Anavia sp</i>
Bosque	Denso abierto	Pepo, umay, sindayo	<i>Panopsis polystachium</i>
Bosque	Denso abierto	Pino Silvestre	<i>Podocarpus Sp</i>
Bosque	soto bosque	Platanillo	<i>Heliconia biahi</i>
Paramo	Pajonal denso	Frailejon	<i>Espelletia spp</i>

Fuente: (CRC, 2006).

Sin embargo muchas especies se han sobreexplotado para obtener diferentes beneficios. A pesar de que existen áreas para llevar a cabo las actividades de aserrío.

Cuadro 3. Especies florísticas en extinción.

Especies	Usos
Canelo	Aserrio
Cedro	Aserrio
Pino Silvestre	Construcción y aserrio
Nogal	Aserrio y medicinal.
El roble	Construcción, aserrio y carbon
El arrayan	Alimentación, maderable y construcción

Fuente: (CRC, 2006).

Los factores geológicos y geográficos han hecho que la composición de la fauna que se conoce en la actualidad, cambie en todo el flanco de la cordillera central. Así mismo las características ecológicas han contribuido a moldear las comunidades animales desde los bosques subandinos hasta los páramos, resaltando ejemplos de adaptación que ha hecho posible la multiplicidad de vida bajo condiciones ambientales diferentes a aquellas que se encuentran en las tierras bajas de los valles. Teniendo en cuenta que el estado de conservación y de las posibilidades de subsistencia que tienen

muchas de las especies andinas es decadente ante el proceso de deterioro generalizado que se viene dando desde tiempos históricos a los diferentes ecosistemas.

Es por esto que a medida que van desapareciendo especies florísticas, también lo han hecho las faunísticas o están cada vez en mayor riesgo de extinción, en la subcuenca se puede encontrar el águila real, la danta, el oso anteojos, el puma, la guagua, el cusumbo, el venado, el cóndor, conejos, diversidad de torcazas y colibríes, chiguacos, quinquinas, chicados, pavas, tierreros, paletones, armadillos, atrapa moscas o toreadores, la tijereta, la gallina ciega, el gavián, el garrapatero, diversidad de azulejos, golondrinas negra, carpinteros, la dorotea entre otros.

Están en peligro de extinción el cóndor, la guagua, el león de páramo, la danta, el oso de anteojos, el venado, conejo, el cusumbo, la torcaza montañera, algunas especies de colibrí, los paletones y el armadillo que está en amenaza máxima.

Las especies que se pueden recuperar para evitar su extinción son: el venado, el conejo, el oso de anteojos, la danta, el cusumbe y el armadillo, las gallinetas de páramos, patos silvestres, el wuaraguau. La estrategia para salvar estas especies mencionadas es mediante el rescate de aquellas que están en cautiverio y considerar su hábitat natural como área de reserva. Y haciendo participe de esto a los habitantes, con métodos de concientización, asegurando su conservación.

CAPITULO III

FASES DE DESARROLLO DEL ESTUDIO

3.1 GENERALIDADES

El estudio se desarrolló en tres fases siguiendo un orden cronológico: fase de recopilación de información existente, fase de campo y fase de gabinete.

3.2 FASE DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN EXISTENTE

Considerando los criterios de trabajo propios de una investigación se recurrió a toda la información disponible, para lo cual se recopiló lo siguiente:

Información cartográfica: La Cartografía disponible de la subcuenca del río Las Piedras, se obtuvo de la División Ambiental de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A E.S.P, que cuenta con la autorización respectiva para emitir información oficial en su respectivo campo de trabajo, lo que permite garantizar que los datos presentados en esta investigación tengan el respaldo necesario para ser útiles y manejables. Se obtuvo la información en forma digital, con un contenido de mapas base, donde se mostraban mapas de: área, curvas de nivel, drenajes, vías, límites entre cuencas, estaciones de aforos y meteorológicas, cobertura vegetal y uso del suelo.

Información hidrometeorológica: Esta información se adquirió en carpetas en formato digital y físico, por la División Ambiental del acueducto, con registros de precipitación desde el año 1998 al 2010, de cada una de las estaciones meteorológicas presentes en la subcuenca. Estaciones como el Lago, El Diviso, Arrayanales, San Pedro y Puzná. Además, registros de caudales de la estación limnimétrica Puente Carretera, suministrado por el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia), desde el año 1969 a 2010.

3.3 FASE DE CAMPO

Reconocimiento directo in situ de evidencias históricas de la ocurrencia de dicho fenómeno, que hayan causado problemas como disminución de las aguas, daños en los suelos, en la cobertura vegetal, aumento de enfermedades y pérdidas en los cultivos, por medio de encuestas y estaciones de aforos en diferentes puntos o áreas de la subcuenca.

Con la ayuda de un navegador GPS se definieron sitios para realizar aforos periódicos en diferentes puntos del río Las Piedras y vertientes que llegan a este. Sitios como Puente Alto, El Diviso, Puente El Canelo, y río Las Piedras (Bocatoma). Con el fin de encontrar alteraciones en los caudales durante la incidencia del fenómeno El Niño, Cuadro 4.

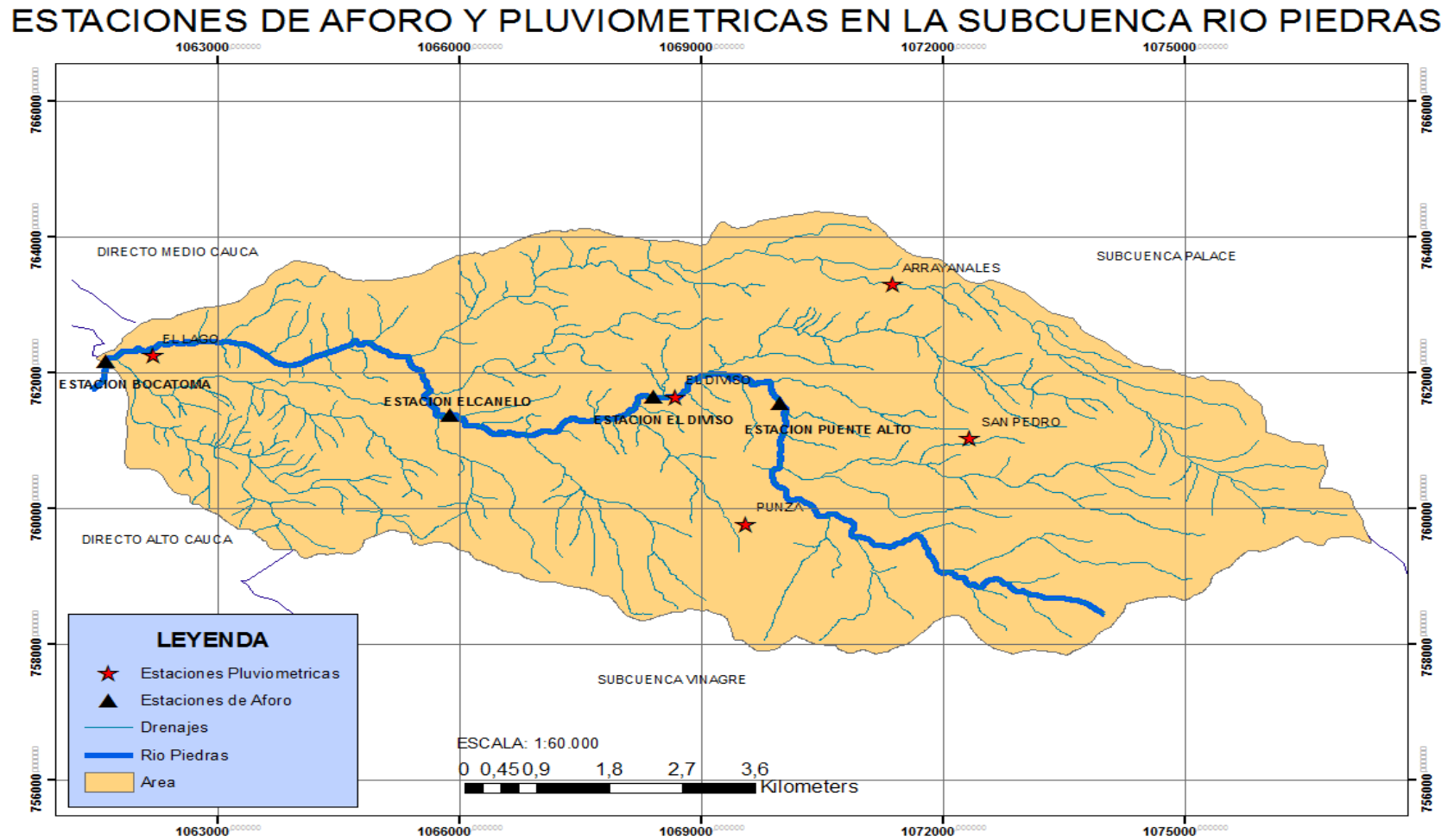
En la Figura 11 se observan las estaciones de aforo y pluviométricas en la subcuenca. En el Cuadro 4 se observan las coordenadas geográficas y planas de cada una de las estaciones de aforo.

Cuadro 4. Coordenadas geográficas y planas de cada una de las estaciones de aforo.

No	ESTACIÓN	COORDENADAS GEOGRAFICAS		COORDENADAS PLANAS	
		LATITUD	LONGITUD	N	W
1	PUENTE ALTO	2°26'36.09	76°27'56.71	761640120	1068422,05
2	EL DIVISO	2°26'33.24	76°27'06.32	761553,1	1069978,87
3	EL CANELO	2°26'27.82	76°27'18.83	761384,745	1065884,64
4	BOCATOMA	2°26'53.38	76°27'36.76	762168,16	1061622,67

Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Estaciones de Aforo y Pluviométricas en la subcuenca río Las Piedras.



Fuente: (Mapa base del Acueducto y Alcantarillado de Popayán), edición propia

3.4 FASE DE GABINETE

- Recopilación de información hidrometeorológica de las estaciones de la subcuenca río las Piedras.
- Realización del estudio hidrológico referente a caudales máximos, medios y mínimos del río Piedras en tiempos históricos y actuales.
- Análisis sobre las incidencias del fenómeno en tiempos históricos y su afectación en la subcuenca
- Identificación y análisis de la incidencia del fenómeno El Niño de junio de 2009 hasta abril de 2010, mediante la elaboración de balances hídricos y climogramas, además determinación de la oferta y demanda hídrica para el cálculo del índice de escasez.
- Procesamiento y mapeo de la información de campo y gabinete para la elaboración de los Mapas, conforme a los resultados del estudio hidrológico y datos de campo.
- Procesamiento de encuestas para determinar efectos en la subcuenca durante la incidencia de dicho fenómeno
- Conclusiones de la investigación y recomendaciones para definir acciones frente a posibles fenómenos futuros El Niño.

CAPITULO IV

AFECTACIÓN DEL FENÓMENO EL NIÑO EN LA SUBCUENCA RÍO LAS PIEDRAS

4.1 GENERALIDADES

A continuación se presentan los resultados y análisis de la variabilidad hidroclimatológica ocurrida durante la incidencia del fenómeno El Niño a nivel histórico y actual en la subcuenca río Las Piedras.

4.2 FENÓMENO EL NIÑO

EL NIÑO es un fenómeno de naturaleza marina y atmosférica que se presenta con alguna regularidad en las aguas del océano Pacífico con una frecuencia de tres a siete años y que dependiendo de la intensidad puede afectar el clima mundial, modificando el comportamiento de los períodos lluviosos y secos.

La presencia de aguas anormalmente cálidas en el sector central y oriental del Océano Pacífico tropical, es lo que comúnmente se conoce como Fenómeno El Niño. (IDEAM, 2002). El nombre de este fenómeno se refiere al hecho de que pescadores artesanales identificaron la ocurrencia estacional de agua inusualmente cálida en las costas del Perú. Esta agua más cálida solía aparecer alrededor de la festividad de la Navidad. Por este motivo, los pescadores decidieron referirse a este fenómeno denominándolo “la corriente de El Niño”, haciendo referencia al recién nacido Niño Jesús. (MATURANA, BELLO y MANLEY, 2002).

A diferencia de LA NIÑA que es un enfriamiento de las aguas marinas, EL NIÑO es el fenómeno opuesto y consiste en que las aguas normalmente frías que hacen presencia en la costa de Ecuador, Perú, el Pacífico central y Oriental se calientan en un proceso que toma varios meses y que en algunos casos puede dar marcha atrás. (IDEAM, 2006)

El Niño se genera por una fluctuación de la presión atmosférica entre un centro de altas presiones del Pacífico sudoriental y un centro de bajas presiones entre Indonesia

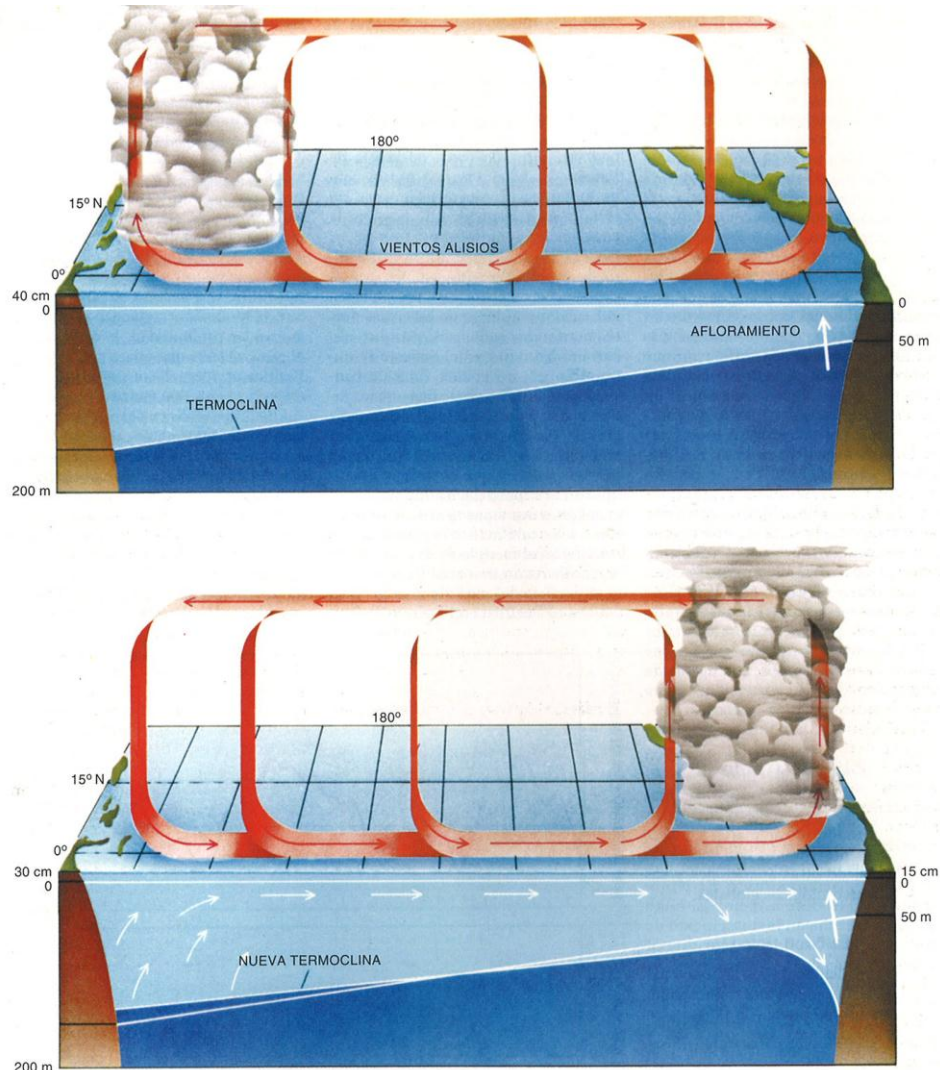
y norte de Australia. En condiciones habituales Figura 12 (grafico superior), la diferencia de presión entre esos centros da origen a vientos alisios de este a oeste (de América hacia Australia) que arrastran el agua superficial cálida hacia Australia ahondando la termoclina en Australia, lo que genera que el agua profunda y fría salga a la superficie junto a las costas de América del Sur (corriente de Humboldt). Esta corriente arrastra nutrientes del fondo principalmente fosfatos y nitratos que alimentan al fitoplancton, así crecen las poblaciones de peces y se forman las buenas pesquerías propias de la zona. De esta forma, en la parte occidental las aguas son cálidas (del orden de 29 y 30°C), en marcado contraste con el sector oriental (costa suramericana) donde se concentran aguas relativamente frías (entre 22 y 24°C). Cerca de Indonesia los vientos Alisios convergen con los vientos del oeste, provocando el ascenso del aire y desencadenando lluvias torrenciales. El aire se mueve hacia el Este en altura y desciende en el Pacífico central y oriental donde el tiempo es seco. (Ramage, 2001)

Durante un episodio El Niño Figura 12 (grafico inferior) la diferencia de presiones este-oeste se hace tan pequeña que los alisios colapsan en el pacífico occidental y en consecuencia cesa la fuerza de arrastre que la atmósfera impone al océano sobre su capa superficial, iniciándose el desplazamiento de las aguas cálidas desde el Oeste hacia el Este (de Australia a América) en forma de una onda, comúnmente denominada onda Kelvin ecuatorial, que tiene una longitud de varios miles de kilómetros y una amplitud de unos 20 a 30 centímetros. Esta onda, cruza el Pacífico tropical, en un lapso de 50 a 60 días, hasta llegar a la costa de Suramérica, esto provoca el hundimiento de la termoclina frente a Suramérica con lo que se impide que afloren a la superficie las corrientes frías que arrastran nutrientes del fondo (Ramage, 2001).

El calentamiento de la superficie del Océano Pacífico cubre grandes extensiones y por su magnitud afecta el clima en diferentes regiones del planeta, entre ellas, el norte de Suramérica donde está situado el territorio colombiano. Este calentamiento tiene un promedio de duración de doce (12) meses; sin embargo, han sido registrados fenómenos muy cortos, con duración de siete (7) meses (1946), y eventos prolongados hasta veintiocho (28) meses (1939-1942). El calentamiento del océano relacionado con el fenómeno El Niño es recurrente, aunque no periódico y, en

términos generales, se presenta entre cada tres (3) y cada siete (7) años. (IDEAM, 2002).

Figura 7. Anomalías superficiales del Pacífico.



Fuente: Ramage, 2001

Dentro de la evolución típica de un fenómeno El Niño es posible identificar las siguientes fases: inicio, desarrollo, madurez y debilitamiento.

La **fase inicial** es el desplazamiento de aguas cálidas desde el sector occidental del Pacífico tropical hacia la zona cercana a la línea de cambio de fecha (los 180° de

longitud). No obstante, en esta etapa, otros procesos oceánicos y atmosféricos pueden revertir el proceso iniciado.

En la **fase de desarrollo** continúa el desplazamiento de las aguas cálidas hacia el oriente a través del Pacífico tropical.

En la **fase de madurez** es posible encontrar el máximo calentamiento de la superficie del mar en el sector oriental del Pacífico tropical frente a las costas de Perú, Ecuador y Colombia.

Finalmente, en la **fase de debilitamiento** se presenta la disminución del calentamiento de las aguas del Pacífico tropical oriental hasta llegar a condiciones cercanas a las normales (IDEAM, 2002).

En el caso de Colombia, 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 haberse tomado las precauciones necesarias los impactos en algunos sectores productivos pueden hacerse mayores por un creciente déficit acumulado de precipitación. Esto lógicamente incide en una disponibilidad menor del recurso hídrico que ante una demanda creciente puede generar problemas relacionados con el abastecimiento normal de agua para consumo humano o industrial, para el sector agrícola y ganadero o para la generación de energía. Igualmente la reducción de los caudales en pequeños ríos y quebradas origina mayores concentraciones de residuos peligrosos para la salud humana. El establecimiento de condiciones más secas, cuando el fenómeno alcanza su etapa de maduración, generalmente hacia finales de año, ayuda a que las temperaturas suban y a que la ocurrencia de incendios forestales aumente (IDEAM, 2002).

El conocimiento del fenómeno El Niño, su variabilidad, intensidad y sus efectos sobre los diferentes sectores, permitirá el desarrollo de posteriores estudios y las medidas necesarias a tener en cuenta en la subcuenca para atenuar los efectos.

4.3 INCIDENCIA HISTÓRICA DEL FENÓMENO EL NIÑO EN LA SUBCUENCA

Para realizar el análisis histórico del fenómeno El Niño en la subcuenca río Las Piedras se recopiló información de estaciones hidroclimatológicas ubicadas en la zona, estos registros previamente procesados permiten identificar y comparar la variabilidad que presentan los componentes hidroclimatológicos en la subcuenca cuando son afectados por este fenómeno. La información recopilada fue suministrada por la División Ambiental del Acueducto, IDEAM y GEA.

En el **Anexo A** se observa la ocurrencia del fenómeno El Niño y La Niña de acuerdo con el Indicador Oceánico Niño (ONI), indicador elaborado por el Centro de Predicción Climática de la Agencia Nacional Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos (NOAA).

El ONI se obtiene a partir de una temperatura media superficial móvil para tres meses de anomalías (temperatura media menos temperatura del periodo de referencia) en la región central del océano Pacífico tropical, para el período de referencia 1971 – 2000. De esta manera un evento Niño corresponde a la secuencia de al menos 5 ONI, cada uno con magnitud mayor o igual a 0,5°C; en un evento Niña la secuencia es de al menos 5 ONI, con magnitud igual o menor que -0,5°C. (Guevara Díaz, 2008). Por otra parte, el inicio y finalización de un fenómeno dado, por ser calculado a partir de una media móvil de 3 meses, será siempre el mes intermedio **Anexo A**. Es importante destacar, que el valor del ONI, determina en buena parte la intensidad de cada evento; así la NOAA clasifica la intensidad de estos eventos de acuerdo al ONI, para un evento débil $0.5 \geq \text{ONI} \geq 0.9$, evento moderado $1.0 \geq \text{ONI} \geq 1.4$, evento fuerte $\text{ONI} \geq 1.5$. La clasificación de los eventos se cumple para los valores ONI mayores o iguales durante al menos tres meses (NOAA, 2011).

4.3.1 Caudales

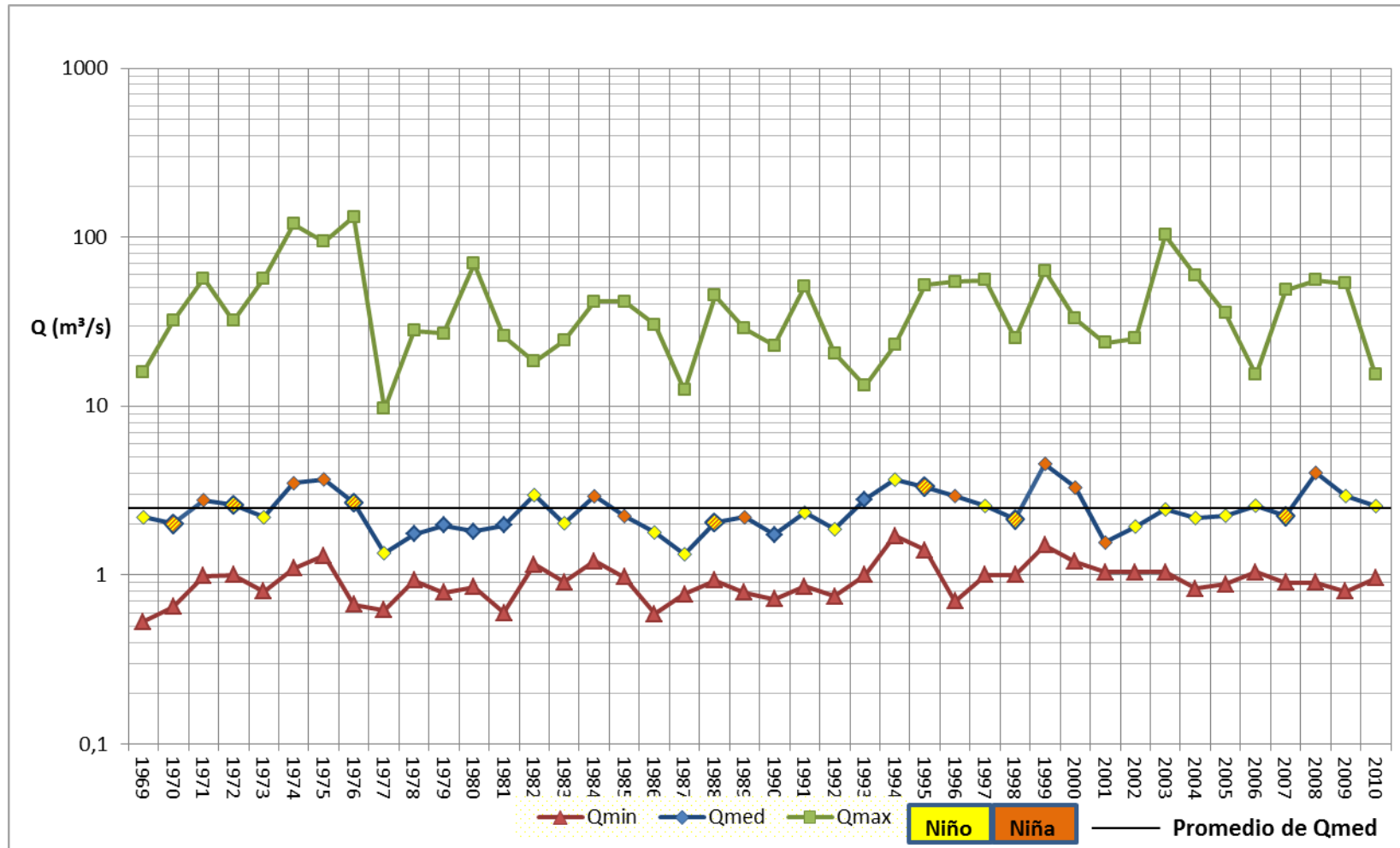
El análisis histórico de caudales del río Las Piedras se realizó con información a partir del año 1969 hasta 2010 de la estación limnimétrica Puente Carretera, esta información procesada permite analizar el comportamiento de los caudales máximos, medios y mínimos del río Las Piedras durante los eventos El Niño. En el **Anexo B** se muestra la información anual de caudales del río Las Piedras con la que se realizó la Figura 13, en la cual se muestra el promedio de caudales medios anuales y los caudales máximos y mínimos registrados cada año. Además en esta figura los puntos

amarillos ubicados en la línea de caudales medios corresponden al año de ocurrencia del fenómeno El Niño; los puntos de color naranja corresponden a los años afectados por el fenómeno la Niña de acuerdo con la información del **Anexo C** y los puntos de color amarillo y naranja son años de transición en donde se dio el pasó de un fenómeno a otro en el mismo año, pero no de una manera inmediata.

De acuerdo a la Figura 13, la disminución o caída en los registros anuales de caudales máximos, medios y mínimos del río Las Piedras, se han presentado generalmente durante la incidencia del fenómeno El Niño. Los valores más bajos de caudales medios registrados históricamente por la estación Puente Carretera se alcanzaron con valores de 1,35 m³/s en 1977 y 1,33 m³/s en 1987 durante el fenómeno El Niño, aunque en el año 2001 (afectado por el fenómeno La Niña) también se obtuvo una reducción en el caudal medio. Las principales disminuciones en los valores de caudales mínimos se presentan durante la incidencia del fenómeno El Niño: 0,53 m³/s en 1969; 0,8 m³/s en 1973; 0,62 m³/s en 1977; 0,6 m³/s en 1981 y 0,59 m³/s en 1986; en 1996 se registró un caudal mínimo de 0,7m³/s con afectación del fenómeno La Niña. Los caudales máximos del río Las Piedras generalmente han presentado disminuciones durante la influencia del fenómeno El Niño con valores de 9,65 m³/s en 1977; 12,48 m³/s en 1987 y 15,36 m³/s en 2006; en 1993 no se presentaron fenómenos Niño o Niña, pero el caudal máximo anual disminuyó hasta 13,2 m³/s.

A partir del año 2000 los valores de caudales medios y mínimos anuales tienden a estabilizarse inclusive con afectación del fenómeno El Niño o la Niña. En la figura también se puede observar que los principales incrementos en los registros de caudales medios se obtuvieron durante la influencia del fenómeno La Niña: 3,69m³/s en 1975, 4,56 m³/s en 1999 y 4,03 m³/s en 2008. Así mismo los caudales máximos históricos de 120 m³/s en 1973 y 132 m³/s en 1975 se alcanzaron en años influenciados por el fenómeno La Niña. Es importante notar que en la última década los eventos La Niña obtuvieron los valores de caudales medios históricos más altos.

Figura 8. Caudales históricos anuales del río Piedras.

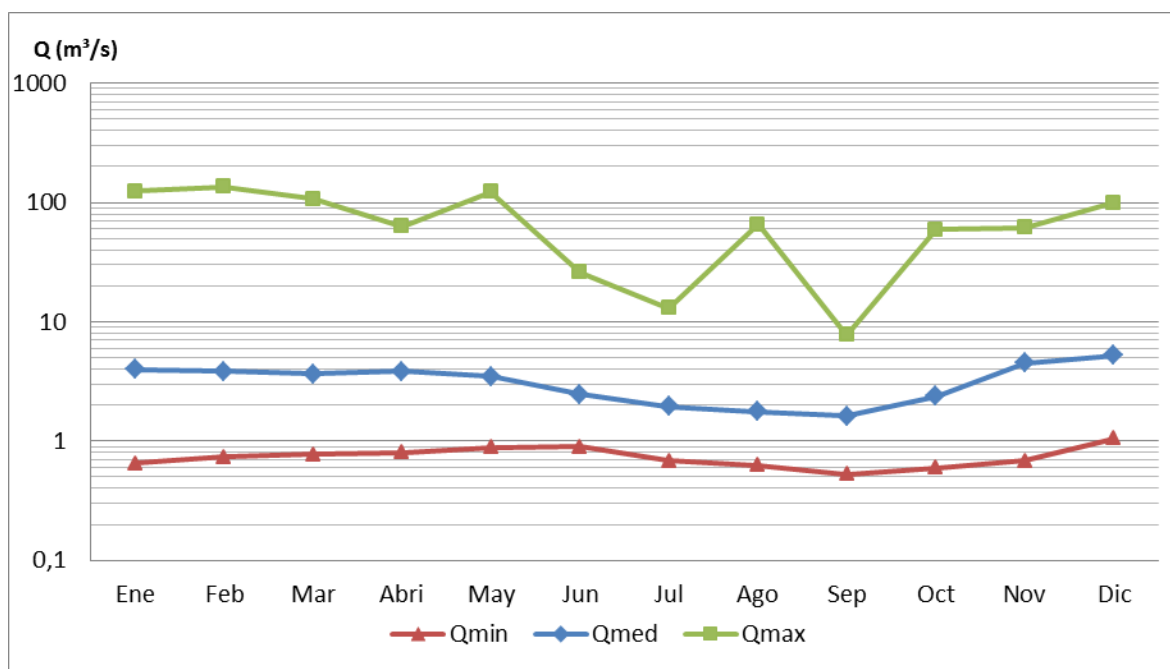


Fuente: Elaboración propia, datos de (IDEAM, 2010)

La Figura 14, resume el promedio histórico de caudales medios mensuales, y los caudales máximo y mínimo históricos mensuales de la estación limnimétrica Puente Carretera del año 1969 a 2010. Los valores con los que se realizó esta figura se presenta en el **Anexo C**.

De acuerdo con la Figura 14 los períodos secos de la subcuenca muestran una relación con la disminución en los caudales del río Las Piedras para el período de junio a septiembre. En el mes de septiembre se presentan los valores más bajos tanto en caudal máximo con 6,1 m³/s, medio con 1,09 m³/s y mínimo con 0,53 m³/s. Es importante tener en cuenta que agosto de 1999 registró un valor de caudal máximo de 63,33 m³/s valor único y poco usual para este mes, y de acuerdo al **Anexo D** este se presentó durante la influencia del fenómeno La Niña, sucedido de julio de 1998 a junio del 2000, razón por la cual la línea de caudales máximos presenta una creciente súbita en agosto, pero es de tener en cuenta que este valor no ha sido ni igualado ni superado en todos los registros de caudales que existen para el mes de agosto. Los caudales del río Piedras luego de la disminución presentada de junio a septiembre tienden a recuperarse a partir de octubre y noviembre, meses en los cuales las precipitaciones se incrementan.

Figura 9. Caudales históricos mensuales del río Piedras.



Fuente: Elaboración propia, datos de (IDEAM, 2010)

En el Cuadro 5 a continuación se presentan los fenómenos El Niño ocurridos desde 1968, identificados por el comportamiento de la temperatura superficial en la región central del océano Pacífico tropical, realizado por el Centro de Predicción Climática de la NOAA, **Anexo A**.

Cuadro 5. Fenómenos El Niño ocurridos desde 1968 a 2010

Evento	Meses	Inicio	Final	Clasificación de acuerdo al (ONI)
El Niño	8	nov-1968	jun-1969	Débil
El Niño	5	sep-1969	ene-1970	Débil
El Niño	11	may-1972	mar-1973	Fuerte
El Niño	6	sep-1976	feb-1977	Débil
El Niño	5	sep-1977	ene-1978	Débil
El Niño	14	may-1982	jun-1983	Fuerte
El Niño	19	ago-1986	feb-1988	Fuerte
El Niño	15	may-1991	jul-1992	Fuerte
El Niño	11	may-1994	mar-1995	Moderado
El Niño	13	may-1997	may-1998	Fuerte
El Niño	11	may-2002	mar-2003	Moderado
El Niño	9	jun-2004	feb-2005	Débil
El Niño	6	ago-2006	ene-2007	Débil
El Niño	11	jun-2009	abr-2010	Fuerte

Fuente: (IDEAM, 2010).

La Figura 15 muestra las anomalías en los caudales medios mensuales del río Las Piedras para cada fenómeno El Niño a partir de 1968. De acuerdo con el Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en Centroamérica (CEPRENAC) 2002, las anomalías para caudales medios consisten en la diferencia entre los caudales medios mensuales durante la incidencia del fenómeno con el caudal medio histórico, que para el caso de la subcuenca río Las Piedras es de 2,52 m³/s para el periodo 1969 a 2010.

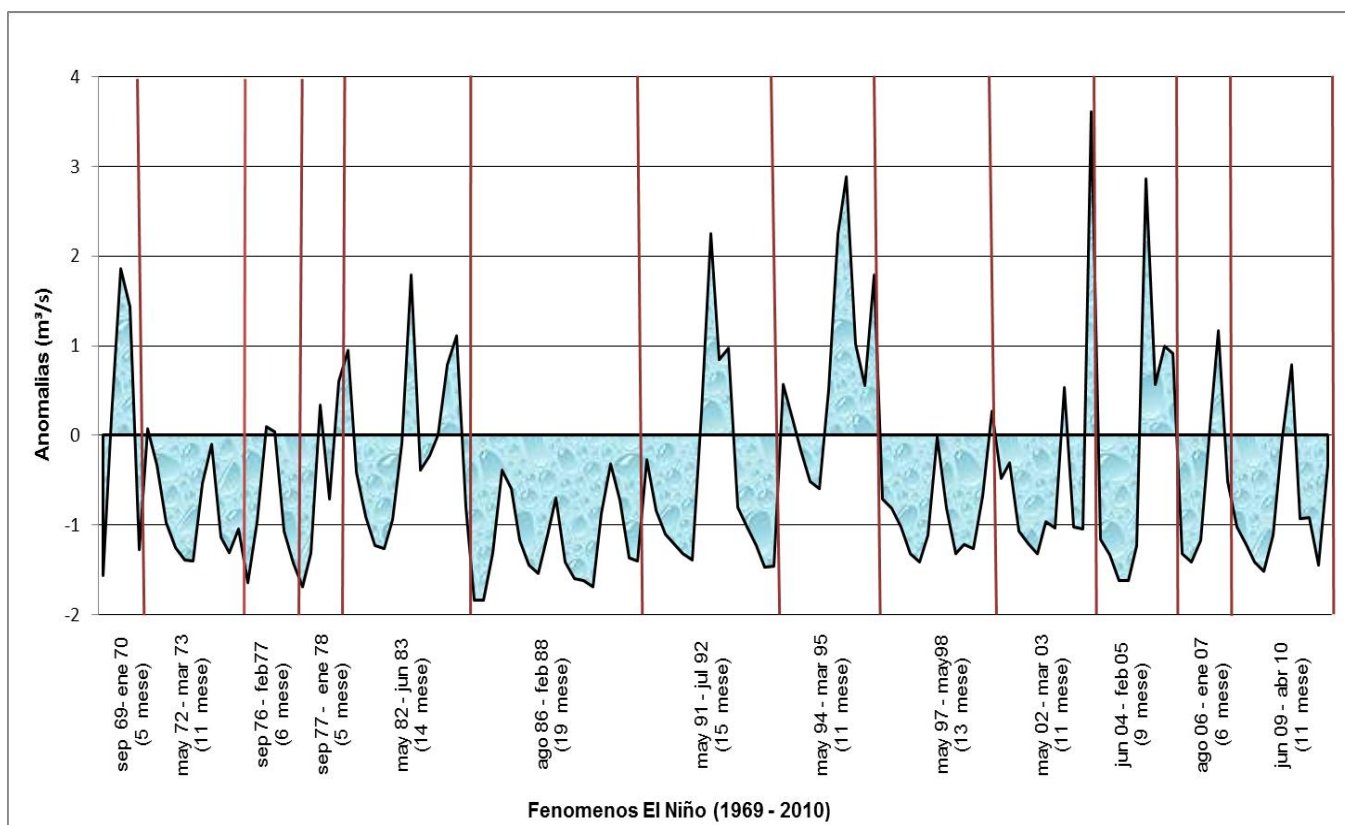
De acuerdo a los caudales medios mensuales registrados en la estación Puente Carretera durante el fenómeno El Niño, se presentan en un 75% de los meses afectados anomalías negativas entre 0,3 y 1,8 m³/s por debajo del caudal medio histórico (2,52 m³/s). Generalmente durante la ocurrencia del fenómeno El Niño el río

Las Piedras presenta recuperaciones en su caudal o anomalías positivas desde 0,1 a 3,6 m³/s. La recuperación que se produjo en el fenómeno El Niño de 2009 se debió al paso de un frente frío por la región en noviembre de 2009, con lo cual se incrementaron las precipitaciones y de esta manera el caudal de los ríos.

Es importante notar que algunos fenómenos El Niño no presentan anomalías positivas (1972,1986 y 1997) y de acuerdo con la clasificación de la NOAA Cuadro 5, corresponden a eventos de categoría fuerte, así como el evento de 2009, aunque este presentó anomalías positivas también está en la categoría de fenómeno fuerte.

La variabilidad que presenta el caudal del río Las Piedras durante los meses de afectación del fenómeno El Niño se refleja en la disminución del potencial hídrico de la subcuenca para satisfacer las necesidades básicas humanas como abastecimiento, agricultura, industria, etc.

Figura 15. Anomalías de caudales medios mensuales del río Las Piedras, afectados por el fenómeno El Niño respecto del caudal medio histórico (1969 a 2010).



*Qmed histórico = 2,52 m³/s

Fuente: Elaboración propia, (datos IDEAM).

4.3.2 Precipitaciones

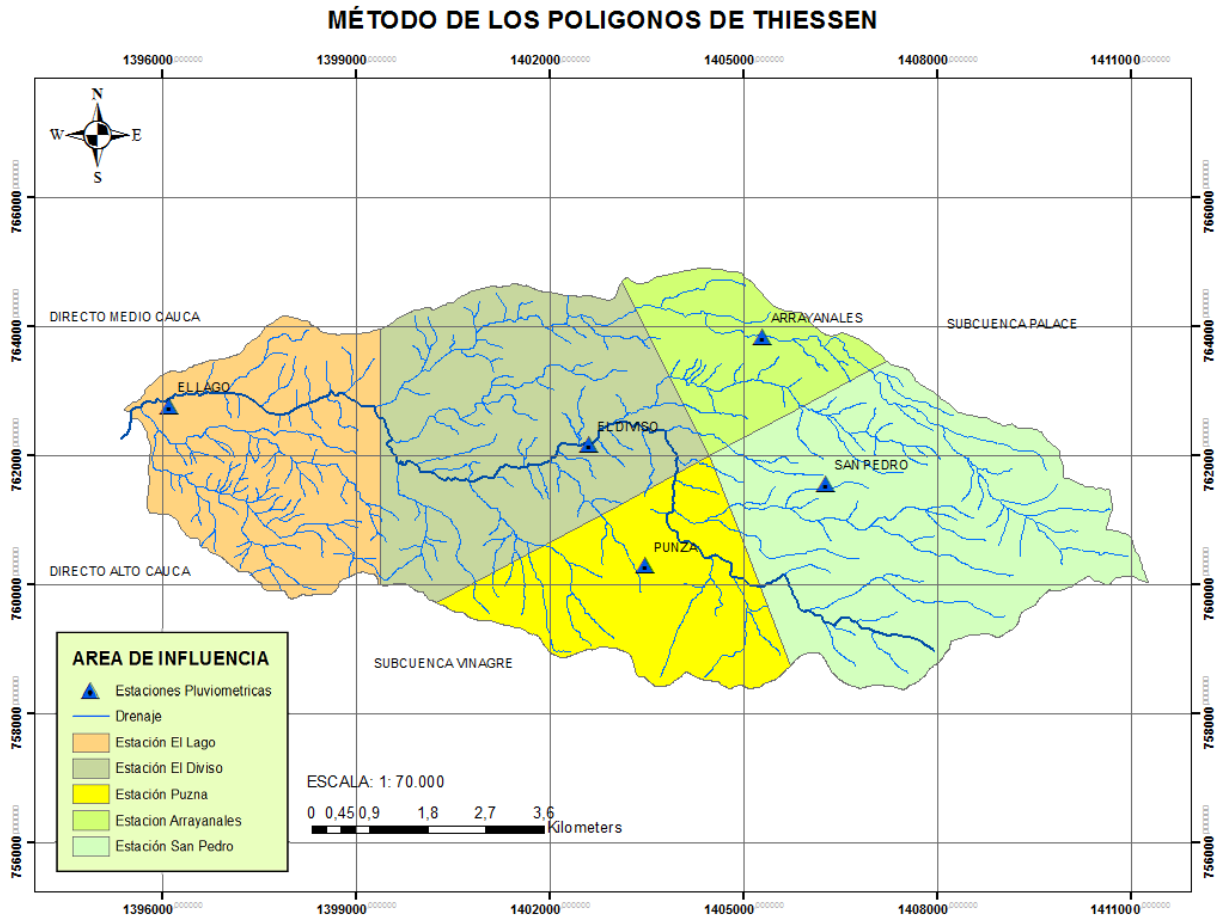
La subcuenca río Las Piedras cuenta con cinco estaciones pluviométricas (San Pedro, Arrayanales, Diviso, Puzná y El Lago) con registros desde 1998. La información correspondiente a precipitaciones mensuales no está completa, por lo que se considera necesario hacer un estimativo de datos faltantes por correlación lineal. El método según González, Luis J, (2008); establece una asociación estadística o gráfica entre los datos de dos estaciones, una de las cuales carece de la información pluviométrica para un período determinado. Los valores parciales de las dos estaciones se llevan a unas coordenadas cartesianas ajustando los puntos a una línea recta, cuya ecuación permitirá determinar la cantidad de precipitación en la estación faltante. A modo ejemplo en el **Anexo F** se muestra la correlación lineal realizada entre las estaciones El Lago y San Pedro, en este caso la información que se desea completar es de la estación El Lago.

Luego de estimar los datos faltantes se debe analizar su consistencia y homogeneidad mediante el método de dobles masas, el cual se basa en el hecho de que un gráfico de una cantidad acumulada contra la acumulación de otra cantidad durante el mismo periodo será una línea recta siempre y cuando los dos sean proporcionales; la pendiente de la línea representara la constante de proporcionalidad entre las dos cantidades. El método de dobles masas también sirve para corregir las inconsistencias que se pueden presentar en la serie de datos (González, 2008).

En el **Anexo G** se expone el resultado del análisis de dobles masas para las estaciones San Pedro, Arrayanales, Diviso, Puzná y El Lago.

Después de verificar y corregir la consistencia de los datos se procede a calcular la precipitación media anual en el área de la subcuenca por el método de los polígonos de Thiessen Figura 16. Este método de acuerdo con González, se utiliza cuando se tiene una distribución no uniforme de los pluviómetros; pondera el dato de cada estación en proporción a la separación entre las estaciones; cada estación se rodea de un polígono y supone que cada una de las áreas recibe la misma precipitación que la estación central. El trazado de los polígonos consiste en trazar mediatrices a los segmentos que unen las estaciones.

Figura 10. Método de los Polígonos de Thiessen.



Fuente: Elaboración propia.

A continuación en el Cuadro 6 se realiza un ejemplo del cálculo de la precipitación media anual para el año 1998 a partir de las áreas obtenidas por el método de polígonos de Thiessen. En el Cuadro 7 se presentan los resultados de las precipitaciones medias anuales calculadas por el mismo método, para el periodo 1998-2010.

Cuadro 6. Cálculo de la precipitación media anual, año 1998 subcuenca río Las Piedras, método de Thiessen.

	Estación	Precipitación media anual (mm)	Área Km ²	% Área	Precipitación ponderada	
1998	Puzná	2549,73	9,8	14,29	36435,64	
	Arrayanales	1843	8,68	12,65	23313,95	
	Diviso	1669,12	17,93	26,14	43630,8	
	San Pedro	2623,07	19,23	28,03	73524,65	
	El Lago	1981,01	12,96	18,89	37421,28	
	Total			68,6	100	214326,32
	Precipitación media anual =					2143,26 mm

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 7. Precipitación media anual, subcuenca río Las Piedras. Método de Thiessen.

Año	Precipitación
1998	2143,26
1999	3830,35
2000	2420,37
2001	1515,75
2002	2036,19
2003	1999,23
2004	2564,03
2005	2295,85
2006	2066,88
2007	2200,22
2008	2821,45
2009	2119,58
2010	2581,2

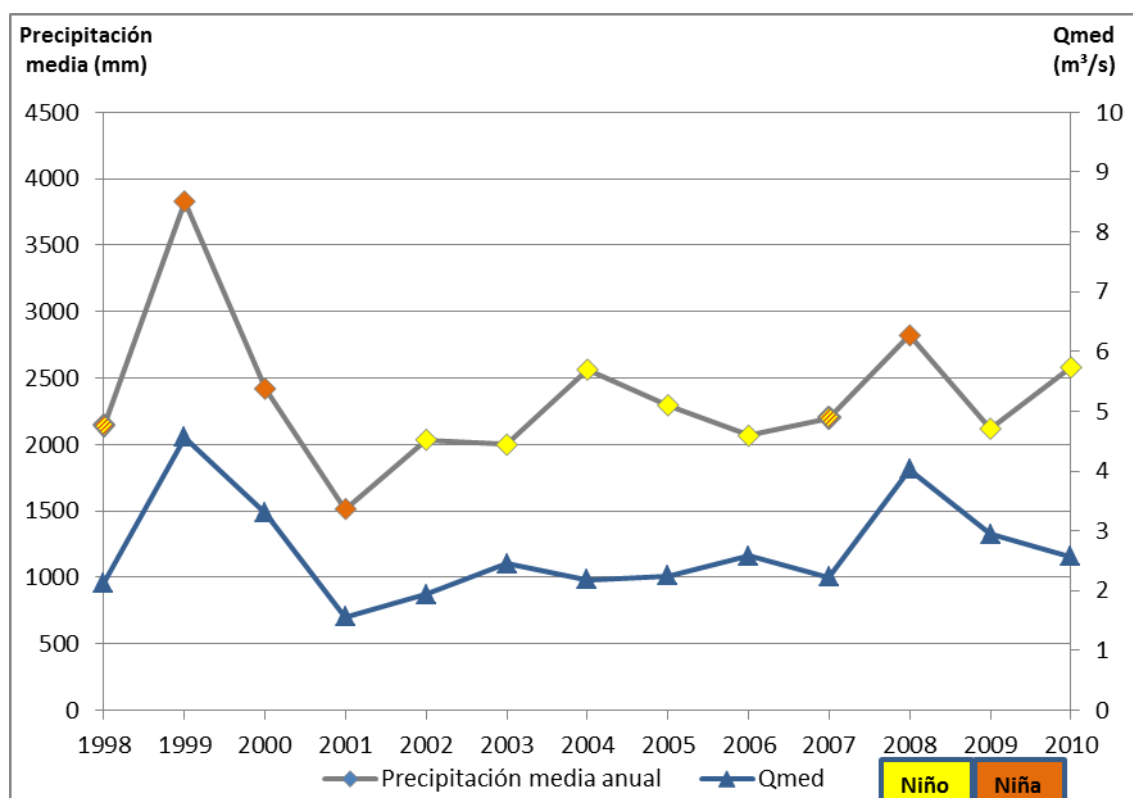
Fuente: Elaboración propia.

La Figura 17 muestra la variabilidad anual del comportamiento de las precipitaciones en la subcuenca y los eventos Niño y Niña que se han presentado durante este periodo. Los años que fueron afectados por el fenómeno El Niño se representan con puntos de color amarillo, La Niña con color naranja y los puntos con líneas de color naranja y amarilla son años en los cuales se dio el paso de un fenómeno a otro. Los máximos valores de precipitación anual se presentan durante años de influencia del fenómeno La Niña, en 1999 con 3830 mm y 2008 con 2821 mm. Para los años

influenciados por el fenómeno El Niño se presentan disminución en los valores de precipitación anual, con registros que oscila entre 2036 mm y 2581 mm para el periodo de estudio. Es importante notar que el valor más bajo de precipitación anual es de 1515 mm, que se obtuvo en el 2001, año influenciado por el fenómeno La Niña, debido a que en la subcuenca se pueden obtener disminuciones notables en el régimen anual de precipitaciones pese a estar afectado por un fenómeno como La Niña.

Por otro lado también se realiza una comparación de las fluctuaciones anuales de precipitaciones en el área de la subcuenca y caudales medios del río Las Piedras, de donde se obtiene que el caudal sea de régimen pluvial ya que sus incrementos anuales se asocian a periodos de lluvias, además cuando las lluvias disminuyen también los caudales se reducen.

Figura 11. Variación de las precipitaciones y los caudales medios anuales con los eventos Niño-Niña en la subcuenca río Las Piedras.



Fuente: Elaboración propia.

4.4 SEGUIMIENTO Y ANALISIS DEL RECIENTE FENOMENO EL NIÑO EN LA SUBCUENCA RÍO PIEDRAS

La información hidroclimatológica recopilada es utilizada para identificar la afectación del fenómeno El Niño en la subcuenca durante el período de incidencia del mismo (junio 2009 - abril 2010), mediante la elaboración de gráficos de caudales mensuales, balances hídricos y climogramas, donde se puede observar la variabilidad hidroclimatológica sucedida durante los meses de permanencia del fenómeno.

4.4.1 Caudales

El seguimiento a los caudales mensuales máximos, medios y mínimos del río Piedras durante el fenómeno El Niño se realizó con información de la estación limnimétrica Puente Carretera de enero de 2009 hasta diciembre de 2010, en el **Anexo H** se puede observar esta información, con la cual se realizó la Figura 18. Esta figura muestra el promedio de caudales medios mensuales y los caudales máximo y mínimo registrados cada mes. Además, los puntos amarillos ubicados en las líneas de caudales corresponden a los meses de ocurrencia del fenómeno El Niño, la línea recta es el valor promedio de caudales medios.

En la Figura 18, los caudales del río Las Piedras muestran una progresiva disminución durante el inicio del fenómeno, que corresponde a los meses de junio, julio, agosto y septiembre de 2009, en los cuales se presenta muy poca diferencia entre los caudales instantáneos máximos y mínimos con el caudal medio.

Durante el fenómeno se presenta el paso de un frente frío por la región; este frente frío incrementa las precipitaciones, lo que conlleva a una recuperación de caudales en octubre, noviembre y diciembre. Luego del paso del frente frío los caudales afectados por el fenómeno vuelven a disminuir progresivamente durante enero, febrero y marzo, en abril los caudales inician su recuperación debido a que el fenómeno llega a su fase de debilitamiento.

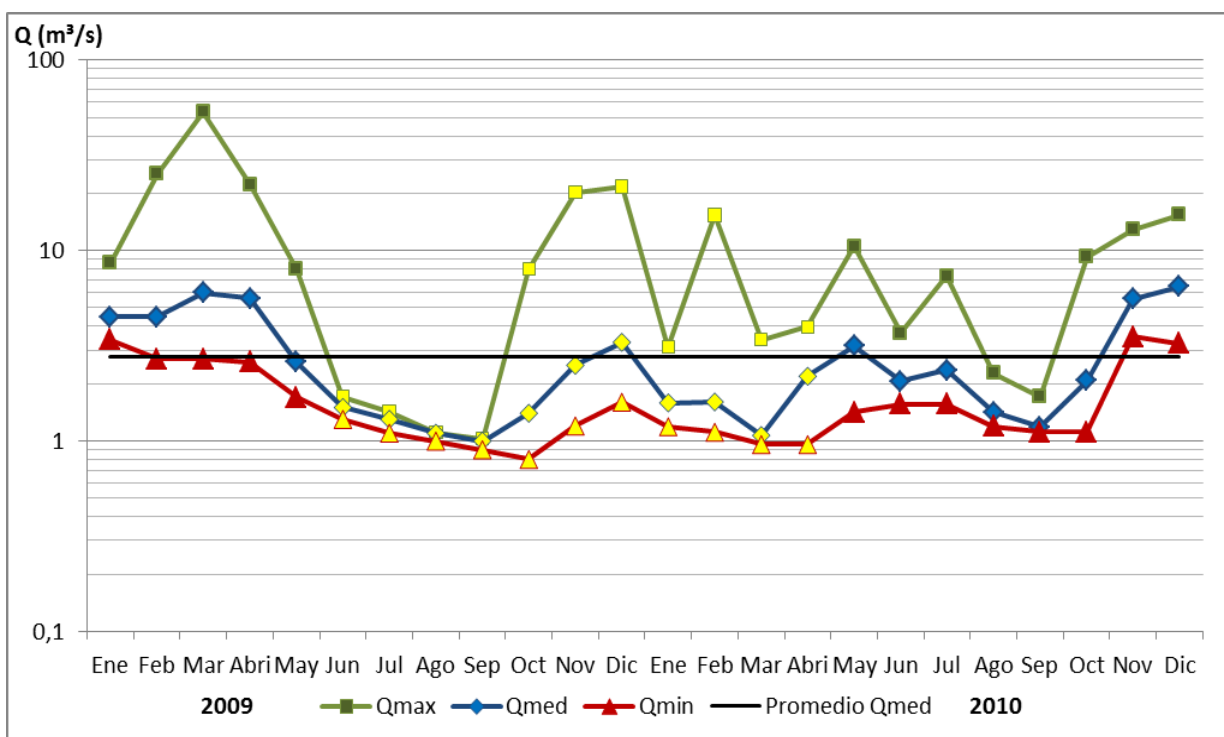
La línea que representa el promedio de caudales medios compara el registro mensual de caudales con fenómeno y sin fenómeno para los dos años de registro y de acuerdo a esto los meses enero, febrero, marzo y abril, presentan la variabilidad de caudales

medios más notoria ya que estos meses con fenómeno (año 2010) presentan un comportamiento inversamente proporcional a los mismos meses sin fenómeno (año 2009).

En general los caudales medios y mínimos de los meses con incidencia del fenómeno El Niño tienden a una mayor disminución que los caudales históricos mensuales; sin afectación del fenómeno, habitualmente se registran caudales superiores a los caudales históricos mensuales.

También es importante analizar los registros de caudales máximos porque con éstos se identifican las crecientes súbitas obtenidas en un período de estudio determinado y de acuerdo al gráfico las más significativas se presentan en el año 2009, en marzo con 53,21 m³/s, noviembre con 20,22 m³/s y diciembre con 21,73 m³/s, estos últimos dos meses con afectación del fenómeno El Niño. Las crecientes súbitas deben ser constantemente monitoreadas ya que pueden causar daños a las estructuras del sistema de abastecimiento.

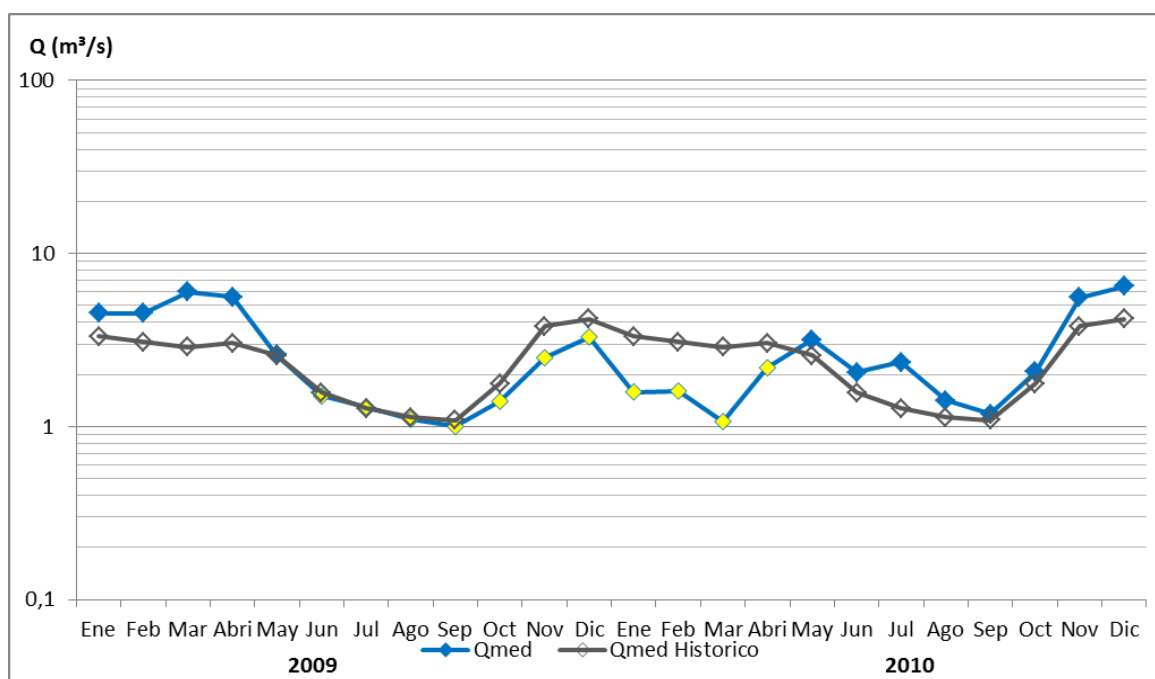
Figura 12. Registro de caudales durante la ocurrencia del fenómeno El Niño en el río Piedras, estación Puente Carretera.



Fuente: Elaboración propia, datos de (IDEAM, 2010)

Los caudales medios mensuales correspondientes a 2009 y 2010, se comparan con los caudales medios históricos para verificar su comportamiento con afectación del fenómeno y sin fenómeno. La Figura 19 muestra que durante los meses considerados “secos” (junio a septiembre) los caudales afectados por el fenómeno presentan un comportamiento igual al histórico durante junio, julio y agosto; en septiembre el caudal medio registrado con afectación del fenómeno fue 1 m³/s, valor inferior al obtenido históricamente para ese mes. De octubre a diciembre aunque los caudales se recuperaron al presentarse incremento de precipitaciones ocasionadas por el paso de un frente frío por la región, los caudales no lograron igualar el registro histórico obtenido para estos meses. Enero, febrero y marzo son los meses con la mayor disminución de caudal en comparación con el registro histórico, y es marzo el mes con la mayor disminución de caudal durante el fenómeno ya que presentó una reducción del 37%. Generalmente los meses que no están afectados por el fenómeno El Niño obtienen caudales por encima del registro histórico para cada mes.

Figura 13. Caudal medio durante la incidencia del fenómeno El Niño y caudal medio histórico.



Fuente: Elaboración propia, datos de (IDEAM, 2010)

La subcuenca río Las Piedras como se mencionó anteriormente pertenece a la cuenca Cauca, su red de drenaje está conformada por 13 microcuencas. Entre ellas se

encuentran Buena Vista, Aguas Claras, Palmichal, La Chorrera, Arrayanales, Pichagua, El Vaho, Carnicería, El Limonal, El Arado, Santa Teresa, Robles y el río Las Piedras. La corriente Robles o Piedra grande vierte sus aguas al embalse de Florida II y ya no es afluente del río las Piedras (Recaman Mejía, 2006).

Durante el evento El Niño, se realizaron dos aforos generales a las microcuencas aportantes del río Las Piedras antes de la desembocadura a la vertiente principal de este río; los aforos se realizaron con molinete en agosto de 2009 y febrero de 2010, los resultados se comparan con los obtenidos por Recaman Mejía en agosto de 2001 en la investigación “Evaluación de la oferta y demanda hídrica de la subcuenca río Las piedras”. La realización de estos aforos tiene como objetivo verificar y comparar el aporte de caudal que realizan las microcuencas al caudal del río Las Piedras, además, de identificar los aportes por afluentes menores y flujos subsuperficiales.

Los resultados actuales y los obtenidos en 2001 se presentan en el Cuadro 8, en la Figura 20 se comparan los porcentajes de aportación de las microcuencas para agosto de 2001 sin fenómeno, agosto de 2009 y febrero de 2010 con afectación del fenómeno El Niño.

Cuadro 8. Aportes de microcuencas al río Piedras.

Microcuencas	Afluentes	Sin fenómeno		Afectado por fenómeno El Niño			
		Agosto 2001		Agosto 2009		Febrero 2010	
		Q (L/s)	Aporte (%)	Q (L/s)	Aporte (%)	Q (L/s)	Aporte (%)
Sta. Teresa	23	80	8	66,4	8	184,61	19
El Arado	1	30	3	32,01	4	71,19	7
Carnicería	4	30	3	18,4	2	40,22	4
Vaho	14	40	4	59,85	8	93,7	9
Aguas claras	4	90	8	105,25	13	102,61	10
La Chorrera	3	30	3	8,91	1	9,69	1
Arrayanales	32	70	7	124,79	16	193,11	20
Pichagua	5	30	3	31,25	4	54	5
Palmichal	1	20	2	5,82	1	7,88	1
Buena vista	6	70	7	55,4	7	69,97	7
El Limonal	7	60	6	47,48	6	59,97	6
Otros aportes		480	46	235,82	30	112,55	11
Río Las Piedras		1030	100	791,38	100	999,5	100

Fuente: Elaboración propia y datos de Recaman Mejía, 2006

La Figura 20 muestra las variaciones de aporte en porcentaje de las microcuencas al caudal total del río Las Piedras para los aforos efectuados. En agosto de 2001, mes sin afectación del fenómeno El Niño, se realizó un aforo general a las microcuencas en el cual se presentó el reporte de caudal más bajo durante la investigación realizada por Recaman Mejía; en este caso el caudal total del río Piedras fue aportado en un 54% por las microcuencas aforadas y el 46% restante fue contribuido por afluentes menores y otros aportes, que en época de estiaje corresponden a flujos subsuperficiales.

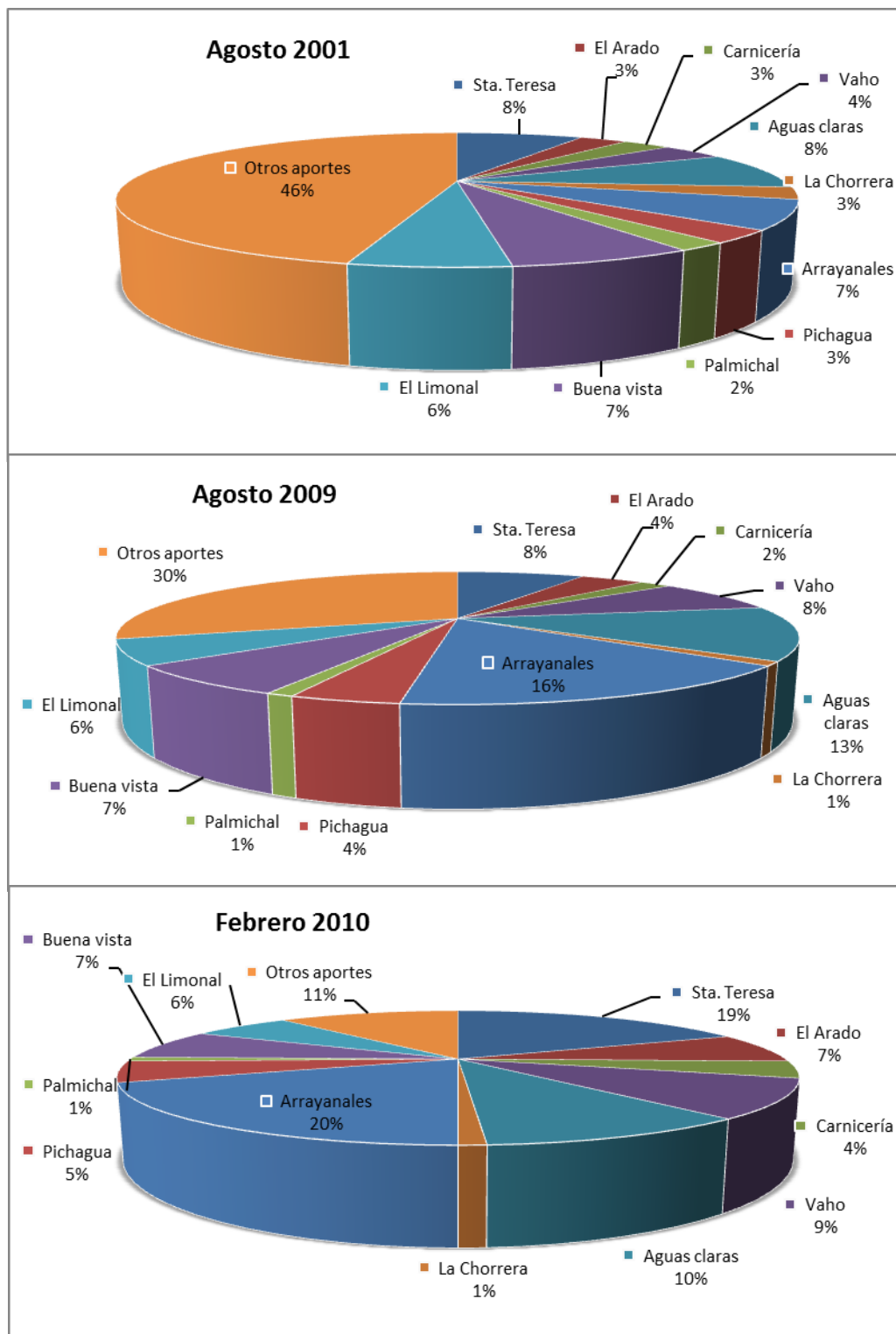
Esta importante contribución se debe a que la zona cuenta con una buena regulación hídrica ya que es considerada como un reservorio estratégico, debido a las características del suelo y vegetación que son las ideales para retención de humedad y cuenta con acuíferos que retienen y almacenan el agua, como lo indica Recaman Mejía, 2006, 49 y 129: “los análisis realizados a los suelos en la subcuenca muestran retención de humedad muy alta para las diferentes texturas, predominando la franco arcillosa que tiene la mayor capacidad de almacenamiento; las unidades de paisaje definidas en la subcuenca comprenden zonas de paramo, bosques altoandinos, bosques subandinos y andinos; este ecosistema es considerado como un reservorio estratégico, está conformado por 13 microcuencas, humedales y manantiales”. “Además en los periodos de estiaje los caudales corresponden a los aportes por flujos subsuperficiales (aguas subterráneas)”.

También se realizaron aforos con afectación del fenómeno El Niño en agosto de 2009 y febrero de 2010. Para agosto se obtuvo un aporte del 30% al caudal del río Piedras por afluentes menores y flujos subsuperficiales, históricamente se considera como un mes seco con disminuciones importantes de caudal. Por otra parte en febrero las microcuencas aforadas presentan un incremento o recuperación en sus caudales durante el fenómeno y de acuerdo al gráfico en este mes el porcentaje correspondiente a otros aportes disminuye, esto se debe a que en períodos de no estiaje el aporte de caudal al río Piedras corresponde a flujos superficiales.

Con afectación del fenómeno tanto en época de escasez (agosto) como de posible recuperación (febrero) las microcuencas que mayor aporte hacen al caudal del río Piedras son Sta. Teresa (8 a 19) % y Arrayanales (16 a 20) %, estas microcuencas cuentan con el mayor número de afluentes de la subcuenca 23 y 32 respectivamente;

las de menor porcentaje de aporte son Palmichal y La Chorrera con 1% y tienen 1 y 3 afluentes.

Figura 14. Aportes de microcuencas al río Piedras

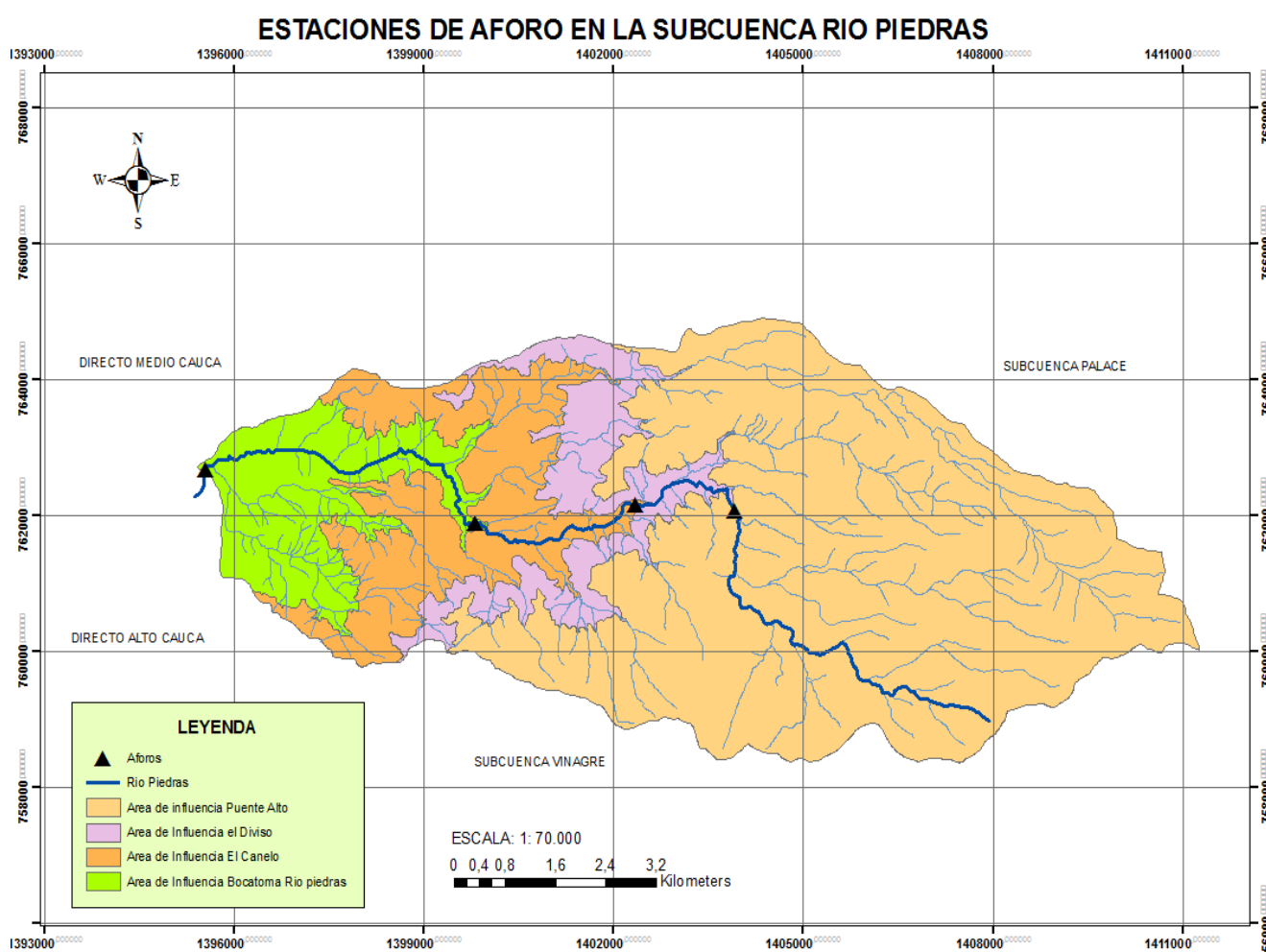


Fuente: Elaboración propia

Además de los aforos realizados a las microcuencas también se efectuaron aforos a estaciones de muestreo establecidas por la División Ambiental del Acueducto, estos se llevaron a cabo en octubre, noviembre y diciembre de 2009 así como en enero, febrero y junio de 2010. Durante la ejecución de algunos aforos se presentaron precipitaciones en la subcuenca, las cuales alteran el caudal de la estación a aforar, por esto se utilizó el método de áreas para calcular el valor del caudal de la estación faltante.

El método de áreas es muy útil para determinar caudales que no fueron posibles medir en campo, se debe tener en cuenta el área de influencia de la estación y el caudal de otra estación aforada ese mismo día, en la Figura 21 se muestran las áreas de influencia de cada estación de aforo en la subcuenca río las Piedras.

Figura 15. Estaciones de aforo en la subcuenca río Piedras.



Fuente: Elaboración propia

En el método de áreas se consideran las siguientes relaciones:

$$Q_1 = A_1$$

$$Q_2 = A_1 + A_2$$

$$Q_3 = A_1 + A_2 + A_3$$

$$Q_4 = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

Dónde:

A_1 = área de influencia Puente Alto

A_2 = área de influencia Diviso

A_3 = área de influencia El Canelo

A_4 = área de influencia Bocatoma

Q_1 = Caudal Puente Alto

Q_2 = Caudal Diviso

Q_3 = Caudal El Canelo

Q_4 = Caudal Bocatoma

Para determinar un caudal faltante se utiliza la siguiente expresión:

$$\frac{Q_n}{Q_{n+1}} = \frac{\sum_{1}^n A_n}{\sum_{1}^{n+1} A_{n+1}}$$

Como ejemplo se calcula el caudal para la estación El Canelo, dato ausente en octubre de 2009, Cuadro 9.

$$\frac{Q_3}{Q_4} = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4}$$

$$Q_3 = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4} * Q_4 = \frac{42,105 + 6,389 + 10,50}{42,105 + 6,389 + 10,50 + 7,533} * 791,38 = 701,77.L/s$$

En el Cuadro 9 se muestran los resultados de las mediciones de caudales en las estaciones de aforo, donde los valores subrayados corresponden a los caudales determinados por el método de áreas.

Cuadro 9. Aforos en estaciones subcuenca río Las Piedras durante incidencia del fenómeno El Niño.

Estaciones de aforo	Caudal (L/s)						Área (Km ²)
	2009			2010			
	Oct 01	Nov 30	Dic 21	Ene 25	Feb 16	Jun 10	
Puente Alto	185,55	573,48	<u>741,52</u>	294,23	326,76	416,78	42,105
El Diviso	438,64	933,57	<u>854,04</u>	<u>338,88</u>	505,26	600,12	6,389
El Canelo	<u>701,77</u>	1809,96	1038,92	703,42	747,03	1063,09	10,50
Bocatoma	791,38	2298,59	<u>1171,59</u>	<u>793,24</u>	999,5	1396,97	7,533

* _____ Caudales determinados por método de áreas.

Fuente: Elaboración propia

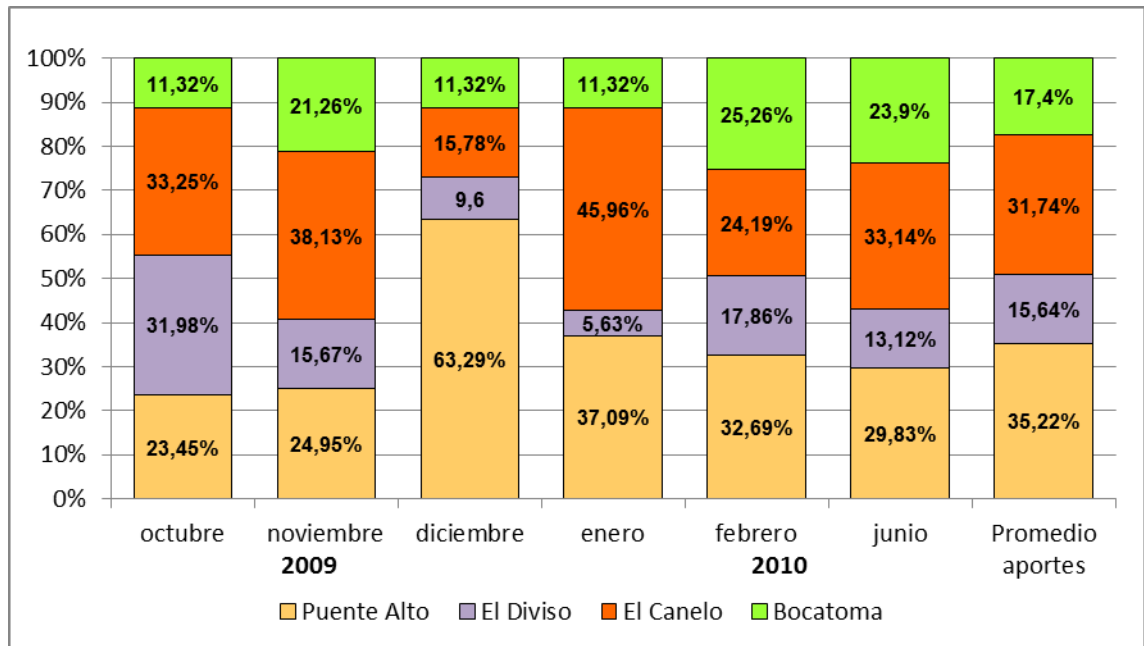
A partir de los resultados obtenidos en el Cuadro 9 y teniendo en cuenta las áreas de influencia de las estaciones de aforo en la subcuenca, mostradas en la Figura 21, se realizan las Figuras 22 y 23 con el fin de observar el aporte en porcentaje de las áreas de influencia de las estaciones al caudal total del río Las Piedras.

De acuerdo a la Figura 22 los mayores aportes al caudal del río Piedras corresponden a las áreas de influencia de mayor tamaño en las estaciones de aforo, Puente Alto 42,1 Km² y Canelo 10,5 Km², mediante flujos superficiales como subsuperficiales y según los aforos realizados de 2009 a 2010, el área de influencia de la estación Puente Alto realiza la mayor contribución al caudal del río Las Piedras, con un aporte promedio de 35,22%, el aporte promedio del área de Canelo es de 31,74%. Con menores aportes se tienen las áreas de influencia de la estación Diviso y Bocatoma con 15,64 y 17,4% respectivamente.

Además se debe tener en cuenta que en la subcuenca generalmente se presenta un periodo de lluvias de octubre a mayo con incrementos de caudales y un periodo seco de junio a septiembre donde los caudales disminuyen. Y de acuerdo a los aforos por estaciones se observa que el caudal de junio de 2010, mes considerado seco, Figura 23 y que no está afectado por el fenómeno, es superior a los caudales aforados en octubre, diciembre, enero y febrero, meses generalmente húmedos que registran caudales superiores a los meses secos, pero debido a que se encuentran afectados por el fenómeno El Niño sus valores de caudales son inferiores.

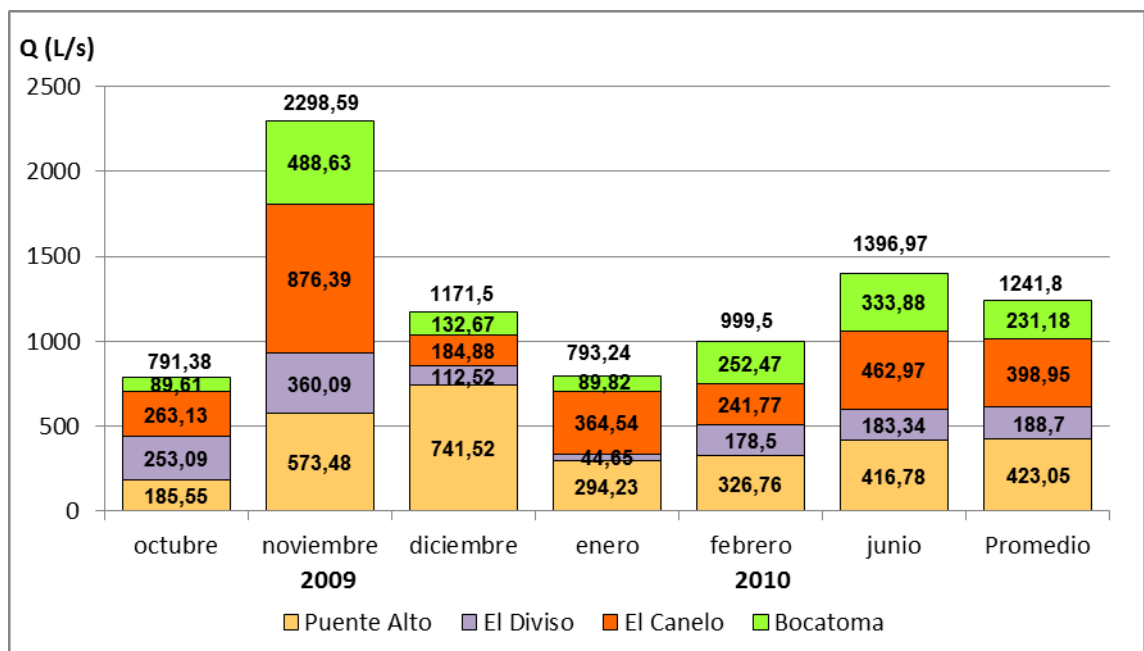
El incremento de caudal para noviembre de 2009 se debe al paso de un frente frío por la región, este produjo incrementos en las precipitaciones en octubre, noviembre y diciembre, pero los valores más altos se obtuvieron para noviembre.

Figura 16. Aporte de caudal por áreas de influencia de estaciones de aforo subcuenca río Las Piedras.



Fuente: Elaboración propia

Figura 23. Caudales de estaciones de aforo subcuenca río Las Piedras



Fuente: Elaboración propia

4.4.2 Precipitaciones y Temperaturas

La información de precipitaciones y temperaturas corresponden a las estaciones San Pedro, Diviso y El Lago para el período de ocurrencia del fenómeno El Niño 2009 – 2010. Para establecer su afectación en la subcuenca a partir de estos registros se realizan balances hídricos y climogramas, los cuales permiten determinar variaciones en la disponibilidad de agua en el suelo a lo largo del año, establecer meses secos y áridos entre otros

4.4.2.1 Balance Hídrico

Los balances hídricos que se presentan a continuación fueron realizados con el registro de precipitaciones y temperaturas mensuales de las estaciones San Pedro (parte alta), Diviso (parte media) y El Lago (parte baja) para el período de ocurrencia del fenómeno El Niño (junio de 2009 a abril de 2010), datos que se pueden observar en el **Anexo I** y que fueron suministrados por la División Ambiental del Acueducto de Popayán.

Partiendo del conocimiento de las precipitaciones medias mensuales y de la evapotranspiración potencial mensual estimada, se puede estudiar el balance del agua en el suelo. Conocer el balance de humedad en el suelo es importante para evaluar la disponibilidad de agua para los cultivos, estudios hidrológicos, de conservación de suelos, de recuperación de suelos salinos, de repoblación forestal, o el establecimiento del régimen de humedad o de criterios de diferenciación climática (González, 2008).

El modelo a utilizar para estimar el balance de agua en el suelo es el método directo propuesto por Thornthwaite y Mather, según el cual se va perdiendo agua para poder generar la evapotranspiración potencial hasta agotar la reserva (González, 2008). Los datos que el modelo arroja a partir del registro de temperaturas y precipitaciones mensuales de las estaciones se registran en los Cuadros 10, 11 y **Anexos J, K, L y M**.

Cuadro 10. Cálculo del balance hídrico de la subcuenca río Piedras, estación San Pedro durante fenómeno El Niño (Jun 2009-Abr 2010).

Parámetros	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Temperatura (°C)	6,81	7,04	7,1	7,38	7,89	7,33	6,76	7,94	8,08	7,27	6,8	7,79
Índice de calor anual	1,60	1,68	1,70	1,80	1,99	1,78	1,58	2,01	2,07	1,76	1,59	1,96
Evapotranspiración potencial o de referencia (mm)	42,40	43,63	43,94	45,37	48,06	45,12	42,13	47,55	49,04	47,20	42,32	47,55
Ajuste	1,03	1,0	1,03	1,03	1,0	1,03	1,0	1,03	1,03	0,93	1,03	1,0
Precipitación (mm)	68,0	59,0	16,0	48,0	9,0	292,0	326,0	244,1	62,0	134,0	4,0	397,0
Humedad del suelo (mm)	24,33	15,37	-29,26	1,27	-39,06	243,53	283,87	195,02	11,49	90,1	-42,62	349,45
Reserva (mm)	100	100	70,74	72,01	32,92	100	100	100	100	100	57,38	100
Evapotranspiración real (mm)	43,67	43,63	45,26	46,73	48,06	46,47	42,13	48,98	50,51	43,9	43,6	47,55
Déficit (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Exceso (mm)	24,33	15,37	0	0	0	176,48	283,87	195	11,49	90,1	0	306,83

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 11. Resultados del balance hídrico, estación San Pedro (Jun 2009-Abr 2010).

Totales	
Temperatura media mensual	7,35 °C
Índice de calor anual	21,65
Parámetro (a)	0,85
Evapotranspiración potencial o de referencia	544,30
Evapotranspiración real	551,68
Precipitación	1659,11 mm
Déficit	0,0 mm
Exceso	1152,41 mm

Fuente: Elaboración propia

La precipitación es la caída del agua en forma de lluvia, nieve granizo y rocío. Dentro de la hidrología solo interesa conocer la lluvia cuando llega al suelo, constituyéndose en el elemento básico para los diferentes estudios y determinación de los recursos hídricos de un área determinada (González, 2008).

La temperatura es la diferencia de intensidad de calor entre dos cuerpos; la temperatura media mensual se obtiene como la media de los valores de temperaturas diarias para un mes determinado (González, 2008).

La evapotranspiración se considera como la pérdida de agua por la evaporación de la superficie del suelo y la transpiración de las plantas. La evapotranspiración es el proceso por medio del cual el agua líquida superficial pasa a estado de vapor y se convierte en la humedad de la atmósfera. La transpiración es el proceso por medio del cual, el agua que una planta toma del suelo a través de las raíces y después de cumplir sus funciones fisiológicas (crecimiento y fotosíntesis), parte de ella sale por los estomas de las hojas donde se evapora. La cantidad de agua que las plantas transpiran es mucho mayor que la que retienen. La información de la evapotranspiración es de gran importancia, debido a que el agua entra a formar parte del vapor de agua de la atmósfera y representa una pérdida que hay que considerar en la demanda o necesidades de agua en cualquier proyecto del aprovechamiento del recurso hídrico (González, 2008).

La fórmula de Thornthwaite se considera como la más accesible para calcular la evapotranspiración de referencia (ET_o), ya que utiliza una relación empírica basada en la temperatura media del aire y está dada por la siguiente expresión:

$$ET_o = 1,6 * \frac{10Ta^\alpha}{J}$$

Dónde:

ET_o = Evapotranspiración de referencia cm/mes

Ta = Temperatura media del mes en °C

J = Índice calórico anual igual a la suma de los doce índices calóricos mensuales

El índice de calor mensual está dado por:

$$J_i = \frac{Ta^{1,514}}{5} \quad \text{Luego,} \quad J = \sum_1^{12} J_i$$

El exponente α , está en función de J, con la expresión matemática de la forma:

$$\alpha = (675 * 10^{-9})J^3 - (675 * 10^{-7})J^2 + (179 * 10^{-4})J + 0,492$$

La evapotranspiración real (ETR) es el volumen de agua que realmente se evapotranspira en el mes dependiendo de que haya suficiente agua disponible para evaporar y así llegar a la evapotranspiración potencial o de referencia o no. El agua disponible para evaporar será la que cae como precipitación en el mes considerado y la que se mantiene en el suelo (González, 2008).

Este parámetro se obtiene a través de la aplicación de la siguiente fórmula:

$$ETR = ETo * \text{Ajuste}$$

El factor de ajuste mensual se obtiene a partir de la fórmula.

$$\text{Ajuste} = n * N / 360$$

Dónde:

n = número de días del mes

N = horas de iluminación diaria, está en función de la latitud del lugar. Para el estudio es 12 horas (6am – 6pm).

La humedad del suelo corresponde a la diferencia entre precipitación mensual y evapotranspiración real (ETR).

La reserva del suelo (R) se refiere a que cuando en un mes se produzcan más entradas que salidas, (Precipitaciones > Evapotranspiración) el agua sobrante pasará a engrosar las reservas del suelo; por el contrario, cuando las salidas sean mayores que las entradas se reducirá la reserva del suelo. Sin embargo, el suelo no retiene todo el líquido y cuando se alcance la capacidad de retención, el agua añadida en "exceso" escurrirá superficialmente o en profundidad. Por tanto, se debe exponer el concepto de reserva máxima o cantidad de agua por unidad de superficie (mm) que el suelo es capaz de almacenar en su perfil. Generalmente, se toma una reserva de 100 L/m² como referencia climática (González, 2008).

Para iniciar el cálculo de la reserva (R) primero se ubica el mes con mayor precipitación y se le asigna un valor de reserva hipotético de 100 L/m² (valor de referencia climática). Luego se calcula la reserva para el mes siguiente usando la fórmula:

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

R_i =Reservamesactual

R_{i-1} =Reservamesanterior

H_i =Humedadmesactual

El cálculo se realiza para todos los meses realizando ciclos anuales hasta que la hipótesis con la que se partió se confirme al final del ciclo.

Cuando el valor de reserva supere la capacidad de retención del suelo ($R > 100$), el excedente entrará a formar parte del exceso (mm). Si por el contrario, el cálculo de la reserva alcanza un valor negativo, este corresponderá al déficit con signo positivo y la reserva será igual a cero para el mes calculado.

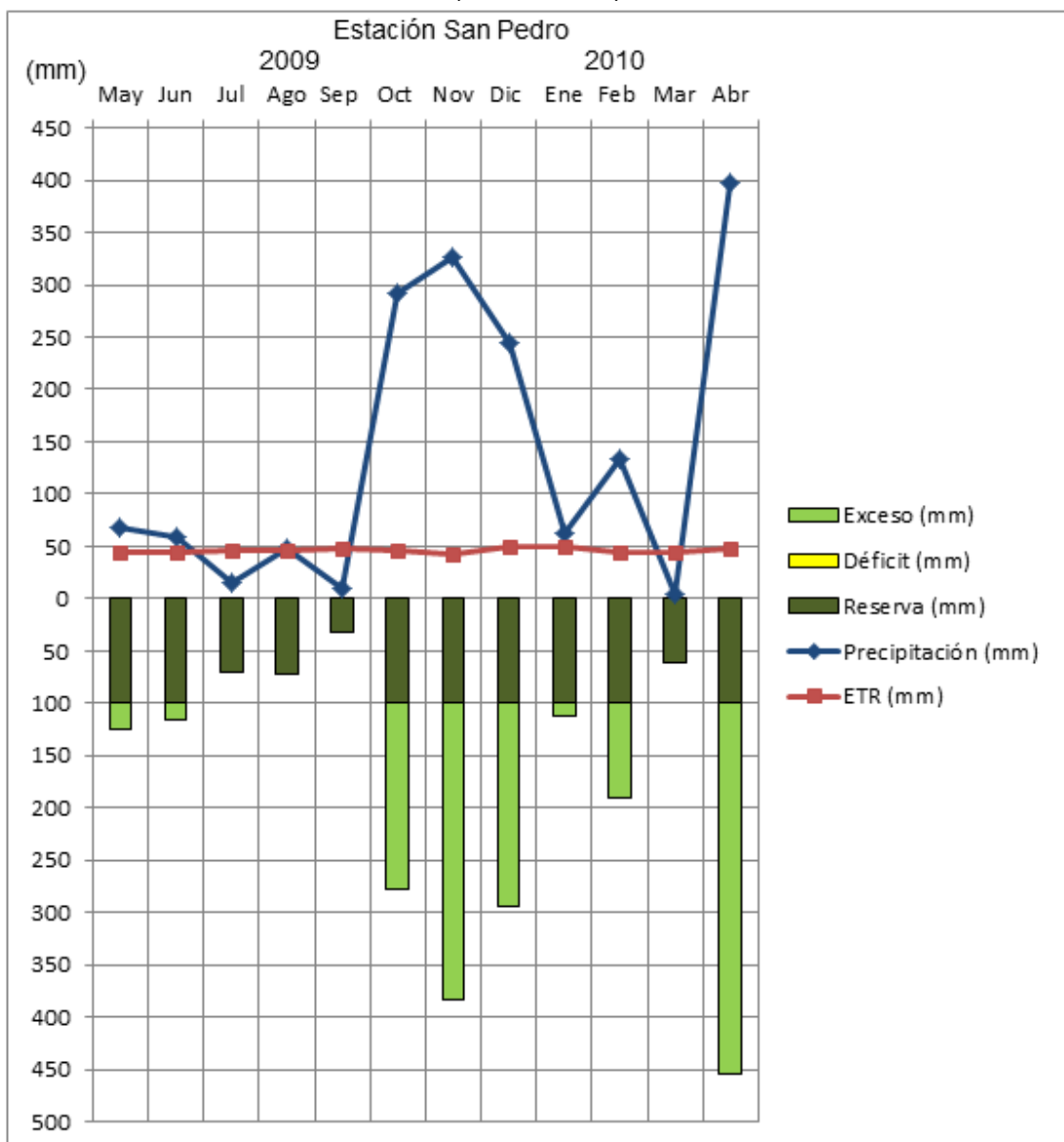
Es importante saber que el exceso es el agua que excede de la reserva máxima y que se habrá perdido por escorrentía superficial o profunda (infiltración), mientras que el déficit o falta de agua es el volumen de agua que falta para cubrir las necesidades potenciales del suelo (para evaporar y transpirar). (González, 2008).

De acuerdo con las Figuras 24, 25 y 26 que corresponden a balances hídricos de estaciones ubicadas en la parte alta (San Pedro), media (Diviso) y baja (El Lago) de la subcuenca río Las Piedras. En general, se puede decir que el mayor impacto del fenómeno para las tres zonas de la subcuenca fue durante los meses de julio, agosto, y septiembre de 2009 así como marzo de 2010. Durante estos meses la evapotranspiración es mayor que la precipitación con lo que se consideran meses secos además, no se presentan excesos de agua y la reserva adquiere una considerable disminución en las tres estaciones con valores inferiores a 60 mm, pero solo en las estaciones ubicadas en la parte media y baja de la subcuenca se presentan valores nulos de reserva por lo cual se obtuvo un déficit de agua de 11,45mm para el mes de septiembre en la estación El Diviso, mientras que en estación

El Lago se obtuvo déficit para agosto y septiembre con valores de 0,27 y 58,56 mm respectivamente.

En estas figuras también se aprecia un período de lluvias comprendido entre los meses de octubre, noviembre y diciembre con un valor máximo de 392mm/mes registrado en noviembre en la estación El Lago, durante estos meses en las tres estaciones la evapotranspiración es menor que la precipitación por lo que se consideran meses húmedos con un buen aporte hídrico ya que se presentan excesos de agua entre 150 y 400mm para las tres estaciones. Este período de lluvias durante el fenómeno El Niño se debe al paso de un frente frío por la región, luego del cual las precipitaciones nuevamente disminuyen hasta que el fenómeno concluye.

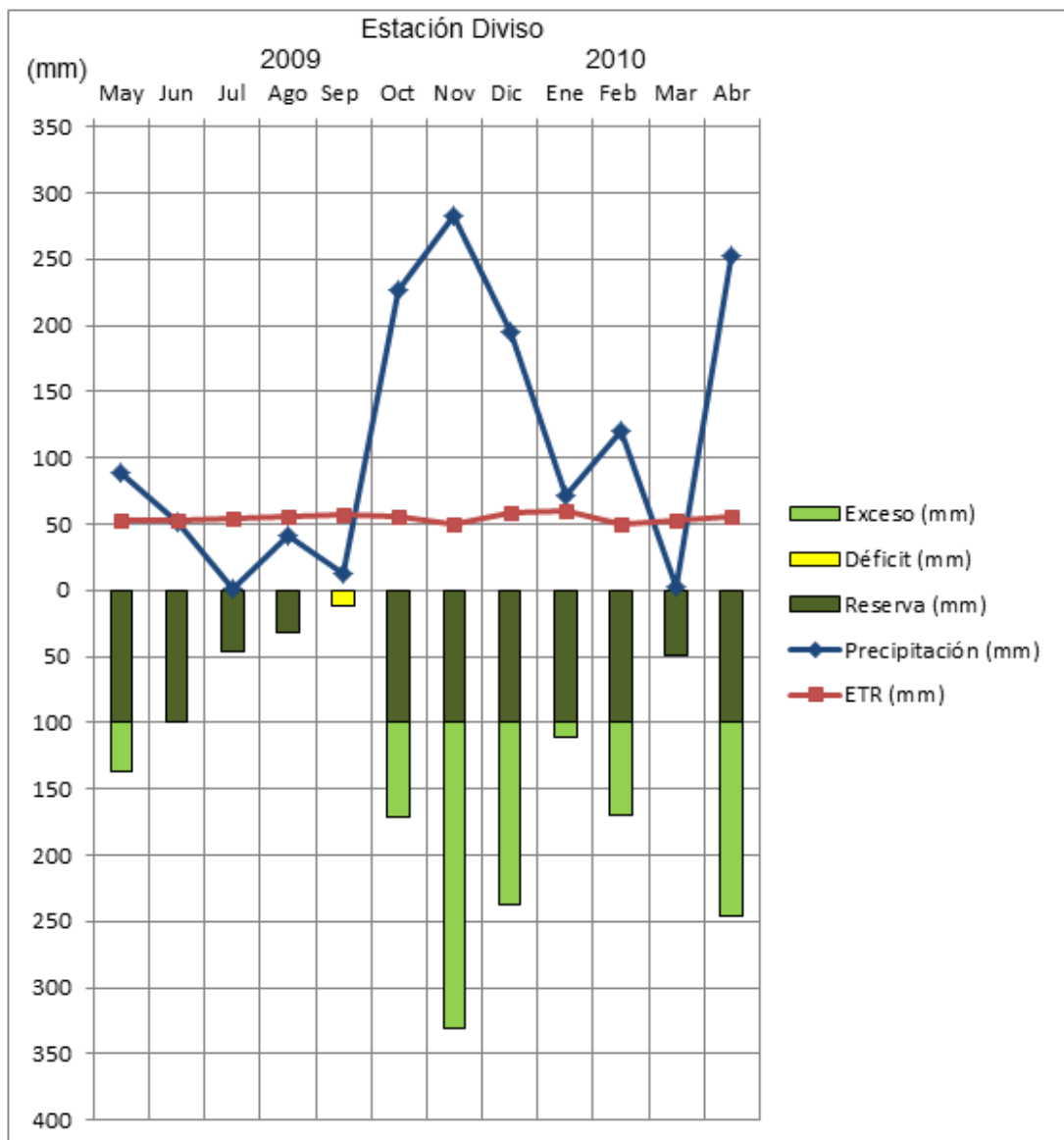
Figura 17. Balance hídrico subcuenca río Las Piedras, estación San Pedro (2009 - 2010).



* Reserva de referencia = 100L/m²

Fuente: Elaboración propia

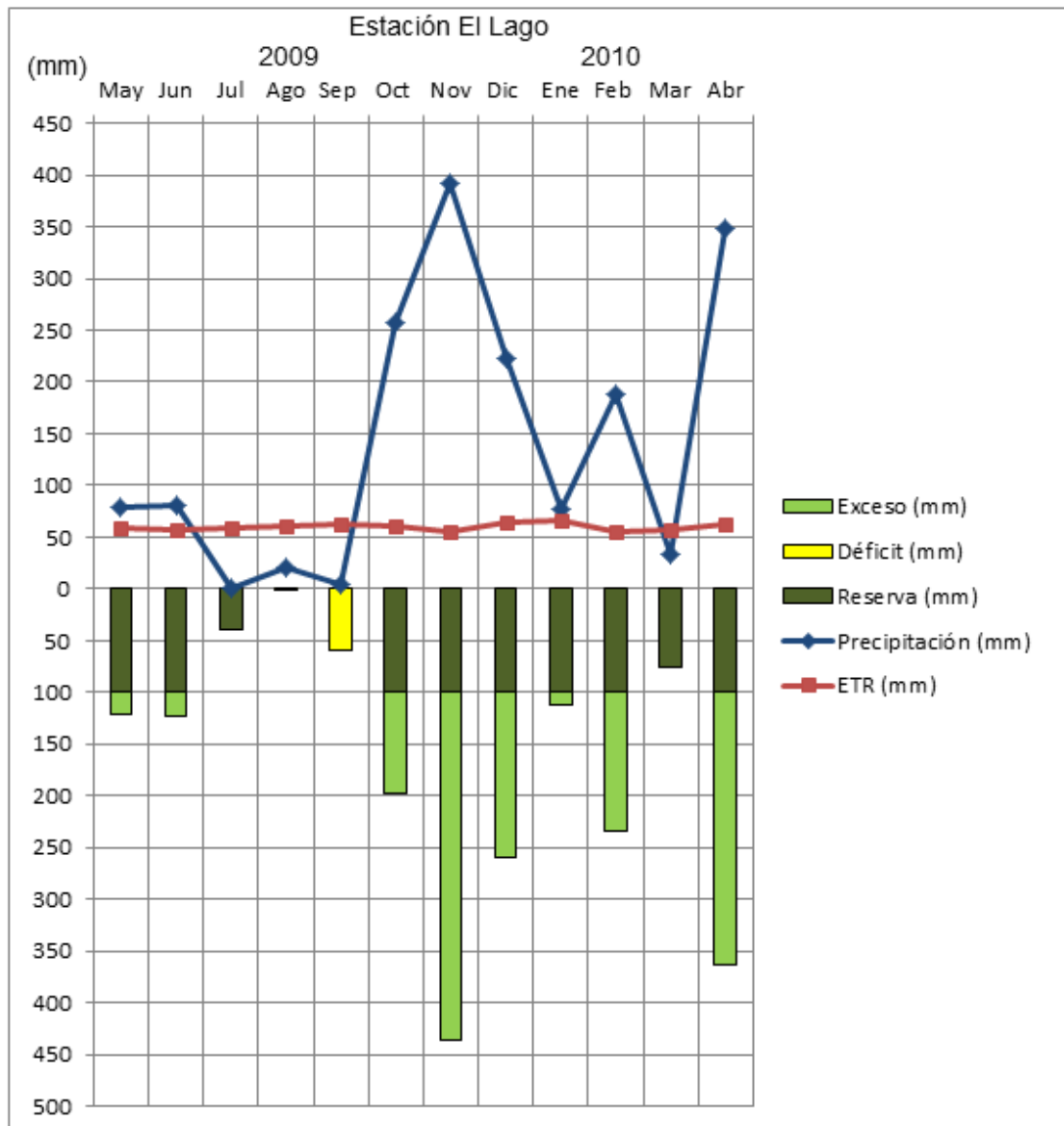
Figura 18. Balance hídrico subcuenca río Las Piedras, estación Diviso (2009 - 2010).



* Reserva de referencia = 100L/m²

Fuente: Elaboración propia

Figura 19. Balance hídrico subcuenca río Piedras, estación El Lago (2009 - 2010).



* Reserva de referencia = 100L/m²

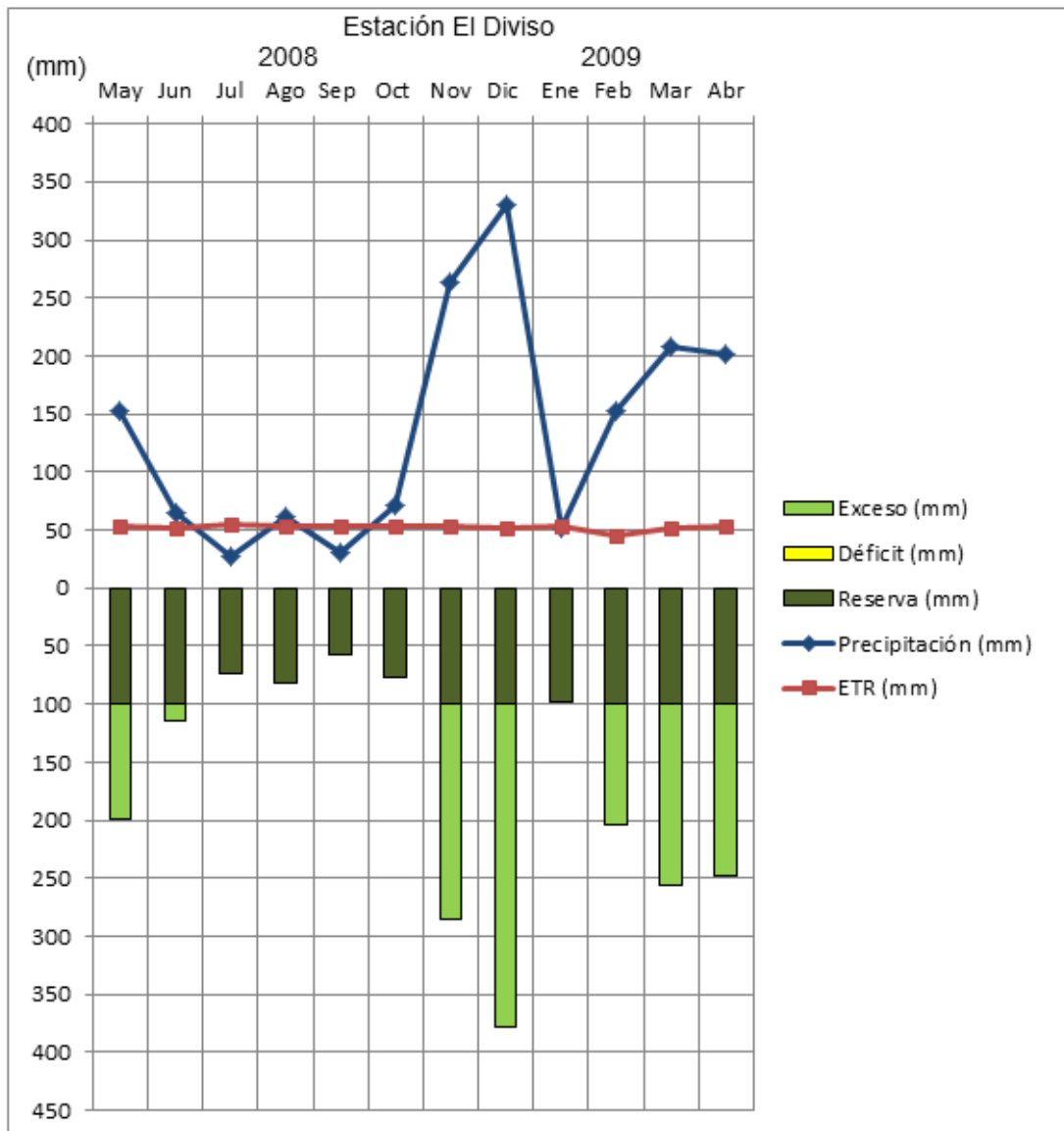
Fuente: Elaboración propia

La Figura 27 es el balance hídrico de la estación Diviso de mayo de 2008 hasta abril de 2009, periodo sin afectación del fenómeno El Niño. La figura muestra que en condiciones normales los meses julio, septiembre y enero adquieren la condición de meses secos ya que la evapotranspiración es superior a la precipitación, la reserva presenta disminución de julio a octubre.

Si se compara esta figura con la Figura 25 se pueden notar las alteraciones causadas por el fenómeno El Niño, entre los periodos de tiempo graficados. Con afectación del

fenómeno hay incremento de meses secos, la reserva presenta una mayor disminución con valores por debajo de 50mm e inclusive alcanza déficit en septiembre, por el contrario sin fenómeno la reserva nunca se hace nula y siempre está por encima de 60mm. Los excesos mensuales son superiores en el balance hídrico que no presenta afectación del fenómeno esta alteración implica disminución en el aporte hídrico durante el fenómeno.

Figura 20. Balance hídrico subcuenca río Piedras, estación Diviso sin afectación del fenómeno El Niño año 2008 - 2009



* Reserva de referencia = 100L/m²

Fuente: Elaboración propia

4.4.2.2 Climograma

Un climograma es un gráfico de doble entrada en el que se presentan resumidos los valores de precipitación y temperatura registrados en una estación meteorológica. La escala de precipitaciones es siempre el doble que la de temperaturas ya que según el índice de Gausson el período de aridez está definido por: $Precipitaciones = 2 \times Temperaturas$ (González, 2008).

Se considera que un mes es húmedo cuando la precipitación en mm es superior a tres veces la temperatura media en grados centígrados, un mes es semihúmedo cuando la precipitación es superior a dos veces la temperatura media e inferior a tres veces la temperatura media y un mes es árido cuando la precipitación es inferior a dos veces la temperatura media (González, 2008).

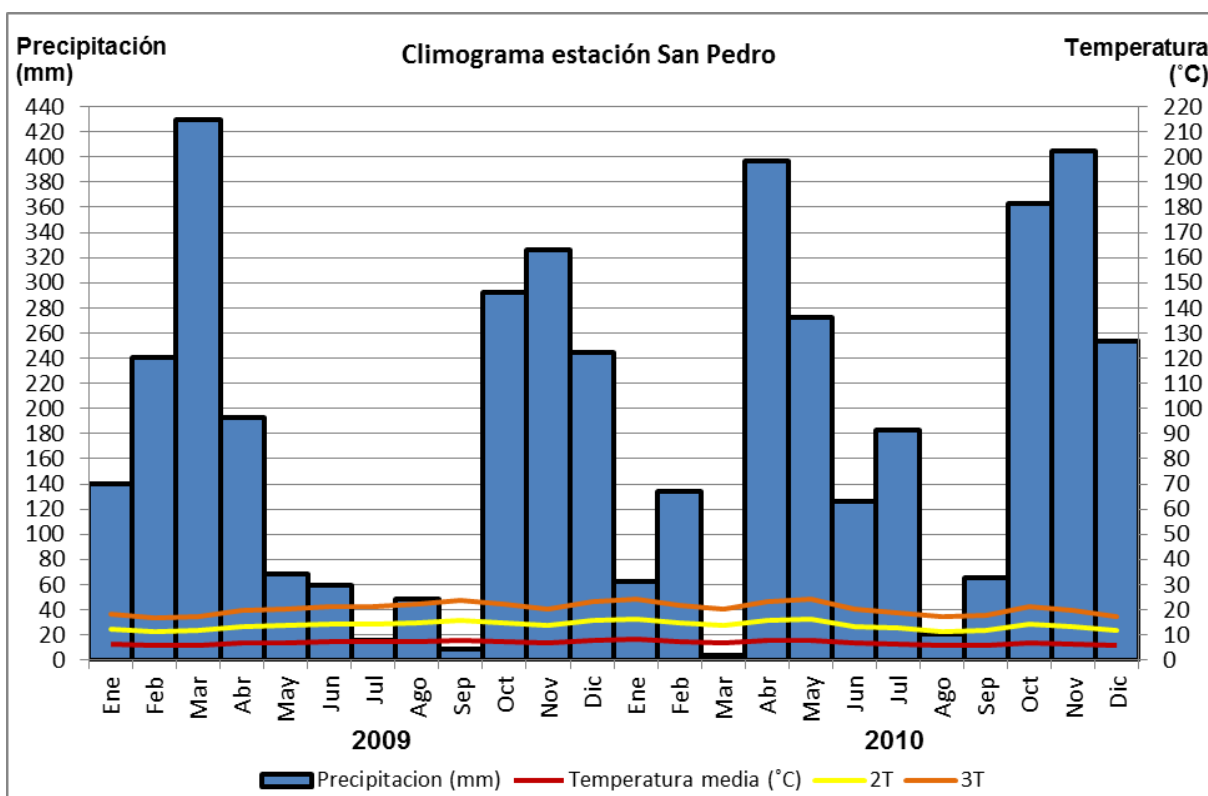
Es importante mencionar que la clasificación climática de la subcuenca ya está definida de esta forma: La subcuenca río Las Piedras comprende tierras templada húmeda entre los 1900 – 2000 msnm, tierra moderadamente fría húmeda , entre los 2000 – 2800 msnm, tierra fría subhúmeda 2800 - 3400 msnm y páramo > 3400 msnm. El rango de altitud de la subcuenca es de 1980 a 3820 msnm (Recaman Mejía, 2006).

Los climogramas que se presentan a continuación fueron realizados con el registro de precipitaciones y temperaturas mensuales de las estaciones San Pedro (parte alta), Diviso (parte media) y El Lago (parte baja) para el período comprendido desde enero de 2009 hasta diciembre de 2010, datos que se pueden observar en el **Anexo I**. El objeto de los climogramas es identificar los meses y zonas de la subcuenca de mayor afectación durante la ocurrencia del fenómeno El Niño de junio de 2009 hasta abril de 2010.

De acuerdo a esta información y las Figuras 28, 29 y 30, se puede observar un impacto generalizado en las tres zonas estudiadas de la subcuenca durante los meses de julio, septiembre de 2009 y marzo de 2010, estos meses cumplen la condición de aridez ($P < 2T$) en la parte alta, media y baja. Además, solo el mes de agosto cumple la condición de aridez sin afectación del fenómeno El Niño para las estaciones San Pedro y Diviso.

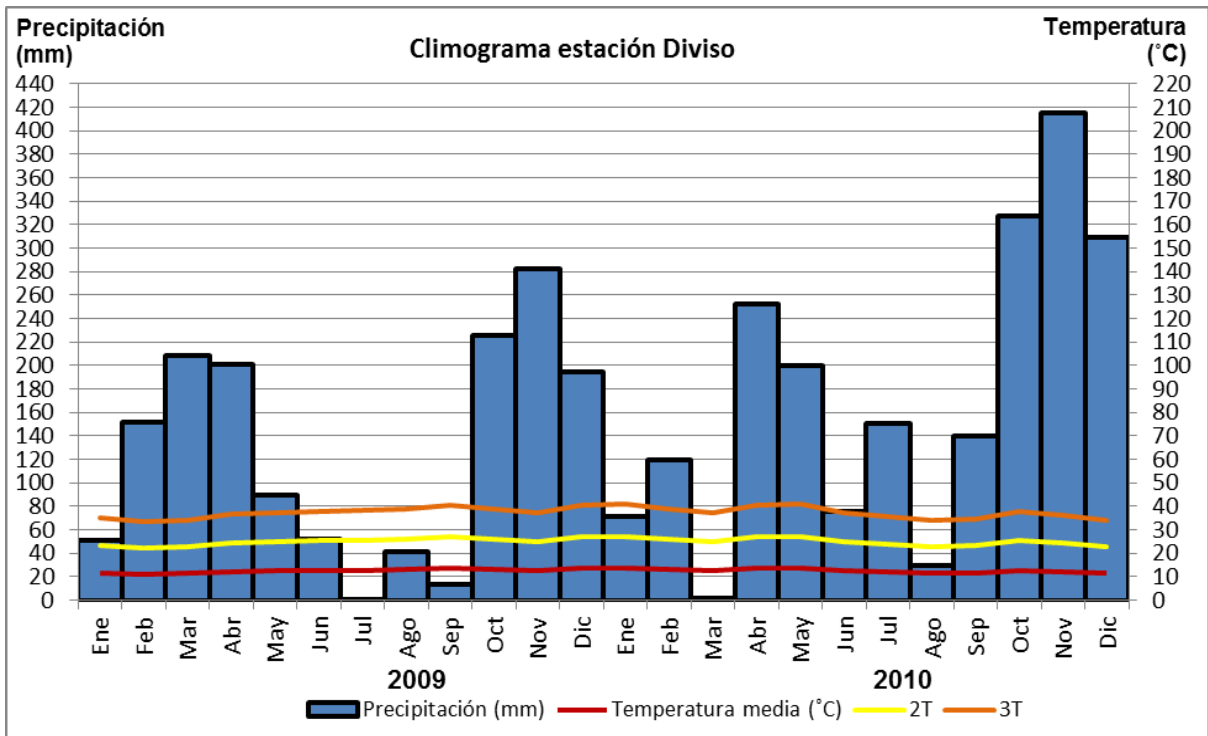
Los meses áridos para las estaciones de San Pedro son julio, septiembre de 2009, marzo y agosto de 2010, estación Diviso julio, septiembre de 2009, marzo y agosto de 2010, estación el Lago julio, agosto, septiembre de 2009 y marzo de 2010, en general los meses áridos se presentaron durante la incidencia del fenómeno El Niño. Estos meses sin fenómeno para las tres estaciones corresponden a meses húmedos por lo que se puede apreciar la variabilidad climática que implica un evento como el fenómeno El Niño en la subcuenca río Las Piedras.

Figura 218. Climograma estación San Pedro (2009 – 2010).



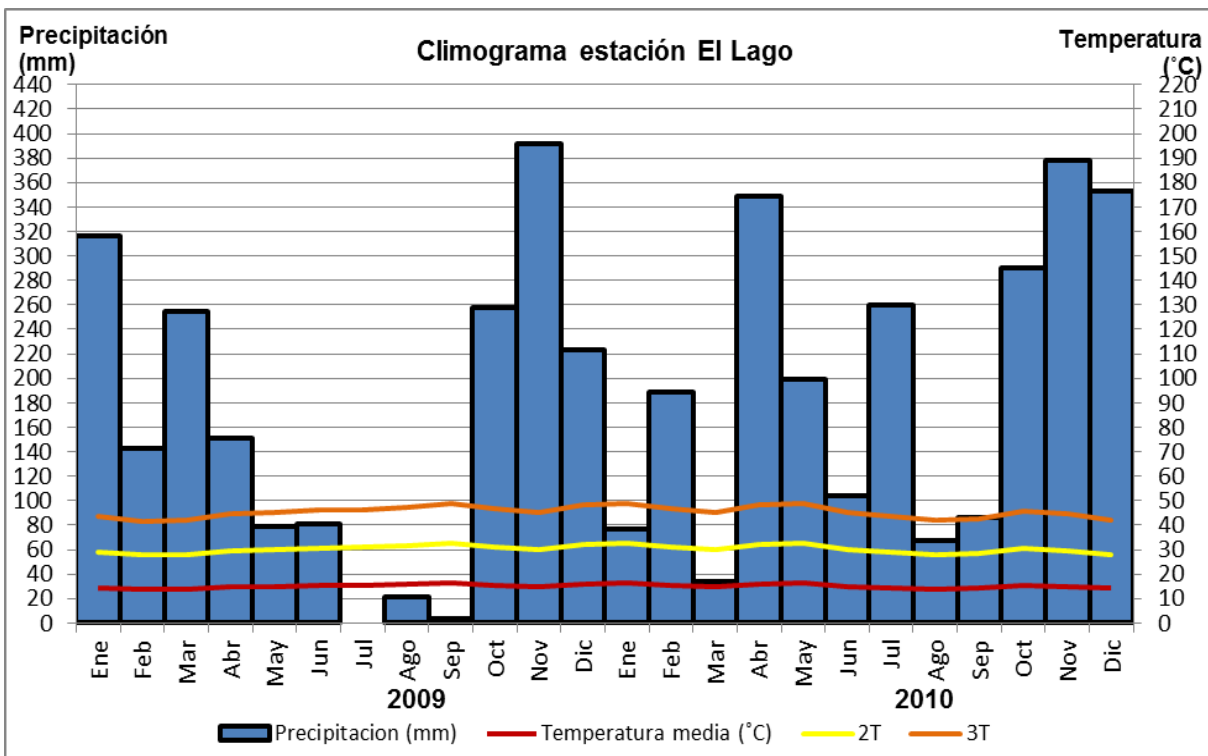
Fuente: Elaboración propia, datos de (División Ambiental, Acueducto, 2010)

Figura 229. Climograma estación Diviso (2009 – 2010).



Fuente: Elaboración propia, datos de (División Ambiental, Acueducto, 2010)

Figura 30. Climograma estación El Lago (2009 – 2010).



Fuente: Elaboración propia, datos de (División Ambiental, Acueducto, 2010)

4.5 CARACTERIZACIÓN ESTADÍSTICA

La aplicación de la estadística en Hidrología tiene como objetivo la búsqueda de información de fenómenos hidrológicos en el pasado y la realización de inferencia acerca de lo que se espera en el futuro. En general para caracterizar una serie de datos hidrológicos (lluvias, caudales), se requiere adoptar un valor representativo de la normalidad del evento, de modo que sirva de base en el estudio de la variabilidad del régimen (González, 2008).

En este proyecto se estudia la variabilidad histórica del régimen para la información hidroclimatológica adquirida, mediante la realización de análisis de frecuencia, histograma, y curvas de duración de caudales y precipitaciones.

Existen diferentes métodos que permiten determinar la probabilidad de ocurrencia de eventos de interés, sobre la base de una serie de datos para un determinado periodo. El análisis de frecuencia tiene como objetivo, relacionar la magnitud de los eventos extremos con su frecuencia de ocurrencia, mediante el empleo de distribuciones de probabilidad (González, 2008).

El análisis de frecuencias de datos hidrológicos se realiza de acuerdo a lo propuesto por González, (2008), donde:

n = número de datos o años de registro

Número de clases = $1 + 3,3 \log n$ (Formula de Sturges)

Valor máximo = corresponde al valor mayor de los datos previamente ordenados

Valor mínimo = corresponde al valor menor de los datos previamente ordenados

$$\text{Rango} = \frac{\text{Valor máximo} - \text{Valor mínimo}}{\text{Número de clases}}$$

El histograma y la curva de duración de caudales y precipitaciones se realizan a partir de los resultados que arroja el análisis de frecuencia.

Los parámetros estadísticos principales que se deben tener en cuenta son la media aritmética, desviación estándar, coeficiente de variación y coeficiente de asimetría, los cuales de acuerdo a Gonzales (2008), se definen de la siguiente manera:

Media aritmética: Está dada por la relación entre la sumatoria de las observaciones

hidrológicas y el número de datos. Esta dada por $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$

Desviación estándar: Se define como la raíz cuadrada de la desviación promedio de los cuadrados de las diferencias entre cada valor de la serie y la media, se calcula como:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

*Cuando la serie tiene más de 30 datos, se puede usar n en lugar de (n-1).

Coefficiente de variación: Se utiliza para definir la dispersión, se representa en forma adimensional y se da por la relación entre la desviación estándar y la media

aritmética. $Cv = \frac{\sigma}{\bar{X}}$

Coefficiente de asimetría: Esta medida muestra el sesgo del histograma de frecuencias y está dada por:

$$Cs = \frac{n * \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)\sigma^3}$$

El Cs puede ser igual a cero, mayor que cero y menor que cero o negativo. Cuando el valor es igual a cero el histograma de frecuencias es simétrico, si es mayor que cero o positivo el histograma es sesgado hacia la derecha, si es menor que cero o negativo el histograma es sesgado hacia la izquierda.

4.5.1 Caudales

El Cuadro 12 corresponde al análisis de frecuencia de la serie histórica de caudales medios mensuales del río Piedras y en la Figura 31 se representa el histograma de frecuencias. En el cuadro se muestra que existe un 100% de probabilidad o un tiempo de retorno de un año para el que se van a presentar caudales iguales o mayores a 0,69 m³/s en el río Las Piedras. De acuerdo con el coeficiente de asimetría (4,58) y el histograma de frecuencias se presenta un comportamiento sesgado hacia la derecha donde se encuentran los caudales más altos a partir de los 5,61m³/s en adelante, lo

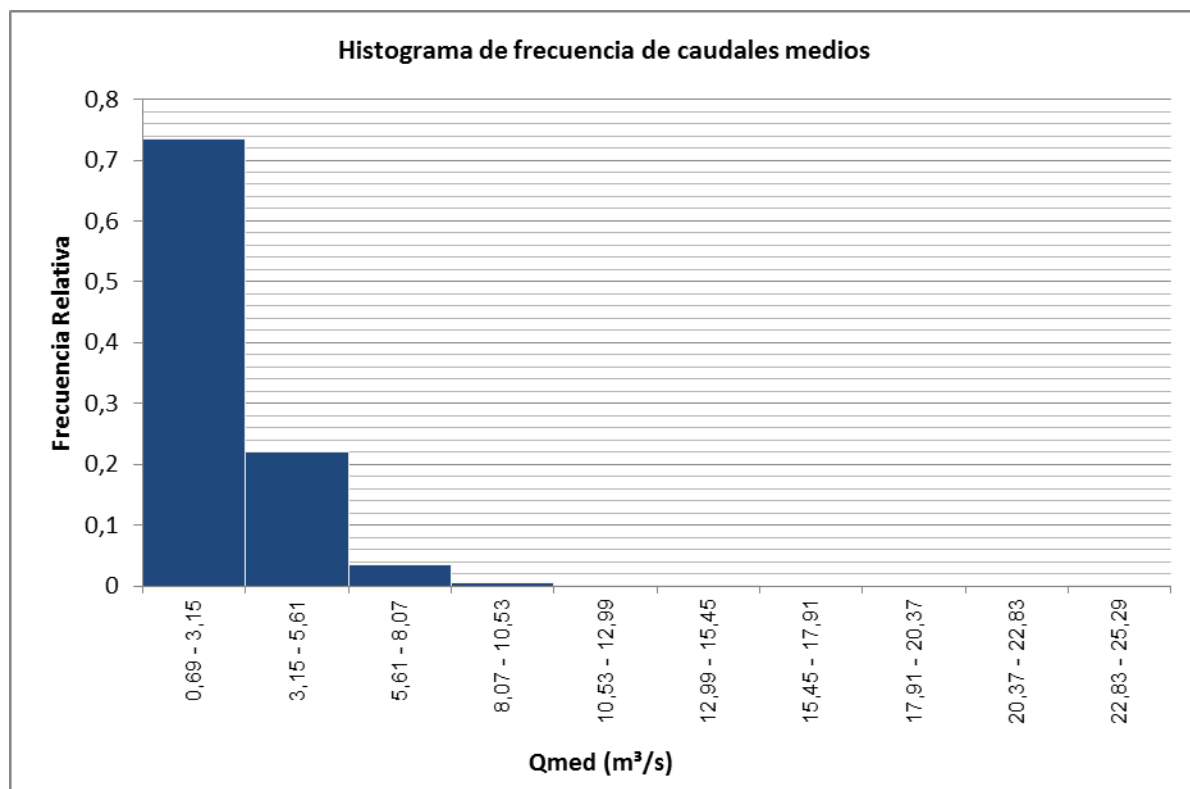
que indica una baja regularidad de ocurrencia anual de estos caudales en la subcuenca.

Cuadro 122. Análisis de frecuencia de caudales, estación Puente Carretera.

Análisis de frecuencia y duración de caudales medios mensuales del río Piedras							
Nº	Clases		Marca de Clase	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	Probabilidad (%)
1	0,69	3,15	1,92	368	0,7345	1	100
2	3,15	5,61	4,38	110	0,2196	0,2655	26,55
3	5,61	8,07	6,84	17	0,0339	0,0459	4,59
4	8,07	10,53	9,3	3	0,006	0,012	1,2
5	10,53	12,99	11,76	1	0,002	0,006	0,6
6	12,99	15,45	14,22	1	0,002	0,004	0,4
7	15,45	17,91	16,68	0	0	0,002	0,2
8	17,91	20,37	19,14	0	0	0,002	0,2
9	20,37	22,83	21,6	0	0	0,002	0,2
10	22,83	25,29	24,06	1	0,002	0,002	0,2
Total =				501	1		

Fuente: Elaboración propia, datos de (IDEAM, 2010)

Figura 231. Histograma de frecuencias de caudales, estación Puente Carretera.



Fuente: Elaboración propia, datos de (IDEAM, 2010)

Cuadro 13. Parámetros estadísticos.

Parámetros estadísticos	
Media Aritmética =	2,52
Desviación Estándar =	1,9
Coefficiente de Variación =	0,75
Coefficiente de Asimetría =	4,58

Fuente: Elaboración propia, datos de (IDEAM, 2010)

La representación gráfica de los porcentajes de permanencia de los caudales medios mensuales y los límites inferiores de cada clase correspondiente se presenta en la Figura 34. La frecuencia de caudales altos y bajos es:

$$fQ_{\text{Altos}} = \frac{\bar{Q}_{\text{med}} + \bar{Q}_{\text{máx}}}{2} \quad \text{y} \quad fQ_{\text{Bajos}} = \frac{\bar{Q}_{\text{med}} + \bar{Q}_{\text{mín}}}{2}$$

Dónde:

fQ_{Altos} = Frecuencia de caudales altos (m^3 / s)

fQ_{Bajos} = Frecuencia de caudales bajos (m^3 / s)

$\bar{Q}_{\text{mín}}$ = Promedio de caudales mínimos ($1,55 \text{m}^3 / \text{s}$)

\bar{Q}_{med} = Promedio de caudales medios ($2,52 \text{m}^3 / \text{s}$)

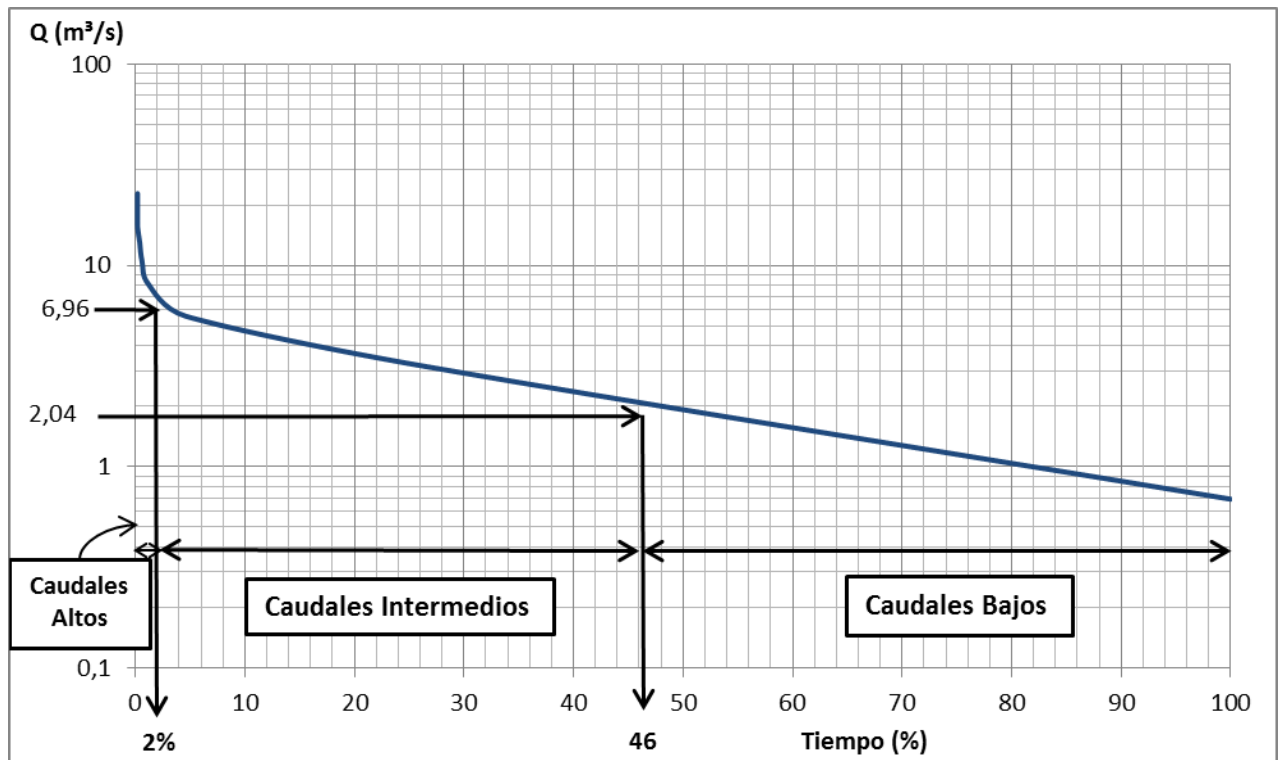
$\bar{Q}_{\text{máx}}$ = Promedio de caudales máximos ($11,39 \text{m}^3 / \text{s}$)

Entonces:

$$fQ_{\text{Altos}} = \frac{2,52 + 11,39}{2} = 6,96 \text{m}^3 / \text{s}$$

$$fQ_{\text{Bajos}} = \frac{2,52 + 1,55}{2} = 2,04 \text{m}^3 / \text{s}$$

Figura 242. Curva de frecuencia y duración de caudales medios mensuales, río Las Piedras, estación Puente Carretera.



Fuente: Elaboración propia, datos de (IDEAM, 2010)

Una curva de duración de caudales brinda información importante sobre el régimen natural de los aportes de la corriente, la permanencia en porcentaje de tiempo de un determinado caudal y cuando este es igualado o excedido en magnitud, también indica con claridad la duración del parámetro en estudio, sea alto, medio o bajo. El área bajo la curva de duración de caudales representa el caudal promedio con el cual puede determinarse el volumen total de agua que fluye a través de la estación para cualquier período deseado de tiempo (CRC, 2006).

Las curvas de duración tienen formas típicas que dependen de las características de las cuencas vertientes. En cuencas de montaña, por ejemplo, la pendiente pronunciada en el tramo inicial de la curva indica que los caudales altos se presentan durante períodos cortos, mientras que en los ríos de llanura no existen diferencias muy notables en las pendientes de los diferentes tramos de la curva (Silva, 2009).

La Figura 32 muestra la curva de frecuencia y duración de caudales medios para la estación hidrométrica Puente Carretera; de acuerdo con esto, los caudales altos superiores a $6,96 \text{ m}^3/\text{s}$ tienen poca duración con una ocurrencia del 2% del tiempo anual, los caudales intermedios entre $2,04$ y $6,96 \text{ m}^3/\text{s}$ son más sostenidos durante el año con una permanencia entre el 3 y 46% del tiempo anual, finalmente los caudales bajos inferiores a $2,04 \text{ m}^3/\text{s}$ e iguales o superiores a $0,69 \text{ m}^3/\text{s}$ permanecen en la fuente entre el 47 y 100% del tiempo anual.

En términos de aprovechamiento del recurso hídrico esta es una buena fuente puesto que brinda permanencia de caudal durante la mayor parte del tiempo anual.

4.5.2 Precipitaciones

El análisis de frecuencias de precipitaciones se realizó para cada estación ubicada en el área de influencia de la subcuenca río Piedras, los resultados se exponen en el Cuadro 14, pero es importante recordar que las precipitaciones producidas en la subcuenca son de tipo orográfico, lo cual hace que no exista uniformidad regional en los valores de precipitación. Debido a esto en el Cuadro 14 se muestra que para el 100% de probabilidad o tiempo de retorno de un mes los valores de precipitación varían en cada estación; (0 a 82) mm en San Pedro, (0 a 118) mm en Puzná, (0 a 54) mm en Arrayanales, (0 a 131) mm en Diviso, (0 a 67) mm en El Lago.

Los parámetros estadísticos obtenidos Cuadro 15, indican una alta dispersión en los datos de precipitaciones debido a la similitud que hay entre los valores de desviación estándar y promedio aritmético, recordando que la desviación estándar da una medida de lo que en promedio se aleja cada dato del promedio aritmético. Esta dispersión se confirma con los resultados del coeficiente de variación los cuales oscilan entre 0,7 y 0,99, por lo que se puede decir que en general los datos pluviométricos de las estaciones están dispersos o alejados unos de otros (la estación el Diviso presenta la mayor variación de las precipitaciones con respecto a las demás).

La dispersión se debe a la existencia de registros pluviométricos mensuales desde 0mm hasta valores cercanos a 700, 800 y 1000 mm de acuerdo a la estación analizada, pero es importante mencionar que los mayores incrementos tienen un bajo porcentaje de ocurrencia mensual entre 0,7% y 2%.

Cuadro 14. Análisis de frecuencias para precipitaciones medias mensuales, subcuenca río Piedras.

	Nº	Clases		Marca de Clase	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	Probabilidad %
Estación San Pedro	1	0	82,56	41,28	49	0,325	1	100
	2	82,56	165,12	123,84	26	0,172	0,675	67,5
	3	165,12	247,68	206,4	29	0,192	0,503	50,3
	4	247,68	330,24	288,96	16	0,106	0,311	31,1
	5	330,24	412,8	371,52	15	0,099	0,205	20,5
	6	412,8	495,36	454,08	12	0,079	0,106	10,6
	7	495,36	577,92	536,64	2	0,013	0,027	2,7
	8	577,92	660,48	619,2	1	0,007	0,014	1,4
	9	660,48	743,04	701,76	1	0,007	0,007	0,7
Estación Puzná	1	0	118,67	59,335	56	0,371	1	100
	2	118,67	237,34	178,005	34	0,225	0,63	63
	3	237,34	356,01	296,675	27	0,179	0,405	40,5
	4	356,01	474,68	415,345	9	0,06	0,226	22,6
	5	474,68	593,35	534,015	8	0,053	0,166	16,6
	6	593,35	712,02	652,685	6	0,04	0,113	11,3
	7	712,02	830,69	771,355	3	0,02	0,073	7,3
	8	830,69	949,36	890,025	5	0,033	0,053	5,3
	9	949,36	1068,03	1008,695	3	0,02	0,02	2
Estación Arrayanales	1	0	54,8	27,4	48	0,318	1	100
	2	54,8	109,6	82,2	26	0,172	0,682	68,2
	3	109,6	164,4	137	29	0,192	0,51	51
	4	164,4	219,2	191,8	14	0,093	0,318	31,8
	5	219,2	274	246,6	14	0,093	0,225	22,5
	6	274	328,8	301,4	11	0,073	0,132	13,2
	7	328,8	383,6	356,2	5	0,033	0,059	5,9
	8	383,6	438,4	411	2	0,013	0,026	2,6
	9	438,4	493,2	465,8	2	0,013	0,013	1,3
Estación Diviso	1	0	131,78	65,89	78	0,517	1	100
	2	131,78	263,56	197,67	37	0,245	0,483	48,3
	3	263,56	395,34	329,45	28	0,185	0,238	23,8
	4	395,34	527,12	461,23	4	0,026	0,053	5,3
	5	527,12	658,9	593,01	2	0,013	0,027	2,7
	6	658,9	790,68	724,79	0	0	0,014	1,4
	7	790,68	922,46	856,57	0	0	0,014	1,4
	8	922,46	1054,24	988,35	1	0,007	0,014	1,4
	9	1054,24	1186,02	1120,13	1	0,007	0,007	0,7
Estación El Lago	1	0	67,27	33,635	33	0,219	1	100
	2	67,27	134,54	100,905	34	0,225	0,782	78,2
	3	134,54	201,81	168,175	24	0,159	0,557	55,7
	4	201,81	269,08	235,445	23	0,152	0,398	39,8
	5	269,08	336,35	302,715	14	0,093	0,246	24,6
	6	336,35	403,62	369,985	18	0,119	0,153	15,3
	7	403,62	470,89	437,255	3	0,02	0,034	3,4
	8	470,89	538,16	504,525	1	0,007	0,014	1,4
	9	538,16	605,43	571,795	1	0,007	0,007	0,7

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 14. Parámetros estadísticos de precipitaciones.

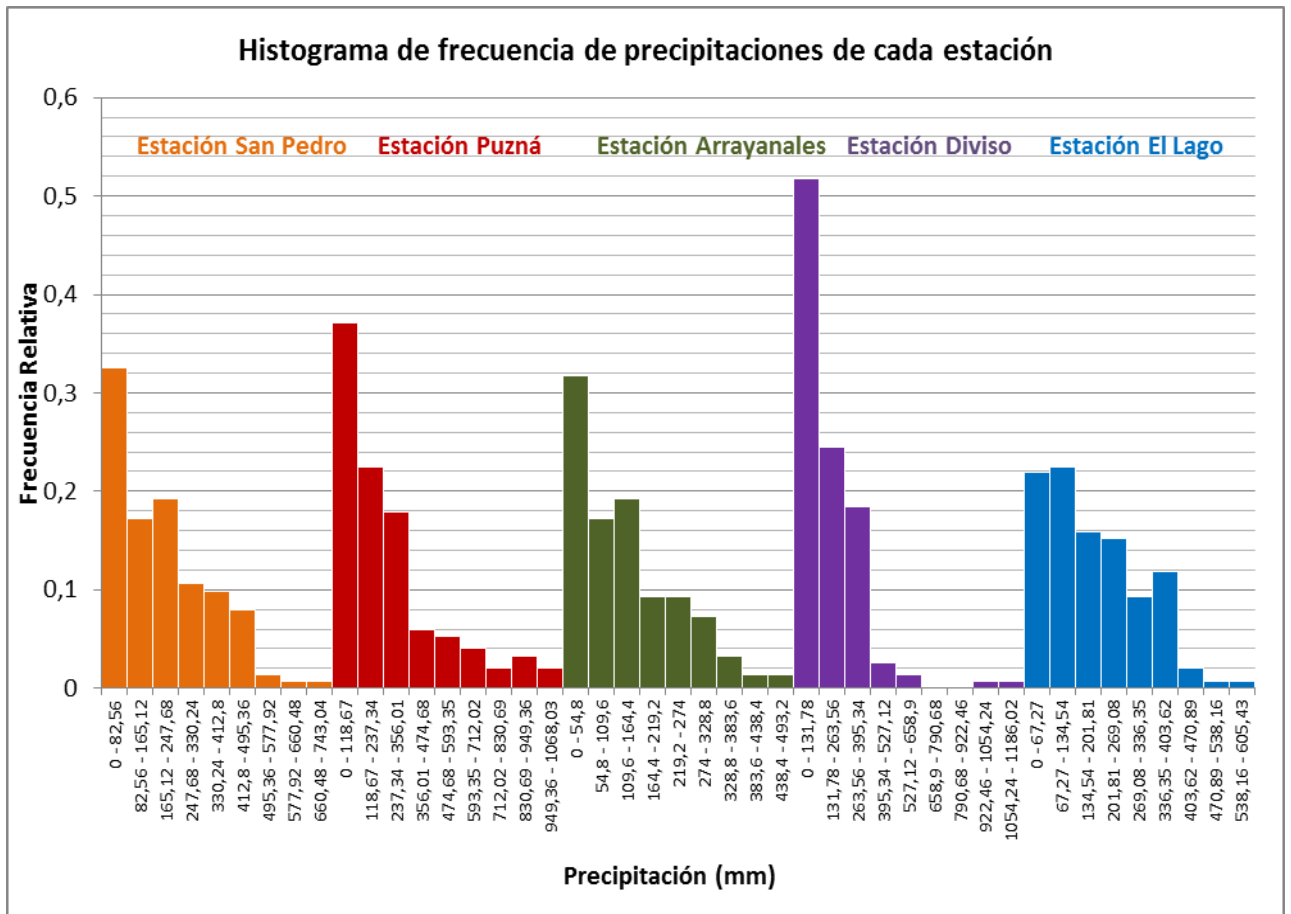
Parámetros estadísticos	Estaciones				
	San Pedro (2929msnm)	Puzná (2840msnm)	Arrayanales (2617msnm)	Diviso (2300msnm)	El Lago (1998msnm)
Media Aritmética	192,95	253,8	133,11	169,43	180,65
Desviación Estándar	151,77	246,84	112,29	167,87	125,87
Coefficiente de Variación	0,79	0,97	0,84	0,99	0,7
Coefficiente de Asimetría	0,8	1,43	0,91	2,57	0,68

Fuente: Elaboración propia, datos de (IDEAM, 2010).

Los coeficientes de asimetría del cuadro parámetros estadísticos muestran el sesgo de los histogramas de frecuencia de precipitaciones correspondientes a la Figura 33. El cálculo de estos coeficientes arrojó valores positivos (>0) para todas las estaciones y debido a ésto los histogramas presentan sesgo hacia la derecha o asimetría positiva, lo que indica una baja regularidad de ocurrencia de precipitaciones altas, generalmente mayores a 400m.

La asimetría en el histograma de frecuencia de precipitaciones varía para cada estación de acuerdo al coeficiente de sesgo obtenido. La estación el Lago obtuvo el coeficiente más cercano a cero (0,68), presenta el histograma con menor asimetría, mientras que la estación Diviso obtuvo el histograma con mayor asimetría gráfica con un coeficiente de 2,57.

Figura 253. Histograma de frecuencias de precipitaciones subcuenca río Piedras.



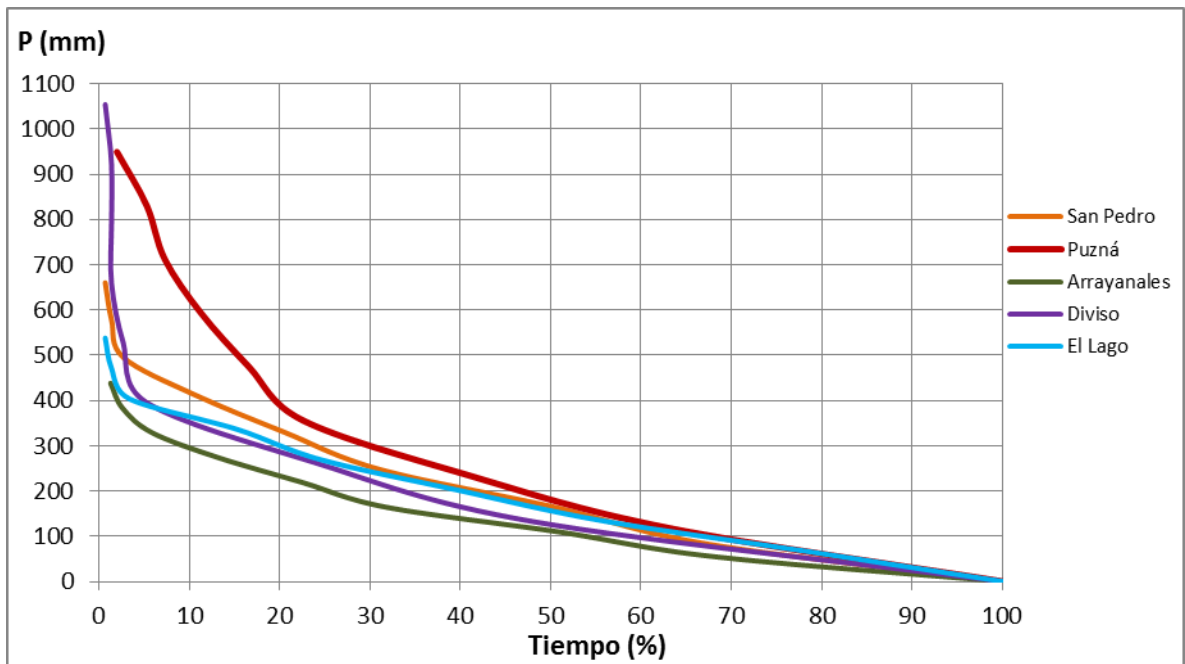
Fuente: Elaboración propia

La Figura 34, corresponde a las curvas de frecuencia y duración de precipitaciones para las estaciones de la subcuenca río Piedras.

Las precipitaciones más altas son esporádicas con una ocurrencia mensual menor al 10%, el Diviso ostenta los registros más altos para este lapso de tiempo con precipitaciones entre 400 y 1000 mm, mientras que arrayanales tiene las menores entre 350 y 438 mm. La estación Puzná presenta una ocurrencia mensual importante de precipitaciones entre 350 y 940 mm para un 20% del tiempo.

Las precipitaciones menores a 100mm medidas en el área de la subcuenca tienen una ocurrencia mensual mayor al 60%, para todas las estaciones.

Figura 264. Curva de frecuencia y duración de precipitaciones medias mensuales, subcuenca río Piedras.



Fuente: Elaboración propia

4.6 ÍNDICE DE ESCASEZ

Se define como la relación porcentual entre la demanda de agua del conjunto de actividades sociales y económicas con la oferta hídrica disponible, luego de aplicar factores de reducción para mantener el régimen de estiaje y para protección de fuentes frágiles.

Esta relación calculada para condiciones hidrológicas medias y secas, dan una visión general de la situación de la disponibilidad de agua actual y con las proyecciones futuras del abastecimiento a nivel nacional y regional, las entidades del estado involucradas en la gestión ambiental y de los recursos hídricos, podrán tomar las medidas necesarias para que los planes de ordenamiento del uso de los recursos naturales y manejo sostenible de las cuencas hidrográficas, tengan en cuenta zonas que presentan índices de escasez con niveles preocupantes y otras características desfavorables (González, 2008).

De acuerdo al documento Índice de Escasez del IDEAM, se establece que:

$$I_e = \frac{D}{O_n} * 100\%$$

Dónde:

I_e = Índice de escasez(%)

D=Demanda de agua(m³ / s)

O_n = Oferta hídrica superficial neta(m³ / s)

A su vez la oferta hídrica superficial neta resulta de la siguiente expresión:

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

Dónde:

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

El índice de escasez se agrupa en cinco categorías como se observa en el siguiente cuadro.

Cuadro 156. Categorías de agrupación del índice de escasez.

CATEGORÍA	RANGO	COLOR	EXPLICACIÓN
Alto	> 50 %	Rojo	Demanda Alta
Medio Alto	21 – 50 %	Naranja	Demanda Apreciable
Medio	11 – 20 %	Amarillo	Demanda Baja
Mínimo	1 – 10 %	Verde	Demanda Muy Baja
No Significativo	1 %	Azul	Demanda No Significativa

Fuente: (González, 2008)

A continuación se calculan los componentes del Índice de Escasez:

4.6.1 Demanda Hídrica

Según la CRC la demanda de agua en una cuenca es la cantidad de agua necesaria para desarrollar diferentes actividades sociales y económicas donde se requiere de este recurso, tales como:

Actividades agrícolas. Los cultivos requieren de agua para efectuar los procesos fisiológicos, de transpiración, transformación de tejidos y alcanzar el apropiado

desarrollo de las plantas. No solo los cultivos sino todo tejido vegetal requiere de agua para su permanencia dentro de estos también se encuentran los propios bosques reguladores de agua.

Actividades domésticas. Una población o comunidad necesita de agua para abastecer sus necesidades de consumo de agua potable y uso doméstico.

Actividades industriales. Para llevar a cabo actividades correspondientes al sector dedicado a la industria es fundamental el uso del recurso agua.

Otros usos. Existen otras demandas de agua, entre ellas la representada por los requerimientos mínimos de agua para conservar la biodiversidad existente en los cauces de agua superficial y el manejo de la calidad de agua mediante dilución de cargas contaminante.

En la subcuenca río Las Piedras se definen tres demandas uso doméstico, industrial y pecuario; en el uso doméstico se diferencia lo destinado a los Acueductos Veredales (zona rural) y lo derivado para el Acueducto de Popayán (zona urbana). El uso industrial se basa en la información de consumo específicamente de la piscifactoría El Diviso, la cual es la única industria dentro del área de estudio. El uso pecuario se refiere al consumo de agua tanto a nivel pecuario como para pequeñas huertas, además de algunas derivaciones para consumo propio (Recaman, 2006 & CRC, 2006).

La infraestructura de toma de caudales de las diferentes corrientes en la subcuenca, consiste básicamente en captaciones laterales, canales abiertos y tuberías de conducción. La demanda de agua de los diferentes acueductos veredales se estimó teniendo en cuenta la población que se abastece y en lo referente al acueducto de Popayán, se tuvieron en cuenta los registros de macromedición del sistema El Tablazo (Recaman, 2006).

De acuerdo al Estudio de Oferta y Demanda Hídrica del río Las Piedras realizado por Recaman L. y comprobado en campo por CRC, (2006), se obtienen los siguientes cuadros de resultados de demanda de la subcuenca río Las Piedras, información que posteriormente será utilizada para calcular el índice de escasez.

Cuadro 167. Demanda de agua para uso doméstico.

Vereda	Fecha de construcción u optimización	Usuarios	Fuente abastecedora	Caudal captado (L/s)
Quintana	1997	38	La Chorrera	3
San Juan Bajo-La Laguna	1985	160	Mortiñal	3
San Juan Alto	1995.	64	Santa Teresa	3
Las Guacas	2000	66	Carnicería	4
San Ignacio	2000	7 viviendas 1 escuela	Chaparral	2
San Isidro	1998	40	Robles	3
El Canelo	1993	88	La montaña	3
Las Guacas (Bocatoma Acueducto y Alcantarillado de Popayán)	1962 1978 1992 (planta de tratamiento.)	49275	río Las Piedras	*730
TOTAL				751

* = Consumo medio planta Tablazo 2009 - 2010

Fuente: (Recaman, 2006, 109 y POMCH Piedras, 2006, 358)

La Piscifactoría El Diviso tiene un caudal asignado de 385 l/s según la concesión de agua; los datos de campo recopilados por la fundación río Las Piedras menciona que el factor de retorno es de 0.8, por tanto el agua que retornan al río Las Piedras es de 308 L/s y presenta un consumo de 77 L/s . La CRC debe realizar chequeos periódicos en la estructura de derivación y entrega establecer los caudales reales de derivación y consumo (CRC, 2006).

Cuadro 178. Demanda de agua, piscifactoría El Diviso.

Sitio	Infraestructura	Usuarios	Usos	Fuente abastecedora	Caudal captado Agosto (L/s)
Piscifactoría el Diviso	bocatoma lateral	1	P	Río las Piedras	385
Factor de Retorno al Río Piedras 0.8					308
Demanda Interna no retornada					77

Fuente: (Recaman, 2006)

Cuadro 189. Demanda de agua para uso agropecuario, con derivaciones del río mediante canales en tierra.

Vereda	Infraestructura	Usuarios	Estado	Usos	Fuente abastecedora	Caudal captado Agosto (L/s)
Quintana	canal abierto 1	1	T-SR	A-D	quebrada Aguas Claras	5
	canal abierto 2	10	T-SR	A-D-P	quebrada Aguas Claras	20
	canal abierto 3	3	T-SR	A-P	quebrada La Chorrera	3
	canal abierto 4	6	T-SR	A-P	afluente Arrayanales	10
	canal abierto 5	4	T-SR	A-P	afluente Arrayanales	10
	canal abierto 6	6	T-SR	A-P	afluente Arrayanales	15
	canal abierto 7	11 (incluye un lago de pesca deportiva)	T-SR	A-P	quebrada Palmichal	10
Santa Teresa-San Juan	canal abierto 1	1 (hacienda Santa Teresa)	T-SR	A	quebrada Santa Teresa	5
	canal abierto 2	1 (Mario Chantre)	T-SR	A-D-P	quebrada Santa Teresa	5
	canal abierto 3	6	T-SR	A-D	quebrada Santa Teresa	10
	canal abierto 4	10 (invasores)	T-SR	A-D-P	quebrada Santa Teresa	5
		5		A-D	quebrada Pichagua	12
San Ignacio	canal abierto 1	1 (hacienda San Ignacio)	T-SR	A	quebrada Pichagua	10
	Canal abierto 2	36 (Parcelación)	T-SR	A-D	Quebrada El Trébol	10
El Canelo	Canal abierto	22		A-D	Quebrada La Montaña	10
El Canelo	Canal abierto	22	T-SR	A-D	Quebrada La Montaña	10
Los Laureles	Canal Abierto	25	T-SR	A-D	Quebrada La Josefina afluente de Carnicería	10
TOTAL						150

T-SR = canales en tierra sin regulación o control

R = Regulado (concesión de Aguas) A= uso agropecuario, D= uso doméstico, P= uso Piscícola

Fuente: (Recaman, 2006)

Cuadro 20. Resumen demanda subcuenca río Las Piedras.

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

Fuente: (Recaman, 2006)

4.6.2 Oferta hídrica

La oferta natural de agua en una región, está determinada por la cantidad de lluvia que se presenta; las fluctuaciones mensuales en la precipitación sirven para establecer dentro del Balance Oferta - Demanda los períodos en los cuales se requiere la explotación adicional del recurso hídrico superficial (ríos), natural (precipitación) y subterráneo (pozos).

La oferta superficial se conoce como los caudales que consolidan las corrientes de agua de una cuenca, debido a su importancia, algunas son monitoreadas con estaciones hidrométricas siendo estos registros la base de la estimación, sin embargo existen métodos indirectos para estimar los caudales de aporte (CRC, 2006).

El primer paso para la evaluación del índice de escasez consiste en la definición de la oferta hídrica superficial total. Por oferta hídrica superficial total se entiende aquella porción de agua que después de haberse precipitado sobre la cuenca y satisfecho las cuotas de evapotranspiración e infiltración del sistema suelo – cobertura vegetal escurre por los cauces mayores de los ríos y demás corrientes superficiales, alimenta lagos, lagunas y reservorios, confluye con otras corrientes y llega directa o indirectamente al mar. Usualmente esta porción de agua que escurre por los ríos es denominada por los hidrólogos como esorrentía superficial y su cuantificación conforma el elemento principal de medición en las redes de seguimiento hidrológico existentes en los distintos países (IDEAM, 2008)

La subcuenca del río Las Piedras como ya se mencionó anteriormente cuenta con la estación hidrométrica Puente Carretera, con registros desde 1969 y la ubicación de la estación hidrométrica a la salida de la cuenca donde no hay aportes de corrientes

superficiales aguas abajo, permite determinar el caudal efluente de la subcuenca, la cual constituye la oferta hídrica superficial (Recaman, 2006).

Cuadro 2119. Oferta hídrica superficial histórica de la subcuenca río Las Piedras estación Puente Carretera.

Mes	ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
\bar{Q} (m ³ /s)	3,33	3,08	2,89	3,03	2,58	1,57	1,27	1,13	1,09	1,77	3,81	4,18

Fuente: (IDEAM, 2010).

De acuerdo a la metodología para el cálculo del índice de escasez propuesta por el IDEAM y “Relaciones Demanda-Oferta de Agua y el Índice de Escasez” por Domínguez & Cols, (2008) la oferta hídrica superficial neta 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).

El factor de reducción para mantener el régimen de estiaje (R_e), se establece con base en las características del régimen de estiaje de la fuente abastecedora, su ecuación es:

$$R_e [\%] = 100 * \frac{Q_{97,5\%}}{\bar{Q}}$$

Dónde:

\bar{Q} : Caudal modal [m³/s]; (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 caudal).

$Q_{97,5\%}$: Caudal de estiaje [m³/s]; (caudal con el 97,5% de probabilidad de excedencia, se obtiene de la curva de frecuencia de caudales mínimos).

El factor de reducción para protección de fuentes frágiles (R_f), depende del coeficiente de variación (Cv) de los caudales mínimos y se determina de acuerdo a la siguiente tabla.

Cuadro 22. Escala de reducciones para protección de fuentes frágiles.

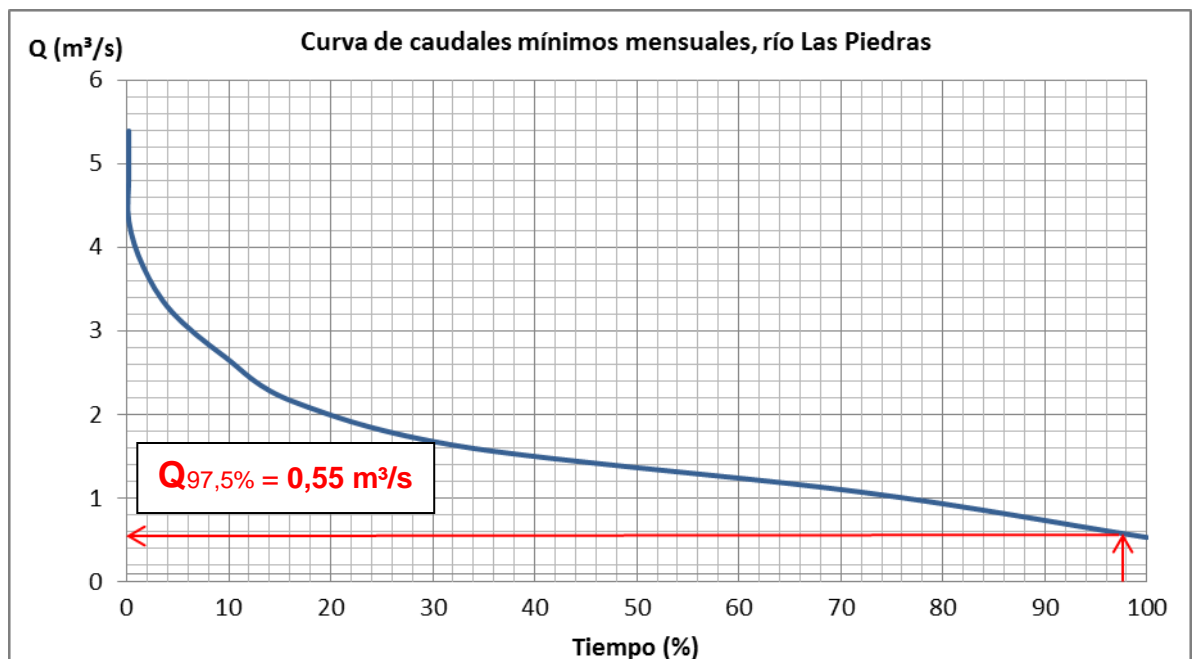
Cv	R _f (%)
0 - 0,2	15
0,2 - 0,3	25
0,3 - 0,4	35
0,4 - 0,6	40
> 0,6	50

Fuente: Domínguez E, 2005

De acuerdo a la información anterior es necesario para determinar la oferta hídrica superficial neta, el cálculo de los coeficientes de reducción (R_e) y (R_f), en este caso para la subcuenca río Piedras a partir de la información de caudales adquirida.

Para el factor de reducción de régimen de estiaje (R_e) se calculó \bar{Q} de acuerdo a la curva de frecuencia y duración de caudales medios del río Las Piedras (Figura 32) de donde se obtuvo que $\bar{Q} = 1,07\text{m}^3/\text{s}$. Para determinar $Q_{97,5\%}$ se realizó la Figura 35 con $Q_{\text{mín}}$, en donde se determina el caudal con el 97,5% de probabilidad de excedencia, como se muestra a continuación.

Figura 275. Curva de duración de caudales mínimos del río Las Piedras, estación Puente Carretera.



Fuente: (Elaboración propia)

Luego se procede a calcular el (R_e) de la siguiente forma:

$$R_e [\%] = 100 * \frac{Q_{97,5\%}}{Q} = 100 * \frac{0,55 \text{ m}^3 / \text{s}}{1,07 \text{ m}^3 / \text{s}} = 51$$

El factor de reducción para protección de fuentes frágiles (R_f) es 40% ya que se obtuvo un coeficiente de variación (C_v) igual a 0,48.

4.6.3 Cálculo del Índice de Escasez

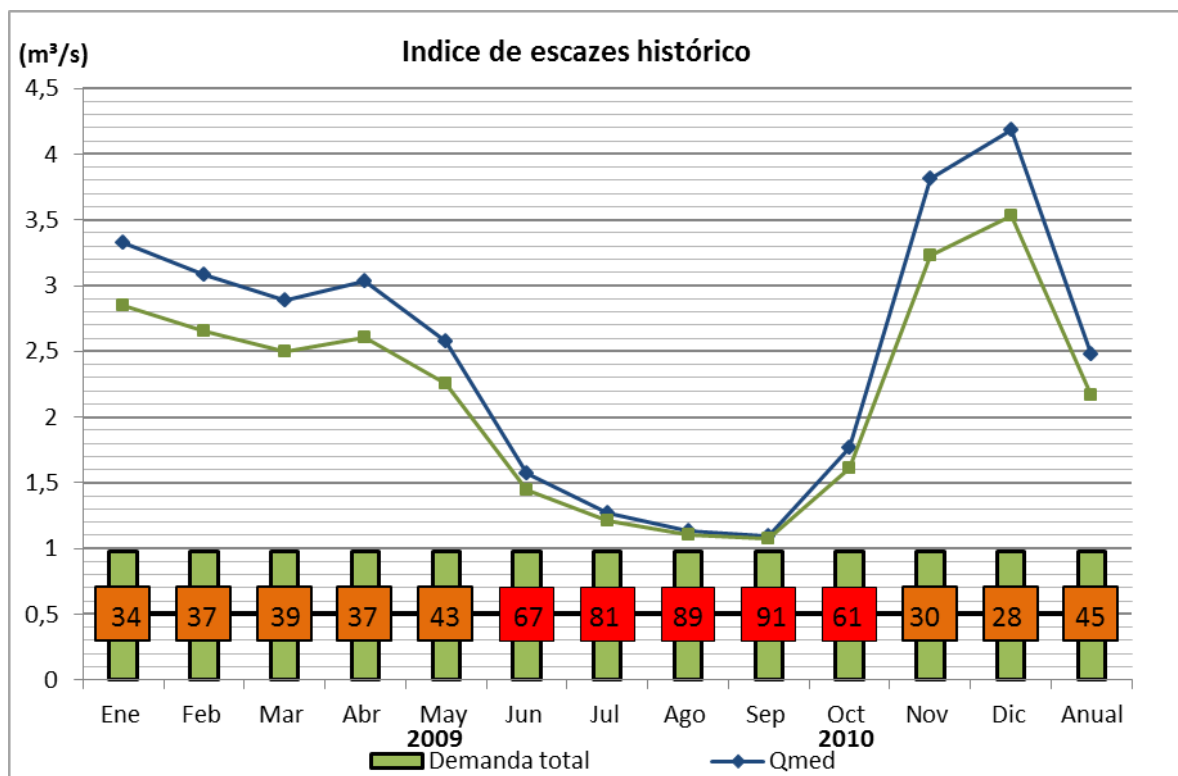
Para el cálculo del índice de escasez se considera la oferta hídrica superficial total como la suma de los caudales medios mensuales del río Las Piedras registrados en la estación limnimétrica Puente Carretera y el agua utilizada aguas arriba de la estación, que corresponde a consumo doméstico, agropecuario e industrial. La oferta hídrica superficial neta es el caudal medio disponible para abastecimiento teniendo en cuenta previamente los factores de reducción (R_e) y (R_f). La demanda se obtiene de la sumatoria de los consumos a nivel pecuario, industrial y doméstico, incluido el consumo realizado por el acueducto de Popayán (planta El Tablazo).

Cuadro 23. Índice de escasez histórico, subcuenca río Las Piedras.

Mes	Q med (m ³ /s)	Oferta hídrica superficial total (m ³ /s)	Oferta hídrica superficial neta (m ³ /s), $R_e = 51\%$ y $R_f = 40\%$	Demanda total (m ³ /s) = Dom + Pec + Ind	Índice de escasez (%)	Categoría	Explicación
Ene	3,33	3,58	2,58	0.978	34	Medio Alto	D. Apreciable
Feb	3,08	3,33	2,65	0.978	37	Medio Alto	D. Apreciable
Mar	2,89	3,14	2,50	0.978	39	Medio Alto	D. Apreciable
Abr	3,03	3,28	2,61	0.978	37	Medio Alto	D. Apreciable
May	2,58	2,83	2,25	0.978	43	Medio Alto	D. Apreciable
Jun	1,57	1,82	1,45	0.978	67	Alto	D. Alta
Jul	1,27	1,52	1,21	0.978	81	Alto	D. Alta
Ago	1,13	1,38	1,10	0.978	89	Alto	D. Alta
Sep	1,09	1,34	1,07	0.978	91	Alto	D. Alta
Oct	1,77	2,02	1,61	0.978	61	Alto	D. Alta
Nov	3,81	4,06	3,23	0.978	30	Medio Alto	D. Apreciable
Dic	4,18	4,43	3,53	0.978	28	Medio Alto	D. Apreciable
Anual	2,48	2,73	2,17	0.978	45	Medio Alto	D. Apreciable

Fuente: Elaboración propia

Figura 286. Índice de escasez mensual histórico, subcuenca río Las Piedras.



Fuente: (Elaboración propia)

La Figura 36 se realiza a partir de la información del Cuadro 23, con el fin de apreciar el comportamiento de la oferta hídrica respecto de la demanda y la variabilidad mensual del índice de escasez en la subcuenca.

Según la Figura 36 los meses más severos de todo el año hidrológico son junio, julio, agosto, septiembre y octubre para la subcuenca río Las Piedras, estos meses presentan un índice de escasez alto con una demanda alta superior al 50%, además agosto y septiembre son los meses con mayor índice de escasez 89% y 91% respectivamente. Cuando los índices son altos se espera déficit de agua, por lo que se debe recurrir a otras fuentes para abastecimiento como la quebrada PISOJÉ y el río Cauca.

Para los demás meses del año se obtuvo un índice de escasez medio alto que corresponde a una demanda apreciable de agua para la subcuenca de 21 a 50%, el valor anual alcanzó un índice de 45% que corresponde a categoría medio alta, lo que quiere decir que en general la subcuenca presenta una demanda apreciable donde el

77% de la demanda es doméstica. Debido a esto CRC, (2006), la cataloga como una subcuenca de alta importancia para la permanencia de la comunidad que hace uso de esta fuente.

Haciendo una comparación del índice de escasez para la subcuenca río Piedras obtenido en este trabajo con los resultados en CRC, (2006), **Anexo N**, se tiene que debido a la amplitud de los rangos que definen las categorías del índice, en ambos resultados los meses no varían de categorías, es así como junio, julio agosto, septiembre y octubre son meses de demanda alta, los demás meses del año así como el valor anual obtienen demanda apreciable para los dos estudios.

En este trabajo se actualizaron los valores de caudales medios del río Piedras (1969 a 2010) y de consumo de la planta El Tablazo a partir de información suministrada desde enero de 2009 hasta diciembre de 2010. También se tuvo en cuenta la metodología propuesta por el IDEAM y otros autores para calcular el índice de escasez, en la cual se incluye en la oferta los factores de reducción para mantener el régimen de estiaje (R_e) y para protección de fuentes frágiles (R_f), **factores que no fueron tenidos en cuenta en el POMCH Piedras realizado por CRC, (2006).**

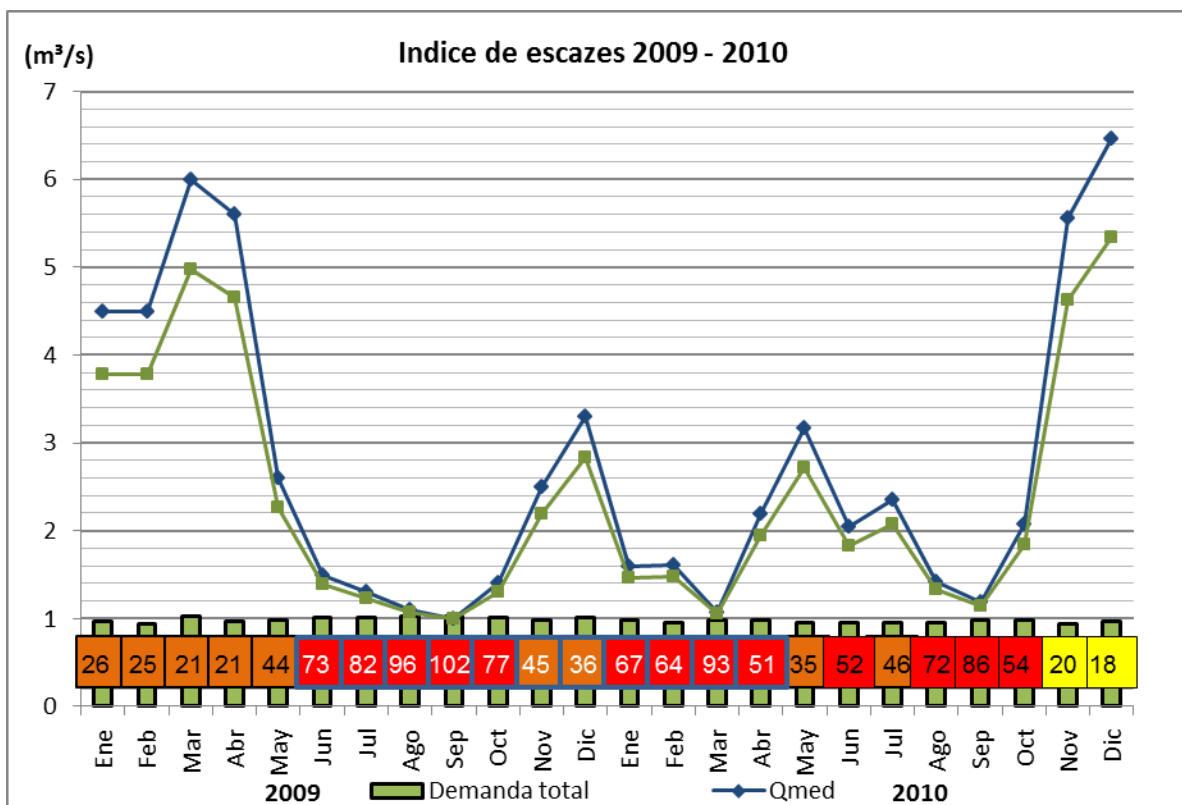
Para verificar el comportamiento de la oferta y demanda hídrica durante la incidencia del fenómeno El Niño en la subcuenca río Piedras, se realiza el cálculo del índice de escasez para el periodo 2009 – 2010, cuyos resultados se exponen en el Cuadro 20 y representados en la Figura 37.

Cuadro 204. Índice de escasez 2009 - 2010, subcuenca río Las Piedras.

Año	Mes	Q med (m ³ /s)	Oferta hídrica superficial total (m ³ /s)	Oferta hídrica superficial neta (m ³ /s), $R_e = 51\%$ y $R_f = 40\%$	Demanda total (m ³ /s) = Dom + Pec + Ind	Índice de escasez (%)	Categoría	Explicación
2009	Ene	4,5	4,75	3,78	0,97	26	Medio Alto	D. Apreciable
	Feb	4,5	4,75	3,78	0,94	25	Medio Alto	D. Apreciable
	Mar	6	6,25	4,98	1,03	21	Medio Alto	D. Apreciable
	Abr	5,6	5,85	4,66	0,97	21	Medio Alto	D. Apreciable
	May	2,6	2,85	2,27	0,99	44	Medio Alto	D. Apreciable
	Jun	1,5	1,75	1,39	1,01	73	Alto	D. Alta
	Jul	1,3	1,55	1,23	1,01	82	Alto	D. Alta
	Ago	1,1	1,35	1,07	1,03	96	Alto	D. Alta
	Sep	1	1,25	1	1,02	102	Alto	D. Alta
	Oct	1,4	1,65	1,31	1,01	77	Alto	D. Alta
	Nov	2,5	2,75	2,19	0,98	45	Medio Alto	D. Apreciable
	Dic	3,3	3,55	2,83	1,01	36	Medio Alto	D. Apreciable
2010	Ene	1,59	1,84	1,46	0,98	67	Alto	D. Alta
	Feb	1,61	1,86	1,48	0,95	64	Alto	D. Alta
	Mar	1,07	1,32	1,05	0,98	93	Alto	D. Alta
	Abr	2,19	2,44	1,94	0,98	51	Alto	D. Alta
	May	3,17	3,42	2,72	0,95	35	Medio Alto	D. Apreciable
	Jun	2,05	2,3	1,83	0,95	52	Alto	D. Alta
	Jul	2,35	2,6	2,07	0,95	46	Medio Alto	D. Apreciable
	Ago	1,42	1,67	1,33	0,96	72	Alto	D. Alta
	Sep	1,18	1,43	1,14	0,98	86	Alto	D. Alta
	Oct	2,08	2,33	1,85	0,99	54	Alto	D. Alta
	Nov	5,56	5,81	4,62	0,94	20	Medio	D. Baja
	Dic	6,46	6,71	5,34	0,97	18	Medio	D. Baja

Fuente: (Elaboración propia)

Figura 297. Índice de escasez (2009 - 2010), subcuenca río Piedras.



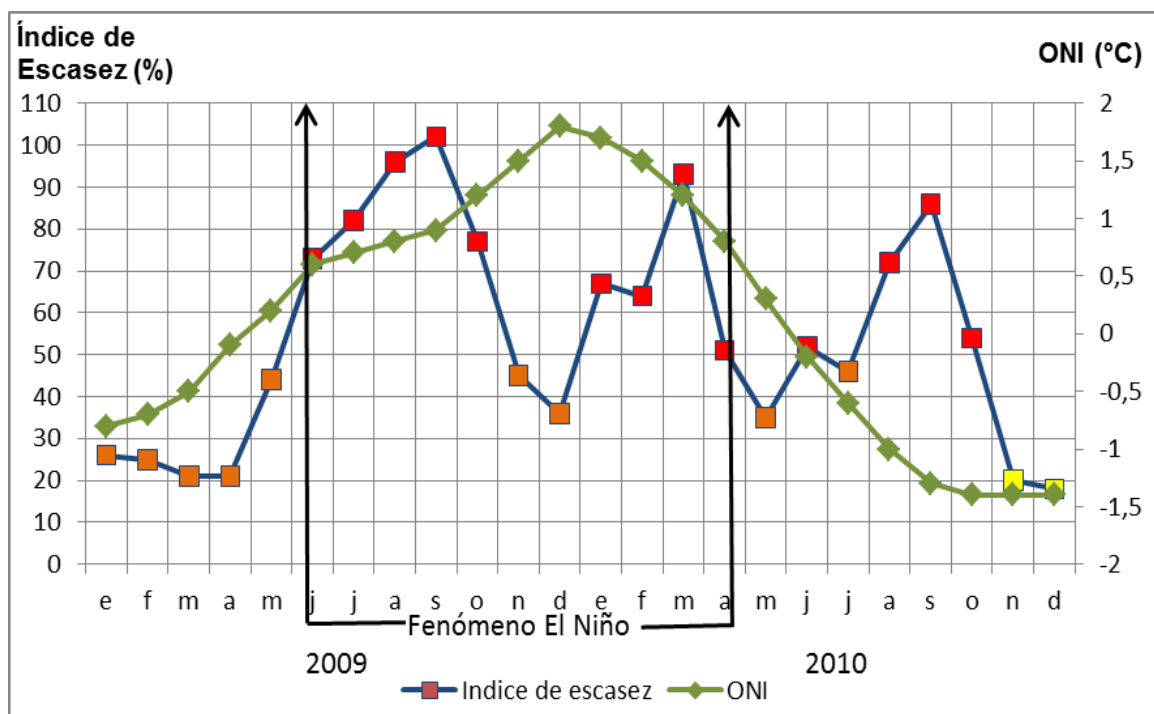
Fuente: (Elaboración propia)

De acuerdo a la Figura 37 los meses afectados por el fenómeno El Niño (junio 2009 hasta abril 2010) presentan índices de escasez superiores a los valores mensuales históricos, además nueve de los once meses de incidencia del fenómeno obtienen índices mayores al 50% que corresponde a demanda alta, solo noviembre y diciembre obtienen demanda apreciable durante el fenómeno con 42 y 36%. Enero, febrero, marzo y abril generalmente son meses de demanda apreciable, pero con afectación del fenómeno el índice se incrementa y estos meses alcanzan la categoría de demanda alta. El aumento del índice de escasez durante el fenómeno se debe a la reducción de la oferta hídrica y leves incrementos de la demanda, según información suministrada en la planta El Tablazo. Los valores más críticos de índice obtenidos en agosto, septiembre y marzo corresponden con los valores de caudales mensuales más bajos durante el fenómeno con meses de 1,1; 1,0 y 1,07 m³/s respectivamente. La demanda mensual se incrementa de junio a octubre y diciembre en aproximadamente 0,030 m³/s (o 30L/s) respecto del valor promedio mensual 0,978 m³/s, el cual fue obtenido a partir de la información de consumos de 2009 a 2010.

Sin afectación del fenómeno El Niño los índices mensuales del período de estudio (2009 - 2010) generalmente obtienen valores inferiores a los históricos y permanecen en las categorías, aunque noviembre y diciembre de 2010 obtuvieron índices de 20 y 18% que corresponden a demandas bajas para estos meses.

En la Figura 38 se comparan los resultados obtenidos en el índice de escasez para el periodo 2009 – 2010 con el Indicador Oceánico Niño (ONI) utilizado por la NOAA para verificar la ocurrencia e intensidad del Fenómeno El Niño.

Figura 308. Comparación entre el Índice de escasez de la subcuenca río Las Piedras y el ONI, para el periodo (2009-2010).



Fuente: (Elaboración propia)

Durante la ocurrencia del fenómeno El Niño las anomalías positivas superiores a 0,5°C registradas por el ONI coinciden con índices de escasez altos para el inicio del fenómeno de junio a octubre. En noviembre y diciembre de 2009 el indicador ONI alcanza los valores más altos del fenómeno superiores a 1,5°C pese a esto el índice de escasez para el río Las Piedras baja de categoría de demanda alta a apreciable; esto se debe al aporte hídrico que recibió la subcuenca por el paso de un frente frío que produjo incremento de precipitaciones durante estos meses. De enero hasta abril de

2010 se mantiene un índice de escasez alto mientras que el ONI comienza a disminuir dándose el fin del fenómeno El Niño en abril de 2010.

Los valores del ONI a partir de mayo de 2010 presentan disminución hasta alcanzar valores negativos de julio a diciembre, pero el índice de escasez para estos meses es alto (agosto, septiembre y octubre) por lo cual no se observa una correspondencia entre estos índices.

CAPÍTULO V

AFECTACIÓN DEL FENÓMENO EL NIÑO EN LA POBLACIÓN

5.1 GENERALIDADES

Para determinar la afectación del fenómeno de El Niño en la población de la subcuenca a nivel agrícola, pecuario y personal, se realizó una encuesta para la parte alta, media y baja de la subcuenca, **Anexo O**.

5.2 POBLACIÓN

Según el plan de ordenamiento y manejo de la subcuenca del río Piedras, en el censo del INCORA del año 1999 se obtuvo 2.138 habitantes agrupados en 535 familias. Distribuyendo las familias de forma equilibrada, con un 51% de población Masculina y 49% femenina Cuadro 25.

Cuadro 21. Distribución poblacional espacial y por sexo.

VEREDA	POBLACION TOTAL	%	DISTRIBUCIÓN POR SEXO			
			MUJERES	%	HOMBRES	%
HUACAS	318	15	162	51	156	49
LAURELES	78	4	34	44	44	56
SAN ISIDRO	235	11	115	49	120	51
EL CANELO	104	5	49	47	55	53
LA LAGUNA	225	10	113	50	112	50
SANTA TERESA	141	7	61	43	80	57
SAN JUAN	474	22	248	52	226	48
SAN IGNACIO	234	11	118	50	116	50
QUINTANA	329	15	157	48	172	52
TOTAL	2138	100	1057		1081	

Fuente: CRC, 2006

Y según el Cuadro 26 la vereda que presenta mayor concentración poblacional en la cuenca, es San Juan, Las Huacas y Quintana, con el 21, 17 y 16 % respectivamente,

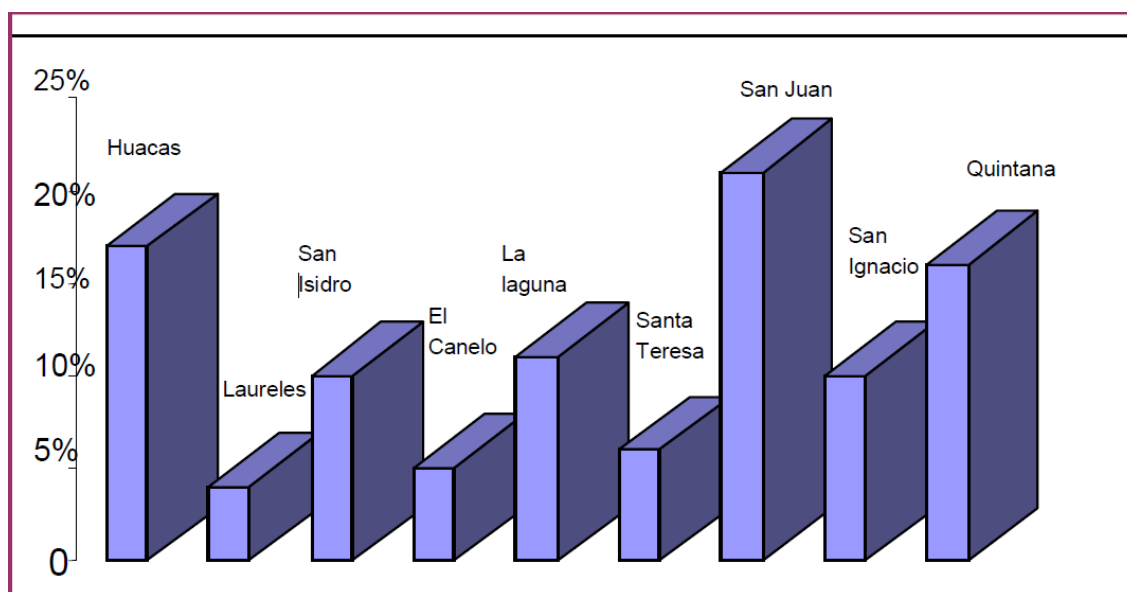
siguen en su orden la Laguna, San Ignacio, San Isidro y El Canelo, con menor número de familias están Los Laureles con 4%. Lo que permite demostrar que la población en la subcuenca no es uniforme, debido a que sus habitantes se disgregan a lo largo de la misma y su patrón de asentamiento es disperso, Cuadro 26 y Figura 39.

Cuadro 22. Distribución de familias por veredas.

VEREDA	Nº DE FAMILIAS	%
HUACAS	92	17
LAURELES	22	4
SAN ISIDRO	52	10
EL CANELO	25	5
LA LAGUNA	59	11
SANTA TERESA	33	6
SAN JUAN	113	21
SAN IGNACIO	55	10
QUINTANA	84	16
TOTAL	535	100

Fuente: CRC, 2006

Figura 319. Distribución porcentual de familias por veredas.



Fuente: CRC, 2006

La subcuenca está conformada por familias indígenas que pertenecen a las etnias Nasa del resguardo Páez de Quintana, Coconucos del Cabildo de Puracé y familias campesinas, que llegaron a la zona, algunos como colonizadores de lugares baldíos.

Generando diferencias de carácter ideológico y político centradas básicamente en la problemática histórica referente a la tenencia de tierras.

Además, la carencia de una buena organización entre los habitantes de la subcuenca ha ocasionado problemas para satisfacer las necesidades básicas como vivienda, salud, educación, servicios públicos domiciliarios y vías.

Los servicios públicos domiciliarios son deficientes, según CRC, (2006), la cobertura de acueducto según es del 49%, energía eléctrica 56% y servicio sanitario 66%.

5.2.1 Economía de la subcuenca

Según la encuesta realizada en campo durante el proceso de investigación y el Plan de Ordenación y Manejo de la Subcuenca, las actividades económicas de los habitantes de la subcuenca dependen del sector agrícola y pecuario, ya sea a pequeña o a gran escala, según la cantidad de terreno que tenga el propietario Cuadro 27.

Cuadro 23. Tipos de producción a nivel pecuario y agrícola en la subcuenca Piedras.

PRODUCCIÓN AGRÍCOLA	
CULTIVOS	PRODUCTO
Granos	Arveja, maíz, café, frijol,
Tubérculos	Yuca, papa, batata,
Hortalizas	Zanahoria, cilantro, lechuga, cebolla, repollo
Frutas	Uchuva, mora, fresa, tomate de árbol, plátano, breva, lulo, zapallo, calabaza y
Otros cultivos	Fique y pasto kikuyo
PRODUCCIÓN PECUARIA	
NOMBRE DE LA ESPECIE	RAZA O ESPECIE
Ganadería	Cebú, normando y Pardo
Piscicultura	Trucha
Especies menores	Gallinas conejos, curíes, gallinas ponedoras y pollos de engorde.

Fuente: elaboración propia

La comercialización de los productos se hace en los diferentes puntos de mercado en Popayán, o, sencillamente se produce para su consumo y tener así una seguridad alimentaria.

Además, para obtener una buena producción ya sea agrícola o pecuaria se requiere del recurso hídrico y de los suelos de la subcuenca, dicha producción se puede ver

afectada durante la incidencia del fenómeno El Niño por diferentes factores como plagas, enfermedades, sequías, incendios, etc.

5.3 IMPACTOS DURANTE EL FENÓMENO EL NIÑO.

Los impactos del fenómeno El Niño en la población de la subcuenca río Piedras a nivel agrícola, pecuario y forestal, se establecieron por medio de la realización de entrevistas a familias propietarias de fincas que desarrollan estas actividades en la zona de estudio. La entrevista se hizo mediante una encuesta **Anexo O**, a pobladores de las zonas alta, media y baja de la subcuenca, para un total de 25 familias encuestadas. Con los que se obtuvo información específica de usos de la fuente, tipos de actividades agrícolas, pecuarias y sus afectaciones por dicho fenómeno tanto a nivel económico como a nivel personal.

La Figura 40, muestra que en general un alto porcentaje de los encuestados han notado cambios en los factores agua y suelo cultivado durante el fenómeno El Niño. Los habitantes afirman que la tierra se pone “reseca” o árida y no es posible realizar las actividades agrícolas o pecuarias como se hace normalmente, respecto a los cultivos plantados estos se enferman o se marchitan y mueren. También son conscientes de la disminución del agua disponible, que es necesaria para sus actividades Figura 41, pues más del 80% de los encuestados afirman haber percibido la disminución en fuentes hídricas y lluvias durante el fenómeno, alterando las formas de riego, que es la actividad principal para el sostenimiento de los cultivos agrícolas o pecuarios, ya que más del 30% de los encuestados esperan las lluvias para regar sus cultivos, los demás toman el agua de fuentes cercanas para hacer riegos por métodos de aspersión, goteo, manual o surcos Figura 42.

Figura 40. Cambio en los Factores

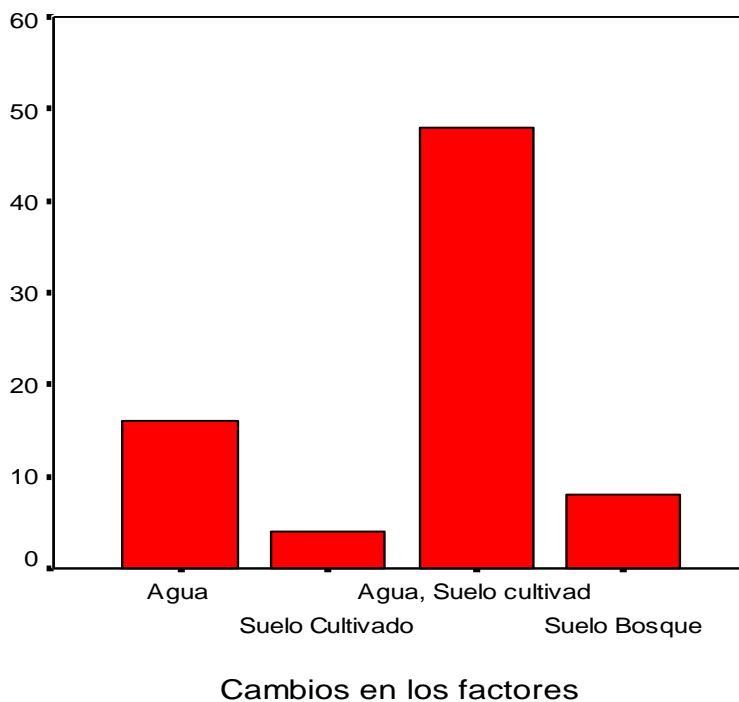
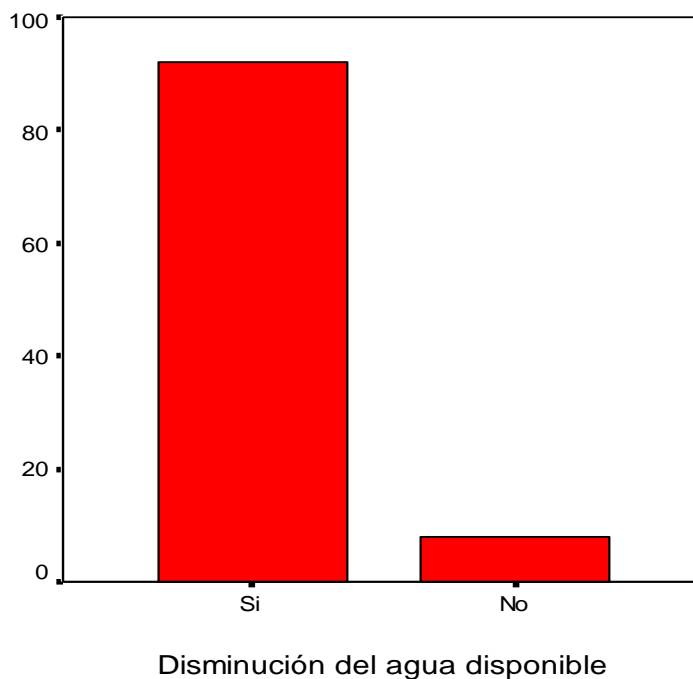
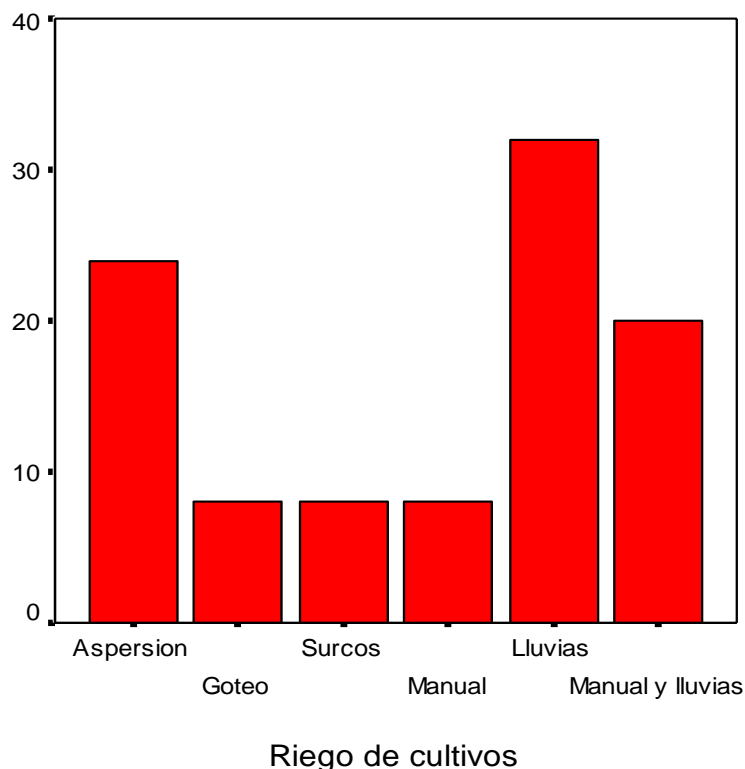


Figura 41. Disminución del agua disponible



Fuente: (Resultados del programa Estadístico para las Ciencias Sociales SPSS).
Elaboración propia.

Figura 322. Prácticas para riego de cultivos



Fuente: (Resultados del programa Estadístico para las Ciencias Sociales SPSS).
Elaboración propia.

5.3.1 Agrícola

Los diferentes cultivos de la región requieren de unas condiciones adecuadas para su buen desarrollo, por lo que se debe tener en cuenta que las siembras se deben realizar a una altitud apropiada y se debe contar con ciertas condiciones como: temperatura, humedad, vientos, precipitaciones, tipos de suelos y sobre todo el tiempo de siembra. Es importante mencionar que el área de la subcuenca en condiciones normales presenta periodos húmedos con lluvias de octubre a mayo y periodos secos entre junio y septiembre.

La distribución de periodos húmedos y secos en el año hidrológico es importante para poder llevar a cabo las siembras o cosechas de los cultivos agrícolas. Estos periodos pueden ser alterado por eventos naturales como el fenómeno El Niño, haciendo que las precipitaciones disminuyan y los meses secos se acentúen más durante todo el periodo de afectación, generando cambios en el ciclo hidrológico de la subcuenca,

como ocurrió con el reciente fenómeno en el cual el mes de marzo que generalmente es húmedo pasó a ser seco durante la incidencia de dicho fenómeno, sin dejar por alto que la geomorfología de la subcuenca es otro factor determinante de las precipitaciones a lo largo del año, ya sea en meses húmedos o secos.

Es por esto que la parte agrícola de la subcuenca se vio afectada en su mayoría, según los resultados de la encuesta realizada. En la Figura 43 se observa que los cultivos más sembrados por los habitantes de la subcuenca son los granos y tubérculos con un 24%, seguido de las hortalizas con un 20%, solo granos en un 16%, las frutas con un 4% y el resto distribuido en fincas que tienen varios cultivos como granos y hortalizas en un 12%, tubérculos y hortalizas en un 12% y cultivos de pan coger con un 12%.

La incidencia del reciente fenómeno El Niño produjo alteraciones en los cultivos Figura 44, la mayor afectación fueron las enfermedades que se presentaron en todos los cultivos de acuerdo con los encuestados, desde un 40% para cultivos de solo hortalizas hasta 100% para cultivos de frutas, granos y hortalizas. Con menores porcentajes de afectación los cultivos de granos, hortalizas, granos y tubérculos, tubérculos y hortalizas se secaron, solo el 20% de las personas que cultivan solo hortalizas manifestaron que no pasó nada con su cultivo, así mismo con los cultivos de pan coger en un 30%.

Debido a esto los habitantes de la subcuenca tomaron medidas frente a las afectaciones en sus cultivos de acuerdo con sus alternativas económicas y cercanía a otras fuentes hídricas Figura 45. En la mayoría de los cultivos los pobladores hicieron uso de riegos, insecticidas y fungicidas. El 100% de los encuestados que cultivan frutas afirman haber utilizado insecticidas y fungicidas, otros encuestados con elevados porcentajes de respuesta manifiestan no haber hecho nada a los cultivos, porque al esperar la cantidad cosechada no satisfacía el trabajo y la inversión. Esto produjo pérdidas en todos los cultivos, ya que se tenían que invertir más en abonos, fungicidas, riegos y trabajo, para poder obtener cosechas. Los cultivos que más produjeron pérdidas fueron granos, hortalizas, granos y tubérculos Figura 46 y Figura 47, pérdidas que oscilan entre \$50000 y más de \$500000.

Figura 333. Tipo de cultivo en producción.

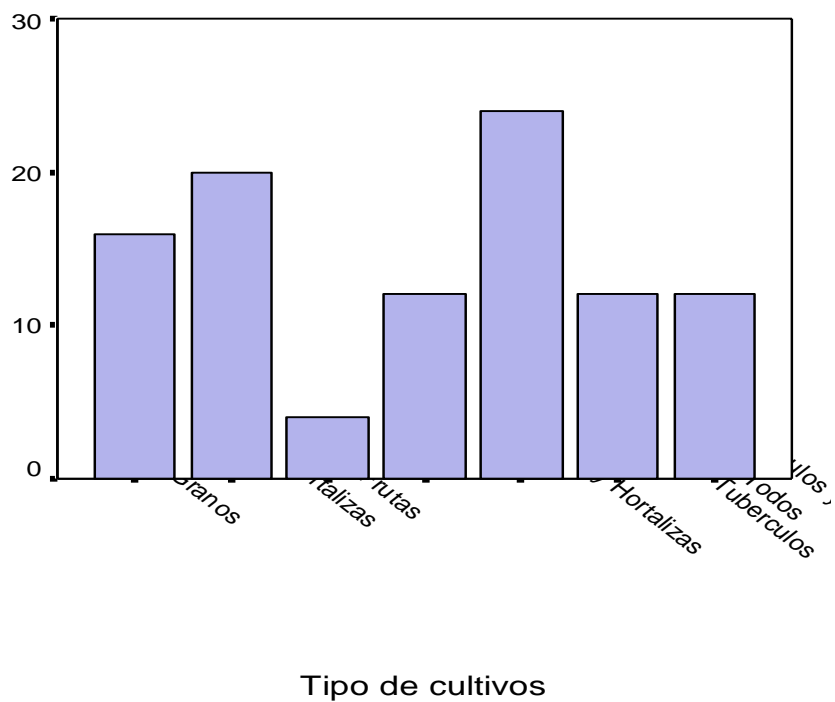
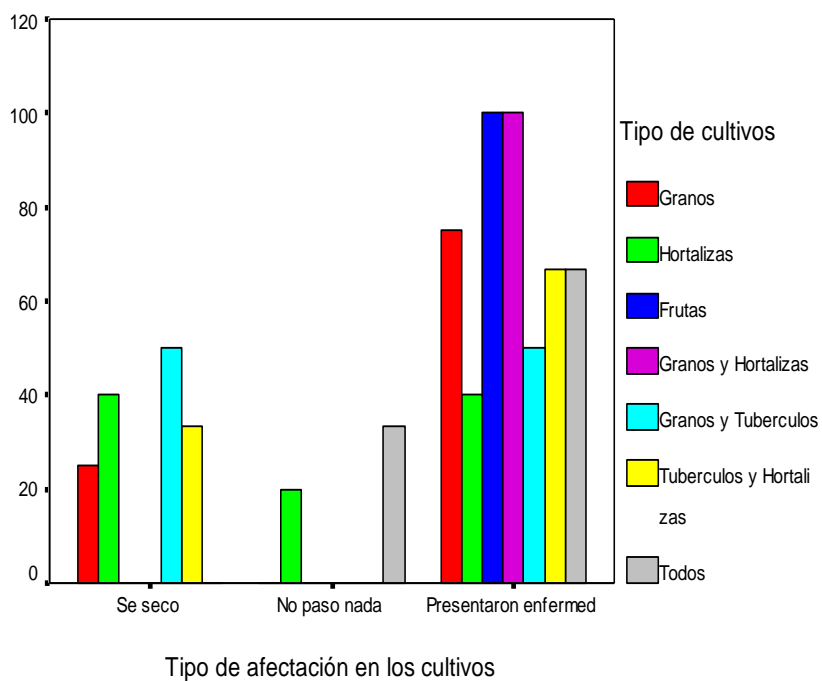
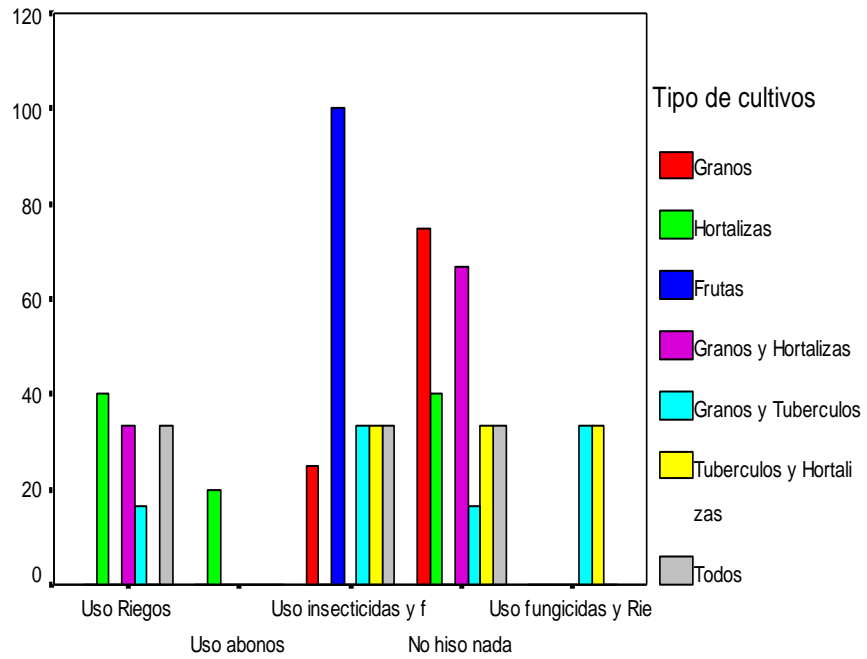


Figura 344. Tipos de cultivo y sus afectaciones



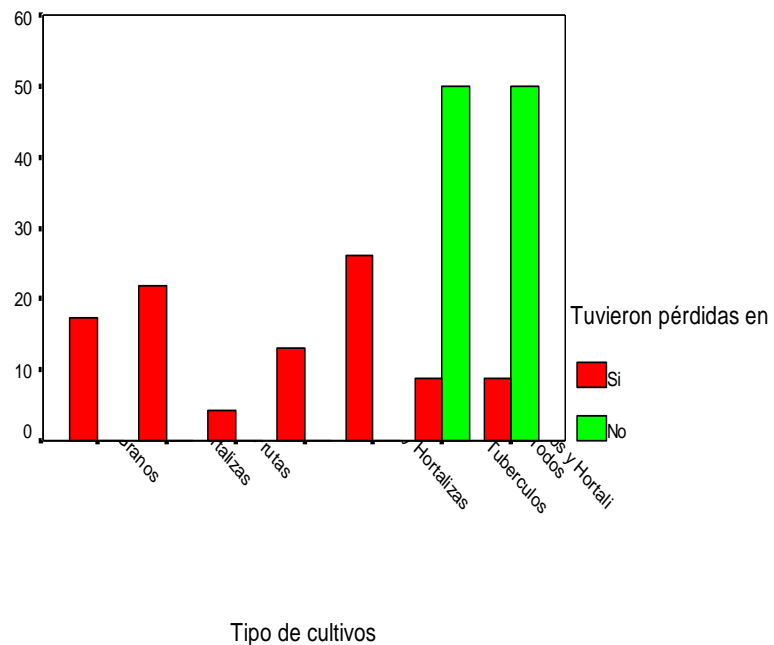
Fuente: (Resultados del programa Estadístico para las Ciencias Sociales SPSS).
Elaboración propia.

Figura 355. Tipos de cultivo y como afrontó la situación.



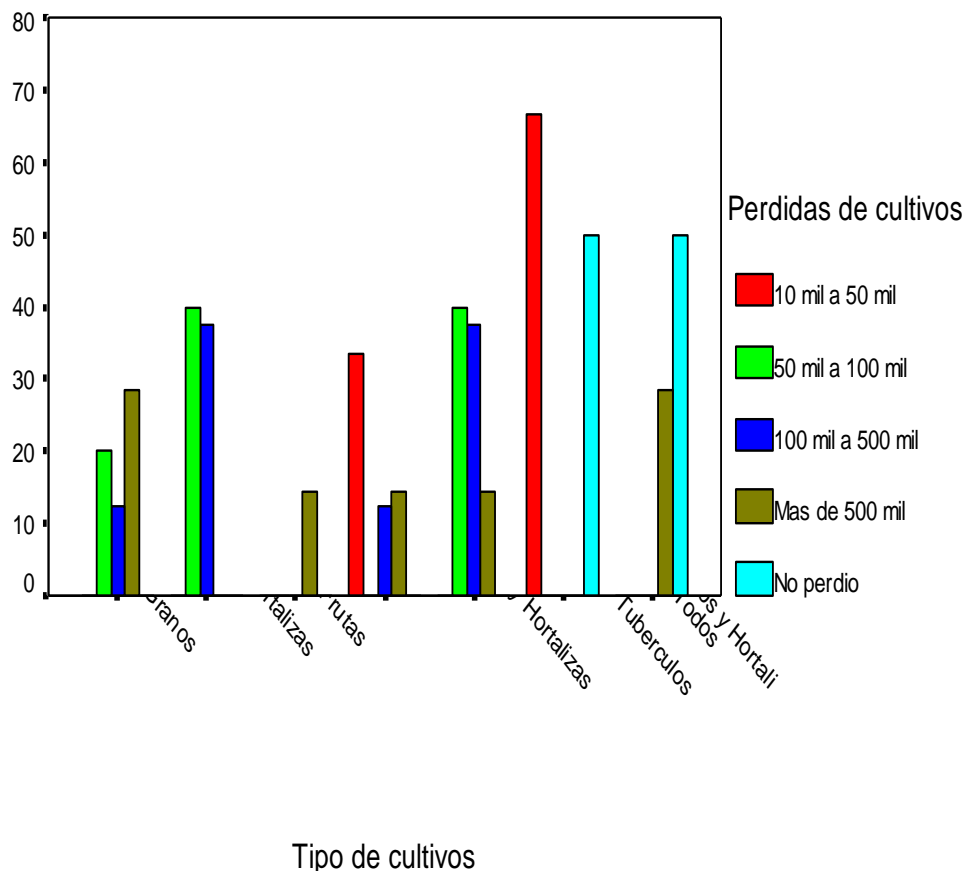
Como afronto la situación durante el fenómeno en los cultivos

Figura 366. Pérdidas de cultivos



Fuente: (Resultados del programa Estadístico para las Ciencias Sociales SPSS).
Elaboración propia.

Figura 377. Pérdidas económicas en los cultivos.



Fuente: (Resultados del programa Estadístico para las Ciencias Sociales SPSS).
Elaboración propia.

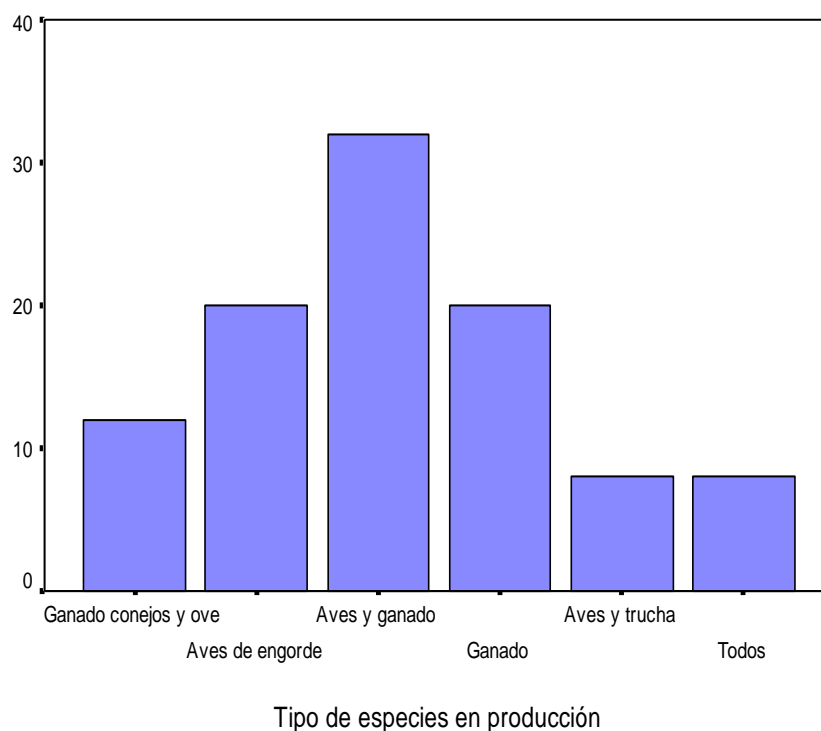
5.3.2 Pecuario.

Las especies que predominan en la producción pecuaria de la subcuenca río Piedras son las aves de engorde y ganado de acuerdo con la información de los encuestados Figura 48, seguido por truchas, conejos y ovejas, especie que dependen del clima y de la disponibilidad de agua y alimentos.

La producción pecuaria se vio afectada en sus especies presentando la mayoría enfermedades Figura 49, también bajó la producción y otros murieron. Debido a esto los pobladores de la subcuenca buscaron alternativas para afrontar la situación, comprando alimentos, drogas, o alquilando terrenos en zonas aledañas a drenajes de la subcuenca, ésta fue la opción que la mayoría de los encuestados afirman haber

realizado para hacerle frente a las enfermedades y garantizar el sostenimiento de aves y ganado, que son las especies de mayor producción Figura 50. A pesar de haber tomado medidas, la producción de aves de engorde y ganado fue la que mayores pérdidas en las especies produjo Figura 51, a nivel económico las principales pérdidas que van desde uno a diez millones de pesos Figura 52, es para la producción de ganado.

Figura 388. Especies en producción.



Fuente: (Resultados del programa Estadístico para las Ciencias Sociales SPSS).
Elaboración propia.

Figura 399. Afectación en las especies.

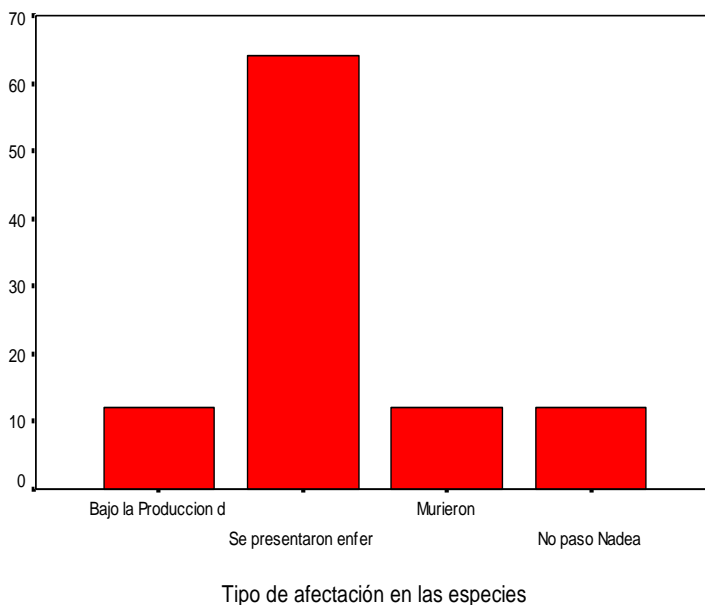
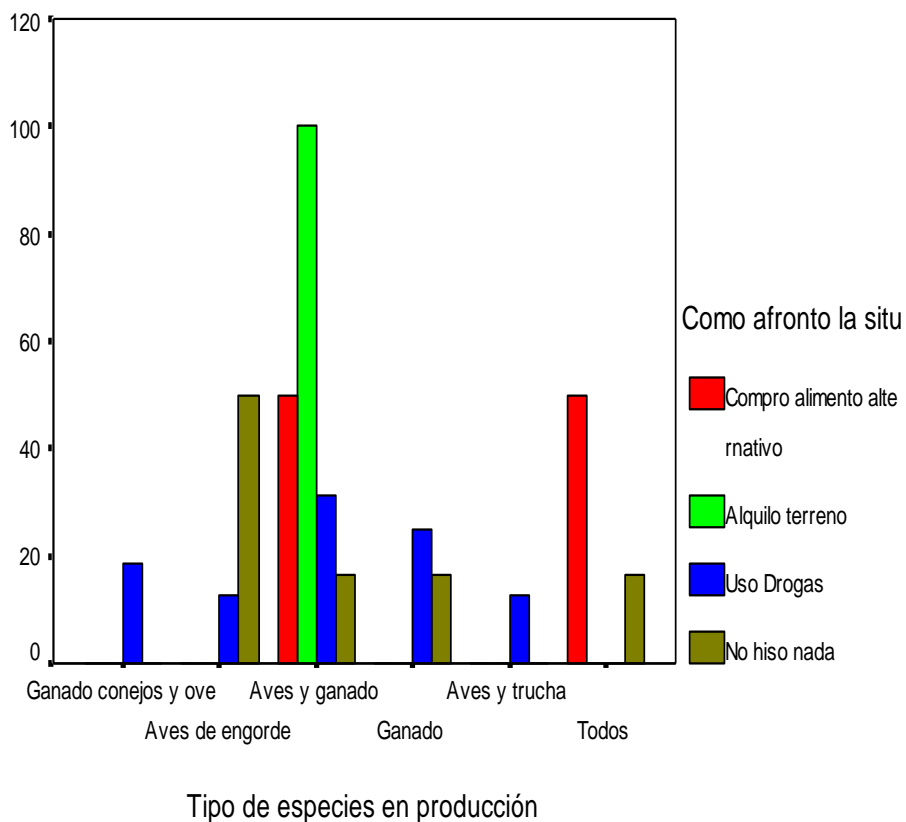


Figura 50. Como afronto la situación



Fuente: (Resultados del programa Estadístico para las Ciencias Sociales SPSS).
Elaboración propia.

Figura 51. Perdidas en las especies.

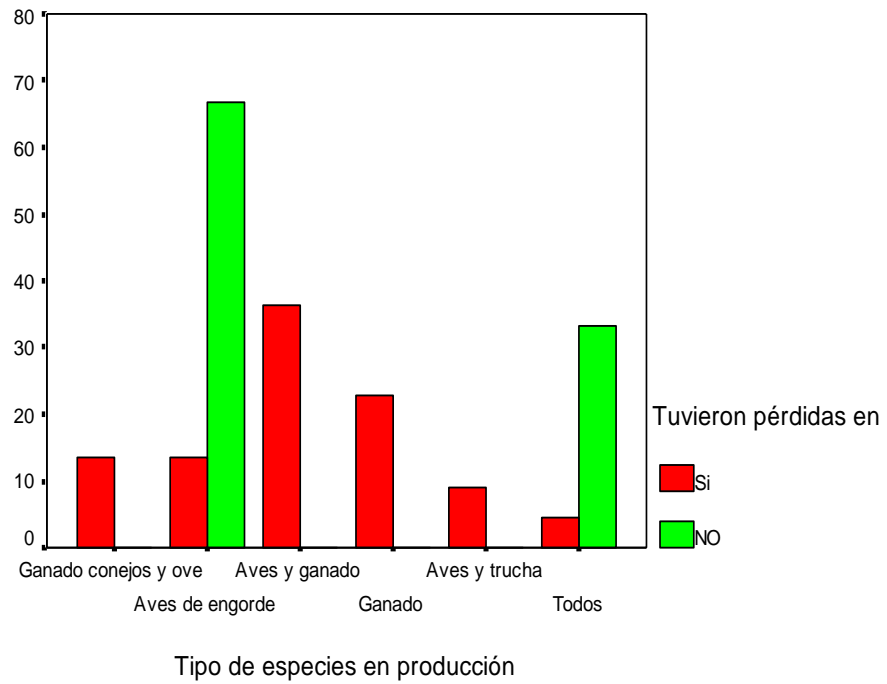
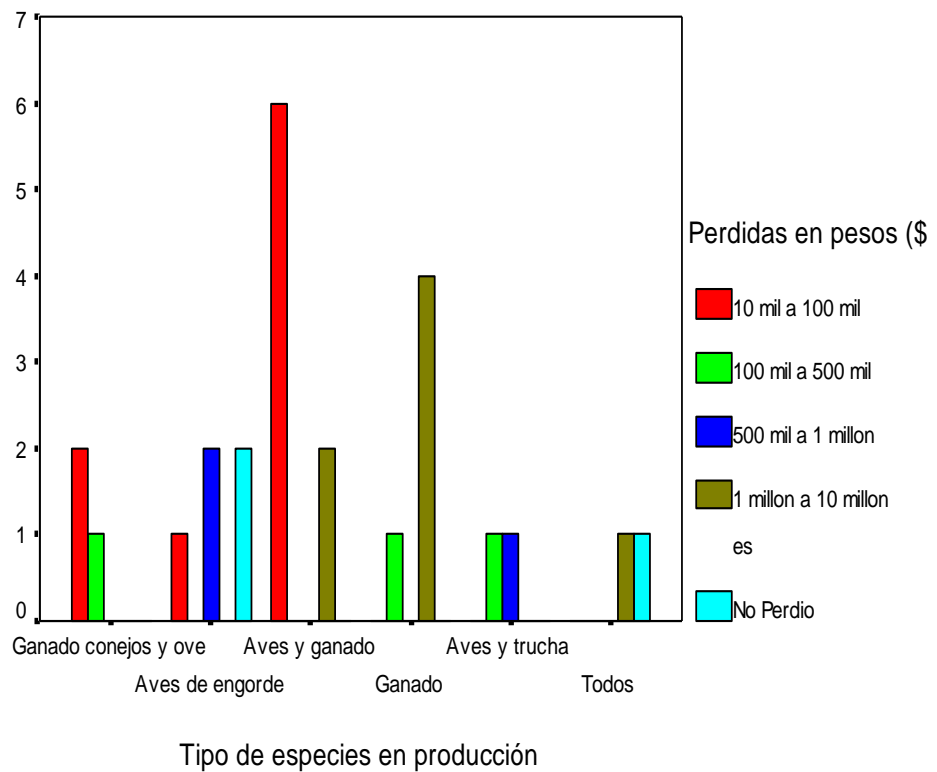


Figura 402. Pérdidas económicas en las especies.



Fuente: (Resultados del programa Estadístico para las Ciencias Sociales SPSS).

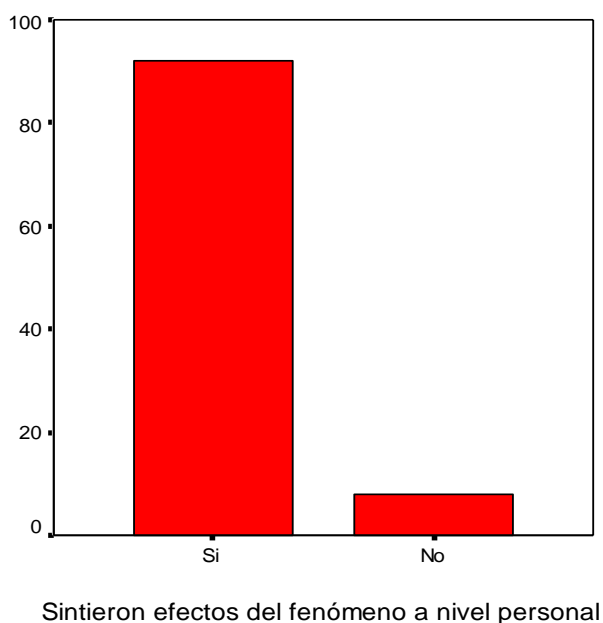
Elaboración propia.

5.3.3 Población

El fenómeno El Niño también tuvo repercusiones sobre los habitantes de la subcuenca, pues el 92% de los encuestados así lo afirman Figura 53. La afectación más común fue la gripa con un 56%, seguido por el aumento de insectos 20%, diarrea 16% y solo el 8% de los encuestados atestiguaron que no paso Figura 54. Las enfermedades fueron tratadas en casa con medicina natural, pero para las que presentaron complicaciones fueron tratadas en los centros de salud que les brinda la EPS.

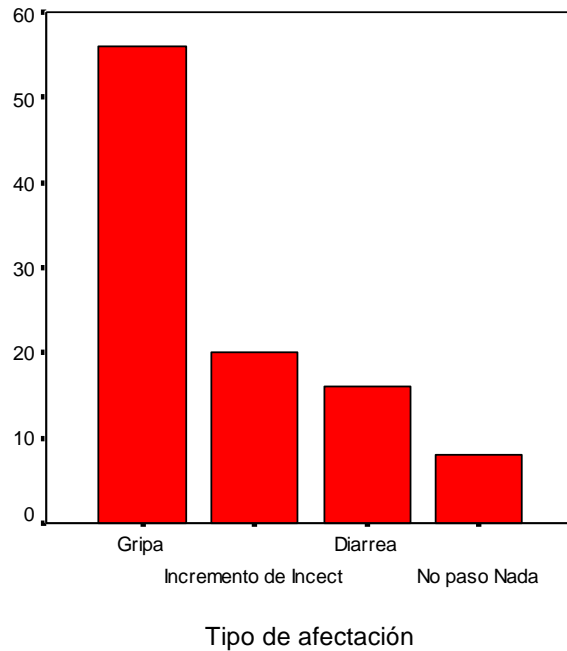
La población campesina carnetizada y/o clasificada en el SISBEN, se beneficia de los servicios a través de las EPS e IPS Cóndor Salud, EMSANAR, ASMET Salud, HUMANA VIVIR Y CAPRECOM. Ellos recurren generalmente al Hospital del Norte o Toribio Maya por cercanía, comodidad, ahorro de tiempo y porque esta institución goza de cierto prestigio. Para la población indígena la atención por régimen subsidiado de salud se hace por intermedio de la AIC cuyas instalaciones se ubican en cercanías a la sede del CRIC. (CRC, 2006).

Figura 413. Efectos a nivel personal



Fuente: (Resultados del programa Estadístico para las Ciencias Sociales SPSS).
Elaboración propia.

Figura 424. Tipos de afectación.



Fuente: (Resultados del programa Estadístico para las Ciencias Sociales SPSS).
Elaboración propia.

5.3.4 Forestal

Según habitantes de la subcuenca no se han presentado grandes incendios forestales con los anteriores fenómenos, sin embargo durante la incidencia del último fenómeno El Niño, se presentaron tres incendios forestales, devastando aproximadamente cuatro hectáreas en las laderas del río Piedras, en la parte media y baja de la subcuenca, Figuras 55. Debido a que se realizan quemas sin ningún control, para llevar a cabo limpiezas de terrenos al preparar el suelo para la siembra o posiblemente porque tiran residuos como vidrios en estos lugares.

Figura 435. Incendios forestales en las laderas del río Piedras.



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

- El régimen de caudales de la subcuenca río Las Piedras está determinado por el régimen de lluvias y las condiciones hidrológicas de la cuenca puesto que los incrementos anuales están asociados a períodos de lluvias. Uno de los efectos del fenómeno El Niño en la subcuenca es la disminución en las precipitaciones y como consecuencia de los caudales. Debido a esto el registro histórico de caudales del río Las Piedras presenta las principales disminuciones en años afectados por el fenómeno El Niño, para caudales max en 1977, 1987 y 2006; caudales medios en 1977 y 1987; caudales mínimos en 1969, 1973, 1977, 1982 y 1986.

De acuerdo con las anomalías propuestas por el Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en Centroamérica (CEPREDENAC), El 75% de los caudales medios mensuales del río Las Piedras afectados por el fenómeno El Niño presentan anomalías negativas entre 0,3 y 1,8 m³/s por debajo del caudal medio histórico (2,52 m³/s).

Las temperaturas medias mensuales de las estaciones meteorológicas registraron incrementos en sus valores durante todos los meses de afectación del fenómeno, en comparación con el año anterior, siendo 2°C el máximo incremento obtenido en diciembre de 2009.

- De acuerdo a los resultados estadísticos para caudales y precipitaciones de la subcuenca río Las Piedras, se obtiene que estos parámetros presentan dispersión en sus datos con coeficientes de variación de 0,75 para caudales y de 0,7 a 0,99 para precipitaciones. La mayor variación de las precipitaciones se presentan en la estación El Diviso, con un coeficiente de variación de 0.99. Tanto caudales como precipitaciones poseen asimetría positiva en sus respectivos histogramas de frecuencia, por lo cual se obtiene una baja regularidad de ocurrencia en los valores más altos, para caudales a partir de 5,61 m³/s y para precipitaciones desde 400mm en todas las estaciones.

Las curvas de frecuencia y duración confirman la baja permanencia del 2 % de los valores más altos, en caudales a partir de los 6,96 m³/s y en precipitaciones desde 300 a 700mm dependiendo de la estación. Para caudales se garantiza entre un 47 y 100% del tiempo anual la permanencia de caudales mínimos entre (2,04 – 0,7 m³/s) y para precipitaciones menores a 100mm en cada estación se tiene una ocurrencia mensual mayor al 60% del tiempo.

- Las microcuencas que conforman la red de drenaje del río Las Piedras en época de estiaje aportan al río entre un 54 y 70% de caudal mediante flujo superficial. Por afluentes menores y flujo subsuperficial (aguas subterráneas), recibe una contribución de caudal entre 30 y 46% en esta época. Cuando los caudales empiezan a recuperarse e incrementarse los aportes por flujos superficiales (microcuencas) aumentan el caudal, obteniendo hasta un 90% de contribución de caudal al río; los afluentes menores y flujos subsuperficiales por su parte disminuyen su aporte, con contribuciones cercanas al 10% del caudal del río.

Las mediciones de caudales realizados muestran que las áreas de influencia para las estaciones de aforo Puente alto y Canelo aportan un mayor caudal al río, con un aporte promedio de 35,22% y 31,74% respectivamente..

- La subcuenca presenta en condiciones normales un período de lluvias de octubre a mayo, y un período “seco” de junio a septiembre en el cual las precipitaciones se reducen. Cuando se presenta el fenómeno El Niño y durante todo su período de afectación, los registros de temperaturas aumentan y las precipitaciones disminuyen de acuerdo a la información de las estaciones meteorológicas San Pedro (2929msnm), Diviso (2300msnm) y El Lago (1998msnm). Estas alteraciones según los balances hídricos realizados causan disminución en la disponibilidad del recurso hídrico durante la ocurrencia del fenómeno, pues los meses considerados secos se incrementan y acentúan, la reserva disminuye y en algunos meses (agosto y septiembre) se hace nula obteniéndose déficit de agua en el suelo.

De acuerdo a los climogramas la variabilidad climática ocasionada por el fenómeno El Niño, consiste en que los meses que cumplen la condición de aridez (Precipitación menor a dos veces la temperatura), son más frecuentes durante la incidencia del fenómeno El Niño, pues sin este generalmente corresponden a

meses húmedos, los meses de julio, septiembre de 2009 y marzo de 2010, presentaron aridez para las tres estaciones analizadas, solo el mes de agosto de 2010 presentó aridez sin afectación del fenómeno El Niño.

Además, tanto balances hídricos como climogramas muestran que el grado de afectación tiende a aumentar a medida que se pierde altura en la subcuenca, por lo que en la parte baja el déficit de agua puede ser mayor así como la aridez de los meses en comparación con zonas más altas de la subcuenca.

- Los sectores agrícola, pecuario y forestal de la subcuenca río Las Piedras también se vieron afectados por el fenómeno El Niño. A nivel agrícola todos los cultivos presentaron enfermedades y a pesar de las medidas tomadas por la comunidad como el uso de riegos, abonos, insecticidas y fungicidas fue poco lo que se pudo recuperar generando pérdidas económicas. Así mismo, en el sector pecuario las pérdidas económicas se debieron a las enfermedades y muertes de las principales especies en producción de la subcuenca (aves de engorde y ganado). En el sector forestal se presentaron tres incendios que devastaron aproximadamente cuatro hectáreas.

Por otro lado, la población de la subcuenca a nivel personal también se vio afectada durante el fenómeno, pues se incrementó el número de personas con enfermedades como gripa y diarrea, además de las molestias causadas por el aumento de insectos.

- Según los resultados del índice de escasez a nivel histórico en la subcuenca se presenta una demanda alta de junio a octubre con índices mayores al 50%, siendo críticos agosto y septiembre con porcentajes de 89 y 91%, de noviembre hasta mayo la demanda es apreciable con índices de 21 a 50 %. El valor anual indica que en general, en la subcuenca río Las Piedras se da una demanda hídrica apreciable y debido a que el 77% de la demanda es doméstica la CRC en el POMCH río Las Piedras la cataloga como una subcuenca de alta importancia para la permanencia de la comunidad que hace uso de esta fuente.

Los meses afectados por el reciente fenómeno El Niño obtuvieron índices de escasez superiores a los históricos, debido a la disminución generalizada en la

oferta hídrica reflejada en la reducción de caudales medios del río Las Piedras (estación Puente Carretera), siendo los más bajos 1,0 y 1,07 m³/s correspondientes a septiembre de 2009 y marzo de 2010 respectivamente, con un comportamiento similar en los balances hídricos para las tres estaciones (San Pedro, Diviso y El Lago), donde la disminución más significativa de precipitaciones se presenta en septiembre y marzo, con reducciones importantes en la reserva, por otra parte, la demanda hídrica obtuvo un incremento aproximado de 0,030 m³/s respecto del promedio 2009 – 2010 (0,978 m³/s) de junio a octubre y diciembre.

Las anomalías positivas ($\geq 0,5^{\circ}\text{C}$) registradas por el Indicador Oceánico Niño (ONI) para el fenómeno El Niño 2009 - 2010 coinciden con los índices de escasez altos (demanda alta > al 50%) obtenidos para el río Las Piedras y solo durante noviembre y diciembre la demanda es apreciable debido al aporte hídrico que recibió la subcuenca por el paso de un frente frío que produjo precipitaciones e incremento de la oferta hídrica.

- De acuerdo con la información de las estaciones meteorológicas ubicadas en el área de la subcuenca, con el reciente fenómeno El Niño, se obtuvo disminución en precipitaciones e incrementos de temperatura, lo que ocasionó reducciones en la disponibilidad del recurso hídrico, obteniendo meses con aridez y déficit de agua en el suelo presentada durante el fenómeno. La reducción de las precipitaciones producen disminución de los caudales que a su vez impactan negativamente la oferta hídrica ocasionando un incremento generalizado del índice de escasez para los meses afectados por el fenómeno. Las microcuencas que contribuyen al caudal del río Piedras también disminuyen su aporte de 90% a 70% de la misma forma los afluentes menores y flujos subsuperficiales en época de estiaje se hacen importantes ya que incrementan su aporte al caudal del río.

Otro efecto que generó el fenómeno El Niño en la subcuenca, fueron pérdidas económicas en las familias que habitan esta área de estudio, debido a que algunos cultivos como granos y tubérculos se secaron, también las aves de engorde y ganado presentaron enfermedades y en algunos les produjo la muerte. A nivel personal se generaron enfermedades como gripe y diarrea, sin dejar por alto el incremento de insectos otro causante de enfermedades.

CAPÍTULO VII

RECOMENDACIONES

- Es importante que se continúe educando a las comunidades asentadas en el área de la subcuenca, para darles a conocer los efectos que se pueden generar durante la incidencia del fenómeno y cómo hacer frente a éste, con el fin de adoptar medidas que puedan mantener la producción de la subcuenca, sin afectar las fuentes hídricas y la población.
- Realizar un plan de contingencia para mitigar los efectos del fenómeno El Niño en el área de la subcuenca, el que debe tener una fase de prevención, atención y rehabilitación, para llevar a cabo con el apoyo de la División Ambiental del Acueducto de Popayán e instituciones que quieran y puedan ser partícipes de esta causa.

La prevención implica educación, vacunación, adquisición de medicamentos e insumos para habitantes y la parte agropecuaria, la atención implica que los habitantes de la subcuenca deben estar a cargo de las entidades que presten la atención a damnificados, apoyándolos con brigadas de salud y evaluación en las redes de agua potable y la rehabilitación busca evaluar los daños o afectaciones causadas por el fenómeno y coordinar actividades con las entidades pertinentes para promover acciones de recuperación.

- Llevar a cabo un procesamiento oportuno de los datos hidroclimatológicos, con gráficos y análisis que muestren el comportamiento de estas variables en el transcurso del año.
- Para evitar incendios se recomienda no hacer ningún tipo de quema de los desechos de los cultivos debido a que la incidencia de los vientos pueden producir incendios forestales con mucha facilidad.
- Suprimir las conducciones irregulares de agua a través de canales en tierra para evitar las pérdidas y realizarlo a través de tuberías para evitar posibles conflictos.

- Abastecimiento de agua en horas de la noche.
- Realizar los estudios para el cálculo de las necesidades de agua para los cultivos y la implementación técnica de métodos de riego eficientes.

Debido a que las principales actividades económicas de los habitantes de la subcuenca dependen del sector agrícola y pecuario, la Secretaría de Agricultura en estos casos recomienda de acuerdo con Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, (2009) lo siguiente:

- A nivel agrícola se sugiere sembrar solo donde se tenga la posibilidad de riego tecnificado y eficiente, en lo posible cerca a las fuentes hídricas ya que las lluvias van a ser escasas y reducidas, evitar las siembras en zonas planas. Con miras a que las heladas y los vientos no perjudiquen los cultivos, se aconseja protegerlos con plásticos, coberturas o forrajes vegetales, es decir, el material de desecho de las otras siembras, en lugar de quemarlo, se podrá usar como protección.
- Para proteger el suelo se recomienda que el control de malezas se haga de forma alta y no a ras del suelo; además, se deben dejar las malezas cortadas en el suelo para que brinde sombra y controle la evapotranspiración.
- En la parte pecuaria se aconseja preparar reservorios de agua lluvia, pozos, o estanques para el ganado, bebedores para animales, preparar suplementos alimenticios como gallinaza, melaza y concentrados, programar la cantidad de ganado que puede mantenerse en este período, vender los animales de descarte como el ganado viejo y poco productivo. Evitar que el ganado sobre pastoree los potreros.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUIRRE, Mauricio. Geología y Amenazas en la subcuenca del río Las Piedras. 2006.
- Barnett, T. The interaction of multiple time scales in the tropical climate system 1991. Página 269.
- CRC. Plan de Ordenación y Manejo de la subcuenca hidrográfica del río Las Piedras. 2006. Páginas. 365, 358, 364, 302, 347, 328
- DOMÍNGUEZ y COLS. Relaciones Demanda-Oferta de Agua y el Índice de Escasez. 2008
- DOMÍNGUEZ, E; IDEAM, El Estudio Nacional del Agua un Compendio Sobre El Recurso Hídrico en Colombia 2005.
- GUEVARA DÍAZ, José Manuel. El abc de los índices usados en la identificación y definición cuantitativa de El Niño – oscilación sur 2008. Terra.ene2008,vol24.<http://www2.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1012-70892008000100005&lng=es&nrm=iso>. ISSN 1012-7089
- GONZALEZ MUÑOZ, Luis Jorge. Hidrología. 2008. Páginas 112, 147, 104, 33, 34, 91, 149, 36. 148, 150, 122, 129, 128
-----Climatología. 2008. Página 113
-----Ordenamiento de las corrientes Guachicono bajo, mazamorras y quebrada los huevos. 2008. Página 192
- IDEAM. Efectos naturales y socioeconómicos del Fenómeno El Niño en Colombia 2002. <http://www.ideam.gov.co/fenomenonino/DOCUMENTOELNINO.pdf>. Página 8
----- El niño en Colombia. 2006.
http://www.ideam.gov.co/Comunicado_Especia_EL_NnO.pdf
-----Índice de Escasez. 2008. Página 10

-----Fenómeno El Niño. 2002.

<http://www.ideam.gov.co/files/atlas/El%20Ni%C3%B1o%20y%20La%20Ni%C3%B1a.htm>

- KILADIS, G; DÍAZ H. Global climatic anomalies associate with extremes in the Southern Oscillation .1989.
- MATURANA, Jenny; BELLO Mónica; MANLEY Michelle. Antecedentes históricos y descripción del fenómeno El Niño, Oscilación del Sur. Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile Departamento de Oceanografía Errázuriz, Playa Ancha, Valparaíso, 2002. Página 14.
- MESA, Oscar; POVEDA, Germán; CARVAJAI, Luis. Universidad Nacional de Colombia, Posgrado en aprovechamiento de recursos hidráulicos Introducción al clima de Colombia Medellín. Medellín 1997, Página 45.

-----Efecto del fenómeno El Niño-Oscilación sur en la Hidrología Colombiana. Memorias del XVI Congreso Latinoamericano de Hidráulica e Hidrología vol. 3, Santiago de Chile 1994.

- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Plan de Prevención y Mitigación de los Efectos del Fenómeno El Niño en el Sector Agropecuario, Acuícola y Pesquero. 2009.
- NOAA. El Niño and La Niña years and Intensities. 2011 <http://ggweather.com/enso/oni.htm>
- ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL. Pronostico del Fenómeno El Niño. 2009. http://www.wmo.int/pages/index_es.html
- ORREGO, A; PARIS, G; INGENOMINAS. Cuadrángulo N-&, Popayán: Geología, Geoquímica y Ocurrencias Minerales. Bogotá, 1991.
- RAMAGE, Colin S. El Clima. 2001. Página 39

- RECAMAN, Liliana. Evaluación de la oferta y demanda hídrica de la subcuenca del río Las piedras 2006. Páginas. 49, 44, 63,109, 110, 111, 62.
- SILVA MEDINA, Gustavo. Proyectos de Suministro de Agua en Cuencas con Información Escasa. 2009.
- TORRES. Woodward Clyde Consultants 1991.

ANEXOS

Anexo A. Ocurrencia de fenómenos El Niña y La Niña, de acuerdo con el ONI.

EVENTOS NIÑO			
INICIO	FINAL	Valores ONI mensuales	Clasificación
Julio-Agosto-Septiembre 1951	Noviembre-Diciembre-Enero 1951/52	0.7; 0.7; 0.8; 0.7; 0.6	Débil
Marzo-Abril-Mayo 1957	Mayo-Junio-Julio 1958	0.6; 0.7; 0.9; 0.9; 0.9; 0.9; 1.0; 1.2; 1.5; 1.7; 1.5 ; 1.2; 0.8; 0.6; 0.5	Fuerte
Junio-Julio-Agosto 1963	Diciembre-Enero-Febrero 1963/64	0.6; 0.8; 0.9; 0.9; 1.0; 1.0; 0.8	Débil
Mayo-Junio-Julio 1965	Marzo-Abril-Mayo 1966	0.6; 1.0; 1.2; 1.4; 1.5; 1.6; 1.5 ; 1.2; 1.0; 0.8; 0.5	Fuerte
Octubre-Noviembre-Diciembre 1968	Mayo-Junio-Julio 1969	0.7; 0.9; 1.0; 1.0; 0.9; 0.7; 0.6; 0.5	Débil
Agosto-Septiembre-October 1969	Diciembre-Enero-Febrero 1969/70	0.6; 0.7; 0.8; 0.7; 0.5	Débil
Abril-Mayo-Junio 1972	Febrero-Marzo-Abril 1973	0.5; 0.8; 1.0; 1.3; 1.5; 1.8; 2.0; 2.1; 1.8 ; 1.2; 0.5	Fuerte
Agosto-Septiembre-October 1976	Enero-Febrero-Marzo 1977	0.5; 0.7; 0.8; 0.7; 0.6; 0.5	Débil
Agosto-Septiembre-October 1977	Diciembre-Enero-Febrero 1977/78	0.5; 0.6; 0.7; 0.7; 0.7	Débil
Abril-Mayo-Junio 1982	Mayo-Junio-Julio 1983	0.6; 0.7; 0.7; 1.0; 1.5; 1.9; 2.2; 2.3; 2.3; 2.0; 1.5 ; 1.2; 1.0; 0.6	Fuerte
Julio-Agosto-Septiembre 1986	Enero-Febrero-Marzo 1988	0.5; 0.7; 0.9; 1.1; 1.2; 1.2; 1.3; 1.2; 1.1; 1.0; 1.2; 1.4; 1.6; 1.6; 1.5 ; 1.3; 1.1; 0.7; 0.5	Fuerte
Abril-Mayo-Junio 1991	Junio-Julio-Agosto 1992	0.6; 0.8; 1.0; 0.9; 0.9; 1.0; 1.4; 1.6; 1.8; 1.6; 1.5 ; 1.4; 1.2; 0.8; 0.5	Fuerte
Abril-Mayo-Junio 1994	Febrero-Marzo-Abril 1995	0.5; 0.5; 0.6; 0.6; 0.7; 0.9; 1.2; 1.3; 1.2 ; 0.9; 0.7	Moderado
Abril-Mayo-Junio 1997	Abril-Mayo-Junio 1998	0.8; 1.3; 1.7; 2.0; 2.2; 2.4; 2.5; 2.5; 2.3; 1.9; 1.5 ; 1.0; 0.5	Fuerte
Abril-Mayo-Junio 2002	Febrero-Marzo-Abril 2003	0.7; 0.8; 0.9; 1.0; 1.1; 1.3 ; 1.5; 1.4; 1.2; 0.9; 0.5	Moderado
Mayo-Junio-Julio 2004	Enero-Febrero-Marzo 2005	0.5; 0.7; 0.8; 0.9; 0.8; 0.8; 0.8; 0.7; 0.5	Débil
Julio-Agosto-Septiembre 2006	Diciembre-Enero-Febrero 2007	0.5; 0.6; 0.9; 1.1; 1.1; 0.8	Débil
Mayo-Junio-Julio 2009	Marzo-Abril-Mayo 2010	0.6; 0.7; 0.8; 0.9; 1.2; 1.5; 1.8; 1.7; 1.5 ; 1.2; 0.8	Fuerte
La clasificación de los eventos se cumple para los valores de ONI mayor o igual durante al menos tres meses de acuerdo con las categorías establecidas por la NOAA		Evento Débil $0.5 \geq \text{ONI} \geq 0.9$ Evento Moderado $1.0 \geq \text{ONI} \geq 1.4$ Evento Fuerte $\text{ONI} \geq 1.5$	

Fuente: Centro de Predicción Climática de la NOAA, 2010

**Anexo B. Caudales históricos anuales del río Las Piedras (1969 - 2010), estación
Puente Carretera.**

Año	Promedio	Valor	
	Qmed (m ³ /s)	Qmáx (m ³ /s)	Qmín (m ³ /s)
1969	2,2	15,88	0,53
1970	2,01	32	0,65
1971	2,78	57	0,99
1972	2,61	32	1
1973	2,2	57	0,8
1974	3,5	120	1,1
1975	3,69	94	1,3
1976	2,69	132	0,67
1977	1,35	9,65	0,62
1978	1,74	27,92	0,93
1979	1,97	27	0,79
1980	1,81	70	0,85
1981	1,97	26	0,6
1982	2,98	18,32	1,16
1983	2,03	24,4	0,91
1984	2,93	41,5	1,21
1985	2,24	41,5	0,97
1986	1,79	30,25	0,59
1987	1,33	12,48	0,77
1988	2,05	45,25	0,93
1989	2,2	28,86	0,79
1990	1,73	22,78	0,72
1991	2,35	51,2	0,86
1992	1,87	20,55	0,75
1993	2,81	13,2	1
1994	3,68	23	1,71
1995	3,33	52	1,4
1996	2,94	54,27	0,7
1997	2,57	55,85	1
1998	2,13	25,26	1
1999	4,56	63,33	1,5
2000	3,3	32,85	1,2
2001	1,56	23,75	1,04
2002	1,94	25,26	1,04
2003	2,45	103	1,04
2004	2,18	59,02	0,83
2005	2,25	35,4	0,88
2006	2,58	15,36	1,04
2007	2,23	48,56	0,9
2008	4,033	55,85	0,9
2009	2,94	53,21	0,8
2010	2,565	15,36	0,958

Fuente: (IDEAM, 2010).

Anexo C. Caudales históricos mensuales del río Las Piedras (1969 - 2010), estación Puente Carretera.

Mes	Promedio	Valor	
	Qmed(m ³ /s)	Qmáx(m ³ /s)	Qmín(m ³ /s)
Ene	3,33	120	0,65
Feb	3,08	132	0,74
Mar	2,89	103	0,77
Abr	3,03	59,02	0,8
May	2,58	120	0,88
Jun	1,57	23,5	0,9
Jul	1,27	11	0,68
Ago	1,13	63,33	0,63
Sep	1,09	6,1	0,53
Oct	1,77	57	0,6
Nov	3,81	57	0,685
Dic	4,18	94	1,052

Fuente: (IDEAM, 2010).

Anexo D. Períodos de ocurrencia del fenómeno La Niña.

Evento	Meses	Inicio	Final
La Niña	15	ene-1950	mar-1951
La Niña	36	abr-1954	ene-1957
La Niña	5	sep-1962	ene-1963
La Niña	10	abr-1964	ene-1965
La Niña	6	dic-1967	may-1968
La Niña	19	jul-1970	ene-1972
La Niña	37	may-1973	may-1976
La Niña	12	oct-1984	sep-1985
La Niña	13	may-1988	may-1989
La Niña	7	sep-1995	mar-1996
La Niña	24	jul-1998	jun-2000
La Niña	5	oct-2000	feb-2001
La Niña	9	sep-2007	may-2008

Fuente: (IDEAM, 2010).

**Anexo E. Registro histórico de caudales del río Las Piedras (1969 - 2010), estación
Puente Carretera.**

Q (m ³ /s)	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
MEDIA	1969	2,396	1,786	1,139	3,521	2,199	1,586	0,948	0,865	0,954	2,711	4,372	3,946
MINIMO		0,9	0,79	0,9	0,99	0,99	0,9	0,79	0,67	0,53	1,47	2,92	2,64
MAXIMO		7,02	9,25	1,35	9,6	7,85	7,85	1,26	2,92	2,64	15,88	11	15,5
MEDIA	1970	1,242	2,876	2,319	1,008	2,049	1,331	1,071	1,033	1,072	1,974	4,749	3,339
MINIMO		0,65	0,74	0,88	0,81	0,88	1,16	0,95	1,02	0,84	1,05	2,15	2,2
MAXIMO		5,1	32	9,25	1,37	10,06	4,53	1,23	1,23	3,02	6,94	14	7,9
MEDIA	1971	4,835	4,462	3,301	2,721	2,866	1,9	1,438	1,242	1,144	2,221	4,045	3,135
MINIMO		2,15	2,82	1,81	1,23	1,19	1,62	1,26	1,12	0,99	1,03	1,62	1,8
MAXIMO		22	23	24,8	13,32	7,5	2,36	2,08	1,44	2,08	19,5	57	7,5
MEDIA	1972	4,219	4,859	3,871	4,203	2,584	2,18	1,535	1,265	1,13	1,116	1,98	2,413
MINIMO		2,1	2,8	2,1	2,1	1,8	1,5	1,3	1,1	1,1	1	1,2	1,6
MAXIMO		32	32	19,5	25	4,5	19,5	3,1	1,8	1,6	1,8	5,1	19,5
MEDIA	1973	1,374	1,211	1,468	2,153	1,411	1,43	1,261	1,377	1,633	4,897	3,383	4,758
MINIMO		1,2	1,1	1,1	0,8	1,1	1,1	1	1	1	1,3	2	3,1
MAXIMO		1,8	1,8	3,6	12,4	4,32	11	6,5	11	6,1	57	11	19,5
MEDIA	1974	6,048	8,104	4,2	3,83	5,852	1,645	1,39	1,152	1,167	1,545	2,89	4,2
MINIMO		2,4	3,2	2,18	2,5	1,8	1,4	1,2	1,1	1,1	1,1	1,5	
MAXIMO		120	81	17,28	19,5	120	3,2	1,8	1,3	1,3	2,9	5,6	15,01
MEDIA	1975	3,53	3,795	3,826	2,536	2,756	1,775	2,302	1,592	1,431	2,351	5,3	13,04
MINIMO		1,8	1,94	2,36	1,8	1,8	1,62	1,62	1,53	1,35	1,3		3,96
MAXIMO		11	19,5	11,06	11	5,1	4,15	11	2,36	1,8	11	16,79	94
MEDIA	1976	3,934	6,311	4,751	4,174	2,003	1,44	1,213	0,816	0,875	1,553	2,617	2,556
MINIMO		2,78	2,92	2,36	2,91	1,57	1,25	0,97	0,82	0,67	0,86	1,68	1,78
MAXIMO		7,5	132	39	8,6	3,25	1,68	2,48	1,04	2,86	4,42	6,46	4,42
MEDIA	1977	1,452	1,095	1,009	1,405	1,745	1,119	0,902	0,743	0,823	1,206	2,855	1,801
MINIMO		1,208	0,966	0,818	1,04	1,124	0,966	0,818	0,67	0,62	0,892	1,418	1,334
MAXIMO		1,892	1,292	2,786	4,42	4,92	1,676	1,46	0,818	2,768	2,672	5,2	9,65
MEDIA	1978	3,115	1,317	1,341	2,243	1,629	1,243	1,103	0,997	1,031	1,387	2,086	3,35
MINIMO		1,57	1,15	1,114	1,525	1,348	1,114	1,042	0,97	0,932	0,932	1,15	1,66
MAXIMO		27,92	1,93	4,27	5,01	2,346	1,75	1,15	1,114	3,381	6,49	4,27	6,49
MEDIA	1979	1,924	1,381	3,76	1,791	1,66	1,917	1,065	0,988	1,054	1,598	4,058	2,454
MINIMO		1,546	1,16	1,265	1,16	1,3	1,3	0,95	0,85	0,875	0,785	1,505	1,546
MAXIMO		5,95	5,95	27	6,9	3,1	6,9	1,3	2,3	1,71	6,9	9,5	5,95
MEDIA	1980	2,609	4,742	2,713	1,811	1,455	1,228	0,977	0,904	0,883	1,136	1,421	1,798
MINIMO		1,628	2,7	1,628	1,546	1,23	1,02	0,95	0,85	0,85	0,85	0,95	1,16
MAXIMO		6,9	70	5,61	5,1	5,95	3,1	1,02	0,95	1,546	2,3	3,1	3,1
MEDIA	1981	1,69	1,96	2,043	3,277	4,595	2,057	1,059	0,858	0,686	0,711	2,513	2,242
MINIMO		1,3	1,23	1,546	1,71	2,78	1,09	0,85	0,785	0,6	0,6	0,685	1,628
MAXIMO		3,1	23,5	4,05	26	13,65	23,5	1,95	1,55	0,85	1,02	18,3	8,95
MEDIA	1982	4,396	4,105	4,383	4,821	3,462	2,103	1,612	1,282	1,248	1,576	2,422	4,3
MINIMO		2,01	2,3	3,02	2,86	2,06	1,67	1,46	1,23	1,16	1,23	1,3	2,01
MAXIMO		18,3	18,3	18,3	13,65	18,3	3,1	2,3	1,46	1,55	5,1	5,1	18,3
MEDIA	1983	2,129	2,288	2,515	3,308	3,622	1,714	1,236	1,041	0,988	1,257	1,565	2,688
MINIMO		1,431	0,97	1,584	1,947	2,232	1,38	1,13	0,97	0,913	0,913	1,13	1,635
MAXIMO		3,93	13,65	3,772	24,4	6,814	2,732	1,38	1,13	1,05	2,46	3,298	7,842
MEDIA	1984	3,747	2,483	2,334	3,755	3,39	2,403	1,558	1,389	1,457	3,03	5,314	4,353
MINIMO		2,4	2,06	1,74	2	2,4	1,69	1,38	1,24	1,21	1,38	2,66	1,79
MAXIMO		7,84	3,46	7,84	41,5	8,37	3,3	1,79	1,89	3,14	23,5	22,6	25,75
MEDIA	1985	3,191	2,215	1,635	2,202	2,592	1,559	1,332	1,17	1,135	3,781	2,882	3,194
MINIMO		1,79	1,58	1,38	1,38	1,84	1,3	1,21	1,05	0,97	1,01	1,816	1,74
MAXIMO		17,2	3,93	2,87	13,58	16,3	3,61	2,73	2,12	2	18,55	17,2	41,5
MEDIA	1986	3,299	2,709	3,178	1,86	1,519	1,362	0,862	0,703	0,689	1,207	2,131	1,923

MINIMO		1,3	1,48	1,95	1,34	0,97	0,97	0,68	0,63	0,59	0,68	1,17	1,21
MAXIMO		30,25	23,5	12,2	4,46	8,11	3,14	1,21	1,38	1,13	3,93	12,2	5,06
MEDIA	1987	1,341	1,063	0,98	1,403	1,82	1,102	0,917	0,891	0,825	1,648	2,195	1,791
MINIMO		1,096	0,92	0,77	1,052	1,151	0,92	0,87	0,82	0,77	0,87	1,184	1,052
MAXIMO		2,45	1,67	5,45	3,5	12,48	1,5	1,05	1,78	1,05	5,45	6,85	3,67
MEDIA	1988	1,15	1,11	1,28	1,38	1,37	1,43	1,42	0,97	1,06	1,58	7,06	4,82
MINIMO		1,1	0,93	0,93	0,93	1,1	1,14	1,06	0,93	0,93	0,93	1,63	2,37
MAXIMO		1,85	1,4	3,65	4,5	2,8	2,61	2,04	1,1	2,42	7	45,25	28,86
MEDIA	1989	4,044	3,172	4,323	2,248	2,267	1,429	1,24	0,958	0,967	1,495	1,903	2,337
MINIMO		2,09	2,09	1,9	1,7	1,55	1,32	1,1	0,93	0,79	0,84	1,4	1,32
MAXIMO		28,86	17,15	28,86	7	10	1,7	2,8	1,01	2,8	9,4	8,5	15
MEDIA	1990	2,54	2,09	1,76	2,4	1,94	1,15	0,91	1,44	0,74	1,13	2,17	2,51
MINIMO		1,42	1,33	1,33	1,18	1,42	0,92	0,8	0,77	0,72	0,72	1,05	1,18
MAXIMO		15	4,35	4,35	21,84	4,35	2,2	1,25	22,78	0,82	3,5	15	7,42
MEDIA	1991	3,06	2,19	3,61	2,82	2,24	1,68	1,41	1,3	1,2	1,13	2,78	4,77
MINIMO		2,13	1,77	1,95	1,71	1,65	1,45	1,25	1,15	1,15	0,86	0,99	1,83
MAXIMO		10,18	12,8	51,2	20,55	5,85	2,39	2,13	2,25	1,77	2,25	13,2	23
MEDIA	1992	3,357	3,483	1,718	1,499	1,288	1,047	1,052	0,897	1	0,87	2,595	3,662
MINIMO		1,83	2,39	1,35	1,35	1,11	0,99	0,78	0,83	0,83	0,75	0,91	2,25
MAXIMO		6,1	20,55	2,25	3,14	2,81	1,15	1,55	1,07	3,33	1,55	11,2	16,14
MEDIA	1993	3,263	2,593	3,576	4,201	3,788	2,311	1,752	1,485	1,395	1,568	2,845	4,979
MINIMO		2,19	2,13	1,64	3,33	2,81	1,89	1,55	1,35	1	1,15	2,2	3,52
MAXIMO		9,5	13,2	11,2	13,2	7,65	2,95	2,01	1,65	1,77	3,9	6,72	9,5
MEDIA	1994	5,16	3,79	4,75	5,22	3,08	2,7	2,35	2	1,92	3,03	4,77	5,4
MINIMO		3,03	2,81	3,33	3,14	2,46	2,39	2,13	1,89	1,77	1,71	2,46	3,24
MAXIMO		18,1	9,5	23	12,4	3,9	3,52	5,35	2,25	2,95	13,2	23	13,2
MEDIA	1995	3,53	3,07	4,31	4,71	3,99	2,37	2	1,88	1,55	2,39	3,85	6,31
MINIMO		2,67	2,25	2,81	2,81	2,46	2,07	1,89	1,4	1,55	1,55	2,07	3,24
MAXIMO		6,1	10,52	18,1	52	32,75	3,9	3,9	7,03	1,55	9,5	16,14	44
MEDIA	1996	3,8	4	1,8	4,1	4,7				0,7	2,3	2,3	2,8
MINIMO		1,6	1,8	1,8	3,2	2,4				0,7	0,7	1,4	1,6
MAXIMO		25,26	20,22	1,98	6,85	54,27				2,7	11,07	6,55	11,07
MEDIA	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
MINIMO		4,2	2,5	2	2,3	1,5	1,5	1,3	1,1	1	1	1	1,3
MAXIMO		55,85	6,85	10,77	4,7	2,47	2,65	2,3	1,26	1,62	4,18	7,45	3,5
MEDIA	1998	1,2	1,3	1,25	1,84	2,79	2,09	1,34	1,14	1,05	1,81	4,29	5,47
MINIMO		1,04	1,04	1,12	1,55	1,55	1,55	1,19	1,12	0,97	0,97	1,55	3,93
MAXIMO		1,55	2,82	5,04	4,7	15,64	3,67	1,55	1,4	1,12	15,64	25,26	20,22
MEDIA	1999	5,91	6,4	5,27	4,96	4,33	2,74	1,9	2,35	2,01	2,81	7,35	8,67
MINIMO		3,76	4,18	3,76	3,76	3,33	2,22	1,62	1,48	1,48	1,79	3,84	5,94
MAXIMO		14,73	35,4	10,77	25,26	20,22	4,53	2,47	63,33	4,87	9,56	35,4	25,26
MEDIA	2000	9,02	6,33	4,45	3,77	2,08	1,48	1,57	1,39	1,27	1,24	4,39	2,4
MINIMO		4,18	3,5	3,07	3,16	1,4	1,33	1,26	1,33	1,19	1,19	1,37	1,62
MAXIMO		21,73	30,3	9,86	4,53	5,04	1,96	3,5	1,48	1,55	6,55	32,85	6,85
MEDIA	2001	2,2	1,66	1,64	1,39	1,38	1,25	1,17	1,06	1,16	1,32	1,79	2,7
MINIMO		1,62	1,48	1,48	1,26	1,26	1,12	1,12	1,04	1,04	1,19	1,19	1,62
MAXIMO		8,36	3,33	2,13	1,48	3,5	1,4	1,26	1,12	1,26	3,5	23,75	13,81
MEDIA	2002	2,35	1,64	1,76	3,2	2,04	2,21	1,45	1,31	1,2	1,55	1,48	3,05
MINIMO		1,55	1,33	1,37	1,62	1,48	1,62	1,33	1,19	1,12	1,04	1,19	1,19
MAXIMO		4,01	2,82	4,36	8,96	3,5	4,87	1,79	1,62	1,55	8,36	2,65	25,26
MEDIA	2003	1,49	1,47	6,13	6,42	1,85	1,62	1,29	1,18	1,06	1,64	25,26	2,99
MINIMO		1,33	1,33	1,33	3,76	1,48	1,33	1,19	1,04	1,04	1,04	1,44	1,62
MAXIMO		2,1	2	103	33,9	2,8	10,8	1,4	1,4	1,2	5,6	3,7	5,6
MEDIA	2004	3,47	1,74	1,37	3,6	1,87	1,36	1,18	0,9	0,9	1,29	5,37	3,08
MINIMO		1,62	1,48	1,19	1,33	1,51	1,26	1,04	0,83	0,83	0,83	1,26	2,13
MAXIMO		14,73	2,65	2,65	59,02	6,25	1,48	1,26	1,04	1,79	3,33	45,53	6,25
MEDIA	2005	3,51	3,43	2,25	1,92	2,11	1,28	1,09	0,98	0,99	1,67	2,81	4,95
MINIMO		1,63	2,34	1,42	1,19	1,56	1,11	1,03	0,96	0,88	0,96	1,19	2,69

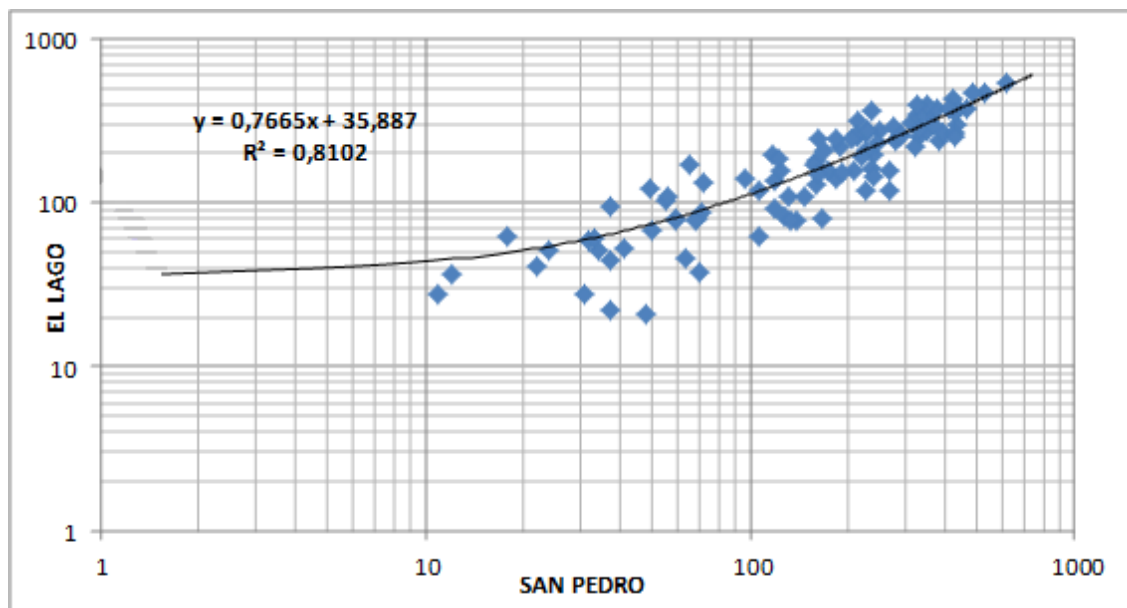
MAXIMO		35,4	15,36	11,47	10,5	4,88	1,56	1,19	1,03	2,55	4,88	10,99	25,26
MEDIA	2006	3,87	2,97	3,33	3,9	3,15	2,32	1,47	1,2	1,1	1,34	2,61	3,68
MINIMO		2,55	2,27	2,13	2,69	2,13	1,84	1,34	1,11	1,04	1,04	1,38	1,7
MAXIMO		7,69	15,36	7,37	15,36	8,94	3,68	1,84	1,27	1,11	4,25	7,37	11,47
MEDIA	2007	2	1,4	1,2	2,7	2,1	1,8	1,1	1	0,9	2,7	3,6	6,3
MINIMO		1,3	1,2	1,1	1,3	1,3	1,3	1	0,9	0,9	0,9	1,4	3
MAXIMO		25,26	1,7	1,7	20,22	13,42	8,94	1,27	1,03	0,88	48,56	25,26	20,22
MEDIA	2008	5,2	6,9	4,8	3	3,7	2,2	1,4	1,6	1,1	1,2	5,7	11,6
MINIMO		2,7	2,9	2,1	2,1	2,3	1,4	1,2	1,1	1	0,9	1,4	4
MAXIMO		35,4	55,85	25,26	20,22	12,44	4,25	1,99	25,26	1,7	3,26	35,4	55,85
MEDIA	2009	4,5	4,5	6	5,6	2,6	1,5	1,3	1,1	1	1,4	2,5	3,3
MINIMO		3,4	2,7	2,7	2,6	1,7	1,3	1,1	1	0,9	0,8	1,2	1,6
MAXIMO		8,6	25,26	53,21	22,24	8	1,7	1,42	1,11	1,03	8	20,22	21,73
MEDIA	2010	1,59	1,60	1,07	2,19	3,16	2,05	2,35	1,42	1,18	2,08	5,56	6,46
MINIMO		1,19	1,11	0,96	0,96	1,42	1,56	1,56	1,19	1,11	1,11	3,54	3,26
MAXIMO		3,12	15,36	3,40	3,97	10,5	3,68	2,27	2,27	1,70	9,25	12,9	15,4

*Convenciones

	Periodos de afectación del fenómeno El Niño
--	---

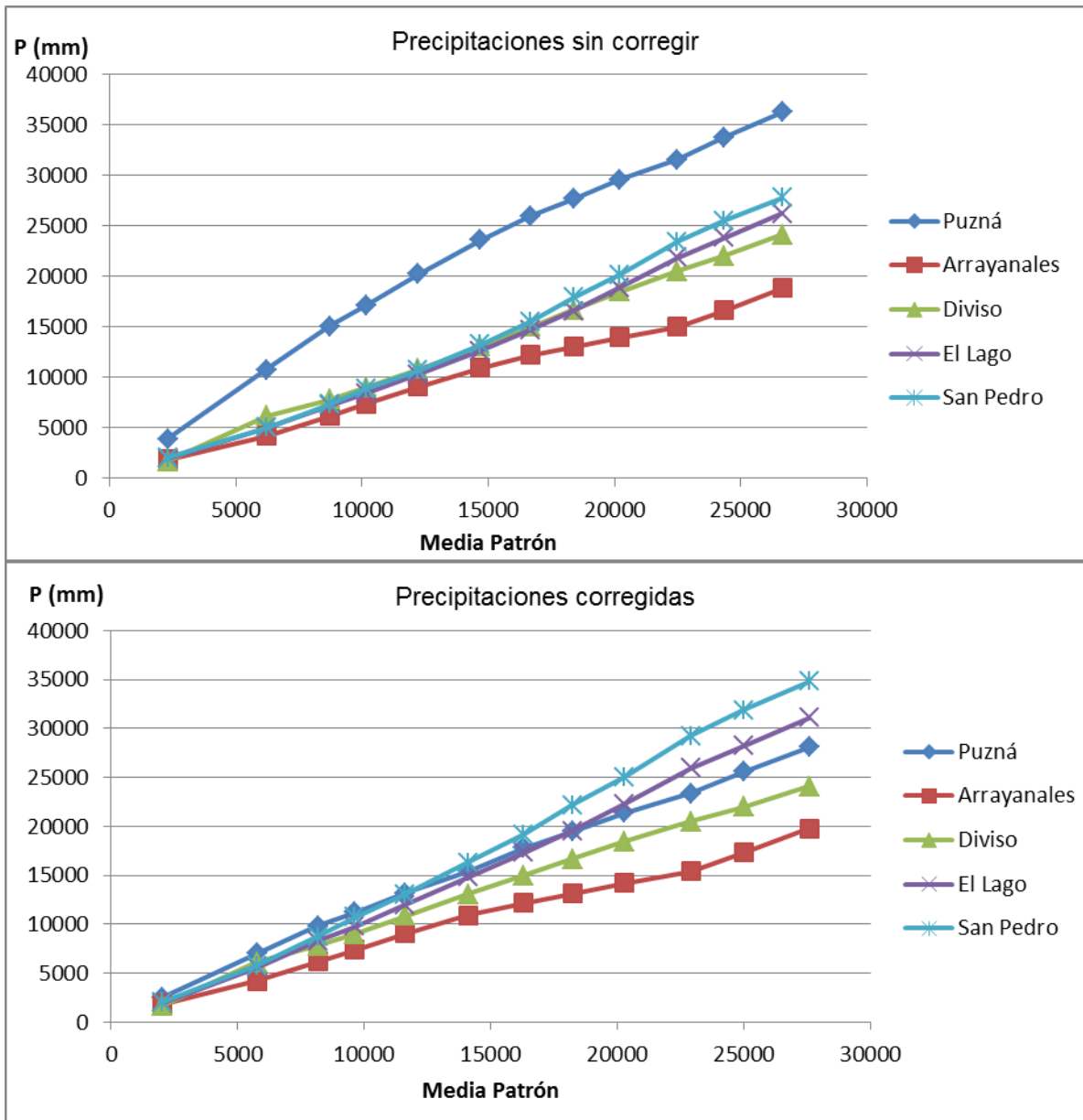
Fuente: (IDEAM, 2010).

Anexo F. Correlación lineal estaciones El Lago y San Pedro.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo G. Análisis de consistencia de datos pluviométricos por dobles masas para estaciones de la subcuenca río Las Piedras.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo G. Registro mensual de caudales del río Piedras (2009 - 2010).

Año	Mes	Promedio	Valor	
		Qmed (m ³ /s)	Qmáx (m ³ /s)	Qmín (m ³ /s)
2009	Ene	4,5	8,6	3,4
	Feb	4,5	25,26	2,7
	Mar	6	53,21	2,7
	Abr	5,6	22,24	2,6
	May	2,6	8	1,7
	Jun	1,5	1,7	1,3
	Jul	1,3	1,42	1,1
	Ago	1,1	1,11	1
	Sep	1	1,03	0,9
	Oct	1,4	8	0,8
	Nov	2,5	20,22	1,2
	Dic	3,3	21,73	1,6
2010	Ene	1,59	3,12	1,19
	Feb	1,61	15,36	1,11
	Mar	1,07	3,40	0,99
	Abr	2,19	3,97	0,96
	May	3,17	10,5	1,42
	Jun	2,05	3,68	1,56
	Jul	2,35	7,38	1,56
	Ago	1,42	2,27	1,19
	Sep	1,18	1,70	1,11
	Oct	2,08	9,25	1,11
	Nov	5,56	12,93	3,54
	Dic	6,46	15,36	3,26

Fuente: (IDEAM, 2010).

Anexo H. Registros medios mensuales.

Año	Mes	Estación San Pedro		Estación Diviso		Estación El Lago	
		Tem (°C)	Pre (mm)	Tem (°C)	Pre (mm)	Tem (°C)	Pre (mm)
2009	Ene	6,151	140	11,774	51	14,474	316
	Feb	5,609	241	11,232	152	13,932	143
	Mar	5,764	430	11,387	208	14,087	255
	Abr	6,56	193	12,183	201	14,883	151
	May	6,812	68	12,435	89	15,135	79
	Jun	7,044	59	12,667	52	15,367	81
	Jul	7,103	16	12,726	1	15,426	0
	Ago	7,377	48	13	41	15,7	21
	Sep	7,894	9	13,517	13	16,217	4
	Oct	7,329	292	12,952	226	15,652	258
	Nov	6,76	326	12,383	282	15,083	392
	Dic	7,794	244,11	13,417	195	16,117	223
2010	Ene	8,083	62	13,661	71	16,361	77
	Feb	7,27	134	12,893	120	15,593	189
	Mar	6,796	4	12,419	2	15,119	34
	Abr	7,794	397	13,417	252	16,117	349
	May	8,022	272	13,645	200	16,345	199
	Jun	6,744	126	12,367	76	15,067	104
	Jul	6,28	183	11,903	151	14,603	260
	Ago	5,7	21	11,323	29	14,023	67
	Sep	5,947	65,38	11,57	140	14,27	86
	Oct	7,007	363	12,63	327	15,33	290
	Nov	6,507	405	12,13	415	14,83	378
	Dic	5,777	253	11,4	309	14,1	353
Total		6,839	4351,49	12,46	3603	15,16	4309

Fuente: División Ambiental del Acueducto de Popayán, 2009 - 2010

Anexo I. Cálculo del balance hídrico de la subcuenca río Piedras, estación Diviso durante fenómeno El Niño.

Parámetros	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Temperatura (°C)	12,43	12,67	12,73	13	13,52	12,95	12,38	13,42	13,66	12,89	12,42	13,42
Índice de calor anual	3,97	4,09	4,11	4,25	4,51	4,23	3,95	4,46	4,58	4,20	3,96	4,46
Evapotranspiración potencial o de referencia (mm)	50,84	52,07	52,38	53,84	56,62	53,58	50,57	56,08	57,40	53,27	50,76	56,08
Ajuste	1,03	1,0	1,03	1,03	1,0	1,03	1,0	1,03	1,03	0,93	1,03	1,0
Precipitación (mm)	89,0	52,0	1,0	41,0	13,0	226,0	282,0	195,0	71,0	120,0	2,0	252,0
Humedad	36,47	-0,07	-53,13	-14,63	-43,62	170,63	231,43	137,05	11,68	70,28	50,45	195,92
Reserva	100	99,93	46,08	32,17	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	49,55	100,00
Evapotranspiración real (mm)	52,53	52,07	54,13	55,63	56,62	55,37	50,57	57,95	59,31	49,72	52,45	56,08
Déficit (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	11,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Exceso (mm)	36,47	0,00	0,00	0,00	0,00	70,63	231,43	137,05	11,69	70,28	0,00	0,00

Fuente: Elaboración propia

Anexo J. Resultados del balance hídrico, estación Diviso.

Totales	
Temperatura media mensual	12,96°C
Índice de calor anual	50,75
Parámetro (a)	1,29
Evapotranspiración potencial o de referencia	643,47 mm
Evapotranspiración real	652,42 mm
Precipitación media mensual	1344 mm
Déficit	11,45 mm
Exceso	703,02 mm

Fuente: Elaboración propia

Anexo K. Cálculo del balance hídrico de la subcuenca río Piedras, estación El lago durante fenómeno El Niño.

Parámetros	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Temperatura (°C)	15,13	15,37	15,43	15,7	16,22	15,65	15,08	16,12	16,36	15,59	15,12	16,12
Índice de calor anual	5,35	5,47	5,51	5,65	5,94	5,63	5,32	5,88	6,02	5,59	5,34	5,88
Evapotranspiración potencial o de referencia (mm)	56,18	57,53	57,88	59,48	62,56	59,20	55,88	61,96	63,43	58,85	56,09	61,96
Ajuste	1,03	1,0	1,03	1,03	1,0	1,03	1,0	1,03	1,03	0,93	1,03	1,0
Precipitación (mm)	79,0	81,0	0,0	21,0	4,0	258,0	392,0	223,0	77,0	189,0	34,0	349,0
Humedad	20,94	23,47	-59,80	-40,47	-58,56	196,83	336,12	158,97	11,45	134,07	-23,96	287,04
Reserva (mm)	100,00	100,00	40,2	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	76,04	100,00
Evapotranspiración real (mm)	58,06	57,53	59,80	61,47	62,56	61,17	55,88	64,03	65,55	54,93	57,96	61,96
Déficit (mm)	0,00	0,00	0,00	0,27	58,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Exceso (mm)	20,94	23,47	0,00	0,00	0,00	96,83	336,12	158,97	11,45	134,07	0,00	263,08

Fuente: Elaboración propia

Anexo L. Resultados del balance hídrico, estación El Lago.

Totales	
Temperatura media mensual	15,66 °C
Índice de calor anual	67,59
Parámetro (a)	1,56
Evapotranspiración potencial o de referencia	711,03 mm
Evapotranspiración real	720,91 mm
Precipitación media mensual	1707 mm
Déficit	58,83 mm
Exceso	1044,93 mm

Fuente: Elaboración propia

Anexo M. Estimación del índice de escasez para la subcuenca del río Las Piedras.

Mes	Q med (m ³ /s)	Demanda total (m ³ /s) = Dom + Pec + Ind	Índice de escasez (%)	Categoría	Explicación
Ene	3,3	1,048	32	Medio Alto	Demanda Apreciable
Feb	3,0	1,048	35	Medio Alto	Demanda Apreciable
Mar	2,9	1,048	37	Medio Alto	Demanda Apreciable
Abr	3,0	1,048	35	Medio Alto	Demanda Apreciable
May	2,5	1,048	42	Medio Alto	Demanda Apreciable
Jun	1,7	1,048	62	Alto	Demanda Alta
Jul	1,4	1,048	76	Alto	Demanda Alta
Ago	1,2	1,048	89	Alto	Demanda Alta
Sep	1,1	1,048	95	Alto	Demanda Alta
Oct	1,8	1,048	58	Alto	Demanda Alta
Nov	3,4	1,048	31	Medio Alto	Demanda Apreciable
Dic	4,1	1,048	26	Medio Alto	Demanda Apreciable
Anual	2,44	1,048	43	Medio Alto	Demanda Apreciable

Fuente: (POMCH Piedras, 2006, 376)

Anexo N. Encuesta

ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE POPAYÁN S.A E.S.P. ESTUDIO DE VALORACIÓN ECONÓMICA DE IMPACTOS AMBIENTALES SUB CUENCA DEL RIO PIEDRAS

Fecha: _____

Encuestado: _____ Vereda _____ Finca _____

Encuestador _____

1. ¿Ha notado cambios durante el periodo del Fenómeno El niño en la calidad y cantidad de alguno de estos factores asociados al medio ambiente?:

a. Aire () b. Agua () c. Suelo cultivado () d. Bosque () e. Otro () ¿Cuál? _____

2. En cual actividad hace uso de la fuente de agua.

a. uso doméstico () b. Agricultura () c. Ganadería () d. Piscicultura () otros ()
cual _____

3. ¿Ha notado disminución en el agua disponible para consumo?

a. Si () b. No () de que fuente?

4. De qué manera riega usted los cultivos

a. Aspersión () b. Goteo () c. Surcos () d. Manual () e. Lluvias () f. Otro () ¿Cuál?

El fenómeno el niño frente al sector Agrícola: Especies cultivadas en la subcuenca

Cultivos (Hortalizas, verduras , otros)	Cantidad			Fenómeno El Niño				
	Semillas plantadas	Cosecha	área	Tipo de afectación en los cultivos	Como afronto la situación	Perdidas		
						si	no	Costo (\$)

El fenómeno el niño frente al sector pecuario: Especies en producción

Nombre de la especie	Cantidad	Fenómeno El Niño				
		Tipo de afectación en las especies	Como afronto la situación	Perdidas		
				si	no	Costo (\$)
Conejos						
Curíes						
Ganado						
Ovejas						
Pollos de engorde						
Trucha						
O						
T						
R						
O						
S						

Otras afectaciones del Fenómeno _____