

APLICACIÓN DE LOS INDICES HÍDRICOS PARA LA PLANIFICACIÓN DEL
RECURSO HÍDRICO EN LA SUBCUENCA RIO LAS PIEDRAS

SANDRA CAROLINA MUÑOZ MUÑOZ - 104912020115

ROXANA CERON GRANDE - 104912020498



UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL
POPAYÁN

2017

APLICACIÓN DE LOS INDICES HIDRICOS PARA LA PLANIFICACION DEL
RECURSO HIDRICO EN LA SUBCUENCA RIO LAS PIEDRAS

SANDRA CAROLINA MUÑOZ MUÑOZ - 104912020115

ROXANA CERON GRANDE - 104912020498

TRABAJO DE GRADO MODALIDAD DE INVESTIGACION COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO AMBIENTAL

DIRECTOR:

Ing. M.Sc. CARLOS A. GALLARDO B.



UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL
POPAYÁN

2017

Nota de Aceptación:

Firma de los jurados:

Firma del Jurado.

Firma del Jurado.

Dedicatoria

Esta tesis se la dedico en primer lugar a Dios todopoderoso, quien ha sido mi compañía y fortaleza durante este largo proceso, quien me ayudó a no desfallecer a pesar de las dificultades. En segundo lugar, a mis padres Luis Felipe Muñoz Hurtado y Lucy Amanda Muñoz Solarte por su gran apoyo, ayuda, cariño y sus interminables consejos, además por el gran esfuerzo que han realizado para verme convertirme en una profesional. A mi hermano, abuelos, tías, mi novio y familia en general, por su acompañamiento y enseñanzas permanentes.

Gracias a ustedes por demostrarme su cariño y orgullo, son mi motivación a ser cada día mejor, a superar mis miedos y a alcanzar mis metas. Esta tesis es un logro más en mi vida, y sin dudarlo ha sido gracias a ustedes. Mil bendiciones.

Sandra Carolina Muñoz Muñoz

Primeramente agradezco a DIOS, ya que sin sus bendiciones no hubiese podido llegar hasta el comienzo de muchos de mis sueños, le doy gracias por darme las fuerzas necesarias para poder culminar esta etapa de mi vida profesional.

A mis padres Lebi María Grande y Jaramillo Cerón Bolaños por brindarme todo su apoyo incondicional, su cariño y por tenerme paciencia, gracias por enseñarme tanto y por motivarme día a día.

También quiero agradecer a mis hermanas y hermanos quienes me apoyaron y ayudaron en esta etapa importante en mi vida a todos quiero darles mil gracias por hacer parte de mis logros.

Por ultimo quiero agradecer inmensamente a mi compañera de trabajo de grado Sandra Carolina Muñoz Muñoz, quien fue la promotora de nuestra investigación.

Roxana Cerón Grande

Agradecimientos

Se agradece de manera especial a nuestro Director, Ingeniero Carlos Armando Gallardo, por su dedicación, paciencia, respaldo, compromiso y criterio para lograr nuestro trabajo de investigación.

Igualmente, a la Fundación Pro Cuenca río Las Piedras, especialmente al Ingeniero Víctor Hugo Zúñiga, por brindar la información necesaria para el desarrollo de la investigación, y atender nuestros interrogantes con prontitud.

Al Ingeniero Luis Jorge González, por facilitar información, brindar su tiempo y por su disposición a colaborar ante dudas constantes.

A nuestra Alma Máter, Universidad del Cauca por abrirnos sus puertas y permitirnos ser parte de ella para formarnos como profesionales.

A nuestros profesores, quienes compartieron su conocimiento y experiencia para generar en nosotras aprendizaje y formarnos no sólo como profesionales, sino como personas. Gracias por ser parte de este gran logro.

Contenido

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
1. OBJETIVOS	3
1.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
2. JUSTIFICACIÓN	4
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
4. HIPOTESIS	6
5. MARCO TEÓRICO	7
5.1 INDICADORES DEL SISTEMA HÍDRICO	7
5.1.1 Índice de retención y regulación hídrica (IRH)	7
5.1.2 Índice de Aridez (IA)	8
5.1.3 Índice del Uso del Agua (IUA)	8
5.1.4 Índice de Calidad del Agua (ICA)	8
5.1.5 Índice de Contaminación (ICO)	8
5.1.6 Índice de Alteración Potencial de la Calidad de Agua (IACAL)	8
5.1.7 Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento (IV)	9
5.1.8 Índice de stress hídrico relativo (DRA)	9
5.1.9 Índice de disponibilidad per cápita de agua (IDP)	9
5.2 CAUDAL AMBIENTAL	9
5.3 OFERTA HÍDRICA	9
5.4 DEMANDA HÍDRICA	10
5.5 BALANCE ENTRE OFERTA Y DEMANDA	10
5.6 CURVA DE DURACIÓN DE CAUDALES	10
5.7 MARCO LEGAL	10
5.7.1 Leyes	10
5.7.2 Decretos	11
5.7.3 Resoluciones	11
6. METODOLOGÍA	12
6.1 ASPECTOS GENERALES DE LA SUBCUENCA RÍO LAS PIEDRAS	12
6.1.1 Ubicación del Área de Estudio	12
6.1.2 División de Corregimientos y Veredas	13
6.1.3 Clima	14
6.1.4 Precipitación	14

6.1.5 Aspectos Físico – Geográficos.....	15
6.1.6 Características Morfométricas	15
6.1.7 Hidrografía.....	16
6.1.8 Demanda Hídrica de la Cuenca.....	16
6.2 PROCEDIMIENTO	17
7. CÁLCULOS	18
7.1 INDICES HIDRICOS DE CANTIDAD	18
7.1.1 Índice de retención y regulación hídrica (IRH)	20
7.1.1.1 Caudal ambiental	20
7.1.1.2 Caudal Ecológico	21
7.1.2 Índice del Uso del Agua (IUA).....	22
7.1.3 Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento (IV)	29
7.1.4 Índice de stress hídrico relativo (RWSI).....	29
7.1.5 Índice de disponibilidad per cápita de agua (IDP).....	32
7.1.6 Índice de Aridez (IA)	33
7.2 INDICES HIDRICOS DE CALIDAD	40
7.2.1 Índice de Alteración Potencial de la Calidad de Agua (IACAL).....	40
7.2.2 Índice de Contaminación (ICO).....	44
7.2.2.1 Índice de Contaminación por mineralización (ICOMI).....	44
7.2.2.2 Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO).....	45
7.2.2.3 Índice de Contaminación por Trofia (ICOTRO)	47
7.2.2.4 Índice de Contaminación por Sólidos Suspendedos (ICOSUS).....	47
7.2.3 Índice de Calidad del Agua.....	48
7.2.3.1 ICA multiplicativo (ICA-NSF)	48
7.2.3.2 Índice de Calidad de Agua del IDEAM.....	51
8. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	54
8.1 ANÁLISIS ÍNDICES HÍDRICOS DE CANTIDAD.....	54
8.2 ANÁLISIS ÍNDICES HÍDRICOS DE CALIDAD.....	60
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
10. BIBLIOGRAFIA	65
11. ANEXOS	67
ANEXO A. Variación Mensual del ONI 1950 – 2015.	67
ANEXO B. Caudales Medios Anuales.	68
ANEXO C. Datos incompletos de Temperatura de la Estación Arrayanales.	69
ANEXO D. Datos de Temperatura de la Estación Guillermo León Valencia.	70

ANEXO E. Valores de Precipitación Mensual de la Estación Polindara.....	71
ANEXO F. Datos incompletos de Precipitación Estación Arrayanales.....	72
ANEXO G. Estimación de datos faltantes de Precipitación de la Estación Arrayanales a partir de los datos de la Estación Polindara.....	73
ANEXO H. Resultados de la Evapotranspiración Potencial según Penman –Monteith.....	79
ANEXO I. Parámetros para el cálculo de la ETP de la estación del Aeropuerto Guillermo León Valencia.....	80
ANEXO J. Parámetros de calidad de agua para tres puntos de muestreo para la sub cuenca río Las Piedras.....	80
ANEXO K. Curvas de Función por Parámetro de Calidad de Agua.....	82
ANEXO L. Valores trabajados cálculo del ICA-NSF.....	83
ANEXO M. Valores trabajados cálculo del ICA (IDEAM).....	85

Lista de Tablas

Tabla 6.1. Parámetros morfométricos subcuenca río Las Piedras – Desembocadura en el río Cauca. .	25
Tabla 6.2. Resumen demanda hídrica subcuenca río Las Piedras.....	26
Tabla 7.1. Valores Medios Mensuales de Caudales.....	28
Tabla 7.2. Calificación del Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH).....	31
Tabla 7.3. Valores medios mensuales multianuales.....	33
Tabla 7.4. Oferta Hídrica Total mensual.....	34
Tabla 7.5. Valores Mínimos Mensuales de Caudales.	35
Tabla 7.6. Valores de Rf.	38
Tabla 7.7. Calificación del Índice del Uso del Agua (IUA).....	39
Tabla 7.8. Valores IUA con reducciones y sin reducciones.	40
Tabla 7.9. Matriz de relación para categorizar el índice de vulnerabilidad (IV).	41
Tabla 7.10. Índice de Vulnerabilidad mensual.....	41
Tabla 7.11. Suministro de Agua mensual.	43
Tabla 7.12. Umbrales del índice de stress hídrico.	43
Tabla 7.13. RSWI mensual.	44
Tabla 7.14. Categorías del índice de Disponibilidad Per-cápita de Agua.....	45
Tabla 7.15. Valores Medios de Temperatura Completados.	46
Tabla 7.16. Regresión Lineal Estación Arrayanales-Estación Polindara (1994).	48
Tabla 7.17. Datos completos de Precipitación para la estación Arrayanales.	49
Tabla 7.18. Evapotranspiración potencial mensual multianual (1969 – 2016).....	51
Tabla 7.19. Evapotranspiración Real mensual.	52
Tabla 7.20. Calificación del Índice de aridez (IA).....	53
Tabla 7.21. Índice de Aridez mensual.....	53
Tabla 7.22. Oferta Hídrica.	54
Tabla 7.23. Índices IACAL multianuales por Punto de muestreo.	56
Tabla 7.24. Categorías del índice de alteración de calidad del agua.....	56
Tabla 7.25. Clasificación IACAL por Punto de muestreo.	56
Tabla 7.26. IACAL total.	57
Tabla 7.27. Clasificación IACAL total.	57
Tabla 7.28. Clasificación del índice de Contaminación (ICO).	57
Tabla 7.29. Valores ICOMI por punto de muestreo.....	59
Tabla 7.30. Valores ICOMO por punto de muestreo.	60
Tabla 7.31. Clasificación cuerpo de agua según concentración de Fosforo.	61
Tabla 7.32. Valores ICOSUS por punto de muestreo.	61
Tabla 7.33. Pesos relativos de los parámetros que conforman el ICA.....	62
Tabla 7.34. Presión Barométrica aproximada a diferentes Elevaciones.	63
Tabla 7.35. 100 % Capacidad de Oxígeno Disuelto (mg/L).	64
Tabla 7.36. Valor Q por parámetro de Calidad de Agua.	65
Tabla 7.37. Clasificación del Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF).....	65
Tabla 7.38. Valores ICA por punto de muestreo.	65
Tabla 7.39. Variables y Ponderaciones del ICA.	66
Tabla 7.40. Clasificación del Índice de Calidad del Agua (IDEAM).	68
Tabla 7.41. Valores ICA por punto de muestreo.	68
Tabla 8.1. IUA sin reducciones por estiaje.	57

Lista de Figuras

Figura 6.1. Ubicación del área de estudio.....	22
Figura 6.2. Subcuenca río Las Piedras y subcuencas vecinas.....	23
Figura 6.3. Mapa de corregimientos y veredas.	24
Figura 6.4. Red Hidrográfica, Subcuenca del río Las Piedras.	26
Figura 7.1. CDC medios anuales multianuales.....	30
Figura 7.2. CDC medios – Q85.	32
Figura 7.3. CDC mínimos - Qmin97.5.	37
Figura 7.4. CDC medios - Qmed75.	37
Figura 7.5. Regresión Lineal Precipitación Polindara vs Arrayanales.	48
Figura 8.1. Proyecciones IDP.	70

RESUMEN

En este trabajo de investigación se pretende realizar la aplicación de los índices hídricos para la planificación del recurso hídrico de la subcuenca río Las Piedras, ubicada en los municipios de Popayán y Totoró, con el objeto de determinar y evaluar la calidad del agua que soporta la demanda de esta región mediante la metodología propuesta por el IDEAM que adapte y represente específicamente las condiciones de este ecosistema, que permita detectar cambios significativos en la oferta de agua y realizar a tiempo las gestiones necesarias para evitar desastres irreparables en el ecosistema. La evaluación y planificación de una subcuenca genera constantemente información que se expresa sintéticamente en indicadores que deben reflejar el estado del recurso, y ser capaces de dar información sobre mejoras o retrocesos en su calidad y cantidad, así como de modificaciones de su estado actual que permitan realizar un diagnóstico hídrico de la subcuenca.

Palabras clave: Planificación, índices hídricos, oferta, demanda, balance hídrico.

ABSTRACT

This research intends to carry out the application of the water indices for the planning of the water resource of the sub-basin river Las Piedras, located in the municipalities of Popayán and Totoró, in order to determine and evaluate the quality of the water that supports the demand of this region through the methodology proposed by IDEAM that specifically adapts and represents the conditions of this ecosystem, that allows to detect significant changes in the water supply and to make in time the necessary steps to avoid irreparable disasters in the ecosystem. The evaluation and planning of a sub-basin constantly generates information that is expressed synthetically in indicators that must reflect the state of the resource, and be able to give information on improvements or setbacks in their quality and quantity, as well as changes in their current state that allow make a water diagnosis of the sub-basin.

Key words: Planning, water indices, water supply, water demand, hydric balance.

INTRODUCCIÓN

La planificación consiste en la definición lógica de una serie de estrategias que permitirán organizar, dirigir y sustentar la gestión integrada del recurso hídrico, la cual debe ser de manera participativa, con objetivos alcanzables y verificables; y, armonizada y coherente con las políticas nacionales, sectoriales y regionales (Autoridad Nacional del Agua, 2016).

La planificación del recurso hídrico, busca equilibrar y armonizar su oferta y demanda de agua para garantizar en el tiempo un abastecimiento permanente de dicho recurso en cantidad suficiente y en óptima calidad para los múltiples usos que permitan el desarrollo sostenible nacional.

Equilibrar y armonizar oferta y demanda significa proteger, de manera imprescindible, la calidad y cantidad del recurso hídrico desde las nacientes, pero sobre todo, propiciar su uso eficiente, porque de ello depende el progreso social y económico de la población (Autoridad Nacional del Agua, 2016).

La planificación del recurso hídrico permite elaborar instrumentos que constituyen la base fundamental para construir visiones de largo plazo y procesos de cambio cada vez más participativos, integrales, sistémicos y eficaces que garanticen agua sostenible en todo el territorio nacional. Estos instrumentos deben contar con la flexibilidad adecuada para que puedan reajustarse cada vez que se dispone de nueva información que hace variar las decisiones.

Todos los países se encuentran ante el inevitable reto de la planificación hídrica para ejercer una eficiente y efectiva administración de este valioso recurso natural, puesto que el recurso agua se encuentra cada vez más amenazado por la gran demanda debido a la sobrepoblación mundial pues se requiere de mayor cantidad, mayor explotación del recurso y mayor desgaste del mismo.

La subcuenca río Las Piedras se considera de gran importancia para la población en general, por lo cual se pretende realizar la aplicación de los índices hídricos para la planificación del recurso hídrico de este ecosistema, con el fin de determinar la disponibilidad del recurso y las restricciones a la oferta o a la calidad del mismo, a causa de diversos factores naturales y/o antrópicos. Mediante el cálculo de índices del régimen hidrológico conocidos como “Sistema de indicadores hídricos” establecidos por el IDEAM, para así, poder determinar el estado actual de la subcuenca estudiada.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Realiza la aplicación de los índices del sistema hídrico para la planificación del recurso hídrico de la subcuenca río Las Piedras que permita analizar la situación actual del recurso hídrico en esta subcuenca.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el inventario del recurso hídrico de la subcuenca río Las Piedras
- Hacer un diagnóstico hídrico de la subcuenca río Las Piedras
- Determinar la oferta hídrica (disponibilidad hídrica) y la demanda del recurso hídrico en la subcuenca objeto de estudio
- Realizar el balance hídrico de la subcuenca río Las Piedras

2. JUSTIFICACIÓN

La sub cuenca río Las Piedras es la principal fuente de abastecimiento de agua para la ciudad de Popayán, capital del Departamento del Cauca, ya que tributa a la Cuenca del Cauca y aporta el 68% del agua potable para esta población. Este ecosistema estratégico beneficia aproximadamente a 230.000 habitantes y nueve acueductos veredales con 650 familias (Recamán, 2012).

Además, esta subcuenca fue declarada como zona de amortiguación del Parque Nacional Puracé, y en ella se encuentra la única zona de páramo del municipio de Popayán, la cual requiere de un gran cuidado debido a que estos ecosistemas tienen características que los hacen vitales, pues prestan servicios ecosistémicos muy relevantes.

Por las razones mencionadas anteriormente, se considera relevante realizar la planificación del recurso hídrico de la subcuenca río Las Piedras, puesto que tiene un gran valor ecológico para la región, y por lo tanto para la comunidad local. Indagar e interesarse por la conservación del recurso hídrico, incluye directamente a la comunidad aledaña del mismo, puesto que con su ayuda y la de las instituciones correspondientes, se puede contribuir con la conservación y mejora de las condiciones ambientales, con el fin de no afectar el recurso agua y contribuir con la mejora de la calidad de vida de las personas, permitiendo avanzar en la gestión social y cultural para lograr una mayor estabilidad del recurso hídrico.

Este trabajo de investigación es importante porque orienta en el reconocimiento del recurso hídrico dentro del ecosistema, igualmente permite aplicar y profundizar los conocimientos adquiridos en las diferentes áreas estudiadas en el transcurso de la Ingeniería Ambiental. Asimismo, abre el espacio para futuras investigaciones en este campo de la hidráulica e hidrología, áreas muy importantes para el desarrollo profesional de todo Ingeniero Ambiental.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los actores sociales de la subcuenca río Las Piedras han trabajado, por más de 20 años en la conservación del recurso hídrico. Muestra de ello son las numerosas actividades de sostenibilidad desarrolladas por la Fundación río Las Piedras, Asocampo y las comunidades indígenas de Puracé y Quintana (Valencia, et al., 2014).

La conservación y mejora continua de la subcuenca río Las Piedras es de gran relevancia puesto que este ecosistema es muy útil para el beneficio y desarrollo de las personas aledañas que de él se favorecen. Al ser el agua un recurso de primera necesidad, vital para el desarrollo de toda forma de vida, tanto humana como vegetal y animal, se requiere garantizar su permanencia en condiciones óptimas de calidad puesto que, de lo contrario, se podría llegar a afectar el balance natural de los ecosistemas adyacentes, así como a la comunidad local.

El desarrollo humano actual, con la creciente población, exige que se garantice la conservación del recurso agua para todas las necesidades básicas y productivas. Lo anterior se ve seriamente afectado por el desarrollo industrial, técnico y artesanal no controlado, ya que deterioran los ecosistemas incluyendo las cuencas de los ríos y los afluentes de las cuencas hidrográficas, causando un gran impacto negativo sobre el medio ambiente, en donde en algunos casos, los daños provocados son irreversibles.

El creciente cambio climático e incremento de la temperatura global, acompañado de la deforestación por el crecimiento de las urbes afecta directamente el caudal y calidad del recurso agua, lo que conlleva a que exista una mayor vulnerabilidad ante futuros déficit de agua que no logren responder a las demandas para los usos de desarrollo agropecuario, empresarial, de abastecimiento y de sostenibilidad ecológica.

Con base en lo anteriormente expuesto, es consecuente plantear lo siguiente:

¿El conocimiento técnico y científico de los índices del sistema hídrico de la subcuenca río Las Piedras permitirá hacer un diagnóstico para que se tomen medidas en beneficio de su conservación y adecuada planificación?

4. HIPOTESIS

Con la metodología propuesta por el IDEAM para el cálculo de índices hídricos en métodos hidrológicos con parámetros climatológicos, fisicoquímicos y bacteriológicos, se pretende analizar el estado de la subcuenca río Las Piedras en cuanto a cantidad de este recurso y estado del mismo. Por ello, se puede establecer como hipótesis que: “Los métodos propuestos por el IDEAM para el cálculo de los índices hídricos de calidad y cantidad brindan una aproximación del estado real y actual de la cuenca, aunque uno de ellos, el IDP no concuerda con esta característica, ya que no está planteado para ser calculado en cualquier tipo de cuenca”.

5. MARCO TEÓRICO

La planificación del recurso hídrico se realiza por medio de los siguientes elementos:

- **Inventario de recursos hídricos:**

Está compuesto por su estimación cuantitativa, descripción cualitativa y la distribución temporal. En el inventario se incluirán las aguas que contribuyan a las aportaciones de los ríos y las que alimenten almacenamientos naturales de agua, superficiales o subterráneos (Agencia Vasca del Agua, 2015).

Se realiza por medio de trabajo en gabinete que consiste en la revisión del estudio anteriormente efectuado (si existe), análisis de los mapas de ubicación y topografía de la zona de estudio, preparación de fichas de campo, sistematización de datos recopilados en campo y elaboración del documento; y por medio de trabajo de campo que consiste en registrar el caudal de cada una de las fuentes de agua con sus respectivos nombres, ubicación, tipo de fuente y su uso actual en cada comunidad previamente priorizada.

- **Evaluación de los recursos hídricos:**

Es un elemento indispensable en la planificación hidrológica para conocer con detalle los recursos disponibles y así gestionar de forma sostenible y eficiente los recursos hídricos y conseguir el buen estado y la adecuada protección del dominio público hidráulico y de las aguas (MAPAMA).

El IDEAM dentro de su función de determinar la situación actual y posibles escenarios futuros del agua en Colombia, considera los componentes de oferta, demanda, calidad y riesgo hidrológico, a partir de las características de ocurrencia natural y afectaciones por su interrelación con el medio natural y la sociedad (IDEAM).

Para ello se tendrán en cuenta los indicadores del sistema hídrico establecidos por el IDEAM que se detallan a continuación.

5.1 INDICADORES DEL SISTEMA HÍDRICO

5.1.1 Índice de retención y regulación hídrica (IRH)

Evalúa la cantidad de humedad que pueden retener las cuencas y la capacidad de la cuenca para mantener un régimen de caudales, producto de la interacción del sistema suelo-vegetación con las condiciones climáticas y con las características morfométricas de la cuenca. Este indicador permite evaluar la capacidad de regulación del sistema en su conjunto.

5.1.2 Índice de Aridez (IA)

Es una característica cualitativa del clima, que representa la dinámica superficial del suelo y permite medir el grado de suficiencia o insuficiencia de la precipitación para el sostenimiento de los ecosistemas de una región. Identifica áreas deficitarias o de excedentes de agua, calculadas a partir del balance hídrico superficial.

5.1.3 Índice del Uso del Agua (IUA)

Corresponde a la cantidad de agua utilizada por los diferentes sectores, en un período determinado (anual, mensual) y en una unidad espacial de referencia (área, zona, subzona, etc.), en relación con la oferta hídrica superficial disponible para las mismas unidades de tiempo y espaciales.

La cantidad de subzonas hidrográficas sometidas a altas presiones se incrementa o pasa a categorías más críticas cuando hay condiciones hidrológicas de año seco o extremas, como en fenómeno de El Niño.

5.1.4 Índice de Calidad del Agua (ICA)

Tiene como objeto la estimación de un número generalmente entre 0 y 1, ó 0 y 100, que define el grado de calidad de un determinado cuerpo lotico continental. Con ello se pretenden reconocer, de una forma ágil y fácil, problemas de contaminación, sin tener que recurrir a la observación de cada una de las numerosas variables fisicoquímicas determinadas.

Este índice es ampliamente utilizado entre todos los índices de calidad de agua existentes, y puede ser utilizado para medir los cambios en la calidad del agua en tramos particulares de los ríos a través del tiempo, comparando la calidad del agua de diferentes tramos del mismo río además de compararlo con la calidad de agua de diferentes ríos alrededor del mundo.

5.1.5 Índice de Contaminación (ICO)

El índice ICO toma valores entre 0 (muy bajo nivel de contaminación) y 1 (muy alto nivel contaminación) y por tanto, permite definir el grado de contaminación del agua.

5.1.6 Índice de Alteración Potencial de la Calidad de Agua (IACAL)

Es el referente de la presión sobre las condiciones de calidad de agua en los sistemas hídricos superficiales del país. Se evalúa a partir del promedio de las jerarquías asignadas a las cargas contaminantes de materia orgánica, sólidos suspendidos y nutrientes. El IACAL es el valor numérico que califica en una de cinco categorías, la razón existente entre la carga de contaminante que se estima recibe una subzona hidrográfica j en un período de tiempo t y la oferta hídrica superficial, para año medio y año seco, de esta misma subzona hidrográfica.

5.1.7 Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento (IV)

Mide el grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta para el abastecimiento de agua, que ante amenazas por períodos largos de estiaje o eventos como el fenómeno cálido del Pacífico (El Niño), podría generar riesgos de desabastecimiento (IDEAM, 2010).

5.1.8 Índice de stress hídrico relativo (DRA)

El programa mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO, ha definido una serie de indicadores para medir el nivel de estrés sobre el recurso que incluye el índice de stress hídrico relativo también conocido como demanda de agua relativa.

5.1.9 Índice de disponibilidad per cápita de agua (IDP)

Expresado en m^3 /habitante-año, establece la relación entre la población y la cantidad de agua disponible en las principales fuentes de agua, medida en términos de escorrentía superficial.

También es importante conocer los siguientes términos para aclarar el tema tratado en el presente trabajo:

5.2 CAUDAL AMBIENTAL

Volumen de agua necesario en términos de calidad, cantidad, duración y estacionalidad para el sostenimiento de los ecosistemas y para el desarrollo de las actividades socioeconómicas de los usuarios aguas abajo de la fuente de la cual dependen tales ecosistemas.

5.3 OFERTA HÍDRICA

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.

La oferta hídrica de una cuenca, corresponde también al volumen disponible de agua para satisfacer la demanda generada por las actividades sociales y económicas del hombre. El conocimiento del caudal del río, su confiabilidad y extensión de la serie del registro histórico son variables que pueden influir en la estimación de la oferta hídrica superficial. Cuando existe información histórica confiable de los caudales con series extensas, el caudal medio anual del río es la oferta hídrica de esa cuenca.

5.4 DEMANDA HÍDRICA

La demanda de agua debe ser analizada y estudiada a fin de prever un sobreuso, considerando, además, los posibles impactos del cambio climático sobre este recurso esencial. En consecuencia, la atención a las necesidades de desarrollo social y económico, la calidad de vida urbana y la sostenibilidad ambiental deben ser contempladas como ejes estructurales de los procesos de planificación del recurso hídrico.

5.5 BALANCE ENTRE OFERTA Y DEMANDA

Expresa la equivalencia entre los aportes de agua que entran por un lado en una unidad hidrográfica determinada y la cantidad de agua que se evacúa por el otro, considerando además las variaciones internas en el almacenamiento de humedad ocurridas durante un período de tiempo determinado. Las aportaciones de agua se efectúan gracias a las precipitaciones. Las pérdidas se deben esencialmente a la combinación de la evaporación y la transpiración de las plantas, lo cual se designa bajo el término evapotranspiración.

5.6 CURVA DE DURACIÓN DE CAUDALES

Resulta del análisis de frecuencias de la serie histórica de caudales medios diarios en el sitio de captación de un proyecto de suministro de agua. Se estima que si la serie histórica es suficientemente buena, la curva es representativa del régimen de caudales medios de la corriente y por lo tanto puede utilizarse para pronosticar el comportamiento del régimen futuro de caudales.

La curva de duración es muy útil para determinar si una fuente es suficiente para suministrar la demanda o si hay necesidad de construir embalses de almacenamiento para suplir las deficiencias en el suministro normal de agua durante los períodos secos.

5.7 MARCO LEGAL

5.7.1 Leyes

Ley 99 de 1993: Por la cual se crea el Ministerio de Ambiente, se organiza el Sistema Nacional Ambiental –SINA- y se dictan otras disposiciones.

Ley 388 de 1997: Por la cual se establecen criterios para el Plan de Ordenamiento Territorial, se reglamenta el fundamento legal referente a determinantes ambientales en el Artículo 10.

Ley 373 de 1997: Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.

5.7.2 Decretos

Decreto 1381 de 1940: Sobre el aprovechamiento, conservación y distribución de aguas nacionales de uso público.

Decreto 2811 de 1974: Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.

Decreto 1729 de 2002: Por el cual se reglamenta el Decreto-ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas, parcialmente el numeral 12 del Artículo 5° de la Ley 99 de 1993 y se dictan otras disposiciones"

Decreto 1575 de 2007: Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para consumo humano.

Decreto 3930 de 2010: Define los Usos del Agua y establece que las Autoridades Ambientales Competentes deberán elaborar los Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico PORH para las aguas superficiales, marítimas y subterráneas.

Decreto 1640 del 2012: Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de cuencas hidrográficas del país, la cual clarifica los procedimientos de gestión por parte de las autoridades ambientales competentes y las diferentes entidades y actores responsables; y se dictan otras disposiciones, determinantes ambientales en el artículo 23.

5.7.3 Resoluciones

Resolución 104 de 2003: Por la que se establecen los criterios y parámetros para la Clasificación y Priorización de cuencas hidrográficas.

Resolución 0751 de 2006 (CRC): Por la cual se aprueba el plan de ordenación y manejo de la subcuenca hidrográfica río Las Piedras.

6. METODOLOGÍA

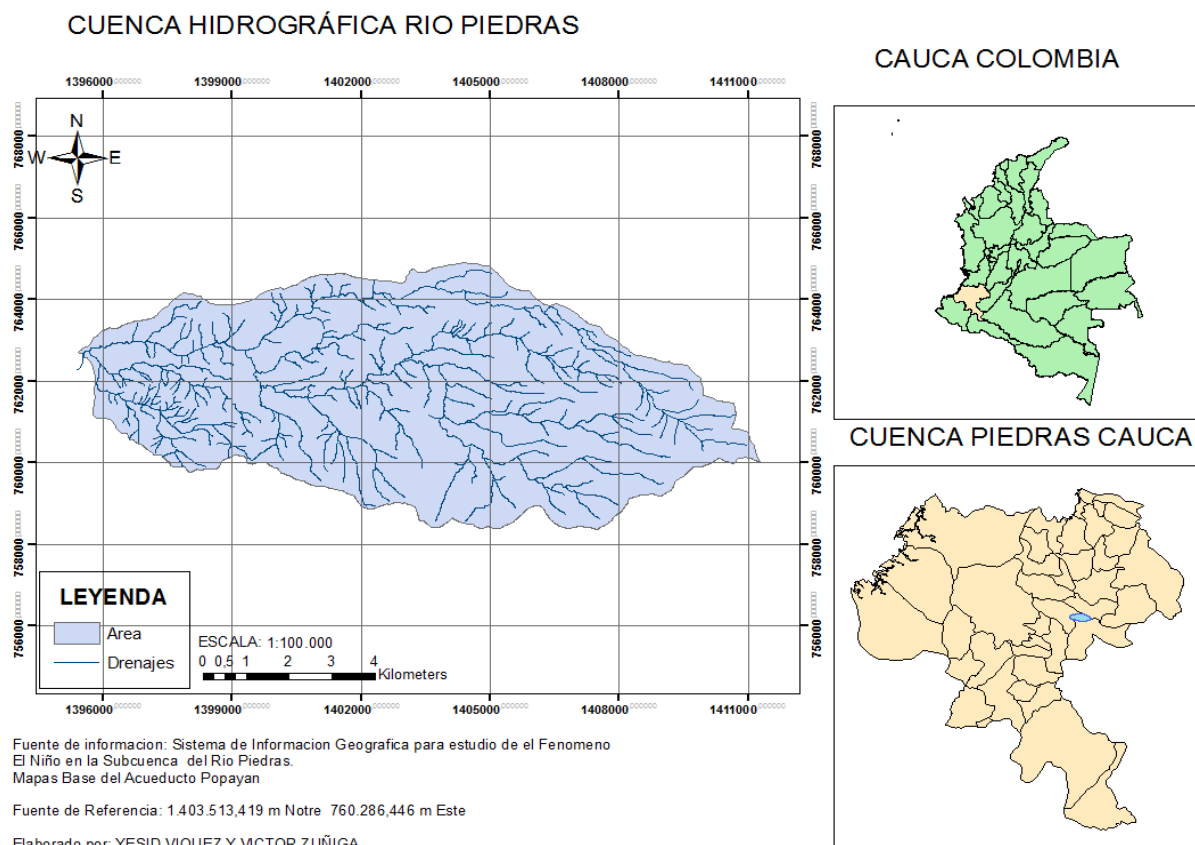
6.1 ASPECTOS GENERALES DE LA SUBCUENCA RÍO LAS PIEDRAS

6.1.1 Ubicación del Área de Estudio

El presente estudio se realizó en la subcuenca río Las Piedras la cual está ubicada en los municipios de Popayán y Totoró, al nororiente de la ciudad, sobre el flanco occidental de la cordillera Central. Se encuentra a $76^{\circ} 31' 10''$ al Oeste de Greenwich y $2^{\circ} 21' 45''$ de latitud Norte, en el nacimiento del río y a $76^{\circ} 23' 45''$ longitud Oeste y $2^{\circ} 25' 40''$ de latitud Norte en la desembocadura al río Cauca.

Es la principal fuente abastecedora de Popayán. Limita al norte con la divisoria de aguas de la cuenca del río Palacé, al sur con la divisoria de aguas del río Vinagre, al este con los cerros de Puzná y Cargachiquillo y al oeste con el río Cauca. Hace parte de la cuenca del río Cauca en el departamento del Cauca. Su extensión es de 6626 hectáreas. La ubicación del área de estudio se muestra en la Figura 6.1.

Figura 6.1. Ubicación del área de estudio.



Fuente: Mapa base del Acueducto y Alcantarillado de Popayán.

En la Figura 6.2 se observa la subcuenca río las Piedras y subcuencas vecinas.

Figura 6.2. Subcuenca río Las Piedras y subcuencas vecinas.



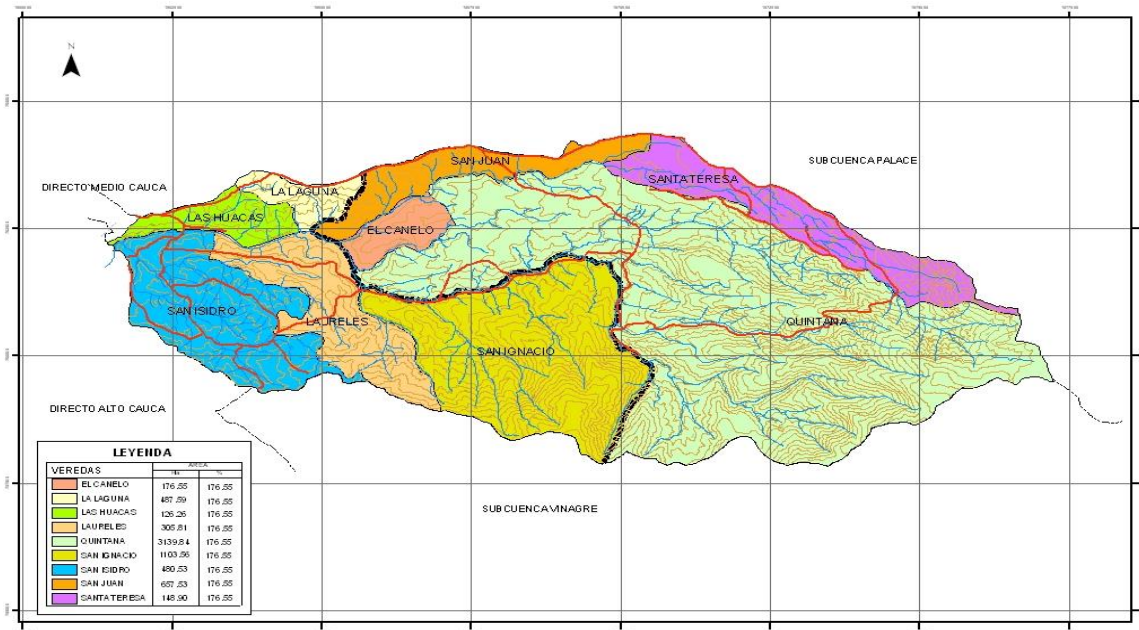
Fuente: Mapa base del Acueducto y Alcantarillado de Popayán.

6.1.2 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 la Figura 6.3 se observan las veredas que se encuentran sobre la subcuenca.

Figura 6.3. Mapa de corregimientos y veredas.



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

6.1.3 Clima

El clima tiene influencia directa sobre la oferta hídrica de la subcuenca y su variabilidad está condicionada en gran parte por el fenómeno El Niño. Su clasificación climática depende del rango de altitud de la subcuenca, el cual varía de 1980 a 3820 msnm. Allí se encuentran áreas que se clasifican como templadas húmeda (1900–2000 msnm), moderadamente frías húmedas (2000–2800 msnm) y tierras frías subhúmedas (2800-3400 msnm) y el páramo (más de 3400 msnm), según Recamán (2006, 44).

6.1.4 Precipitación

Según el Plan de Ordenación y Manejo de la subcuenca río Las Piedras, la precipitación de la subcuenca no es uniforme. Esto es debido a que es un clima típicamente ecuatorial de montaña con pisos térmicos como, templado, frío y de páramo con pisos bioclimáticos subandinos y altoandinos. Estos pisos se ven afectados por los vientos alisios y por la geomorfología del área, generando precipitaciones de tipo orográfico. De esta manera, se encuentran periodos de lluvias de octubre a mayo y un periodo seco de junio a septiembre. Los períodos más intensos de lluvias están 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 de sus suelos.

6.1.5 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. Presenta lomas alargadas y con cimas altas aplanadas poco disectadas, con direcciones oriente a occidente y alta densidad. Hasta que desemboca el río Las Piedras al río Cauca (Aguirre, 2006).

La subcuenca río Las Piedras presenta una forma de oval redonda a oval oblonga. Tanto la pendiente de la cuenca como la del río las Piedras se clasifican como Altas. Estas características sugieren un escurrimiento rápido que forma crecientes súbitas y picos altos en los caudales. Los caudales medios y mínimos son regulados más por la composición de los suelos que por la cobertura vegetal (POMCH Piedras, 2006, 336).

6.1.6 Características Morfométricas

Las características morfométricas de las cuencas dependen de la forma, el relieve, red de drenaje, clima, los tipos de suelo, cobertura vegetal, geología, las prácticas agrícolas, entre otros, con base a estas características se puede estimar el comportamiento de los cuerpos de agua y sus posibles variaciones con respecto al régimen hidrológico.

Los parámetros morfométricos de la subcuenca río Las Piedras se presentan en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1. Parámetros morfométricos subcuenca río Las Piedras – Desembocadura en el río Cauca.

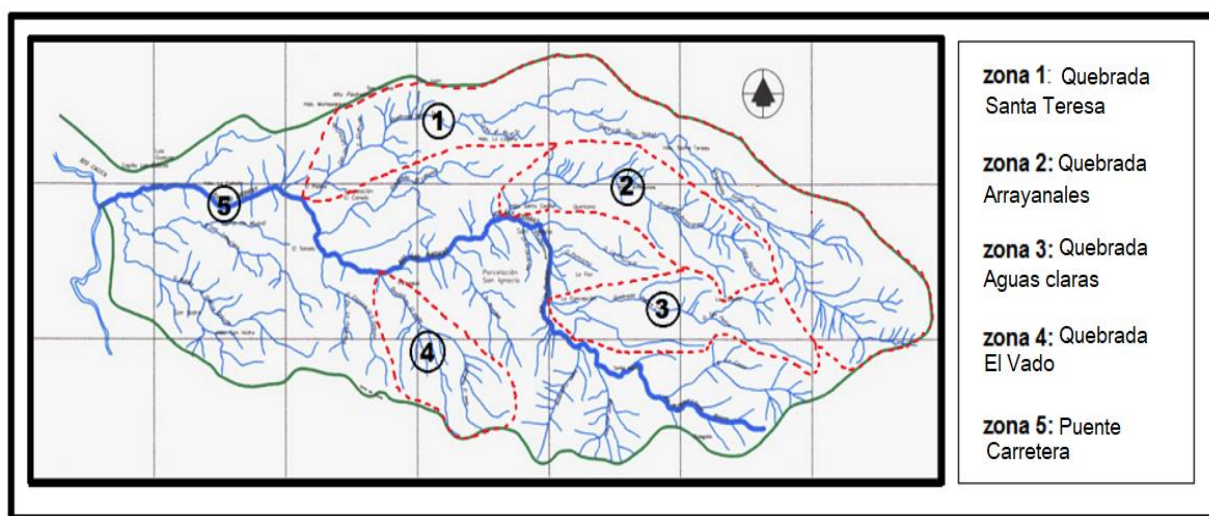
PARÁMETRO	ECUACIÓN O FUENTE	VARIABLES	VALOR
ÁREA	ARCVIEW 3.2	A: Área de la cuenca (Km ²)	66.27
PERÍMETRO	ARCVIEW 3.2	P: Perímetro de la cuenca (Km)	40.02
LONGITUD AXIAL	ARCVIEW 3.2	L: Longitud axial de la cuenca (Km)	15.97
LOGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL	ARCVIEW 3.2	L: Longitud del cauce ppal (Km)	18.95
AREAS ENTRE CURVAS DE NIVEL	ARCVIEW 3.2	VER CURVA HIPSOMETRICA	
LONGITUD DE LA RED DE DRENAJE	ARCVIEW 3.2	Ld: Longitud de la red de drenaje (Km)	250.84
COTA MAYOR DE LA CUENCA	CARTOGRAFIA IGAC	Cota en msnm	3750
COTA MENOR DE LA CUENCA	CARTOGRAFIA IGAC	Cota en msnm	1900
COTA MAYOR DEL CAUCE PRINCIPAL	CARTOGRAFIA IGAC	Cota en msnm	2200
COTA MENOR DEL CAUCE PRINCIPAL	CARTOGRAFIA IGAC	Cota en msnm	1800
MAXIMO ANCHO EN LINEA RECTA	ARCVIEW 3.2	Ancho Maximo en (Km)	6.55
LONGITUD DEL CAUCE Ppal ENTRE CURVAS	ARCVIEW 3.2	Lc: Longitud del Cauce Ppal en (Km)	
NUMERO DE CAUCES DE ORDEN 1	ARCVIEW 3.2	n: numero de cauces	416
LONGITUD DEL LOS TRIBUTARIOS	ARCVIEW 3.2	Lt: Longitud de los Tributarios (Km)	231.9
ANCHO PROMEDIO	ARCVIEW 3.2	Ap: Ancho Promedio (Km)	4.34

Fuente: POMCH (2006).

6.1.7 Hidrografía

El sistema hidrográfico está conformado por una red de drenajes que empieza con Aguas Claras, generando el nacimiento del río Las Piedras, alimentado por 13 microcuencas 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 vierte sus aguas al embalse de Florida II y ya no es afluente del río Las Piedras. El río Las Piedras finalmente desemboca al río Cauca con dirección de este a oeste para hacer parte de la cuenca Cauca. En la Figura 6.4 se encuentra definida la red hidrográfica.

Figura 6.4. Red Hidrográfica, Subcuenca del río Las Piedras.



Fuente: Avilés y Tovar (2017).

6.1.8 Demanda Hídrica de la Cuenca

Los valores de demanda hídrica para uso doméstico, agropecuario e industrial se obtuvieron recopilando información del POMCH, (2006) y se sintetiza en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2. Resumen demanda hídrica subcuenca río Las Piedras.

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

Fuente: Recamán (2006, pág. 111).

6.2 PROCEDIMIENTO

A continuación se muestran los pasos técnicos a seguir para cumplir con la metodología propuesta:

1. Visitas: Se realiza una visita de campo reconociendo el terreno, y hacer las respectivas observaciones y toma de datos relevantes.
2. Se realiza revisión de literatura de los tópicos similares relacionados con la metodología de cálculo de los índices hídricos propuestos por el IDEAM determinados en la cuenca.
3. Se recopila información secundaria de caudales, temperaturas y precipitaciones medias, mínimas y máximas con datos de la estación pluviométrica Arrayanales. Además, se reúne información secundaria sobre parámetros físico-químicos y bacteriológicos de la subcuenca con 3 diferentes puntos de toma de muestra (Puente Alto, Bocatoma Diviso y Puente Carretera).
4. Haciendo recopilación de información secundaria, se determinará la demanda hídrica, la oferta hídrica, el caudal ambiental y el caudal ecológico de la subcuenca río Las Piedras.
5. Se realizan los cálculos para cada uno de los índices de cantidad y calidad propuestos por el IDEAM.
6. Se analizan los resultados obtenidos con el fin de plantear conclusiones y recomendaciones pertinentes.

7. CÁLCULOS

7.1 INDICES HIDRICOS DE CANTIDAD

Se decidió trabajar con los datos de caudales medios y mínimos de la estación pluviométrica Arrayanales debido a la continuidad de los datos; sin embargo, los datos faltantes se completaron teniendo en cuenta la variación mensual del ONI ((Indicador Oceánico del Niño), entre los años 1950-2015. El ONI es generado a través del comportamiento y monitoreo de la temperatura superficial del mar en la región del Niño, ubicada en la parte central del océano Pacífico, el cual es la principal medida para el seguimiento, la evaluación y predicción de ENSO para determinar la ocurrencia del evento “El Niño” o “La Niña”. La variación mensual del ONI 1950-2015 se encuentra en el Anexo A.

El estudio de caudales para el trabajo de investigación se desarrolló entre los años 1969 a 2016. Los datos de caudales medios y mínimos fueron tomados de la información suministrada por la Fundación Pro Cuenca río Las Piedras.

Para el año de 1996 faltaban datos de Junio, Julio y Agosto, por lo cual se procedió a calcular el promedio de los valores del mismo mes para todos los años. Este procedimiento se repitió con cada mes faltante de información para el mismo año. Según el Anexo A del ONI, esos meses fueron NO ENSO, por lo cual se colocó el promedio obtenido (valores en rojo).

Se procede de la misma forma para los meses faltantes del año 2016 (De Agosto a Diciembre). Luego se realiza el promedio horizontal para hallar el valor anual.

Con el Anexo A., se completó la Tabla 7.1 teniendo en cuenta si en los meses de datos faltantes se presenta ENSO o NO ENSO. En la Tabla 7.1 se encuentran los registros de caudales medios mensuales completados con el ONI., con los cuales se prosigue a realizar la curva de duración de caudales medios mensuales multianuales (Figura 7.1)

Figura 7.1. CDC medios anuales multianuales.

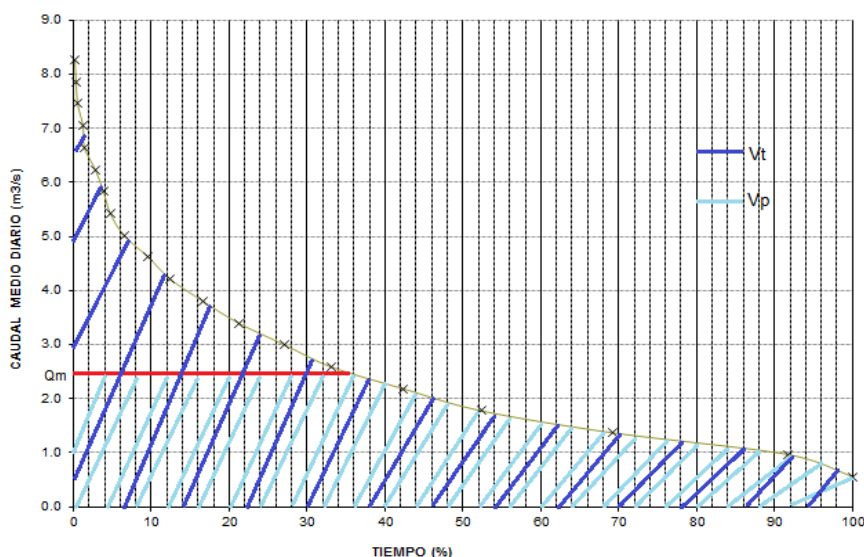


Tabla 7.1. Valores Medios Mensuales de Caudales.

<i>VALORES MEDIOS MENSUALES DE CAUDALES (m³/s)</i>													
ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
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	2.20
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	2.01
1971	4.835	4.462	3.301	2.721	2.866	1.9	1.483	1.242	1.144	2.221	4.045	3.135	2.78
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	2.61
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	2.20
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	3.50
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	3.69
1976	3.934	6.311	4.751	4.174	2.003	1.44	1.213	0.861	0.875	1.553	2.617	2.556	2.69
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	1.35
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	1.74
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	1.97
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	1.81
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	1.97
1982	4.396	4.105	4.383	4.821	3.462	2.103	1.612	1.282	1.248	1.576	2.442	4.3	2.98
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	2.03
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	2.93
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	2.24
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	1.79
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	1.33
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	2.05
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	2.20
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	1.73
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	2.35
1992	3.357	3.483	1.718	1.499	1.288	1.047	1.052	0.897	1	0.87	2.595	3.662	1.87
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	2.81
1994	5.16	3.79	4.75	5.22	3.08	2.7	2.35	2	1.92	3.03	4.77	5.4	3.68
1995	3.53	3.07	4.31	4.71	3.99	2.37	2	1.88	1.55	2.39	3.85	6.31	3.33
1996	3.752	4.013	1.8	4.1	4.693	1.696	1.323	1.163	0.745	2.331	2.326	2.774	2.56
1997	7.631	3.835	3.614	2.864	1.794	1.664	1.515	1.166	1.137	1.354	2.528	1.745	2.57
1998	1.196	1.303	1.25	1.836	2.788	2.095	1.338	1.142	1.044	1.813	4.292	5.471	2.13
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	4.56
2000	9.02	6.33	4.45	3.77	2.08	1.48	1.57	1.39	1.27	1.4	4.39	2.4	3.30
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	1.56
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	1.94
2003	1.49	1.47	6.13	6.42	1.85	1.62	1.29	1.18	1.06	1.64	2.27	2.99	2.45
2004	3.471	1.736	1.368	3.598	1.875	1.365	1.18	0.898	0.903	1.29	5.371	3.078	2.18
2005	3.51	3.435	2.25	1.917	2.111	1.285	1.092	0.982	0.994	1.669	2.809	4.954	2.25
2006	3.869	2.973	3.331	3.905	3.152	2.321	1.466	1.199	1.106	1.338	2.616	3.677	2.58
2007	1.992	1.402	1.181	2.702	2.114	1.832	1.098	0.957	0.881	2.718	3.635	6.333	2.24
2008	5.231	6.875	4.77	3.034	3.732	2.179	1.357	1.642	1.07	1.186	5.675	11.59	4.03
2009	4.492	4.55	6.008	5.642	2.572	1.482	1.256	1.1	0.952	1.444	2.46	3.336	2.94
2010	1.587	1.605	1.079	2.188	3.166	2.052	2.352	1.419	1.181	2.076	5.562	6.456	2.56
2011	3.393	7.323	9.126	9.128	5.82	3.384	1.656	1.254	1.023	1.253	7.05	11.22	5.14
2012	6.204	3.393	1.972	2.763	1.22	0.885	0.693	0.598	0.56	0.72	0.874	2.052	1.83
2013	0.988	1.147	1.085	1.228	1.43	0.924	0.706	0.674	0.599	0.654	4.096	5.421	1.58
2014	2.739	3.828	6.249	1.682	2.439	1.447	1.229	0.984	1.046	1.295	3.01	5.23	2.60
2015	1.71	2.44	2.17	1.82	1.37	1.26	1.05	0.92	0.84	0.85	1.31	0.88	1.39
2016	1.011	0.840	1.169	1.596	1.461	1.013	0.873	1.163	1.082	1.719	3.355	4.172	1.62

Fuente: Fundación Pro cuenca río Las Piedras con modificaciones propias.

Teniendo en cuenta la curva de duración de caudales medios mensuales multianuales (Figura 7.1), se realizó el cálculo del índice de retención y regulación hídrica (IRH), de acuerdo a la Ecuación 7.1.

7.1.1 Índice de retención y regulación hídrica (IRH)

$$IRH = \frac{VP}{V_t} \quad (7.1)$$

Donde:

VP: Volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea del caudal medio.

V_t : Volumen total representado por el área bajo la curva.

A continuación se calculó el IRH:

$$IRH = \frac{VP}{V_t} = \frac{93m^2}{119m^2} = 0.782$$

El índice de retención y regulación hídrica obtuvo una calificación cualitativa Alta según la Tabla 7.2, lo cual significa una alta retención y regulación de humedad en la subcuenca.

Tabla 7.2. Calificación del Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH).

IRH	Calificación Cualitativa	Descripción
> 0,85	Muy alta	Muy alta retención y regulación de humedad
0,75 - 0,85	Alta	Alta retención y regulación de humedad
0,65 - 0,75	Moderada	Media retención y regulación de humedad
0,50 - 0,65	Baja	Baja retención y regulación de humedad
< 0,5	Muy baja	Muy baja retención y regulación de humedad

Fuente: IDEAM (2010).

Con el valor obtenido del IRH, se procedió a calcular el Caudal ambiental.

7.1.1.1 Caudal ambiental

La metodología propuesta por el IDEAM (2010), se basa en el régimen hidrológico, calculado a partir de la curva de duración de caudales medios. Se calculó el caudal ambiental teniendo en cuenta las Ecuaciones 7.2 y 7.3, dependiendo del valor del IRH obtenido.

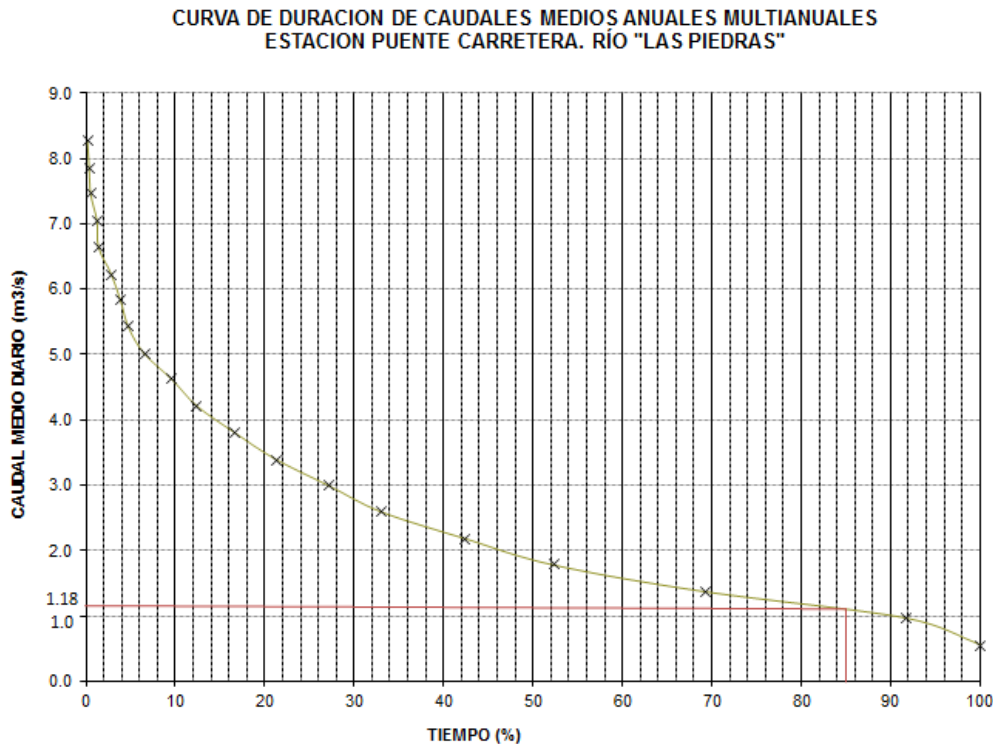
$$\text{Si } IRH \geq 0,7; Q_{\text{ambiental}} = Q_{85\text{-curva de duracion de caudal}} \quad (7.2)$$

$$\text{Si } IRH < 0,7; Q_{\text{ambiental}} = Q_{75\text{-curva de duracion de caudal}} \quad (7.3)$$

Como el $IRH = 0.782$, se calculó el caudal ambiental mediante la Ecuación 7.2, la cual requiere el cálculo del Q_{85} .

El caudal ambiental se obtuvo al interceptar la curva de duración de caudales medios con el Q_{85} del eje X (Tiempo (%)). Esta intercepción se muestra en la Figura 7.2.

Figura 7.2. CDC medios – Q_{85} .



Se obtuvo un Caudal Ambiental igual a $1.18 \text{ m}^3/\text{s}$, como se muestra en la Figura 7.2. Este valor de caudal asegura parcialmente las demandas de la cuenca y deja un caudal remanente en el cauce para el caudal ecológico. Este valor es necesario para el cálculo del caudal ecológico de la subcuenca río Las Piedras.

7.1.1.2 Caudal Ecológico

El caudal ambiental está compuesto del caudal utilizado para los diferentes usos racionales que se derivan del cauce principal y del caudal ecológico para preservar la biota del sistema. Por lo anterior, el caudal ecológico corresponde a lo expresado en la Ecuación 7.4 (Avilés, Tobar (2017)).

$$Q_{\text{ecológico}} = Q_{\text{ambiental}} - Q_{\text{demandas}} \quad (7.4)$$

Donde:

$$Q_{\text{ecológico}} = 1.18 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} - 0.978 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0.202 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

La cantidad hídrica necesaria para conservar el ecosistema y el hábitat en condiciones óptimas es 0.202 m³/s, ya que se tuvo en cuenta la demanda que se tiene en la Subcuenca río Las Piedras con respecto a las diferentes actividades que se realizan en ésta.

Nota: El valor de $Q_{demandas} = 0.978$ m³/s se tomó de la Tabla 6.2 donde se muestran las demandas hídricas de la subcuenca.

7.1.2 Índice del Uso del Agua (IUA)

El IUA se calcula a partir de la Ecuación 7.5 (IDEAM, 2010).

$$I_{ua} = \frac{Dh}{Ohn} * 100 \quad (7.5)$$

Donde:

Dh: Demanda hídrica sectorial.

Ohn: Oferta hídrica superficial neta [m³].

A su vez, la oferta hídrica superficial neta se calculó según la Ecuación 7.6.

$$Ohn = OHT * (1 - Re - Rf) \quad (7.6)$$

Donde:

OHT = Oferta hídrica total.

Re = Factor de reducción para mantener el régimen de estiaje, decimal.

Rf = Factor de reducción por irregularidad temporal de la oferta hídrica, decimal.

Los valores que se muestran en la Tabla 7.3 son resultado de realizar el cálculo del promedio por mes (promedio vertical) de los datos consignados en la Tabla 7.1.

Tabla 7.3. Valores medios mensuales multianuales.

Mes	Caudal (m ³ /s)
ENERO	3.257
FEBRERO	3.093
MARZO	2.995
ABRIL	3.047
MAYO	2.554
JUNIO	1.696
JULIO	1.323
AGOSTO	1.163
SEPTIEMBRE	1.082
OCTUBRE	1.719
NOVIEMBRE	3.355
DICIEMBRE	4.172
Promedio	2.455

El cálculo de la OHT se realizó mediante la Ecuación 7.7.

$$OHT = Q_{mmi} + D_{mi} \quad (7.7)$$

Donde:

Q_{mmi} = Caudal medio multianual para el mes i [m^3/s].

D_{mi} = Demanda hídrica para el mes i [m^3/s].

Así, el valor de la oferta hídrica total para el mes de Enero es:

$$OHT = 3.257 \text{ m}^3/s + 0.978 \text{ m}^3/s$$

$$OHT = 4.235 \text{ m}^3/s$$

De igual forma se realizó el cálculo de la oferta hídrica total para los demás meses y los resultados se muestran en la Tabla 7.4.

Tabla 7.4. Oferta Hídrica Total mensual.

Mes	OTH (m^3/s)
ENERO	4.235
FEBRERO	4.071
MARZO	3.973
ABRIL	4.025
MAYO	3.532
JUNIO	2.674
JULIO	2.301
AGOSTO	2.141
SEPTIEMBRE	2.060
OCTUBRE	2.697
NOVIEMBRE	4.333
DICIEMBRE	5.150
Promedio	3.433

Posteriormente, se calculó el índice de uso de agua realizando cálculos tipo para el mes de Enero. Fue necesario calcular el Re y el Rf mediante las Ecuaciones 7.8 y 7.9 respectivamente, para satisfacer la Ecuación 7.6 mencionada anteriormente.

$$Re(\%) = \frac{Q_{\min 97.5}}{Q_{\text{med}75}} * 100 \quad (7.8)$$

$Q_{\min 97.5}$ = Caudal mínimo del 97.5% de probabilidad de excedencia, a partir de los caudales medios de los mínimos diarios multianuales. También, a partir de la serie de caudales modales de los mínimos de cada año.

Q_{med75} = Caudal medio modal (promedio de los mayores de 75% en la CDC), a partir de los caudales medios de los medios diarios multianuales.

El valor de $Q_{mín97.5}$ se obtuvo a partir de la Curva de Duración de Caudales mínimos mensuales multianuales. En la Tabla 7.5 se muestran los valores mínimos mensuales de caudales suministrados por la Fundación Pro cuenca río Las Piedras para la Estación Arrayanales. La Tabla 7.5 se completó con el Anexo A teniendo en cuenta si en los meses de datos faltantes se presentó ENSO o NO ENSO.

Para el año de 1975 faltaba el dato de caudal para el mes de Noviembre, por lo cual se calculó el promedio vertical de ese mes para todos los años, obteniendo un valor de 1.53, pero como se presentó Fenómeno del Niño en ese periodo, se procedió a comparar el valor registrado por el ONI para el mes de Noviembre de 1975, con los demás años, para encontrar similitud en aumento del régimen de lluvias y obtener un valor aproximado. Es por esto que se adoptó el valor de 1.978 m³/s.

Para el año de 1996 faltaba el dato de caudal para el mes de Junio, por lo cual se procedió a calcular el promedio vertical de ese mes para todos los años, obteniendo un valor de 1.346 m³/s, y como ese periodo fue NO ENSO, se adoptó el mismo valor. Los demás valores faltantes se completaron de manera similar y se señalan con color rojo.

Luego se realizó el promedio horizontal para hallar el valor anual.

Teniendo en cuenta la Tabla 7.5, se realizó la curva de duración de caudales mínimos mensuales multianuales (Figura 7.3) con la cual se obtuvo el valor de $Q_{mín97.5}$.

Figura 7.3. CDC mínimos - $Q_{mín97.5}$.

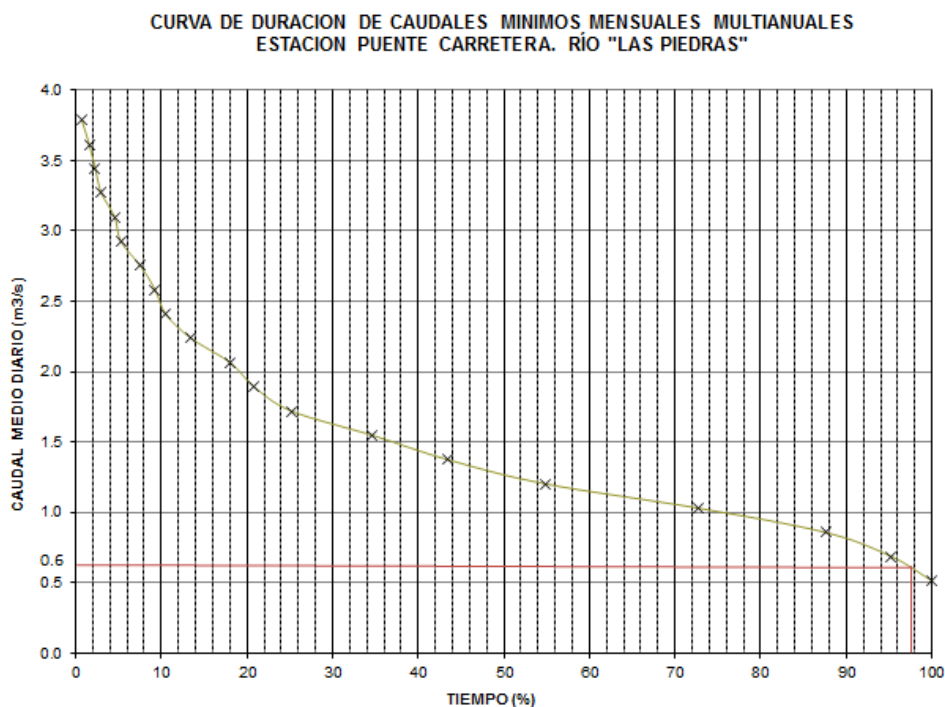


Tabla 7.5. Valores Mínimos Mensuales de Caudales.

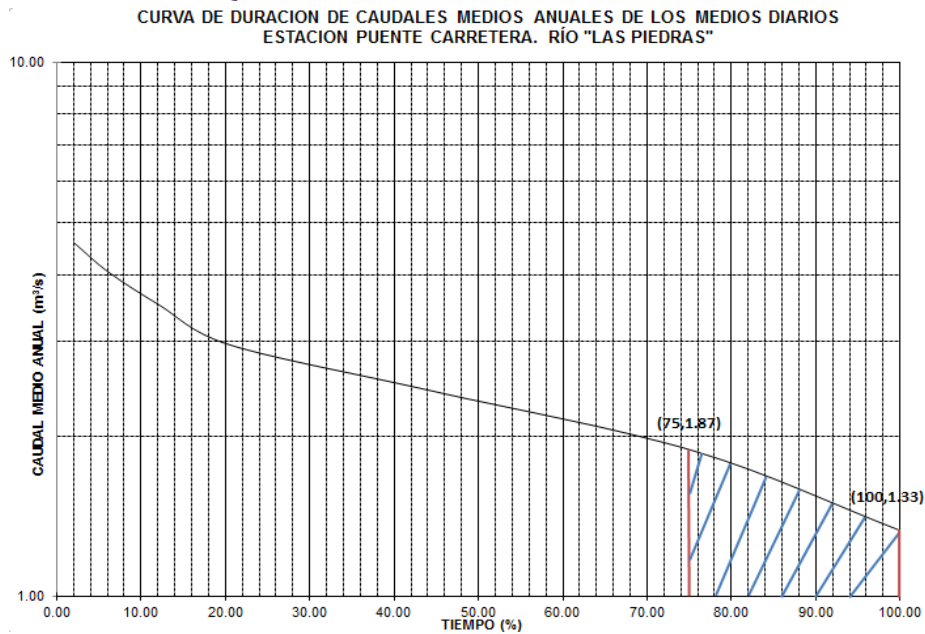
VALORES MÍNIMOS MENSUALES DE CAUDALES (m ³ /s)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1969	0.9	0.79	0.9	0.99	0.99	0.9	0.79	0.67	0.53	1.47	2.92	2.64	1,21
1970	0.65	0.74	0.88	0.81	0.88	1.16	0.95	1.02	0.84	1.05	2.15	2.2	1,11
1971	2.15	2.82	1.81	1.23	1.19	1.62	1.26	1.12	0.99	1.03	1.62	1.8	1,55
1972	2.1	2.8	2.1	2.1	1.8	1.5	1.3	1.1	1.1	1	1.2	1.6	1,64
1973	1.2	1.1	1.1	0.8	1.1	1.1	1	1	1	1.3	2	3.1	1,32
1974	2.4	3.2	2.18	2.5	1.8	1.4	1.2	1.1	1.1	1.1	1.5	2.14	1,80
1975	1.8	1.94	2.36	1.8	1.8	1.62	1.62	1.53	1.35	1.3	1.98	3.96	1,92
1976	2.78	2.92	2.36	2.91	1.57	1.25	0.97	0.82	0.67	0.86	1.68	1.78	1,71
1977	1.208	0.966	0.818	1.04	1.124	0.966	0.818	0.67	0.62	0.892	1.418	1.334	0,99
1978	1.57	1.15	1.114	1.525	1.348	1.114	1.042	0.97	0.932	0.932	1.15	1.66	1,21
1979	1.546	1.16	1.265	1.16	1.3	1.3	0.95	0.85	0.875	0.785	1.505	1.546	1,19
1980	1.628	2.7	1.628	1.546	1.23	1.02	0.95	0.85	0.85	0.85	0.95	1.16	1,28
1981	1.3	1.23	1.546	1.71	2.78	1.09	0.85	0.785	0.6	0.6	0.685	1.628	1,23
1982	2.01	2.3	3.02	2.86	2.06	1.67	1.46	1.23	1.16	1.23	1.3	2.01	1,86
1983	1.431	0.97	1.584	1.947	2.232	1.38	1.13	0.97	0.913	0.913	1.13	1.635	1,35
1984	2.4	2.06	1.74	2	2.4	1.69	1.38	1.24	1.21	1.38	2.66	1.79	1,83
1985	1.79	1.58	1.38	1.38	1.84	1.3	1.21	1.05	0.97	1.01	1.86	1.74	1,43
1986	1.3	1.48	1.95	1.34	0.97	0.97	0.68	0.63	0.59	0.68	1.17	1.21	1,08
1987	1.096	0.92	0.77	1.052	1.151	0.92	0.87	0.82	0.77	0.87	1.184	1.052	0,96
1988	1.1	0.93	0.93	0.93	1.1	1.14	1.06	0.93	0.93	0.93	1.63	2.37	1,17
1989	2.09	2.09	1.9	1.7	1.55	1.32	1.1	0.93	0.79	0.84	1.4	1.32	1,42
1990	1.42	1.33	1.33	1.18	1.42	0.92	0.8	0.77	0.72	0.72	1.05	1.18	1,07
1991	2.13	1.77	1.95	1.71	1.65	1.45	1.25	1.15	1.15	0.86	0.99	1.83	1,49
1992	1.83	2.39	1.35	1.35	1.11	0.99	0.78	0.83	0.83	0.75	0.91	2.25	1,28
1993	2.19	2.13	1.64	3.33	2.81	1.89	1.55	1.35	1	1.15	2.2	3.52	2,06
1994	3.03	2.81	3.33	3.14	2.46	2.39	2.13	1.89	1.77	1.71	2.46	3.24	2,53
1995	2.67	2.25	2.81	2.81	2.46	2.07	1.89	1.4	1.55	1.55	2.07	3.24	2,23
1996	1.62	1.8	1.8	3.2	2.43	1.35	1.14	1.02	0.68	0.68	1.44	1.62	1,57
1997	4.18	2.47	1.96	2.3	1.55	1.48	1.3	1.12	1.04	1.04	1.04	1.33	1,73
1998	1.04	1.04	1.12	1.55	1.55	1.55	1.19	1.12	0.97	0.97	1.55	3.93	1,47
1999	3.76	4.18	3.76	3.67	3.33	2.22	1.62	1.48	1.48	1.79	3.84	5.94	3,09
2000	4.18	3.5	3.07	3.16	1.4	1.33	1.26	1.33	1.19	1.19	1.37	1.62	2,05
2001	1.62	1.48	1.48	1.26	1.26	1.12	1.12	1.04	1.04	1.19	1.19	1.62	1,29
2002	1.55	1.33	1.37	1.62	1.48	1.62	1.33	1.19	1.12	1.04	1.19	1.19	1,34
2003	1.33	1.33	1.33	3.76	1.48	1.33	1.19	1.04	1.04	1.04	1.44	1.62	1,49
2004	1.62	1.48	1.19	1.33	1.51	1.26	1.04	0.83	0.83	0.83	1.26	2.13	1,28
2005	1.63	2.34	1.42	1.19	1.56	1.11	1.03	0.96	0.88	0.96	1.19	2.69	1,41
2006	2.552	2.269	2.128	2.694	2.128	1.844	1.343	1.112	1.035	1.035	1.382	1.703	1,77
2007	1.304	1.189	1.112	1.266	1.343	1.266	0.958	0.881	0.881	0.881	1.382	2.977	1,29
2008	2.694	2.906	2.057	2.128	2.269	1.42	1.189	1.112	0.958	0.919	1.42	3.967	1,92
2009	3.401	2.694	2.694	2.623	1.703	1.343	1.112	1.035	0.881	0.804	1.227	1.632	1,76
2010	1.189	1.112	0.958	0.958	1.42	1.561	1.561	1.189	1.112	1.112	3.543	3.26	1,58
2011	2.269	2.269	4.109	3.684	3.543	1.986	1.304	1.112	0.958	1.112	1.703	3.896	2,33
2012	3.26	1.915	1.266	1.304	0.958	0.804	0.65	0.56	0.56	0.56	0.515	0.958	1,11
2013	0.65	0.804	0.727	0.65	0.996	0.682	0.56	0.605	0.56	0.56	0.958	1.42	0,76
2014	1.703	2.128	2.198	1.42	1.343	1.189	0.958	0.881	0.881	0.881	1.189	1.561	1,36
2015	1.389	0.927	1.543	1.466	1.235	1.081	1.004	0.85	0.76	0.805	0.927	0.805	1,07
2016	0.81	0.81	0.85	1.08	1.16	0.93	0.85	1.024	0.95	1.003	1.543	2.145	1,10

Fuente: Fundación Pro cuenca río Las Piedras con modificaciones propias.

De la Figura 7.3 se obtuvo un $Q_{\text{mín}97.5} = 0.60 \text{ m}^3/\text{s}$.

El valor de $Q_{\text{med}75}$ se obtuvo a partir de la Curva de Duración de Caudales medios mensuales multianuales (Figura 7.1) teniendo en cuenta los valores con una incidencia mayor al 75% mostrados en la Figura 7.4.

Figura 7.4. CDC medios - $Q_{\text{med}75}$.



De la Figura 7.4 se obtuvo un $Q_{\text{med}75} = 1.60 \text{ m}^3/\text{s}$.

De acuerdo a la Ecuación 7.8 se calculó el Re :

$$Re(\%) = \frac{0.60 \text{ m}^3/\text{s}}{1.60 \text{ m}^3/\text{s}} * 100$$

$$Re(\%) = 37.5 \% = 0.38$$

R_f es función del Coeficiente de Variación de los caudales medios anuales de los medios diarios. En la Tabla 7.6 se muestran sus valores.

Tabla 7.6. Valores de R_f .

Coefficiente de Variación (CV)	R_f (%)
0,0 – 0,2	15
0,2 – 0,3	25
0,3 – 0,4	35
0,4 – 0,6	40
> 0,6	50

Fuente: Ocampo (2012).

El Coeficiente de Variación (CV) se calculó mediante la Ecuación 7.9. En el Anexo B se presentan los datos con los cuales se obtuvo la desviación estándar y la media aritmética.

$$CV = \frac{\text{Desviación estándar}}{\text{media aritmética}} \quad (7.9)$$

$$CV = \frac{0.814}{2.46} = 0.33$$

Teniendo en cuenta que $CV = 0.33$, se obtiene que el Rf es igual a 35% es decir 0.35 a partir de la Tabla 7.6.

Posteriormente, se realizó la corrección de la OHT mediante la Ecuación 7.10.

$$OHT_c = OHT + D \quad (7.10)$$

$$OHT_c = 4.235 + 0.978$$

$$OHT_c = 5.21 \text{ m}^3/\text{s}$$

Se realizó el cálculo de la oferta hídrica neta según la Ecuación 7.6:

$$OHN = 5.21 * (1 - 0.38 - 0.35)$$

$$OHN = 1.43 \text{ m}^3/\text{s}$$

Luego se calculó el IUA con reducciones según la Ecuación 7.5:

$$I_{ua} = \frac{0.978}{1.43} * 100 = 68.2 \%$$

$$I_{ua} = 68.2 \%$$

Y el IUA sin reducciones según la Ecuación 7.11.

$$I_{ua} = \frac{Dh}{OHT_c} * 100 \quad (7.11)$$

$$I_{ua} = \frac{0.978}{5.21} * 100$$

$$I_{ua} = 18.8 \%$$

La interpretación del Índice de Uso de Agua (IUA) se presenta en la Tabla 7.7.

Tabla 7.7. Calificación del Índice del Uso del Agua (IUA).

Índice de uso de agua	Calificación Cualitativa	Observaciones
> 50 %	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
20 - 50 %	Medio	La presión de la demanda es media con respecto a la oferta disponible
10 - 20 %	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible
1 - 10 %	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible
≤ 1 %	Muy bajo	La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible

Fuente: IDEAM (2010).

Según la Tabla 7.7, el IUA para Enero se califica como Moderado, lo que indica que la presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible. En la Tabla 7.8 se muestran los resultados para cada uno de los parámetros de cálculo del IUA para los demás meses.

Tabla 7.8. Valores IUA con reducciones y sin reducciones.

Mes	D (m ³ /s)	OHT (m ³ /s)	OHTc (m ³ /s)	Rf (Decimal)	Re (Decimal)
ENERO	0,978	4,235	5,21	0,35	0,60
FEBRERO	0,978	4,071	5,05	0,35	0,60
MARZO	0,978	3,973	4,95	0,35	0,60
ABRIL	0,978	4,025	5,00	0,35	0,60
MAYO	0,978	3,532	4,51	0,35	0,60
JUNIO	0,978	2,674	3,65	0,35	0,60
JULIO	0,978	2,301	3,28	0,35	0,60
AGOSTO	0,978	2,141	3,12	0,35	0,60
SEPTIEMBRE	0,978	2,060	3,04	0,35	0,60
OCTUBRE	0,978	2,697	3,68	0,35	0,60
NOVIEMBRE	0,978	4,333	5,31	0,35	0,60
DICIEMBRE	0,978	5,150	6,13	0,35	0,60

OHN (m ³ /s)	Uso con reducciones D/OHTN	Clasificación	Uso sin reducciones D/OHT	Clasificación
	I.E. (%)		I.E. (%)	
1,43	68,2	Alto	18,8	Moderado
1,39	70,4	Alto	19,4	Moderado
1,36	71,8	Alto	19,8	Moderado
1,38	71,1	Alto	19,5	Moderado
1,24	78,9	Alto	21,7	Medio
1	97,4	Alto	26,8	Medio
0,9	108,5	Alto	29,8	Medio
0,86	114	Alto	31,4	Medio
0,84	117,1	Alto	32,2	Medio
1,01	96,8	Alto	26,6	Medio
1,46	67	Alto	18,4	Moderado
1,69	58	Alto	16	Moderado
MEDIA ANUAL	84,9	Alto	23,4	Medio

7.1.3 Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento (IV)

Se determina a través de la matriz de relación entre el IRH y el IUA como se presenta en la Tabla 7.9.

Tabla 7.9. Matriz de relación para categorizar el índice de vulnerabilidad (IV).

Categorías	Índice de Vulnerabilidad – IV			
	IRH - Alto	IRH - Moderado	IRH - Bajo	IRH - Muy bajo
IUA - Muy alto	Medio	Alto	Alto	Muy alto
IUA - Alto	Medio	Alto	Alto	Muy alto
IUA- Moderado/Medio	Medio	Medio	Alto	Alto
IUA - Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Medio
IUA - Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Medio	Medio

Fuente: IDEAM (2010).

El cálculo de este índice se realizó mensualmente, por lo cual se tuvo en cuenta el valor de IRH = 0.782 y los valores del IUA mensuales con reducciones de la Tabla 7.8. Los resultados mensuales del Índice de Vulnerabilidad (IV) se muestran en la Tabla 7.10.

Tabla 7.10. Índice de Vulnerabilidad mensual.

MES	Índice de Vulnerabilidad - IV
Enero	Medio
Febrero	Medio
Marzo	Medio
Abril	Medio
Mayo	Medio
Junio	Medio
Julio	Medio
Agosto	Medio
Septiembre	Medio
Octubre	Medio
Noviembre	Medio
Diciembre	Medio
Media Anual	Medio

7.1.4 Índice de stress hídrico relativo (RWSI)

Se calcula a partir de la Ecuación 7.12:

$$RWSI = \frac{D+I+A}{Q} \quad (7.12)$$

Q: Suministro de agua- km³/año.

D: Demanda de agua para uso doméstico- km³ /año.

I: Demanda de agua para uso industrial- km³ /año.

A: Demanda de agua para la agricultura - km³ /año.

A continuación se realizan los cálculos tipo del mes de Enero para hallar las demandas hídricas para uso doméstico, industrial y de agricultura. Los valores de demanda en L/s se encuentran en la Tabla 6.2.

- Doméstico:

$$751 \frac{L}{s} \times \frac{1 \text{ Km}^3}{1 \times 10^{12} L} \times \frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ dia}} \times \frac{31 \text{ dia}}{1 \text{ mes}} = 2,011 \times 10^{-3} \frac{\text{Km}^3}{\text{mes}}$$

- Agricultura:

$$150 \frac{L}{s} \times \frac{1 \text{ Km}^3}{1 \times 10^{12} L} \times \frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ dia}} \times \frac{31 \text{ dia}}{1 \text{ mes}} = 4,018 \times 10^{-4} \frac{\text{Km}^3}{\text{mes}}$$

- Industrial:

$$77 \frac{L}{s} \times \frac{1 \text{ Km}^3}{1 \times 10^{12} L} \times \frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ dia}} \times \frac{31 \text{ dia}}{1 \text{ mes}} = 2,062 \times 10^{-4} \frac{\text{Km}^3}{\text{mes}}$$

Teniendo en cuenta los valores de caudales consignados en la Tabla 7.3, se procedió a calcular el suministro de agua para el mes de Enero. Los valores de suministro de agua para los demás meses se muestran en la Tabla 7.11.

Suministro de agua:

$$3.257 \frac{m^3}{s} \times \frac{1 \text{ Km}^3}{1 \times 10^9 m^3} \times \frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ dia}} \times \frac{31 \text{ dia}}{1 \text{ mes}} = 8,724 \times 10^{-3} \frac{\text{Km}^3}{\text{mes}}$$

Tabla 7.11. Suministro de Agua mensual.

Mes	Caudal (Km ³ /mes)
ENERO	8,724 x 10 ⁻³
FEBRERO	7,483 x 10 ⁻³
MARZO	8,022 x 10 ⁻³
ABRIL	7,898 x 10 ⁻³
MAYO	6,841 x 10 ⁻³
JUNIO	4,396 x 10 ⁻³
JULIO	3,544 x 10 ⁻³
AGOSTO	3,115 x 10 ⁻³
SEPTIEMBRE	2,805 x 10 ⁻³
OCTUBRE	4,604 x 10 ⁻³
NOVIEMBRE	8,696 x 10 ⁻³
DICIEMBRE	1,117 x 10 ⁻²

Con base en los valores de la Tabla 7.11, se procedió a encontrar el valor del Índice de stress hídrico relativo para Enero según la Ecuación 7.12.

$$RWSI = \frac{2,011 \times 10^{-3} + 4,018 \times 10^{-4} + 2,062 \times 10^{-4}}{8,724 \times 10^{-3}} = 0.30$$

La Tabla 7.12 establece la clasificación cualitativa para el RWSI.

Tabla 7.12. Umbrales del índice de stress hídrico.

Índice de RSWI	Calificación Cualitativa	Observaciones
> 0,4	Alto	Existe fuerte presión sobre el recurso hídrico. Es insuficiente la oferta hídrica para atender la alta demanda de agua por los sectores productivos.
0,2 - 0,4	Medio	La oferta hídrica llega al límite máximo para atender la demanda.
0,10 - 0,2	Moderado	La disponibilidad de agua se puede convertir en factor limitante del desarrollo.
< 0,1	Bajo	No se experimentan presiones sobre el recurso hídrico en términos de cantidad de agua.

Fuente: IDEAM (2008).

Teniendo en cuenta la Tabla 7.12 y el valor calculado de $RWSI = 0.30$, se obtuvo una calificación cualitativa Media para el mes de Enero, lo que significa que la oferta hídrica llega al límite máximo para atender la demanda.

Los valores de RWSI para los meses restantes se calcularon de igual manera que los cálculos tipo para el mes de Enero, y los resultados se muestran en la Tabla 7.13.

Tabla 7.13. RSWI mensual.

Mes	Valor RSWI	Calificación Cualitativa
ENERO	0.30	Medio
FEBRERO	0.32	Medio
MARZO	0.33	Medio
ABRIL	0.32	Medio
MAYO	0.38	Medio
JUNIO	0.58	Alto
JULIO	0.74	Alto
AGOSTO	0.84	Alto
SEPTIEMBRE	0.90	Alto
OCTUBRE	0.57	Alto
NOVIEMBRE	0.29	Medio
DICIEMBRE	0.24	Medio

7.1.5 Índice de disponibilidad per cápita de agua (IDP)

El IDP se calcula siguiendo la Ecuación 7.13.

$$IDP = \frac{Q}{POBLACION} \quad (7.13)$$

Donde:

Q = Caudal medio anual [$m^3/año$].

Población = Número de habitantes.

El valor de caudal utilizado ($2.455 m^3/s$) para el cálculo, es el promedio de los caudales medios mensuales multianuales consignados en la Tabla 7.3.

$$2.455 \frac{m^3}{s} \times \frac{86400 s}{1 dia} \times \frac{365 dia}{año} = 77420880 \frac{m^3}{año}$$

La ciudad de Popayán para el año 2017 cuenta con una población de 248672 habitantes, aunque sólo el 80% de ésta se abastece de la subcuenca río Las Piedras. Por lo tanto, la población a considerar es de 198924 habitantes, y el IDP es igual a:

$$IDP = \frac{77420880 \frac{m^3}{año}}{198924 Habitantes}$$

$$IDP = 389.20 \frac{m^3}{Hab * año}$$

En la Tabla 7.14 se encuentra la clasificación de este índice.

Tabla 7.14. Categorías del índice de Disponibilidad Per-cápita de Agua.

IDP $m^3/hab-año$	Categoría	Observación
1700 – 1001	Estrés Hídrico	Ampliar las medidas de adaptación y adecuar dispositivos para el aprovechamiento de aguas lluvias y subterráneas
1000 – 501	Escasez de agua	Implementar medidas de ahorro y uso eficiente del agua
< 500	Escasez severa de agua	Se presentan problemas imposibles de superar; el desarrollo económico se restringe fuertemente

Fuente: IDEAM (2012).

Se obtuvo un IDP = 389.20 m³/Hab*año, por lo cual se considera en situación de escasez severa de agua donde se presentan problemas imposibles de superar; el desarrollo económico se restringe fuertemente.

7.1.6 Índice de Aridez (IA)

Para este índice se trabajó con los datos de temperatura y precipitación de la estación pluviométrica Arrayanales desde el año 1994 a 2016, debido a que es la estación con datos más completos. Para poder calcular el Índice de Aridez fue necesario completar los datos tanto de temperatura como de precipitación con la ayuda de las estaciones Guillermo León Valencia y Polindara. Estos datos fueron facilitados por la Fundación Pro-cuenca río Las Piedras.

- **Estimación datos faltantes de temperatura**

Debido a que la Estación Guillermo León Valencia cuenta con la mayor cantidad de datos completos de temperatura, se utilizó para hacer proyecciones y completar los datos faltantes de la estación Arrayanales. Para las proyecciones se utilizó un gradiente dado para la región andina de 0.625°C.

La estación Arrayanales se encuentra a una elevación de 2561msnm, mientras que la estación Guillermo León Valencia está ubicada a 1757 msnm. Primero se realizó la diferencia de elevación entre las dos estaciones mediante la Ecuación 7.14.

$$\text{Elevación Arrayanales} - \text{Elevación G.L.V} = \text{Diferencia de elevación} \quad (7.14)$$

$$2561 \text{ m. s. n. m} - 1757 \text{ m. s. n. m} = 804 \text{ m. s. n. m}$$

Se obtiene que la estación Arrayanales se encuentra a 804 msnm más que la estación Guillermo León Valencia. Utilizando el método de Regla de Tres se encontró el aumento de temperatura para cada dato de la estación Guillermo León Valencia como se presenta en la Ecuación 7.15.

$$0.625^{\circ}\text{C} \longrightarrow 100 \text{ msnm} \quad (7.15)$$

$$X \longrightarrow 804 \text{ msnm}$$

$$X = \frac{0.625^{\circ}\text{C} \times 804 \text{ m. s. n. m}}{100 \text{ m. s. n. m}}$$

$$X = 5.025^{\circ}\text{C}$$

El valor anteriormente calculado se tuvo en cuenta para encontrar los datos faltantes de temperatura de la estación Arrayanales que se muestran en la Tabla 7.15.

Tabla 7.15. Valores Medios de Temperatura Completados.

Año	Ene		Feb		Mar		Abr		May		Jun	
	tmin	tmax	tmin	tmax	tmin	tmax	tmin	tmax	tmin	tmax	tmin	tmax
1994	-	-	6	19	6	18	6	20	7	21	5	21
1995	10	19	8	19	9	18	10	18	10	18	10	19
1996	8	17	9	17	10	17	16	13	9	18	9	19
1997	8	16	9	18	9	19	9	18	10	24	8	19
1998	10	20	11	20	10	19	11	19	10	19	10	21
1999	8	16	9	16	9	17	9	18	9	18	9	17
2000	8	17	8	17	9	17	9	17	9	17	9	18
2001	8	17	9	18	9	16	8	18	8	17	8	18
2002	8	17	8	17	8	17	8	17	9	18	8	18
2003	11	20	9	18	9	20	9	22	10	23	9	19
2004	7	23	6	23	7	24	7	25	8	-	5	23
2005	9	20	9	20	9	20	10	20	10	20	9	20
2006	8	23	9	20	9	19	9	19	10	20	5	23
2007	7	24	17	26	17	25	18	27	18	27	18	27
2008	18	24	17	24	18	24	8	25	17	25	17	26
2009	17	24	18	25	17	26	17	26	17	26	16	26
2010	18	28	16	27	16	28	16	27	16	28	17	25
2011	18	24	17	23	17	23	12	21	8	23	10	19
2012	9	19	9	17	10	18	9	17	9	19	10	20
2013	10	19	11	22	11	22	11	21	11	21	11	21
2014	10	20	11	20	10	19	10	19	10	20	12	20
2015	10	20	10	19	10	20	10	20	10	20	10	20
2016	10	21	10	20	10	20	9	20	10	20	10	19
Promedio	10	20	11	20	11	20	10	20	11	21	10	21
Tmedia	15		15.5		15.5		15		16		15.5	

Año	Jul		Ago		Sep.		Oct.		Nov.		Dic	
	tmin	tmax	tmin	tmax	tmin	tmax	tmin	tmax	tmin	tmax	tmin	tmax
1994	5	22	5	-	6	23	9	21	9	17	10	17
1995	9	18	9	18	9	19	9	17	9	17	9	13
1996	8	19	9	20	9	20	8	17	9	19	9	19
1997	9	20	9	20	9	19	9	19	10	18	10	19
1998	9	20	9	20	9	19	9	18	9	16	9	17
1999	9	20	9	20	8	17	8	17	8	12	8	16
2000	9	19	10	21	8	18	9	19	8	16	8	16
2001	9	19	10	21	9	18	8	17	8	17	8	17
2002	9	20	9	20	9	19	8	18	9	17	7	23
2003	5	24	6	24	6	24	7	23	7	22	10	17
2004	5	23	5	24	6	25	7	23	7	23	9	20
2005	9	20	10	20	10	20	10	20	9	19	10	19
2006	5	25	5	25	6	25	7	25	7	21	6	24
2007	16	24	18	26	17	25	18	26	18	24	18	24
2008	17	26	18	27	18	26	17	25	17	24	17	24
2009	16	27	17	27	16	27	17	26	17	26	17	26
2010	17	24	17	25	17	25	17	24	17	22	16	23
2011	11	19	10	19	9	25	9	17	9	18	10	21
2012	10	20	12	19	11	22	10	18	9	17	9	17
2013	17	21	17	22	15	21	15	21	11	19	11	19
2014	12	20	10	20	11	20	11	19	10	19	11	23
2015	10	21	11	21	6	26	10	20	10	19	7	26
2016	10	20	10	20	10	20	10	19	9	19	9	19
Promedio	10	21	11	22	10	22	11	20	10	19	10	20
Tmedia	15.5		16.5		16		15.5		14.5		15	

Fuente: Fundación Pro cuenca río Las Piedras con modificaciones propias.

Teniendo en cuenta los datos faltantes de la estación Arrayanales (Anexo C), se comparó con los datos de la estación del Aeropuerto Guillermo León Valencia (Anexo D), y a estos datos se les resta el aumento de temperatura de 5.05°C. El resultado de esta resta será el dato faltante de la estación Arrayanales, valores que se consignan en la Tabla 7.15.

- **Estimación datos faltantes de precipitación**

El estimativo de datos faltantes de precipitación se hizo utilizando registros de estaciones cercanas o vecinas con datos completos para el mismo periodo faltante.

Para los datos faltantes de precipitación de la estación Arrayanales se tomaron los datos de la estación Polindara ubicada en el municipio de Totoró, la cual tiene una elevación similar a la de Arrayanales y además están a una distancia de 5.568 km, por lo tanto, se supuso que conllevan una información de circulación atmosférica similar. Para completar los datos de dicha estación se empleó el método de regresión lineal.

Se tomaron los datos de la estación Polindara (Anexo E), y los datos iniciales de la estación Arrayanales (Anexo F) de los años 1994, 1997, 2002, 2003, 2004, 2006, 2011 y 2015 los cuales presentaban datos incompletos. Se realizó la regresión lineal con la mayoría de datos existentes y que estuvieran seguidos.

Los datos de la estación Polindara se tomaron como la variable independiente y los datos de la estación Arrayanales como la variable dependiente ya que en ésta se presentaba la ausencia de datos. En la Tabla 7.16 se muestra de color morado los valores con los cuales se realizó la gráfica y se halló la ecuación de la recta (Figura 7.5); de naranja se encuentran los datos que fueron hallados mediante dicha ecuación.

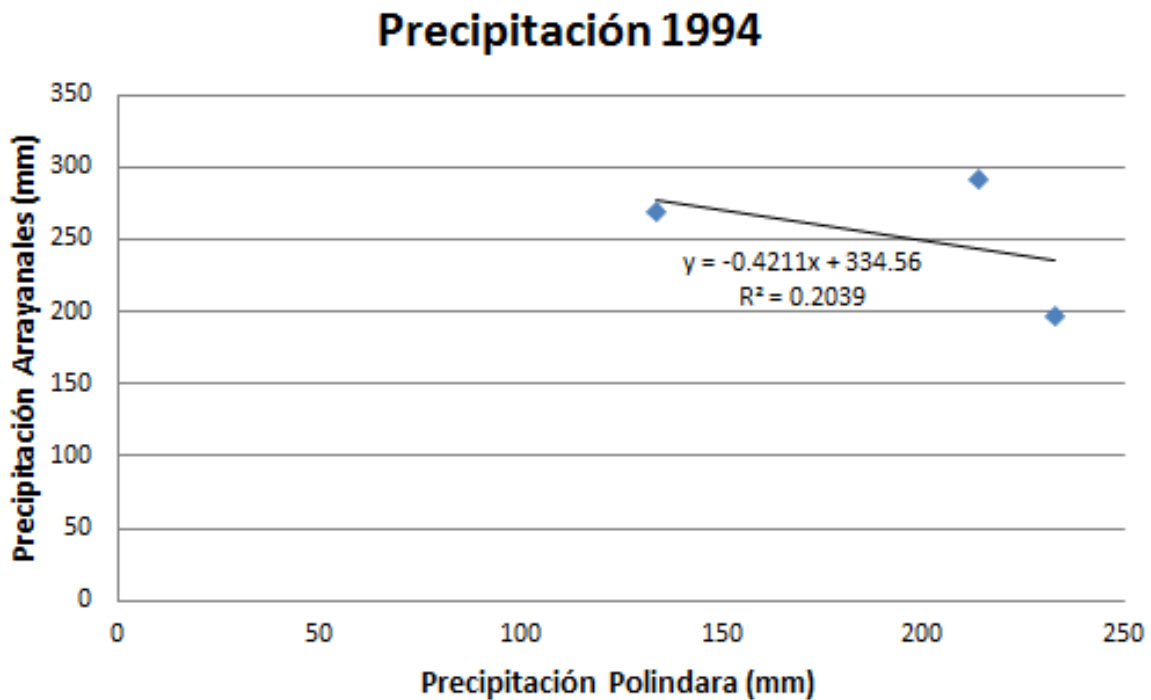
Tabla 7.16. Regresión Lineal Estación Arrayanales - Estación Polindara (1994).

		VARIABLES	
		INDEPENDIENTE	DEPENDIENTE
		Eje X (abscisas)	Eje Y (ordenadas)
AÑO	MES	PREC. POLINDARA	PREC. ARRAYANALES
1994	Ene	212	245
1994	Feb	85	299
1994	Mar	160	267
1994	Abr	150	271
1994	May	49	314
1994	Jun	3	333
1994	Jul	42	317
1994	Ago	0	335
1994	Sep	66	307
1994	Oct	233	198
1994	Nov	214	292
1994	Dic	134	269

Fuente: Elaboración Propia.

Con los valores de color gris de la Tabla 7.16, se construyó la gráfica correspondiente y se obtuvo la ecuación de la recta (Figura 7.5).

Figura 7.5. Regresión Lineal de Precipitación: Estación Polindara vs Estación Arrayanales (1994).



A continuación, se muestra el cálculo con el cual se obtuvieron los valores de los recuadros de color naranja, mediante la Ecuación 7.16.

El cálculo corresponde al mes de Enero del año 1994. De igual forma se calcularon los valores para los demás meses con datos faltantes.

$$y = -0.4211X + 334.56 \quad (7.16)$$

$$y = -0.4211(212) + 334.56 = 245$$

En el Anexo G se encuentran las Tablas y Figuras completas de precipitación para los años restantes (1997, 2002, 2003, 2004, 2006, 2011 y 2015), que se calcularon de la misma manera que para la Precipitación de la estación Arrayanales.

Los datos completos de precipitación para la estación Arrayanales se encuentran en la Tabla 7.17.

Tabla 7.17. Datos completos de Precipitación para la estación Arrayanales.

ESTACIÓN ARRAYANALES VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACION (mm)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1994	245	299	267	271	314	333	317	335	307	198	292	269	3447
1995	99	107	222	159	163	64	43	5	11	274	283	286	1716
1996	218	149	412	213	154	163	0	25	37	463	233	160	2227
1997	453	49	263	84	54	100	0	54	48	200	320	108	1733
1998	68	173	178	131	259	26	9	26	8	280	422	260	1840
1999	268	324	155	218	161	43	3	34	192	246	335	356	2335
2000	478	304	181	103	103	83	64	9	88	169	271	145	1998
2001	127	143	122	40	54	18	0	0	50	160	269	236	1219
2002	152	133	167	222	92	129	10	59	51	200	84	230	1529
2003	116	143	311	264	16	106	33	30	49	245	226	334	1873
2004	82	38	58	161	40	2	17	1	29	155	235	115	933
2005	173	125	106	94	208	29	0	0	104	142	132	152	1265
2006	50	71	50	89	17	22	0	0	0	76	69	181	625
2007	47	41	59	146	116	33	11	28	0	227	60	137	905
2008	144	119	77	75	64	24	14	45	18	44	110	109	843
2009	25	48	114	376	155	66	4	40	11	258	275	300	1672
2010	46	139	10	322	267	101	285	0	192	339	398	161	2260
2011	201	439	471	363	170	31	84	90	40	383	571	311	3154
2012	367	142	173	190	35	1	10	0	0	78	174	224	1394
2013	77	132	92	48	62	65	9	9	14	28	42	25	603
2014	21	21	35	3	79	1	0	0	16	23	34	31	264
2015	128	115	103	103	22	0	0	0	32	51	260	32	814
2016	211	64	156	223	97	14	0	0	51	217	245	237	1278
Promedio	165	144	164	169	117	63	40	34	59	194	232	191	1572

Fuente: Fundación Pro-cuenca río Las Piedras con modificaciones propias.

Teniendo los datos completos de Temperatura y Precipitación, se determinó la Evapotranspiración potencial (PET), necesaria para el cálculo del IA, como se observa es la Ecuación 7.17.

$$I_a = \frac{PET-ETR}{PET} \quad (7.17)$$

Donde:

PET: Evaporación potencial (mm).

ETR: Evaporación real (mm).

Para calcular este indicador, se utilizó la ecuación de Budyko para el cálculo de la evapotranspiración real (ETR), y la ecuación de Penman-Montieth para el cálculo de la evapotranspiración potencial (PET).

La ecuación de Budyko se presenta en la Ecuación 7.18.

$$\overline{ETR} = \left\{ ETP * \bar{P} * \operatorname{Tanh} \left(\frac{\bar{P}}{ETP} \right) * \left(1 - \operatorname{Cosh} \left(\frac{ETP}{\bar{P}} \right) + \operatorname{Tanh} \left(\frac{ETP}{\bar{P}} \right) \right) \right\}^{0,5} \quad (7.18)$$

Donde:

\bar{P} = Precipitación media.

Tanh = Función tangente hiperbólica.

Cosh = Función coseno hiperbólico.

Senh = Función seno hiperbólico.

Para el cálculo de la Evapotranspiración potencial, se hizo uso de Penman-Monteith mediante hoja de cálculo (Anexo H), donde se anexan los datos de brillo solar, velocidad del viento, humedad relativa, temperatura y precipitación. El enfoque de Penman-Monteith incluye todos los parámetros que gobiernan el intercambio de energía y el flujo de calor (evapotranspiración) de grandes extensiones uniformes de vegetación. La mayoría de los parámetros son medidos o pueden calcularse fácilmente de datos meteorológicos.

Para el cálculo de la ETP se utilizaron los datos de precipitación y temperatura de las Tablas 7.15 y 7.17 respectivamente de la estación Arrayanales. Los parámetros de horas de brillo solar, humedad relativa y velocidad del viento, se toman de la estación del Aeropuerto Guillermo León Valencia (Anexo I) debido a que es la estación con mayor continuidad de datos.

Los valores de la ETP mensual mostrados en la Tabla 7.18, fueron tomados del Anexo H.

Tabla 7.18. Evapotranspiración potencial mensual multianual (1969 – 2016).

Mes	ETP (mm/mes)
Enero	82
Febrero	77
Marzo	83
Abril	75
Mayo	76
Junio	77
Julio	86
Agosto	93
Septiembre	86
Octubre	80
Noviembre	72
Diciembre	76
ETP Total	963 mm/año

Con base en las Tablas 7.17 (P media anual multianual) y 7.18 (ETP total media anual multianual), se determinó la ETR media anual multianual, utilizada en el cálculo del Índice de aridez anual:

$$\overline{ETR} = \left\{ 963 * 1572 * \operatorname{Tanh} \left(\frac{1572}{963} \right) * \left(1 - \operatorname{Cosh} \left(\frac{963}{1572} \right) + \operatorname{Tanh} \left(\frac{963}{1572} \right) \right) \right\}^{0,5}$$

$$ETR = 801.49 \text{ mm/año}$$

Se calcula el índice de aridez:

$$I_a = \frac{963 - 801.49}{963}$$

$$I_a = 0.168$$

El valor del índice se encuentra en el rango de 0.15 a 0.19 y su descripción específica que hay excedentes de agua en la subcuenca.

Siguiendo el mismo procedimiento se determinó el Índice de Aridez para cada mes típico. Como ejemplo se muestra el cálculo para Enero:

$$\overline{ETR} = \left\{ 82 * 165 * \operatorname{Tanh} \left(\frac{165}{82} \right) * \left(1 - \operatorname{Cosh} \left(\frac{82}{165} \right) + \operatorname{Tanh} \left(\frac{82}{165} \right) \right) \right\}^{0,5}$$

$$ETR = 71.50 \text{ mm/enero}$$

Los resultados de ETR para los demás meses se muestran en la Tabla 7.19.

Tabla 7.19. Evapotranspiración Real mensual.

Mes	ETR (mm/mes)
Enero	71.5
Febrero	66.18
Marzo	72.13
Abril	66.66
Mayo	62.24
Junio	48.03
Julio	36.33
Agosto	32.18
Septiembre	48.14
Octubre	71.85
Noviembre	66.65
Diciembre	68.58

Para el índice de aridez (Enero):

$$I_a = \frac{82 - 71.50}{82} = 0.128$$

En la Tabla 7.20 se encuentra la clasificación cualitativa del Índice de Aridez.

Tabla 7.20. Calificación del Índice de aridez (IA).

Índice de Aridez	Calificación Cualitativa	Descripción
< 0,15	Altos excedentes	Altos excedentes de agua
0,15 - 0,19	Excedentes	Excedentes de agua
0,20 - 0,29	Moderado y excedentes	Moderado y excedentes de agua
0,30 - 0,39	Moderado	Moderado
0,40 - 0,49	Bajo	Moderado y deficitario de agua
0,50 - 0,59	Deficitario	Deficitario de agua
> 0,60	Altamente deficitario	Altamente deficitario de agua

Fuente: IDEAM (2010).

El índice de Aridez para el mes de Enero es de 0.128, lo cual significa Altos excedentes de agua.

Los resultados del cálculo del Índice de Aridez para los meses restantes se muestran en la Tabla 7.21, junto con la calificación y la observación correspondiente.

Tabla 7.21. Índice de Aridez mensual.

Mes	Índice IA	Calificación Cualitativa	Observación
Enero	0.128	Altos excedentes	Altos excedentes de agua
Febrero	0.141	Altos excedentes	Altos excedentes de agua
Marzo	0.131	Altos excedentes	Altos excedentes de agua
Abril	0.111	Altos excedentes	Altos excedentes de agua
Mayo	0.181	Excedentes	Excedentes de agua
Junio	0.376	Moderado	Moderado
Julio	0.578	Deficitario	Deficitario de agua
Agosto	0.643	Altamente deficitario	Altamente deficitario de agua
Septiembre	0.44	Bajo	Moderado y Deficitario de agua
Octubre	0.102	Altos excedentes	Altos excedentes de agua
Noviembre	0.074	Altos excedentes	Altos excedentes de agua
Diciembre	0.098	Altos excedentes	Altos excedentes de agua

7.2 INDICES HIDRICOS DE CALIDAD

7.2.1 Índice de Alteración Potencial de la Calidad de Agua (IACAL)

Tiene en cuenta la DBO, la diferencia entre la DQO y la DBO, los Sólidos Suspendidos Totales-SST-, el Nitrógeno y Fósforo.

El cálculo de cada IACAL se realizó mediante la Ecuación general 7.19.

$$IACAL_{ijt} = \frac{C_{ijt}}{O_{año\text{med}}} \quad (7.19)$$

Donde:

$IACAL_{ijt}$ = Es la estimación de las cargas de la variable de calidad i en una subzona hidrográfica j durante el período de tiempo t ponderado por la oferta hídrica estimada para un año medio.

C_{ijt} = Es la carga de la variable de calidad i que se puede estar vertiendo a la subzona hidrográfica j durante el período de tiempo t .

$O_{año\text{med}}$ = Es la oferta hídrica estimada para un año medio.

El IACAL se calculó con los datos del Anexo J, donde se encuentran los parámetros de calidad de agua para tres sitios diferentes de toma de muestras (Puente Alto, Bocatoma Diviso y Puente Carretera). Los datos del Anexo J fueron suministrados por la Fundación Pro cuenca río Las Piedras. La oferta hídrica es una variable necesaria para este índice, por ello, se presentan los datos mensuales y el anual en la Tabla 7.22.

Tabla 7.22. Oferta Hídrica.

Mes	OHN (m ³ /s)
Enero	1,43
Febrero	1,39
Marzo	1,36
Abril	1,38
Mayo	1,24
Junio	1,00
Julio	0,90
Agosto	0,86
Septiembre	0,84
Octubre	1,01
Noviembre	1,46
Diciembre	1,69
Promedio	1,21

Los parámetros necesarios para el cálculo de este índice son DBO, DQO, SST, NT y PT, datos que se encuentran en el Anexo J y se determinan con las Ecuaciones (7.20 a 7.24). Como ejemplo, se presentan los cálculos tipo para el punto de muestra Puente Alto.

- **IACAL_{DBO}**

$$IACAL_{DBO} = \frac{C_{DBO}}{O_{año\text{med}}} \quad (7.20)$$

$$IACAL_{DBO} = \frac{0.74}{1.21} = 0.61$$

- $IACAL_{DQO-DBO}$

$$IACAL_{DQO-DBO} = \frac{C_{DQO-DBO}}{O_{año\text{med}}} \quad (7.21)$$

$$IACAL_{DQO-DBO} = \frac{3.29 - 0.74}{1.21} = 2.11$$

- $IACAL_{SST}$

$$IACAL_{SST} = \frac{C_{SST}}{O_{año\text{med}}} \quad (7.22)$$

$$IACAL_{SST} = \frac{95.06}{1.21} = 78.56$$

- $IACAL_{NT}$

$$IACAL_{NT} = \frac{C_{NT}}{O_{año\text{med}}} \quad (7.23)$$

$$IACAL_{NT} = \frac{0.49}{1.21} = 0.40$$

- $IACAL_{PT}$

$$IACAL_{PT} = \frac{C_{PT}}{O_{año\text{med}}} \quad (7.24)$$

$$IACAL_{PT} = \frac{0.02}{1.21} = 0.017$$

De igual forma se calcularon los IACAL para los otros dos puntos de muestreo, y los resultados se muestran en la Tabla 7.23.

Tabla 7.23. Índices IACAL multianuales por Punto de muestreo.

IACAL	Puntos de Muestreo		
	Puente Alto	Bocatoma Diviso	Puente Carretera
$IACAL_{DBO}$	0,61	0,60	0,85
$IACAL_{DQO-DBO}$	2,11	2,97	5,98
$IACAL_{SST}$	78,56	54,79	58,73
$IACAL_{NT}$	0,49	0,97	1,52
$IACAL_{PT}$	0,017	0,017	0,017

Las categorías y descriptores de presión se describen en la Tabla 7.24.

Tabla 7.24. Categorías del índice de alteración de calidad del agua.

Categoría	Descriptor	Carga en (Ton/año)/Hm ³				
		DBO	DQO – DBO	SST	NT	PT
1	Baja	< 0,14	< 0,14	< 0,40	< 0,03	< 0,005
2	Moderada	0,14 - 0,40	0,14 - 0,36	0,40 - 0,80	0,03 - 0,06	0,005 - 0,014
3	Media	0,40 - 1,21	0,36 - 1,17	0,80 - 1,90	0,06 - 0,14	0,014 - 0,036
4	Alta	1,21 - 4,86	1,17 - 6,78	1,90 - 7,70	0,14 - 0,56	0,036 - 0,0135
5	Muy alta	> 4,86	> 6,78	> 7,70	> 0,56	> 0,135

Fuente: IDEAM (2012).

En la Tabla 7.25 se presenta la categoría de los IACAL para los tres puntos de muestreo.

Tabla 7.25. Clasificación IACAL por Punto de muestreo.

IACAL	Puntos de Muestreo		
	Puente Alto	Bocatoma Diviso	Puente Carretera
IACAL _{DBO}	Media - 3	Media - 3	Media - 3
IACAL _{DQO-DBO}	Alta - 4	Alta - 4	Alta - 4
IACAL _{SST}	Muy Alta - 5	Muy Alta - 5	Muy Alta - 5
IACAL _{NT}	Alta - 4	Muy Alta - 5	Muy Alta - 5
IACAL _{PT}	Media - 3	Media - 3	Media - 3

Para calcular el IACAL total, se hizo uso de los resultados de la Tabla 7.25 y se promedió el valor de la categoría por punto de muestreo. Los valores obtenidos se muestran en la Tabla 7.26. La clasificación de color mostrada en la Tabla 7.26 se hace a partir de la Tabla 7.27.

Tabla 7.26. IACAL total.

IACAL	Puntos de Muestreo		
	Puente Alto	Bocatoma Diviso	Puente Carretera
IACAL total	3.8	4	4

Tabla 7.27. Clasificación IACAL total.

IACAL total	Grado de Contaminación	Escala de Color
$1,0 \leq IACAL \leq 1,5$	Baja	1
$1,5 < IACAL \leq 2,5$	Moderada	2
$2,5 < IACAL \leq 3,5$	Media	3
$3,5 < IACAL < 4,5$	Alta	4
$4,5 \leq IACAL \leq 5,0$	Muy Alta	5





Fuente: IDEAM (2010).

7.2.2 Índice de Contaminación (ICO)

Para el cálculo del ICO se requirieron los datos de conductividad, dureza, alcalinidad, DBO, oxígeno disuelto, fosforo, sólidos suspendidos totales y coliformes totales de la subcuenca, valores que se encuentran en el Anexo J, donde se registran los parámetros de calidad de agua para tres sitios diferentes de toma de muestras (Puente Alto, Bocatoma Diviso y Puente Carretera). Los datos del Anexo J fueron suministrados por la Fundación Pro cuenca río Las Piedras.

En la Tabla 7.28 se encuentran los rangos establecidos para el Índice ICO junto con su clasificación o grado de contaminación.

Tabla 7.28. Clasificación del índice de Contaminación (ICO).

ICO	Grado de Contaminación	Escala de Color
0 - 0,2	Muy baja	
> 0,2 - 0,4	Baja	
> 0,4 - 0,6	Media	
> 0,6 - 0,8	Alta	
> 0,8 - 1	Muy alta	

Fuente: IDEAM (2010).

7.2.2.1 Índice de Contaminación por mineralización (ICOMI): Agrupa la conductividad que expresa contenido de sólidos disueltos en el cuerpo de agua, dureza que se basa en la concentración de cationes de calcio y magnesio y alcalinidad que expresa el contenido de los aniones de carbono y bicarbonato.

El ICOMI se calcula mediante las Ecuaciones (7.25 a 7.28).

$$ICOMI = \frac{1}{3}(I_{CONDUCTIVIDAD} + I_{DUREZA} + I_{ALCALINIDAD}) \quad (7.25)$$

Donde:

$$I_{CONDUCTIVIDAD} = 10^{-3.26+1.34*\text{Log}(I_{CONDUCTIVIDAD})} \quad (7.26)$$

Conductividades mayores a 270 $\mu\text{S}/\text{cm}$, tienen un índice de conductividad = 1

$$I_{DUREZA} = 10^{-9.09+4.4*\text{Log}(I_{DUREZA})} \quad (7.27)$$

Durezas mayores a 100 mg/L, tienen un índice = 1

Durezas menores a 30 mg/L, tiene un índice = 0

$$I_{ALCALINIDAD} = -0.25 + 0.005ALCALINIDAD\left(\frac{mg}{L}\right) \quad (7.28)$$

Alcalinidades mayores a 250 mg/L, tienen un índice de 1

Alcalinidades menores a 50 mg/L, tienen un índice de 0

Se muestran los cálculos tipo realizados para el punto de muestreo Puente Alto:

- $I_{CONDUCTIVIDAD} = 10^{-3.26+1.34*\text{Log}(66.76)}$

$$I_{CONDUCTIVIDAD} = 0.15$$

- $I_{DUREZA} = 10^{-9.09+4.4*\text{Log}(30.40)}$

$$I_{DUREZA} = 0.003$$

- Como la alcalinidad es igual a 31.97mg/L y es menor a 50 mg/L, entonces:

$$I_{ALCALINIDAD} = 0$$

Según la Ecuación 7.25 el índice ICOMI para Puente Alto es:

$$ICOMI = \frac{1}{3}(0.15 + 0.003 + 0) = 0.051$$

El valor del ICOMI para los otros dos puntos de muestreo se calculó de igual forma a los cálculos tipo mostrados anteriormente. Los resultados y su respectiva clasificación se presentan en la Tabla 7.29.

Tabla 7.29. Valores ICOMI por punto de muestreo.

Punto de muestreo	I _{CONDUCTIVIDAD}	I _{DUREZA}	I _{ALCALINIDAD}	ICOMI	Grado de contaminación
Puente alto	0.15	0.003	0	0.051	Muy baja
Bocatoma Diviso	0.14	0	0	0.046	Muy baja
Puente Carretera	0.16	0	0	0.053	Muy baja

7.2.2.2 Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO): Se obtiene a través de la demanda bioquímica de Oxígeno (DBO5), coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno.

El ICOMO se calcula mediante las Ecuaciones (7.29 a 7.32).

$$ICOMO = \frac{1}{3}(I_{DBO} + I_{COLIFORMES} + I_{OXIGENO\%}) \quad (7.29)$$

Donde:

$$I_{DBO} = -0.005 + 0.70 \text{Log}_{10} DBO \left(\frac{mg}{L} \right) \quad (7.30)$$

$$DBO > 30 \text{ mg/L} = 1$$

$$DBO < 2 \text{ mg/L} = 0$$

$$I_{COLIFORMES} = -1.44 + 0.56 \text{Log}_{10} \text{coliformes} \left(\frac{NMP}{100mL} \right) \quad (7.31)$$

$$\text{Coliformes Totales} > 20.000 \left(\frac{NMP}{100mL} \right) = 1$$

$$\text{Coliformes Totales} < 500 \left(\frac{NMP}{100mL} \right) = 0$$

$$I_{OXIGENO\%} = 1 - 0.01 OXIGENO\% \quad (7.32)$$

I oxígenos (%) mayores a 100% tienen un índice de oxígeno = 0

Se realizaron los cálculos tipo para el punto de muestreo Puente Alto:

- Como la DBO_5 es igual a 0.74 mg/L y es menor a 2 mg/L, entonces:

$$I_{DBO} = 0$$

- $I_{COLIFORMES} = -1.44 + 0.56 * \text{Log} (1556.73)$

$$I_{COLIFORMES} = 0.348$$

- $I_{OXIGENO\%} = 1 - 0.01 (88.11\%)$

$$I_{OXIGENO\%} = 0.991$$

Según la Ecuación 7.29 el índice ICOMO para Puente Alto es:

$$ICOMO = \frac{1}{3}(0 + 0.348 + 0.991) = 0.446$$

El valor del ICOMO para los otros dos puntos de muestreo se calculó de igual forma a los cálculos tipo mostrados anteriormente. Los resultados y su respectiva clasificación se presentan en la Tabla 7.30.

Tabla 7.30. Valores ICOMO por punto de muestreo.

Punto de muestreo	I _{DBO5}	I _{COL.T.}	I _{OXIGENO%}	ICOMO	Grado de contaminación
Puente alto	0	0.348	0.991	0.446	Media
Bocatoma Diviso	0	0.336	0.991	0.442	Media
Puente Carretera	0	0.389	0.992	0.460	Media

7.2.2.3 Índice de Contaminación por Trofia (ICOTRO): Se calcula sobre la base de la concentración de fosforo en mg/L. que incluye ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. En la Tabla 7.31 se encuentran los rangos establecidos para el Índice ICOTRO junto con su clasificación.

Tabla 7.31. Clasificación cuerpo de agua según concentración de Fosforo.

ICOTRO	Clasificación
< 0.01	Oligotrofia
0.01 –0.02	Mesotrofia
0.02 –1.00	Eutrofia
> 1.00	Hipereutrofia

Fuente: Chavarro y Bernal (2016).

El valor de fosfatos para la subcuenca río Las Piedras es igual a 0.02 mg/L, por lo cual el índice ICOTRO brinda la clasificación mesotrofia.

7.2.2.4 Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos (ICOSUS): Este índice trabaja con la concentración de sólidos suspendidos que se definen como partículas sólidas orgánicas o inorgánicas que se mantienen en suspensión en una solución.

El ICOSUS se calcula mediante la Ecuación 7.33.

$$ICOSUS = -0.02 + 0.003 * \text{Solidos suspendidos} \quad (7.33)$$

Sólidos Suspendidos > 340 mg/l tiene un ICOSUS = 1

Sólidos Suspendidos < 10 mg/l tiene un ICOSUS = 0

Se realiza el cálculo tipo del ICOSUS para el punto de muestreo Puente Alto:

$$ICOSUS = -0.02 + (0.003 * 95.06) = 0.265$$

El ICOSUS para los otros dos puntos de muestreo se calculó de igual forma al cálculo de Puente Alto. Los resultados y su respectiva clasificación se presentan en la Tabla 7.32.

Tabla 7.32. Valores ICOSUS por punto de muestreo.

Punto de muestreo	SST(mg/L)	ICOTRO	Calificación
Puente alto	95.06	0.265	Baja
Bocatoma Diviso	66.30	0.179	Muy baja
Puente Carretera	71.06	0.193	Muy baja

7.2.3 Índice de Calidad del Agua

7.2.3.1 ICA multiplicativo (ICA-NSF)

La ecuación general para el cálculo del ICA-NSF se muestra en la Ecuación 7.34.

$$ICA_{njt} = \prod_{i=1}^n (I_{ijt})^{W_i} \quad (7.34)$$

Donde:

ICA_{njt} : Índice de calidad del agua de una corriente superficial en la estación de monitoreo de la calidad del agua j en tiempo t, evaluado con n variables.

W_i : Ponderador o peso relativo asignado a la variable de calidad i.

I_{ijt} : Valor calculado de la variable i, en la estación de monitoreo j, registrado durante período de tiempo t.

n: Número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador.

Para la determinación del ICA- NSF se requiere conocer valores de 9 parámetros de calidad de agua, tales como Oxígeno disuelto (mg/L), pH (unidades de pH), DBO (mg/L), turbiedad (FAU), cambio de temperatura (°C), fosfatos (mg/L), nitratos (mg/L) , sólidos disueltos totales (mg/L) y coliformes fecales (NMP/100 mL), los cuales se encuentran en el Anexo J, donde se registran los parámetros de calidad de agua para tres sitios diferentes de toma de muestras (Puente Alto, Bocatoma Diviso y Puente Carretera). Los datos del Anexo J fueron suministrados por la Fundación Pro cuenca río Las Piedras.

Cada parámetro de cálculo del ICA-NSF, cuenta con una ponderación o asignación de pesos de acuerdo a la importancia e incidencia que tenga dentro del índice. Los valores se presentan en la Tabla 7.33.

Tabla 7.33. Pesos relativos de los parámetros que conforman el ICA.

Parámetro	Factor de Ponderación
OD	0.17
pH	0.11
DBO	0.11
Nitratos	0.10
Fosfatos	0.10
Coliformes Fecales	0.16
Cambio de temperatura	0.10
Turbiedad	0.08
Sólidos Disueltos Totales	0.07

Fuente: Torres, Cruz, Patiño (2009).

Los datos necesarios para el cálculo del ICA se tomaron del Anexo J. Se muestran los cálculos tipo para el punto de muestreo Puente Alto.

- Altura del Punto de muestreo = 2463 msnm
- Oxígeno Disuelto (OD) = 7,26 mg/L
- Temperatura del agua = 20,6 °C

El valor de la Presión atmosférica a la altura trabajada, se obtuvo de la Tabla 7.34.

Tabla 7.34. Presión Barométrica aproximada a diferentes Elevaciones.

Elevación (pies)	Presión (mm Hg)	Elevación (pies)	Presión (mm Hg)	Elevación (pies)	Presión (mm Hg)
0	760	2000	708	4000	659
250	753	2250	702	4250	653
500	746	2500	695	4500	647
750	739	2750	689	4750	641
1000	733	3000	683	5000	635
1250	727	3250	677	5250	629
1500	720	3500	671	5500	624
1750	714	3750	665	5750	618

Fuente: Vernier Software & Technology.

Como la altura 2463 msnm no se encontró en la Tabla 7.34, se realizó una interpolación con los datos más cercanos a ella.

$$\frac{2500 - 2250}{695 - 702} = \frac{2500 - 2463}{695 - X} \rightarrow X = 696,036$$

Así, se obtuvo una $P_{atm} = 696,036$ mm Hg.

De la Tabla 7.35 se obtuvo el valor de 100% capacidad de oxígeno disuelto, cruzando los datos de $T_{agua} = 20,6$ °C (Se aproxima a 21 °C) con la $P_{atm} = 696,036$ mm Hg.

Tabla 7.35. 100 % Capacidad de Oxígeno Disuelto (mg/L).

	770 mm	760 mm	750 mm	740 mm	730 mm	720 mm	710 mm	700 mm	690 mm	680 mm	670 mm	660 mm
0°C	14.76	14.57	14.38	14.19	13.99	13.80	13.61	13.42	13.23	13.04	12.84	12.65
1°C	14.38	14.19	14.00	13.82	13.63	13.44	13.26	13.07	12.88	12.70	12.51	12.32
2°C	14.01	13.82	13.64	13.46	13.28	13.10	12.92	12.73	12.55	12.37	12.19	12.01
3°C	13.65	13.47	13.29	13.12	12.94	12.76	12.59	12.41	12.23	12.05	11.88	11.70
4°C	13.31	13.13	12.96	12.79	12.61	12.44	12.27	12.10	11.92	11.75	11.58	11.40
5°C	12.97	12.81	12.64	12.47	12.30	12.13	11.96	11.80	11.63	11.46	11.29	11.12
6°C	12.66	12.49	12.33	12.16	12.00	11.83	11.67	11.51	11.34	11.18	11.01	10.85
7°C	12.35	12.19	12.03	11.87	11.71	11.55	11.39	11.23	11.07	10.91	10.75	10.59
8°C	12.05	11.90	11.74	11.58	11.43	11.27	11.11	10.96	10.80	10.65	10.49	10.33
9°C	11.77	11.62	11.46	11.31	11.16	11.01	10.85	10.70	10.55	10.39	10.24	10.09
10°C	11.50	11.35	11.20	11.05	10.90	10.75	10.60	10.45	10.30	10.15	10.00	9.86
11°C	11.24	11.09	10.94	10.80	10.65	10.51	10.36	10.21	10.07	9.92	9.78	9.63
12°C	10.98	10.84	10.70	10.56	10.41	10.27	10.13	9.99	9.84	9.70	9.56	9.41
13°C	10.74	10.60	10.46	10.32	10.18	10.04	9.90	9.77	9.63	9.49	9.35	9.21
14°C	10.51	10.37	10.24	10.10	9.96	9.83	9.69	9.55	9.42	9.28	9.14	9.01
15°C	10.29	10.15	10.02	9.88	9.75	9.62	9.48	9.35	9.22	9.08	8.95	8.82
16°C	10.07	9.94	9.81	9.68	9.55	9.42	9.29	9.15	9.02	8.89	8.76	8.63
17°C	9.86	9.74	9.61	9.48	9.35	9.22	9.10	8.97	8.84	8.71	8.58	8.45
18°C	9.67	9.54	9.41	9.29	9.16	9.04	8.91	8.79	8.66	8.54	8.41	8.28
19°C	9.47	9.35	9.23	9.11	8.98	8.86	8.74	8.61	8.49	8.37	8.24	8.12
20°C	9.29	9.17	9.05	8.93	8.81	8.69	8.57	8.45	8.33	8.20	8.08	7.96
21°C	9.11	9.00	8.88	8.76	8.64	8.52	8.40	8.28	8.17	8.05	7.93	7.81
22°C	8.94	8.83	8.71	8.59	8.48	8.36	8.25	8.13	8.01	7.90	7.78	7.67
23°C	8.78	8.66	8.55	8.44	8.32	8.21	8.09	7.98	7.87	7.75	7.64	7.52
24°C	8.62	8.51	8.40	8.28	8.17	8.06	7.95	7.84	7.72	7.61	7.50	7.39
25°C	8.47	8.36	8.25	8.14	8.03	7.92	7.81	7.70	7.59	7.48	7.37	7.26
26°C	8.32	8.21	8.10	7.99	7.89	7.78	7.67	7.56	7.45	7.35	7.24	7.13
27°C	8.17	8.07	7.96	7.86	7.75	7.64	7.54	7.43	7.33	7.22	7.11	7.01
28°C	8.04	7.93	7.83	7.72	7.62	7.51	7.41	7.30	7.20	7.10	6.99	6.89
29°C	7.90	7.80	7.69	7.59	7.49	7.39	7.28	7.18	7.08	6.98	6.87	6.77
30°C	7.77	7.67	7.57	7.47	7.36	7.26	7.16	7.06	6.96	6.86	6.76	6.66
31°C	7.64	7.54	7.44	7.34	7.24	7.14	7.04	6.94	6.85	6.75	6.65	6.55

Fuente: Vernier Software & Technology.

Como la Patm igual a 696.036 mm Hg no se encuentra en la Tabla 7.35, se realizó una interpolación con los datos más cercanos a ella.

$$\frac{700 - 690}{8.28 - 8.17} = \frac{700 - 696.036}{8.28 - X} \quad \rightarrow \quad X = 8.24$$

Así, se obtuvo un 100% de oxígeno disuelto de 8.24 mg/L.

Se procedió a calcular el porcentaje de Saturación de Oxígeno Disuelto mediante la Ecuación 7.35.

$$\%SAT OD = \frac{OD}{100\% OD} \times 100 \quad (7.35)$$

$$\%SAT OD = \frac{7.26 \text{ mg/L}}{8.24 \text{ mg/L}} \times 100 = 88.11\%$$

Se obtuvo un Porcentaje de Saturación de Oxígeno Disuelto de 88.11%.

Teniendo en cuenta el valor encontrado de Porcentaje de Saturación de Oxígeno Disuelto (Que reemplaza el valor del parámetro OD) y los valores de los 8 parámetros restantes necesarios para el cálculo del ICA-NSF (Anexo J), se prosiguió a encontrar el valor Q (Valor de Calidad) a partir de las curvas de función para cada parámetro que se encuentran en el Anexo K. En la Tabla 7.36 se presentan los valores Q para cada uno de los parámetros de calidad analizados.

Tabla 7.36. Valor Q por parámetro de Calidad de Agua.

Parámetro	Valor Q
I _{DBO}	0,99
I _{OD}	0,93
I _{pH}	0,9
I _{Turbiedad}	0,98
I _{Fosfatos}	0,98
I _{Nitratos}	0,99
I _{ΔTemperatura}	0,8
I _{SDT}	0,85
I _{Col. Fecales}	0,43

Se realiza el cálculo del ICA-NSF de acuerdo a la Ecuación 7.34:

$$ICA = (0.99)^{0.11} \times (0.93)^{0.17} \times (0.90)^{0.11} \times (0.98)^{0.08} \times (0.98)^{0.10} \times (0.99)^{0.10} \\ \times (0.8)^{0.10} \times (0.85)^{0.07} \times (0.43)^{0.16} \\ ICA = 0.82 \times 100 = 82$$

La interpretación del ICA-NSF se presenta en la Tabla 7.37.

Tabla 7.37. Clasificación del Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF).

Calidad de agua	Color	Valor
Excelente		91 a 100
Buena		71 a 90
Mediana		51 a 70
Mala		26 a 50
Muy Mala		0 a 25

Fuente: Torres, Cruz, Patiño (2009).

El valor del ICA-NSF para los otros dos puntos de muestreo se calculó de igual forma al cálculo tipo mostrado anteriormente. Los valores trabajados se muestran en el Anexo L. Los resultados y su respectiva clasificación se presentan en la Tabla 7.38.

Tabla 7.38. Valores ICA por punto de muestreo.

Punto de Muestreo	Valor ICA	Calidad de Agua
Puente Alto	82.00	Buena
Bocatoma Diviso	81.87	Buena
Puente Carretera	80.05	Buena

7.2.3.2 Índice de Calidad de Agua del IDEAM

La ecuación general para el cálculo del ICA se muestra en la Ecuación 7.36.

$$ICA_{njt} = \sum_{i=1}^n W_i * I_{ijt} \quad (7.36)$$

Dónde:

ICA_{njt} : Índice de calidad del agua de una corriente superficial en la estación de monitoreo de la calidad del agua j en tiempo t, evaluado con n variables.

W_i : Ponderador o peso relativo asignado a la variable de calidad i.

I_{ijt} : Valor calculado de la variable i (obtenido de aplicar ecuación correspondiente), en la estación de monitoreo j, registrado durante período de tiempo t.

n: Número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador.

En la Tabla 7.39 se resumen las variables involucradas en el cálculo de este índice empleando 5 variables, la unidad de medida en la que se registra cada uno de ellas y la ponderación que tienen dentro de la fórmula de cálculo.

Tabla 7.39. Variables y Ponderaciones del ICA.

Variable	Unidad de medida	Ponderación
Oxígeno Disuelto, OD	% Saturación	0.2
Sólidos suspendidos totales, SST	mg/L	0.2
Demanda química de Oxígeno, DQO	mg/L	0.2
Conductividad eléctrica, C.E.	μ S/cm	0.2
pH	Unidades de pH	0.2

Fuente: IDEAM (2011).

Se muestran los cálculos tipo para el punto de muestreo Puente Alto, y los valores de las variables fueron tomados del Anexo J. Luego se calculó el valor I para cada variable mediante las Ecuaciones (7.37 a 7.39).

$$\bullet \quad I_{OD} = 1 - (1 - 0.01 * \%Sat\ OD) \quad (7.37)$$

El valor del porcentaje de saturación de oxígeno disuelto es igual al valor calculado en el ICA-NSF mediante la Ecuación 7.35. Así, se tiene:

$$\%Sat\ OD = 88.11\%$$

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0.01 * 88.11)$$

$$I_{OD} = 0.88$$

$$\bullet \quad I_{SST} = 1 - (-0.02 + 0.003 * SST) \quad (7.38)$$

Si $SST \leq 4.5$, entonces $I_{SST} = 1$

Si $SST \geq 320$, entonces $I_{SST} = 0$

$$I_{SST} = 1 - (-0.02 + 0.003 * 95.06)$$

$$I_{SST} = 0.73$$

- Mediante adaptación de la propuesta de la Universidad Politécnica de Catalunya el I_{DQO} se determinó con las relaciones:

Si $DQO \leq 20$, entonces $I_{DQO} = 0,91$

Si $20 < DQO \leq 25$, entonces $I_{DQO} = 0,71$

Si $25 < DQO \leq 40$, entonces $I_{DQO} = 0,51$

Si $40 < DQO \leq 80$, entonces $I_{DQO} = 0,26$

Si $DQO > 80$, entonces $I_{DQO} = 0,125$

Como el valor de DQO es igual a 3.29 mg/L (Anexo J), entonces:

$$I_{DQO} = 0.91$$

$$\bullet \quad I_{C.E.} = 1 - 10^{(-3.26 + 1.34 * \text{Log}(66.76))} \quad (7.39)$$

Cuando $I_{C.E.} < 0$, entonces $I_{C.E.} = 0$

$$I_{C.E.} = 0.85$$

- El I_{pH} se determinó mediante las relaciones:

Si $pH < 4$, entonces $I_{pH} = 0.1$

Si $4 \leq pH \leq 7$, entonces $I_{pH} = 0.02628419 * e^{(pH * 0,520025)}$

Si $7 < pH \leq 8$, entonces $I_{pH} = 1$

Si $8 < pH \leq 11$, entonces $I_{pH} = 1 * e^{[(pH - 8) - 0,5187742]}$

Si $pH > 11$, entonces $I_{pH} = 0,1$

Como el valor de pH es igual a 7.49 unidades de pH (Anexo J), entonces:

$$I_{pH} = 1$$

Se realizó el cálculo del ICA de acuerdo a la Ecuación 7.36:

$$ICA = (0.2 * 0.88) + (0.2 * 0.73) + (0.2 * 0.91) + (0.2 * 0.85) + (0.2 * 1)$$

$$ICA = 0.87$$

La interpretación del ICA se presenta en la Tabla 7.40.

Tabla 7.40. Clasificación del Índice de Calidad del Agua (IDEAM).

Valor	Calificación	Señal de alerta
0.00 – 0.25	Muy mala	
0.26 – 0.50	Mala	
0.51 – 0.70	Regular	
0.71 – 0.90	Aceptable	
0.91 – 1.00	Buena	

Fuente: IDEAM (2011).

El valor del ICA para los otros dos puntos de muestreo se calculó de igual forma al cálculo tipo mostrado anteriormente. Los valores trabajados se muestran en el Anexo M. Los resultados y su respectiva clasificación se presentan en la Tabla 7.41.

Tabla 7.41. Valores ICA por punto de muestreo.

Punto de Muestreo	Valor ICA	Calidad de Agua
Puente Alto	0.87	Aceptable
Bocatoma Diviso	0.89	Aceptable
Puente Carretera	0.88	Aceptable

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

8.1 ANÁLISIS ÍNDICES HÍDRICOS DE CANTIDAD

El índice de retención y regulación hídrica (IRH) obtuvo una calificación cualitativa Alta con un valor de 0.782, lo cual significa que existe una alta retención y regulación de humedad en la subcuenca, lo cual mantiene una alta disponibilidad hídrica.

Este índice correlaciona variables del suelo y cobertura vegetal. Al obtener un IRH alto, se puede considerar que la subcuenca presenta suelos no transformados, con coberturas vegetales densas y multiestratificadas con presencia de pastos, bosques, rastrojos y vegetación de páramo, características que generan una buena regulación y retención del recurso hídrico.

El índice de disponibilidad per cápita de agua obtuvo un valor de 389.20 m³/Hab*año, por lo que se considera que la subcuenca se encuentra en situación de escasez severa de agua donde se presentan problemas imposibles de superar y el desarrollo económico se restringe fuertemente. Sin embargo, esta clasificación es incoherente ya que no coincide con las características promedio en términos hídricos de esta subcuenca, debido a que es un territorio con alta capacidad de agua.

Debido a este resultado, se buscó referencias directamente con funcionarios del IDEAM sobre éste índice, quienes respondieron el porqué de esta situación, aclarando que éste índice de disponibilidad per cápita y sus rangos de clasificación han sido calculados a escala nacional, para territorios muy grandes en área con cierto grado de desertificación. El objetivo de éste es realizar una comparación en términos hídricos entre países, o entre regiones muy extensas.

Otro factor a considerar, es que de la subcuenca río Las Piedras se extrae agua para abastecer a cierta población de la ciudad de Popayán, por lo cual, se genera una mayor demanda de agua. El índice es incoherente puesto que se tiene que la dotación neta es de 150 L/hab*día (RAS 2000) y según el resultado, la subcuenca es capaz de suministrar 1066.3 L/hab*día (389.20 m³/hab*año), por lo tanto habría un exceso de agua, y no escasez severa de agua.

Si únicamente se considerara la población aledaña a la subcuenca, el índice de disponibilidad per cápita se encontraría en un rango superior, significando que habría agua suficiente para cubrir con la demanda.

Es importante tener en cuenta que así haya aparentemente suficiente agua en la subcuenca, por el rápido incremento poblacional y la permanencia del caudal, en un futuro cercano si podría presentarse una escasez de agua por la baja disponibilidad de agua. Para dar una idea de lo anterior, se realizó una proyección a 13.5 y 14 años, con un crecimiento poblacional del 2%, para determinar la cantidad remanente de agua en la subcuenca si aumenta la demanda por parte de la población, pero el caudal permanece constante.

En la Figura 8.1 se presentan las proyecciones realizadas.

Figura 8.1. Proyecciones IDP.

Crecimiento:	2	%	Crecimiento:	2	%
Consumo en:	13.5	años	Consumo en:	14	años

Población	No. habitantes	Población	No. habitantes
(Censo) Pactual	248655	(Censo) Pactual	248655
Pfutura	324862	Pfutura	328095

Demanda actual	0.978	m ³ /s	Demanda actual	0.978	m ³ /s
	339.83	L/hab*día		339.83	L/hab*día
Demanda futura	444.0	L/hab*día	Demanda futura	448.4	L/hab*día

Qmedio anual	2.455	m ³ /s	Qmedio anual	2.455	m ³ /s
	77420880	m ³ /año		77420880	m ³ /año
IDP futuro	238.32	m ³ /hab*año	IDP futuro	235.97	m ³ /hab*año
	652.93	L/hab*día		646.50	L/hab*día

Qecológico	0.202	m ³ /s	Qecológico	0.202	m ³ /s
	53.72	L/hab*día		53.19	L/hab*día

Dotación neta	150	L/hab*día	Dotación neta	150	L/hab*día
---------------	-----	-----------	---------------	-----	-----------

Cantidad remante de agua	5.23		Cantidad remante de agua	-5.09	
--------------------------	------	--	--------------------------	-------	--

De la Figura 8.1, se observa que en 14 años, con un crecimiento poblacional y de demanda hídrica del 2%, la subcuenca va a presentar un déficit de 5.09 L/hab*día, por lo cual en el año 2031 podría presentarse escasez de agua en ésta subcuenca, afectando las actividades humanas y el equilibrio ecológico.

A nivel local, no se ha probado éste índice, por lo cual no existen rangos para clasificar cuencas más pequeñas. Se considera, por lo anterior, que los rangos de clasificación del índice, deberían ser estudiados, calculados y determinados para cuencas de menor área.

El índice de uso de agua o índice de escasez se analiza de dos formas: la primera teniendo en cuenta el factor de reducción para mantener el régimen de estiaje (R_e) y el factor de reducción por irregularidad temporal de la oferta hídrica (R_f), es decir con reducciones; y la otra forma, se calcula sin tenerlos en cuenta, es decir sin reducciones.

- **Con Reducciones:**

Se tiene un R_e igual a 0.35 que significa que para conservar el caudal de estiaje, la oferta se debe reducir en un 35%, y un R_f igual a 0.38 que significa que por irregularidad temporal, la oferta se debe reducir en un 38%, que en total suman 0.73, es decir, hay una reducción del

73% a la Oferta hídrica total (OHT_c) obteniendo así, una Oferta hídrica neta (OHN) de 1.43 para el mes de Enero, que corresponde al 27% de la OHT_c . Este 27% de agua, es la disponibilidad hídrica para cubrir la demanda de la población que destinan a usos domésticos, industriales y agrícolas.

Teniendo en cuenta que la demanda es de $0.978 \text{ m}^3/\text{s}$ y la oferta hídrica neta es de $1.43 \text{ m}^3/\text{s}$, se observa que la oferta es superior a la demanda pero no en gran medida, puesto que son valores muy cercanos, razón por la cual se podrían igualar o invertir, es decir que la demanda supere la oferta y por lo tanto, el índice de escasez se clasifica en categoría Alta.

Según el Plan de Ordenación y Manejo de la Subcuenca río Las Piedras, parte del 73% de agua reservada (para este caso), Las Corporaciones Autónomas Regionales consideran que este valor debe garantizarse para el normal desarrollo de las comunidades acuáticas naturales de los ríos y sus valores ecológicos, por ello es necesario y conveniente que la población entienda por qué no se debe exceder el consumo de agua a tal punto de que la demanda supere la oferta hídrica neta, puesto que captarían agua necesaria para la conservación del ecosistema. Es importante determinar el requerimiento mínimo de agua necesaria para mantener la diversidad acuática de una corriente natural de agua superficial (caudal ecológico), pues cualquier disminución del caudal en un cauce implica cambios en el ecosistema y por tanto una alteración del equilibrio natural.

En los meses de Febrero, Marzo, Abril, Mayo, Junio, Octubre, Noviembre y Diciembre, la situación es muy similar al mes de Enero, por lo tanto para estos meses el índice de Escasez también se clasifica en categoría Alta.

Para los meses de Julio, Agosto y Septiembre su obtuvo una categoría Alta pero por encima de los rangos establecidos por el IDEAM, lo que significa que en estos meses la demanda está superando la oferta hídrica neta, es decir, que se está utilizando más cantidad de agua para cubrir los distintos usos que la que hay disponible para cubrirlos. Sin embargo, se continúa extrayendo agua de la subcuenca debido a que físicamente si hay agua en ella, la cual es la reservada para el R_f y R_e , con el fin de conservar el caudal ecológico y mantener las irregularidades temporales respectivamente. Por lo tanto, para cubrir la demanda en estos meses se está haciendo uso del agua en reserva, generando posibles afectaciones en los ecosistemas.

- **Sin Reducciones:**

Sin tener en cuenta las reducciones, es decir, el agua reservada para el caudal ecológico y pérdida por irregularidades temporales como pérdida de nivel freático, se tiene que todo el recurso hídrico de la subcuenca está disponible para cubrir la demanda e inclusive para cubrir nuevos usos.

Para los meses de Enero, Febrero, Marzo, Abril, Noviembre y Diciembre, la situación que se presenta para el índice de Escasez se clasifica en categoría Moderada que indica que la disponibilidad del agua se está convirtiendo en un factor limitador del desarrollo.

En los meses restantes se presenta una categoría Media lo cual implica el ordenamiento tanto de la oferta como de la demanda. Es necesario asignar prioridades a los distintos usos, y prestar particular atención a los ecosistemas acuáticos para garantizar que reciban el aporte hídrico requerido para garantizar su existencia, además de necesitar inversiones para mejorar la eficiencia en la utilización de los recursos hídricos.

Teniendo en cuenta lo anterior se plantean las siguientes alternativas:

En la primera alternativa se tiene en cuenta la expresión $(1 - R_f)$ multiplicada por la oferta hídrica total corregida. Para el cálculo del índice de escasez con esta alternativa, se hace uso de las Ecuaciones 8.1 y 8.2.

$$I_{ua} = \frac{Dh}{Ohni} * 100\% \quad (8.1)$$

$$Ohni = OHTc * (1 - R_f) \quad (8.2)$$

Realizando los cálculos para el mes de Enero:

$$Ohni = 5.21 * (1 - 0.35) = 3.39$$

$$I_{ua} = \frac{0.98}{3.39} * 100\% = 28.9 \%$$

De igual forma se calculó el I_{ua} para los demás meses. Los valores se muestran en la Tabla 8.1.

Tabla 8. 1. IUA sin reducciones por estiaje.

MES	D (m ³ /s)	OHT (m ³ /s)	OHTc (m ³ /s)	Rf (Decimal)	OHN _i (m ³ /s)	Uso sin reducciones	Clasificación I.E.
						I.E. (%)	
ENERO	0.978	4.235	5.21	0.35	3.39	28.9	Medio
FEBRERO	0.978	4.071	5.05	0.35	3.28	29.8	Medio
MARZO	0.978	3.973	4.95	0.35	3.22	30.4	Medio
ABRIL	0.978	4.025	5.00	0.35	3.25	30.1	Medio
MAYO	0.978	3.532	4.51	0.35	2.93	33.4	Medio
JUNIO	0.978	2.674	3.65	0.35	2.37	41.2	Medio
JULIO	0.978	2.301	3.28	0.35	2.13	45.9	Medio
AGOSTO	0.978	2.141	3.12	0.35	2.03	48.2	Alto
SEPTIEMBRE	0.978	2.060	3.04	0.35	1.97	49.5	Alto
OCTUBRE	0.978	2.697	3.68	0.35	2.39	40.9	Medio
NOVIEMBRE	0.978	4.333	5.31	0.35	3.45	28.3	Medio
DICIEMBRE	0.978	5.150	6.13	0.35	3.98	24.6	Medio
MEDIA						35.9	Alto

Para este caso se obtienen valores en los que la oferta hídrica neta alcanza a cubrir la demanda y a conservar la reserva para fuentes frágiles. Para la mayoría de los meses da un valor medio donde como se dijo anteriormente, implica el ordenamiento tanto de la oferta como de la demanda, mediante la asignación de prioridades a los distintos usos.

Otra alternativa es cambiar la expresión $(1 - R_e - R_F)$, por el valor del caudal ecológico calculado anteriormente con un valor de $0.202 \text{ m}^3/\text{s}$ y restarlo a la oferta hídrica corregida. El cálculo del índice de aridez se realiza mediante las Ecuaciones 8.3 y 8.4.

$$I_{ua} = \frac{Dh}{Ohnii} * 100\% \quad (8.3)$$

$$Ohnii = OHTc - Qe \quad (8.4)$$

Realizando los cálculos para el mes de Enero:

$$Ohnii = 5.21 - 0.02 = 5.19$$

$$I_{ua} = \frac{0.98}{5.19} * 100\% = 18.9 \%$$

De igual forma se calculó el I_{ua} para los demás meses y los valores se consigan en la Tabla 8.2.

Tabla 8.2. IUA con el caudal ecológico.

MES	D (m ³ /s)	OHT (m ³ /s)	OHTc (m ³ /s)	Q _e (m ³ /s)	OHN _{ii} (m ³ /s)	Uso con reducciones D/OHN _{ii}	Clasificación I.E.
						I.E. (%)	
ENERO	0.978	4.235	5.21	0.02	5.19	18.8	Moderada
FEBRERO	0.978	4.071	5.05	0.02	5.03	19.4	Moderada
MARZO	0.978	3.973	4.95	0.02	4.93	19.8	Moderada
ABRIL	0.978	4.025	5.00	0.02	4.98	19.6	Moderada
MAYO	0.978	3.532	4.51	0.02	4.49	21.8	Media
JUNIO	0.978	2.674	3.65	0.02	3.63	26.9	Media
JULIO	0.978	2.301	3.28	0.02	3.26	30.0	Media
AGOSTO	0.978	2.141	3.12	0.02	3.10	31.6	Media
SEPTIEMBRE	0.978	2.060	3.04	0.02	3.02	32.4	Media
OCTUBRE	0.978	2.697	3.68	0.02	3.66	26.8	Media
NOVIEMBRE	0.978	4.333	5.31	0.02	5.29	18.5	Moderada
DICIEMBRE	0.978	5.150	6.13	0.02	6.11	16.0	Moderada
MEDIA ANUAL						23.5	Media

Para la Tabla 8.2 se obtienen calificaciones menores debido a que sólo se tiene en cuenta para reserva el valor del caudal ecológico (valor muy pequeño) y al restársele a la oferta hídrica total corregida de la subcuenca, no le realiza grandes cambios. Para este caso la oferta hídrica neta alcanza a cubrir la demanda para todos los meses y también para conservar el caudal ecológico. Aquí no se observa que se utilice para otros usos las reservas de agua.

Para el índice de vulnerabilidad por desabastecimiento (IVH) se obtuvo una calificación Media para todos los meses, lo cual indica que existe un grado de fragilidad Medio de la subcuenca río Las Piedras para mantener la oferta neta disponible para el abastecimiento de agua de la población, que ante amenazas como periodos largos de estiaje o en presencia del Fenómeno del Niño, podrían generar riesgos de desabastecimiento, esto debido a que existen meses en los que la demanda supera la oferta, y por el crecimiento poblacional y la constante oferta del recurso hídrico, a medida que transcurre el tiempo, la vulnerabilidad va a ir aumentando.

El Índice de estrés hídrico relativo está en función de la relación del uso total de agua (suma de la demanda doméstica, industrial y agrícola) con el suministro de agua renovable (Q), que es la escorrentía local disponible (precipitación menos evaporación) entregada a través de arroyos, ríos y aguas subterráneas poco profundas.

El estrés hídrico aparece cuando la demanda de agua no puede suplirse en un territorio determinado, bien sea por la cantidad del recurso o por su baja calidad. El impacto de esta situación es percibido en el deterioro de la calidad de vida en la región donde se presente, así como en las actividades industriales y agrícolas.

El Índice de estrés hídrico relativo obtuvo una clasificación Media para los meses de Enero, Febrero, Marzo, Abril, Mayo, Noviembre y Diciembre, lo cual significa que la oferta hídrica llega al límite máximo para atender la demanda. Estos resultados son compatibles con los valores del Índice de uso de agua o índice de escasez para los mismos meses (Tabla 7.8), en los cuales se observa que la demanda que ejerce la población es menor a la oferta hídrica neta, aunque con muy poca diferencia.

Para los meses de Junio, Julio, Agosto, Septiembre y Octubre se obtuvo una clasificación Alta en éste índice, que significa que existe fuerte presión sobre el recurso hídrico, es decir, que es insuficiente la oferta hídrica para atender la alta demanda de agua por los sectores productivos. En congruencia con los resultados obtenidos en el índice de escasez para estos mismos meses (Tabla 7.8), se observa que la demanda de la población supera en gran medida la disponibilidad de agua, por lo cual se genera una fuerte presión o estrés sobre el recurso hídrico. Aunque en el índice de escasez los meses de Junio y Octubre la demanda no es superior a la oferta hídrica neta, si es muy cercana y puede ser fácilmente igualada o superada, por ello también se clasifica en categoría Alta.

Además, existe una relación entre el índice de estrés hídrico relativo y los valores de precipitación mensuales mostrados en la Tabla 7.15, puesto que es normal que en los meses

de Enero a Mayo, Noviembre y Diciembre se genere un menor estrés del recurso debido a que son meses en los que se registran mayores valores de precipitación. De manera análoga, en los meses de Julio a Octubre, al presentarse valores bajos de precipitación, el estrés sobre el recurso hídrico va a ser mayor.

El índice de aridez es otro indicador del régimen natural y ha sido definido como una característica del clima que muestra, de manera cualitativa, los lugares con excedentes y déficit de agua. Depende básicamente de la evapotranspiración potencial que representa, para este caso, un factor determinante en la obtención de este índice y también depende de la evapotranspiración real (ETR). Este índice permite medir el grado de suficiencia e insuficiencia de la precipitación para el sostenimiento de los ecosistemas de una región.

Teniendo en cuenta lo anteriormente descrito, para los meses de Enero, Febrero, Marzo, Abril, Octubre, Noviembre y Diciembre se presentó una categoría de calificación con altos excedentes de agua y para el mes de Mayo se presentaron excedentes de agua, debido a que en estos meses se presentan mayores valores de precipitación (Tabla 7.15), lo cual favorece el nivel hídrico de la subcuenca, aumentando el caudal y generando mayor cantidad del recurso hídrico, favoreciendo así que la oferta pueda suplir a la demanda y contribuyendo a mantener el adecuado equilibrio de los ecosistemas.

Para los meses restantes (Mayo, Junio, Julio, Agosto y Septiembre) en consecuencia a las bajas precipitaciones y al estrés hídrico relativo, se presenta una categoría de clasificación con niveles bajos o deficitarios de agua provocados generalmente por fenómeno del Niño debido al aumento de la temperatura, generando caudales bajos (Tabla 7.3), por el efecto de la evapotranspiración, por lo tanto para estos meses del año la subcuenca tiende a presentar una mayor aridez.

8.2 ANÁLISIS ÍNDICES HÍDRICOS DE CALIDAD

La estimación del índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL) refleja la alteración potencial de la calidad del agua por presión de la actividad socioeconómica, es por ello que el sistema hídrico es más vulnerable a la afectación de la calidad en la medida de la disponibilidad natural y regulada de una cantidad suficiente para abastecer los usos de la población asentada en sus alrededores, la cual varía dinámica con la variabilidad climática.

Para los tres puntos de muestreo de parámetros de calidad de agua, el índice IACAL se encuentra en una categoría de clasificación Alta debido a la cantidad de sólidos suspendidos totales (SST) con referencia al año 1999, y teniendo en cuenta que para este mismo año se presentó durante todo el año fenómeno del Niño (Anexo A), se entiende el por qué los valores son elevados, y es porque se produce un mayor grado de erosión o arrastre de material, los cuales hacen que este factor aumente y por lo tanto la calidad del agua se reduzca por la cantidad de sólidos suspendidos que transportan los caudales.

Es de tener en cuenta que a medida en que se incrementan las cargas vertidas por los diferentes sectores y se reduce la capacidad natural de autodepuración del sistema hídrico superficial que las reciben, se afecta este índice, lo que hace que el recurso pierda su capacidad para usos específicos y afecte la calidad de los beneficios ambientales que presta.

En cuanto al resto de parámetros químicos que se necesitan para el cálculo del IACAI se obtienen calificaciones moderadas que no afectan la calidad ni alteran el recurso hídrico y por lo tanto el agua de esta subcuenca puede ser utilizada para realizar diversas actividades.

Para la evaluación de calidad del agua se tiene en cuenta el ICA NSF, propuesto para los Estados Unidos, y el ICA propuesto por el IDEAM para Colombia.

El índice de calidad (ICA NSF) es el más empleado en la evaluación de la calidad de aguas superficiales destinadas al uso doméstico, y puede ser utilizado para medir los cambios en la calidad del agua en tramos particulares de los ríos a través del tiempo, comparando la calidad del agua de diferentes tramos del mismo río, además de compararlo con la calidad de agua de diferentes ríos alrededor del mundo. Para su determinación se emplean 8 variables fisicoquímicas y una variable bacteriológica (Coliformes fecales).

Mediante el ICA NSF, la subcuenca de estudio obtiene una calificación Buena en los tres puntos de muestreo, es decir que internacionalmente esta subcuenca se encuentra dentro de los valores permitidos.

Utilizando el ICA propuesto por el IDEAM, el cual hace uso únicamente de 5 variables fisicoquímicas, los tres puntos de muestreo adquieren una calificación de calidad Aceptable, es así como el ICA en ambos índices se encuentra dentro del mismo rango, significando que la subcuenca río Las piedras cuenta con óptimas condiciones de calidad de agua.

Con las calificaciones anteriores obtenidas mediante los dos ICAs de buena calidad se infiere que existe una autodepuración de agentes contaminantes que influye en las condiciones sanitarias, físicas y químicas del recurso hídrico. También es importante resaltar que los tres puntos se encuentran en pendientes altas del río, permitiendo una mayor aireación que se observa claramente en el contenido de oxígeno disuelto (> 7 mg/L), razón por la cual tiene una alta capacidad para depurar la materia orgánica presente en el agua. Es importante tener en cuenta que esta subcuenca está abasteciendo de agua a una parte de la población de Popayán y a su población aledaña, razón por la cual debe contar con parámetros de calidad permisibles para ser tratada y posteriormente ser consumida.

Para el índice de contaminación (ICO) se obtuvo lo siguiente:

Teniendo en cuenta el índice ICOMI, el cual relaciona tres parámetros fundamentales como son la conductividad, la dureza y la alcalinidad, al obtener un valor de índice Bajo en los tres puntos de muestreo, se podría pensar respecto a otros parámetros como en los bajos contenidos de sales de magnesio y calcio que son responsables de un incremento de la dureza

en un determinado cuerpo de agua. También es importante anotar que el fenómeno de mineralización está ampliamente ligado a la capacidad del cuerpo de agua en disolver tanto cationes como aniones y esto se puede ver reflejado en la cantidad de sólidos disueltos que se pueden presentar y que incrementa o disminuye con la variación misma del resultado final del índice de contaminación.

Para el índice (ICOMO) que al igual que en la mineralización, se expresa en diferentes variables fisicoquímicas de las cuales se seleccionaron demanda bioquímica de oxígeno, coliformes totales y porcentaje de saturación del oxígeno, las cuales, en conjunto, recogen efectos distintos de la contaminación orgánica. En el resultado obtenido para el ICOMO para los tres puntos de muestreo se hace evidente un grado de contaminación medio debido a la cantidad de coliformes totales reportados. Esta clasificación permite una capacidad de dilución y autodepuración del río las Piedras.

En el índice ICOTRO depende básicamente de los compuestos de fósforo y nitrógeno. En la subcuenca estudiada se presentan valores de fósforo bajos (0.02 mg/L) para el año 2005, esto es debido a que en este año se presenta fenómeno del Niño produciendo la ausencia de la escorrentía y para que el fósforo llegue a un cuerpo de agua necesita ser transportado por el arrastre de sedimentos que es lo que no está sucediendo en este año, por lo tanto, este índice se clasifica en mesotrofia, la cual se refiere a un cuerpo de agua con un nivel intermedio de productividad, comúnmente con aguas claras que mantienen lechos de plantas acuáticas sumergidas, y niveles medios de nutrientes y propician incrementos de la biomasa Fito planctónica.

Para el último índice de contaminación ICOSUS, se trabaja únicamente con el parámetro de sólidos suspendidos totales. El resultado obtenido para dos de los puntos de muestreo Bocatoma Diviso y Puente Carretera se les asigna una calificación Muy baja y para el punto de muestreo Puente Alto se obtiene una clasificación Baja. Estas calificaciones permiten decir que el recurso hídrico de la subcuenca no presenta riesgo en cuanto a sólidos suspendidos se refiere, por lo que no genera problemas que afecten la salud de quienes hacen uso de esta agua.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conforme a los objetivos y resultados obtenidos en este trabajo, se concluye y recomienda para la Subcuenca del río las Piedras que:

- El índice de retención y regulación hídrica y el índice de uso de agua conocido antes como índice de escasez, obtuvieron una calificación Alta, mientras que el Índice de vulnerabilidad por desabastecimiento obtuvo un grado de calificación Medio.
- El índice de stress hídrico relativo para los meses de noviembre a mayo arrojó una calificación media, es decir que la oferta hídrica llega al límite máximo para atender la demanda y para los meses junio a octubre una calificación alta con lo cual se infiere que existe fuerte presión sobre el recurso hídrico.
- Para el Índice de Disponibilidad Per- cápita de agua se obtuvo un valor menor a 500, por lo que se considera en situación de escasez severa de agua donde se presentan problemas imposibles de superar.
- El índice de aridez denota que de octubre a mayo se presentan periodos con excedentes de agua y de junio a septiembre se presentan bajos o deficitarios niveles de agua en la subcuenca.
- El índice de alteración potencial de la calidad del agua (IACAL) se clasificó en categoría Alta, mientras que el índice de contaminación ICO se clasificó en Media para el ICOMO, Muy baja para el ICOMI, baja y Muy baja para el ICOSUS y en Mesotrofia para el ICOTRO. El índice de calidad (ICA) obtuvo una calificación Buena y Aceptable del agua desde su aplicación nacional e internacional respectivamente.
- Según los índices hídricos de cantidad, la subcuenca del río Las Piedras en los meses de junio a septiembre presenta los períodos más críticos, debido a las bajas precipitaciones y porque la demanda supera la oferta, colocando en peligro a los ecosistemas que dependen de ella.
- Teniendo en cuenta los índices hídricos de calidad, la subcuenca del río Las Piedras presenta una Aceptable calidad del agua con altos niveles de oxígeno disuelto y bajos niveles de contaminación por sólidos y fósforo.
- Es importante disponer de información histórica y sistemática sobre la calidad del agua, con el propósito de definir acciones para mejorar la calidad de las aguas y para evaluar el impacto de las intervenciones del hombre en pro o en contra de los ríos.

- La información sobre cantidad y calidad de los recursos naturales es esencial para el desarrollo agrícola sostenible, por lo tanto, es particularmente importante la información sobre los recursos que poseen los ríos, su disponibilidad y uso en caso de aparición de la escasez de agua y de la necesidad de mejorar la eficiencia de su uso.
- A partir de los índices hídricos propuestos por el IDEAM, se puede realizar una buena planificación del recurso hídrico considerando que es un tema de gran importancia, debido a que cada vez este recurso se hace más escaso.
- A raíz de este estudio, se hace necesario ampliar la línea investigativa en este campo, para que en un futuro cercano la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P al igual que las otras entidades ambientales puedan tomar decisiones de Planificación a partir de la confiabilidad de los futuros estudios.
- Se recomienda al IDEAM realizar estudios pertinentes del índice de Disponibilidad Per-cápita de agua para subcuencas de menor tamaño, planteando nuevos rangos con el fin de que tenga mayor aplicabilidad y veracidad en los resultados.
- Se recomienda que en épocas de precipitación alta, la población aledaña realice almacenamiento de agua lluvia para que sea usada en labores de riego para sus cultivos o en la agricultura durante los meses de escasez.

10. BIBLIOGRAFIA

Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P. [En línea]. Disponible en: <http://www.acueductopopayan.com.co/gestion-ambiental/fundacion-procuencia-rio-las-piedras/fuentes-de-abastecimiento/cuenca-piedras/>. [Consultado el 27 Agosto de Abril del 2017].

AVILES B., Y TOVAR L. 2017. Estudio para la determinación de caudales ambientales en la cuenca hidrográfica del río Las Piedras. Universidad del Cauca. pág (23, 37). Popayán Colombia.

CAÑAS S., Determinación y evaluación de índices de contaminación (ICOs) en cuerpos de agua. Bogotá, Colombia. URL: <http://repository.unimilitar.edu.co/jspui/bitstream/10654/10901/1/articulo%20final.pdf>. [Consultado el 20 de Junio del 2017]

CHAVARRO A., Y BERNAL E. 2016. Caracterización de la calidad de las aguas de la quebrada Fucha utilizando los índices de contaminación ICO con respecto a la precipitación y usos del suelo. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Colombia. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/article/download/1148/1191> [Consultado el 25 de Septiembre del 2017].

DÍAZ M., REALPE I., CASA A. 2013. Flujo de Carbono Orgánico Total (COT) en una cuenca andina: caso subcuenca Río Las Piedras. Revista Ingenierías Universidad de Medellín. Colombia. [En línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v13n24/v13n24a03.pdf>. [Consultado el 03 de Septiembre del 2017].

GIROLIMETTO D. 2013. Evaluación Del Estrés Hídrico y de los Factores que lo afectan usando Información Teledetectada. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL. [En línea]. Disponible en: <http://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8080/tesis/bitstream/handle/11185/567/tesis.pdf?sequence=3>. [Consultado el 03 de Septiembre del 2017].

IDEAM. Evaluación Hidrológica. URL: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/evaluacion-recurso-hidrico>. [Consultado el 27 de Agosto del 2017].

Manual de Estadísticas Ambientales Andinas. 2008. Secretaría General de la Comunidad Andina. Lima. [En línea]. Disponible en: https://www.cepal.org/deype/noticias/noticias/7/44607/Indicadores_CAN_completo.pdf. [Consultado el 03 de Septiembre del 2017].

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2010. Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Bogotá, D.C. Colombia. [En línea]. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Presentaci%C3%B3n_Pol%C3%ADtica_Nacional_-_Gesti%C3%B3n/libro_pol_nal_rec_hidrico.pdf. [Consultado el 20 de Septiembre del 2017].

Municipio de Popayán. Plan de Ordenamiento Territorial. Documento Técnico. [En línea]. Disponible en: <http://crc.gov.co/files/ConocimientoAmbiental/POT/popayan/1%20FINAL%20AMBIENTAL.pdf> [Consultado el 25 de Septiembre del 2017].

OCAMPO O. 2012. Análisis de Vulnerabilidad de la cuenca del río Chinchiná para condiciones estacionarias y de cambio climático. Universidad Nacional de Colombia. Manizales. [En línea].

Disponible en: http://www.bdigital.unal.edu.co/6100/6/8109507.2012_Parte2.pdf [Consultado el 10 de Octubre del 2017].

Plan de Ordenación y Manejo de la Subcuenca Hidrográfica del río Las Piedras. 2006. Corporación Autónoma Regional del Cauca. [En línea]. Disponible en: <http://crc.gov.co/files/ConocimientoAmbiental/POMCH/Rio%20Piedras/Documento%20final.pdf> [Consultado el 10 de Octubre del 2017].

RAMÍREZ A., RESTREPO R., VIÑA G. 1997. Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulación y aplicación. C.T.F CIENC. TECNOL. FUTURO. [En línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-53831997000100009. [Consultado el 12 de Octubre del 2017].

RECAMÁN L., 2012. Planificación ambiental como estrategia para la conservación de una fuente de abastecimiento. En: Revista del Doctorado Interinstitucional en Ciencias Ambientales. [En línea]. Disponible en: <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/8260/1/planificacion%20ambiental.pdf>. [Consultado el 15 de Agosto del 2017].

ROMERO H., Y ORTIZ L. 2008. Ajuste metodológico al índice de escasez de agua propuesto por el IDEAM en el plan de ordenación y manejo de la cuenca del río pamplonita, norte de Santander, Colombia. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. [En línea]. Disponible en: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/colfor/article/view/3026/4660>. [Consultado el 03 de Septiembre del 2017].

SÁNCHEZ F., GARCÍA M., JARAMILLO O., VERDUGO N. 2010. Estudio nacional del agua, Capítulo 3. Caracterización y análisis de la oferta. Bogotá Distrito Capital, [En línea]. Disponible en: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf [Consultado el 22 de Septiembre del 2017].

Servicio Nacional de Estudios Territoriales; Ministerio Medio Ambiente y Recursos Naturales. [En línea]. Disponible en: <http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculoICA.pdf>.

URREGO E., 2016. Evaluación de la Vulnerabilidad y Amenaza de los Sistemas Hídricos Naturales en el marco de la Evaluación Regional del agua para la Cuenca del río Sumapaz, Jurisdicción CAR. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá. Colombia. [En línea]. Disponible en: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/4599/1/HuertasUrregoErickJefrey2016.pdf> [Consultado el 03 de Septiembre del 2017].

VALENCIA M., FIGUEROA A., RUIZ D., O J., MARTINEZ J., CEBALLOS V., JOAQUI S., GONZALES D. 2014. Metodología para el análisis de vulnerabilidad en cuencas abastecedoras de agua ante la variabilidad climática. En: Revista Ingenierías Universidad de Medellín. [En línea]. Disponible en: <http://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/viewFile/994/986>. [Consultado el 03 de Septiembre del 2017].

Vernier Software y Technology. 2017. Ciencias con lo Mejor de Vernier. Experimento 41 Oxígeno Disuelto. EE.UU. [En línea]. Disponible en: http://www2.vernier.com/sample_labs/CMV-41-oxigeno_disuelto.pdf [Consultado el 03 de Septiembre del 2017].

11. ANEXOS

ANEXO A. Variación Mensual del ONI 1950 – 2015.

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1950	-1.4	-1.2	-1.1	-1.2	-1.1	-0.9	-0.6	-0.6	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8
1951	-0.8	-0.6	-0.2	0.2	0.2	0.4	0.5	0.7	0.8	0.9	0.7	0.6
1952	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2	0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3
1953	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.7
1954	0.7	0.4	0	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.7	-0.7	-0.6	-0.5	-0.5
1955	-0.6	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.6	-0.6	-1.0	-1.4	-1.6	-1.4
1956	-0.9	-0.6	-0.6	-0.5	-0.5	-0.4	-0.5	-0.5	-0.4	-0.4	-0.5	-0.4
1957	-0.3	0	0.3	0.6	0.7	0.9	1.0	1.2	1.1	1.2	1.3	1.6
1958	1.7	1.5	1.2	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6
1959	0.6	0.5	0.4	0.2	0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
1960	-0.1	-0.2	-0.1	0	-0.1	-0.2	0	0.1	0.2	0.1	0	0
1961	0	0	-0.1	0	0.1	0.2	0.1	-0.1	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2
1962	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4
1963	-0.4	-0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.7	1.0	1.1	1.2	1.2	1.1
1964	1.0	0.6	0.1	-0.3	-0.6	-0.6	-0.7	-0.7	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8
1965	-0.5	-0.3	-0.1	0.1	0.4	0.7	1.0	1.3	1.6	1.7	1.8	1.5
1966	1.3	1.0	0.9	0.6	0.3	0.2	0.2	0.1	0	-0.1	-0.1	-0.3
1967	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.2	0	0	-0.2	-0.3	-0.4	-0.4	-0.5
1968	-0.7	-0.8	-0.7	-0.5	-0.1	0.2	0.5	0.4	0.3	0.4	0.6	0.8
1969	0.9	1.0	0.9	0.7	0.6	0.5	0.4	0.5	0.8	0.8	0.8	0.7
1970	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.3	-0.6	-0.8	-0.8	-0.8	-0.9	-1.2
1971	-1.3	-1.3	-1.1	-0.9	-0.8	-0.7	-0.8	-0.7	-0.8	-0.8	-0.9	-0.8
1972	-0.7	-0.4	0	0.3	0.6	0.8	1.1	1.3	1.5	1.8	2.0	1.9
1973	1.7	1.2	0.6	0	-0.4	-0.8	-1.0	-1.2	-1.4	-1.7	-1.9	-1.9
1974	-1.7	-1.5	-1.2	-1.0	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.4	-0.6	-0.7	-0.6
1975	-0.5	-0.5	-0.6	-0.6	-0.7	-0.8	-1.0	-1.1	-1.3	-1.4	-1.5	-1.6
1976	-1.5	-1.1	-0.7	-0.4	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.5	0.7	0.8	0.8
1977	0.7	0.6	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.8	0.8
1978	0.7	0.4	0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.1	0
1979	0	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.5	0.6
1980	0.6	0.5	0.3	0.4	0.5	0.5	0.3	0.2	0	0.1	0.1	0
1981	-0.2	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	0
1982	0	0.1	0.2	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.5	1.9	2.1	2.1
1983	2.1	1.8	1.5	1.2	1.0	0.7	0.3	0	-0.3	-0.6	-0.8	-0.8
1984	-0.5	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3	-0.6	-0.9	-1.1
1985	-0.9	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3
1986	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0	0.2	0.4	0.7	0.9	1.0	1.1
1987	1.1	1.2	1.1	1.0	0.9	1.1	1.4	1.6	1.6	1.4	1.2	1.1
1988	0.8	0.5	0.1	-0.3	-0.8	-1.2	-1.2	-1.1	-1.2	-1.4	-1.7	-1.8
1989	-1.6	-1.4	-1.1	-0.9	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1
1990	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4
1991	0.4	0.3	0.2	0.2	0.4	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	1.2	1.4
1992	1.6	1.5	1.4	1.2	1.0	0.8	0.5	0.2	0	-0.1	-0.1	0
1993	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	0.6	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
1994	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.9	1.0
1995	0.9	0.7	0.5	0.3	0.2	0	-0.2	-0.5	-0.7	-0.9	-1.0	-0.9
1996	-0.9	-0.7	-0.6	-0.4	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.5
1997	-0.5	-0.4	-0.2	0.1	0.6	1.0	1.4	1.7	2.0	2.2	2.3	2.3
1998	2.1	1.8	1.4	1.0	0.5	-0.1	-0.7	-1.0	-1.2	-1.2	-1.3	-1.4
1999	-1.4	-1.2	-1.0	-0.9	-0.9	-1.0	-1.0	-1.0	-1.1	-1.2	-1.4	-1.6
2000	-1.6	-1.4	-1.1	-0.9	-0.7	-0.7	-0.6	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8	-0.8
2001	-0.7	-0.6	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3
2002	-0.2	-0.1	0.1	0.2	0.4	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.1
2003	0.9	0.6	0.4	0	-0.2	-0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4
2004	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
2005	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.2	0.1	0	0	-0.1	-0.4	-0.7
2006	-0.7	-0.6	-0.4	-0.2	0.0	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	0.9	1.0
2007	0.7	0.3	0	-0.1	-0.2	-0.2	-0.3	-0.6	-0.8	-1.1	-1.2	-1.3
2008	-1.4	-1.3	-1.1	-0.9	-0.7	-0.5	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.5	-0.7
2009	-0.8	-0.7	-0.4	-0.1	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	1.0	1.2	1.3
2010	1.3	1.1	0.8	0.5	0	-0.4	-0.8	-1.1	-1.3	-1.4	-1.3	-1.4
2011	-1.3	-1.1	-0.8	-0.6	-0.3	-0.2	-0.3	-0.5	-0.7	-0.9	-0.9	-0.8
2012	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.4	0.4	0.2	-0.2
2013	-0.4	-0.5	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.5	-0.6	-0.4	-0.2	0	0	0	0	0.2	0.4	0.6	0.6
2015	0.5	0.4	0.5	0.7	0.9	1.0	1.2	1.5	1.8	2.0		

ANEXO B. Caudales Medios Anuales.

Caudales medios anuales (m³/s)			
AÑO	QmedioAnual (MediosDiari	QmedioAnual (Máximos	QmedioAnual (MínimosDiar
1969	2.2	15.88	1.21
1970	2.01	32.00	1.11
1971	2.78	57.00	1.55
1972	2.61	32.00	1.64
1973	2.2	57.00	1.32
1974	3.5	120.00	1.80
1975	3.69	94.00	1.92
1976	2.69	132.00	1.71
1977	1.35	9.65	0.99
1978	1.74	27.92	1.21
1979	1.97	27.00	1.19
1980	1.81	70.00	1.28
1981	1.97	26.00	1.23
1982	2.98	18.32	1.86
1983	2.03	24.40	1.35
1984	2.93	41.50	1.83
1985	2.24	41.50	1.43
1986	1.79	30.25	1.08
1987	1.33	12.48	0.96
1988	2.05	45.25	1.17
1989	2.2	28.86	1.42
1990	1.73	22.78	1.07
1991	2.35	51.20	1.49
1992	1.87	20.55	1.28
1993	2.81	13.20	2.06
1994	3.68	23.00	2.53
1995	3.33	52.00	2.23
1996	2.56	54.27	1.57
1997	2.57	55.85	1.73
1998	2.13	25.26	1.47
1999	4.56	63.33	3.09
2000	3.3	32.85	2.05
2001	1.56	23.75	1.29
2002	1.94	25.26	1.34
2003	2.45	103.00	1.49
2004	2.18	59.02	1.28
2005	2.25	35.40	1.41
2006	2.58	15.36	1.77
2007	2.24	48.56	1.29
2008	4.03	55.85	1.92
2009	2.94	53.21	1.76
2010	2.56	15.36	1.58
2011	5.14	40.5	2.33
2012	1.83	40.5	1.11
2013	1.58	59.02	0.76
2014	2.6	55.85	1.36
2015	1.39	52.18	1.07
2016	1.62	49.76	1.10
Media	2.46		
Desv. Est.	0.814		
Coef. Var.	0.33		

ANEXO C. Datos incompletos de Temperatura de la Estación Arrayanales.

Año	Ene		Feb.		Mar.		Abr.		May.		Jun.	
	tmin	tmax	tmin	tmax	tmin	tmax	tmin	tmax	tmin	tmax	tmin	Tmax
1994												
1995	10	19	8	19	9	18	10	18	10	18	10	19
1996	8	17	9	17	10	17	16	13	9	18	9	19
1997	8	16	9	18	9	19	9	18	10	24	8	19
1998	10	20	11	20	10	19	11	19	10	19	10	21
1999	8	16	9	16	9	17	9	18	9	18	9	17
2000	8	17	8	17	9	17	9	17	9	17	9	18
2001	8	17	9	18	9	16	8	18	8	17	8	18
2002	8	17	8	17	8	17	8	17	9	18	8	18
2003	11	20	9	18	9	20	9	22	10	23	9	19
2004												
2005	9	20	9	20	9	20	10	20	10	20	9	20
2006			9	20	9	19	9	19	10	20		
2007			17	26	17	25	18	27	18	27	18	27
2008	18	24	17	24	18	24		25	17	25	17	26
2009	17	24	18	25	17	26	17	26	17	26	16	26
2010	18	28	16	27	16	28	16	27	16	28	17	25
2011	18	24	17	23	17	23	12	21			10	19
2012	9	19	9	17	10	18	9	17	9	19	10	20
2013	10	19	11	22	11	22	11	21	11	21	11	21
2014	10	20	11	20	10	19	10	19	10	20	12	20
2015	10	20	10	19	10	20	10	20	10	20	10	20
2016	10	21	10	20	10	20	9	20	10	20	10	19

Año	Jul.		Ago.		Sep.		Oct.		Nov.		Dic	
	tmin	tmax	tmin	tmax	tmin	tmax	tmin	tmax	tmin	tmax	tmin	Tmax
1994							9		9	17	10	17
1995	9	18	9	18	9	19	9	17	9	17	9	13
1996	8	19	9	20	9	20	8	17	9	19	9	19
1997	9	20	9	20	9	19	9	19	10	18	10	19
1998	9	20	9	20	9	19	9	18	9	16	9	17
1999	9	20	9	20	8	17	8	17	8	12	8	16
2000	9	19	10	21	8	18	9	19	8	16	8	16
2001	9	19	10	21	9	18	8	17	8	17	8	17
2002	9	20	9	20	9	19	8	18	9	17		
2003											10	17
2004											9	20
2005	9	20	10	20	10	20	10	20	9	19	10	19
2006												
2007	16	24	18	26	17	25	18	26	18	24	18	24
2008	17	26	18	27	18	26	17	25	17	24	17	24
2009	16	27	17	27	16	27	17	26	17	26	17	26
2010	17	24	17	25	17	25	17	24	17	22	16	23
2011	11	19	10	19	9	25	9	17	9	18	10	21
2012	10	20	12	19	11	22	10	18	9	17	9	17
2013	17	21	17	22	15	21	15	21	11	19	11	19
2014	12	20	10	20	11	20	11	19	10	19	11	
2015	10	21	11	21			10	20	10	19		
2016	10	20	10	20	10	20	10	19	9	19	9	19

ANEXO D. Datos de Temperatura de la Estación Guillermo León Valencia.

Año	Ene		Feb.		Mar.		Abr.		May.		Jun.	
	tmin	tmax	tmin	tmax	tmin	tmax	tmin	tmax	tmin	tmax	tmin	Tmax
1994			10.6	23.8	11	23.4	11	24.8	11.6	25.8	10	25.6
1995	9.2	25.8	9.4	29	11	25.6	12.8	26.6	11.8	26	12	26
1996	11	24.6	10	24.4	12.2	25.2	12	28.6	12	27.2	10.8	27.6
1997	13.6	24.4	12.2	26.4	10.4	27.8	12	26.6	12.8	28.2		
1998	11	30	11.4	31	12.2	29.3	12.2	28.5	11.4	32	11.4	28.5
1999	12.2	26.5	13	26.5	12	28	13	27.3	12	29	10.2	26.5
2000	10.4	27	9.8	26.5	11.8	26.8	12.2	26.7	13.2	26.1	11	27.7
2001	10.4	28	10.2	28.1	12	27.5	12.4	28.5	10.8	28.2	10.8	28.4
2002	11.6	27.8	12	28.8	11.8	28	12.2	28.2	12	28.7	*	*
2003	10	28.7	11.6	28.8	11.2	28	12.2	29.2	13.2	*	10.4	28
2004	11	28	10	27.7	12.2	29.2	12.4	29.7	12.8	*	10	28.5
2005	11.4	27.2	13.4	28.1	13	28	13.4	28.3	*	*	11	28
2006	12.8	27.6	12.4	28.2	13	29	12	28	11	28.5	10	28.5
2007	11	28.6	8.4	28.5	8.6	28	13	27.5	13	28.9	12	28
2008	10.2	27	12.8	27	11.4	27.5	11	28	11.8	27.5	11	28
2009	*	*	12.4	27	12.6	28	11	29	11	28.5	12	28
2010	10	31	11	30.5	11	29	11.4	28	13	30	11	28
2011	13	26	12.6	26	11.6	26	13.2	27.5	13.4	28	10.4	29
2012	12	27	12.8	26	11.8	29	12	28	12.2	28.5	10.8	29.5
2013	11.2	30	13	27	11	29.5	11.4	29	13	27.5	11.2	28.5
2014	10	28	12	27	12.6	28.5	12.6	29	12.8	29	10	29
2015	9.8	28.5	12.8	29	12	28	12.8	29.5	12	29.5	12	29
2016	12	29.5	10.8	30	13.4	30	13.4	29	13.4	29.5	11.8	29

Año	Jul.		Ago.		Sep.		Oct.		Nov.		Dic	
	tmin	tmax	tmin	tmax	tmin	tmax	tmin	tmax	tmin	tmax	tmin	Tmax
1994	9.2	27.4	9.4		10.4	27.6	12	25.8	12.6	25	13	25.4
1995	10.6	25.2	10.6	26.2	9.6	26.8	11.2	25.6	11.8	24.8	12.2	24.9
1996					10.6	26.4	11.2	25.6	11.2	25.4	10.4	27.8
1997	11.4	28.4	9.2	29.4	*	*	9.8	29	12.6	*	11.2	28.5
1998	9	28		28	*	28	10	28.5	11.6	26.5	11.6	26.5
1999	7.5	28	9.5	27.6	10.5	27	10	26.5	10	26.5	10.6	26.5
2000	10.2	27.5	9	28.6	11.2	26.4	10.8	28	12	26	10.5	26.6
2001	8	28.8	9.8	30.2	11.8	29.5	12	29.3	12.2	27	12	27.8
2002							11.6	28	11.2	28	12	28.1
2003	9.2	28.9	9.6	29	10	29	11.8	28.5	12.2	27.5	10.4	27.6
2004	10.2	28.1	10	29	9.8	30.2	12	28	12.2	27.7	12.4	27
2005	10	29	10.2	29.5	10.2	29.6	11.6	27.6	11.2	26.7	12.6	26.8
2006	10	29.6	10	29.6	9.6	29.6	11.2	30	11	26.4	9.2	28.6
2007	10.6	29.4	10	28.7	10.4	29.2	9.2	29.5	10	28	12.4	26.6
2008	10.8	27	9.6	28	9.8	29	11.6	26.5	11.4	27	12.6	27
2009	11.6	29	11.4	29	10	30	10.2	30	11.8	28.5	12	28
2010	10	26.5	9	28	10	28	10	29	12.4	25	13	25
2011	11.2	27.5	9.6	29	9.2	30	11.2	27	13	27	12.6	27
2012	9.8	29.5	9.8	29.5	10	30.5	10.4	29	11.6	27	12.6	27
2013	11	29	10	29	9	31	10.8	29.5	11	26.5	11.6	28.5
2014	11	29	10	30	11	29.5	11.8	28.5	11.8	28	11	28.5
2015	10.8	29.5	11.4	30	10.2	31	11.4	29	13.4	29	11	31
2016	11.4	29	10.4	30.5	10	29	12.2	28	9	19	9	19

ANEXO F. Datos incompletos de Precipitación Estación Arrayanales.

ESTACIÓN ARRAYANALES VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACION													
(mm)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1994										198	292	269	759
1995	99	107	222	159	163	64	43	5	11	274	283	286	1716
1996	218	149	412	213	154	163	0	25	37	463	233	160	2227
1997	453	49	263	84	54	100	0	54		200	320	108	1685
1998	68	173	178	131	259	26	9	26	8	280	422	260	1840
1999	268	324	155	218	161	43	3	34	192	246	335	356	2335
2000	478	304	181	103	103	83	64	9	88	169	271	145	1998
2001	127	143	122	40	54	18	0	0	50	160	269	236	1219
2002		133	167	222	92	129	10	59	51	200	84		1147
2003	116	143	311	264	16	106						334	1290
2004								1				115	116
2005	173	125	106	94	208	29	0	0	104	142	132	152	1265
2006	50	71	50	89	17	22	0	0	0			181	480
2007		41	59	146	116	33	11	28	0	227	60	137	858
2008	144	119	77	75	64	24	14	45	18	44	110	109	843
2009	25	48	114	376	155	66	4	40	11	258	275	300	1672
2010	46	139	10	322	267	101	285	0	192	339	398	161	2260
2011	201	439	471	363		31	84	90	40	383	571	311	2984
2012	367	142	173	190	35	1	10	0	0	78	174	224	1394
2013	77	132	92	48	62	65	9	9	14	28	42	25	603
2014	21	21	35	3	79	1	0	0	16	23	34	31	264
2015	128	115	103	103	22	0	0	0		51	260		782
2016	211	64	156	223	97	14	0	0	51	217	245	237	1278
Promedio	172	142	165	165	109	53	27	20	49	199	241	197	1539

ANEXO G. Estimación de datos faltantes de Precipitación de la Estación Arrayanales a partir de los datos de la Estación Polindara.

 Datos Hallados

 Datos de la Gráfica

Tabla G.1. Cálculo datos faltantes año 1997.

		VARIABLES	
		INDEPENDIENTE	DEPENDIENTE
		Eje X (abscisas)	Eje Y (ordenadas)
AÑO	MES	PRECI POLINDARA	PRECI ARRAYANALES
1997	Ene	440	453
1997	Feb	31	49
1997	Mar	256	263
1997	Abr	93	84
1997	May	46	54
1997	Jun	77	100
1997	Jul	5	0
1997	Ago	0	54
1997	Sep	33	48
1997	Oct	123	200
1997	Nov	214	320
1997	Dic	66	108

Tabla G.2. Cálculo datos faltantes año 2002.

		VARIABLES	
		INDEPENDIENTE	DEPENDIENTE
		Eje X (abscisas)	Eje Y (ordenadas)
AÑO	MES	PRECI POLINDARA	PRECI ARRAYANALES
2002	Ene	128	152
2002	Feb	87	133
2002	Mar	59	167
2002	Abr	253	222
2002	May	74	92
2002	Jun	80	129
2002	Jul	8	10
2002	Ago	2	59
2002	Sep	34	51
2002	Oct	137	200
2002	Nov	80	84
2002	Dic	227	230

Tabla G.3. Cálculo datos faltantes año 2003.

		VARIABLES	
		INDEPENDIENTE	DEPENDIENTE
		Eje X (abscisas)	Eje Y (ordenadas)
AÑO	MES	PRECI POLINDARA	PRECI ARRAYANALES
2003	Ene	77	116
2003	Feb	95	143
2003	Mar	221	311
2003	Abr	272	264
2003	May	5	16
2003	Jun	81	106
2003	Jul	3	33
2003	Ago	0	30
2003	Sep	18	49
2003	Oct	208	245
2003	Nov	190	226
2003	Dic	177	334

Tabla G.4. Cálculo datos faltantes año 2004.

		VARIABLES	
		INDEPENDIENTE	DEPENDIENTE
		eje X (abscisas)	eje Y (ordenadas)
AÑO	MES	PRECI POLINDARA	PRECI ARRAYANALES
2004	Ene	130	82
2004	Feb	59	38
2004	Mar	91	58
2004	Abr	255	161
2004	May	63	40
2004	Jun	3	2
2004	Jul	27	17
2004	Ago	1	1
2004	Sep	46	29
2004	Oct	245	155
2004	Nov	373	235
2004	Dic	182	115

Tabla G.5. Cálculo datos faltantes año 2006.

		VARIABLES	
		INDEPENDIENTE	DEPENDIENTE
		Eje X (abscisas)	Eje Y (ordenadas)
AÑO	MES	PRECI POLINDARA	PRECI ARRAYANALES
2006	Ene	210	50
2006	Feb	147	71
2006	Mar	182	50
2006	Abr	195	89
2006	May	52	17
2006	Jun	91	22
2006	Jul	21	0
2006	Ago	13	0
2006	Sep	7	0
2006	Oct	222	76
2006	Nov	202	69
2006	Dic	198	181

Tabla G.6. Cálculo datos faltantes año 2007.

		VARIABLES	
		INDEPENDIENTE	DEPENDIENTE
		Eje X (abscisas)	Eje Y (ordenadas)
AÑO	MES	PRECI POLINDARA	PRECI ARRAYANALES
2007	Ene	72	47
2007	Feb	141	41
2007	Mar	82	59
2007	Abr	385	146
2007	May	112	116
2007	Jun	43	33
2007	Jul	17	11
2007	Ago	24	28
2007	Sep	1	0
2007	Oct	286	227
2007	Nov	210	60
2007	Dic	237	137

Tabla G.7. Cálculo datos faltantes año 2011.

		VARIABLES	
		INDEPENDIENTE	DEPENDIENTE
		Eje X (abscisas)	Eje Y (ordenadas)
AÑO	MES	PRECI POLINDARA	PRECI ARRAYANALES
2011	Ene	66	201
2011	Feb	366	439
2011	Mar	273	471
2011	Abr	241	363
2011	May	144	170
2011	Jun	58	31
2011	Jul	83	84
2011	Ago	27	90
2011	Sep	56	40
2011	Oct	279	383
2011	Nov	455	571
2011	Dic	312	311

Tabla G.8. Cálculo datos faltantes año 2015.

		VARIABLES	
		INDEPENDIENTE	DEPENDIENTE
		Eje X (abscisas)	Eje Y (ordenadas)
AÑO	MES	PRECI POLINDARA	PRECI ARRAYANALES
2015	Ene	85	128
2015	Feb	257	115
2015	Mar	108	103
2015	Abr	28	103
2015	May	2	22
2015	Jun	8	0
2015	Jul	110	0
2015	Ago	1	0
2015	Sep	1	32
2015	Oct	102	51
2015	Nov	143	260
2015	Dic	0	32

Figura G.1. Precipitación Polindara vs Arrayanales año 1997.

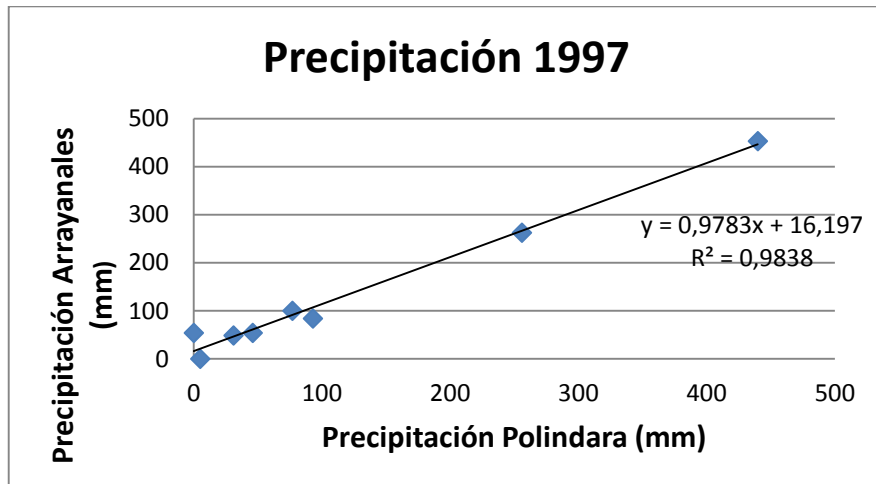


Figura G.2. Precipitación Polindara vs Arrayanales año 2002.

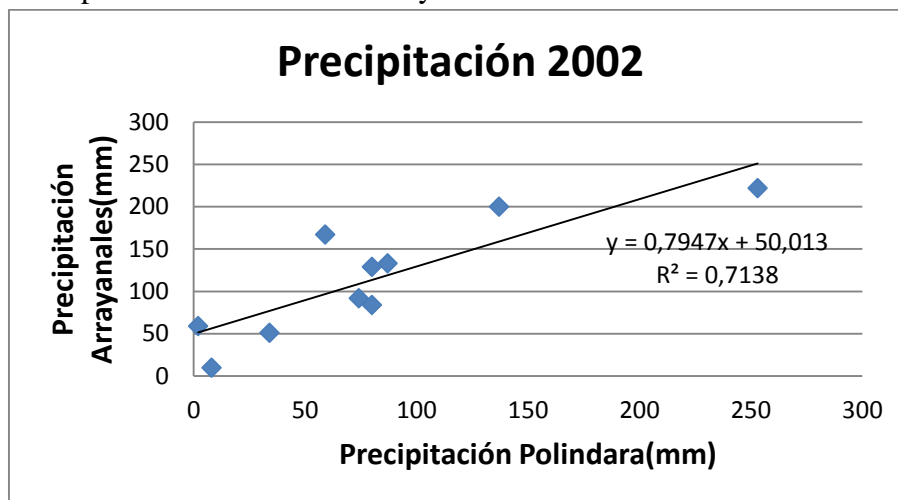


Figura G.3. Precipitación Polindara vs Arrayanales año 2003.

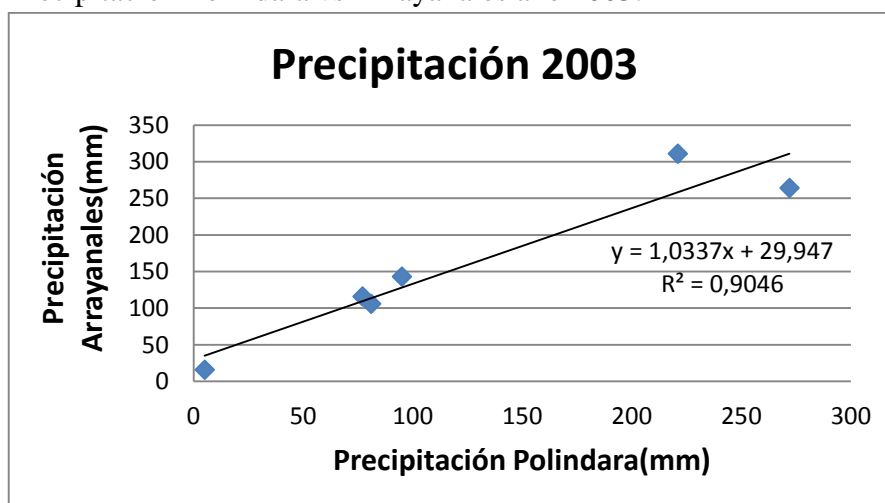


Figura G.4. Precipitación Polindara vs Arrayanales año 2004.

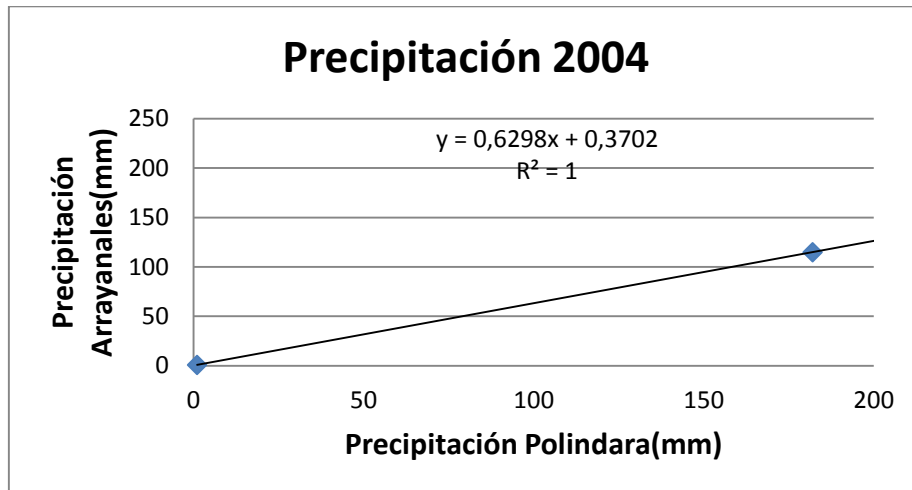


Figura G.5. Precipitación Polindara vs Arrayanales año 2006.

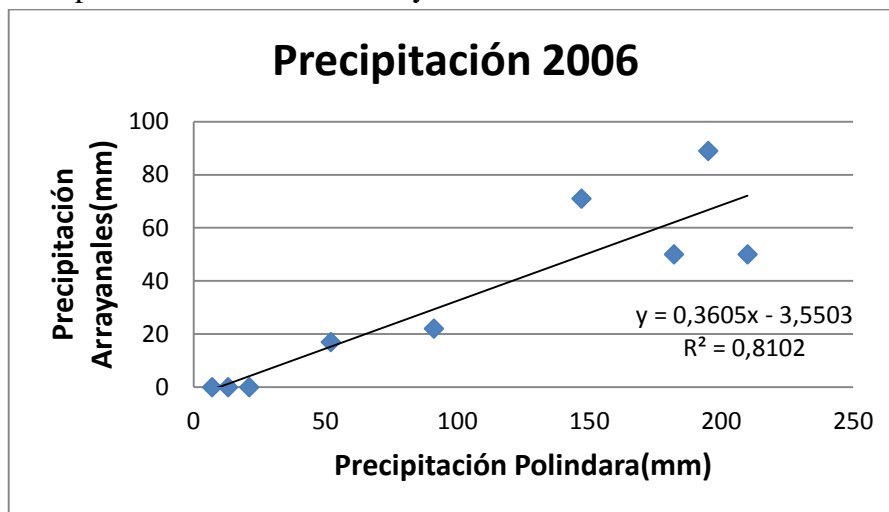


Figura G.6. Precipitación Polindara vs Arrayanales año 2007.

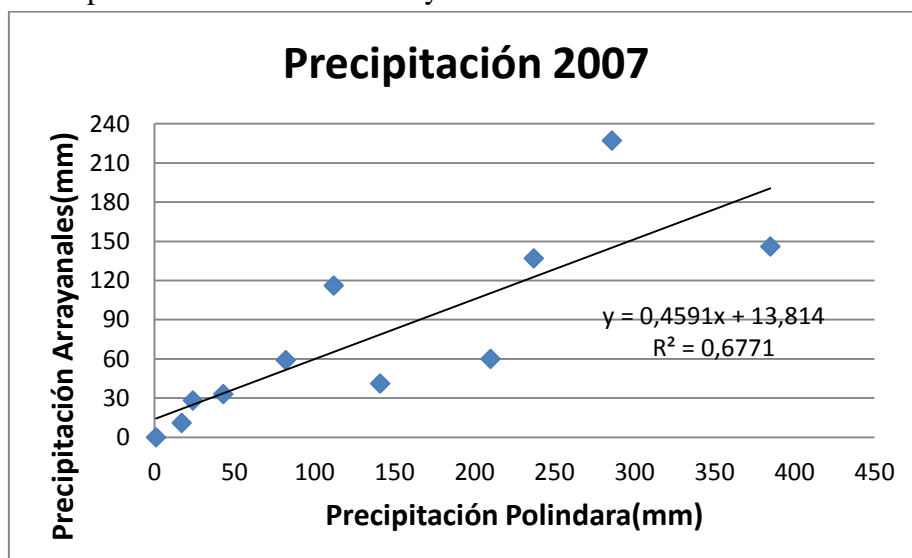


Figura G.7. Precipitación: Polindara vs Arrayanales año 2011.

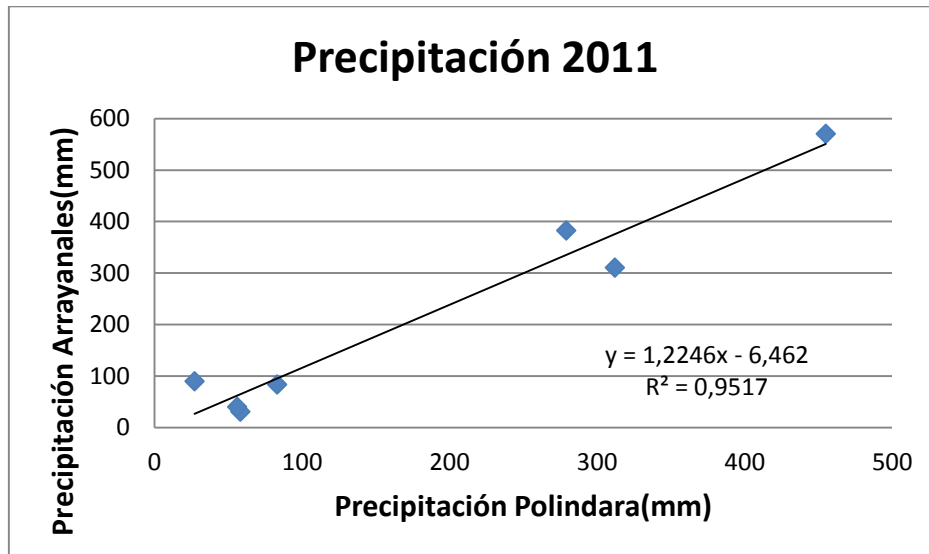
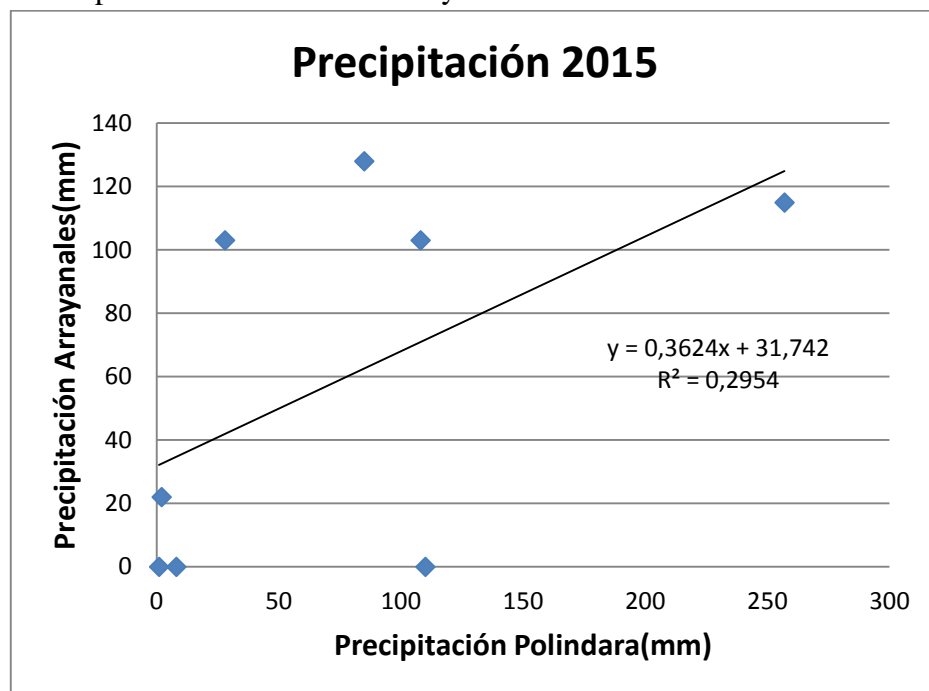


Figura G.8. Precipitación: Polindara vs Arrayanales año 2015.



ANEXO H. Resultados de la Evapotranspiración Potencial según Penman –Monteith.

EVAPOTRANSPIRACION DE REFERENCIA SEGUN FAO Penman-Monteith

Introduzca los datos en las casillas amarillas, cuando sea necesario coja el dato de la celda naranja

Latitud del observatorio (grados)	2.448											
Altitud del observatorio (metros)	2563											
	15-I	15-II	15-III	15-IV	15-V	15-VI	15-VII	15-VIII	15-IX	15-X	15-XI	15-XII
Día del año (del 1-III- al 365-31XII-)	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
Latitud (grados)	2.4478	2.4478	2.4478	2.4478	2.4478	2.4478	2.4478	2.4478	2.4478	2.4478	2.4478	2.4478
Altitud (m)	2563	2563	2563	2563	2563	2563	2563	2563	2563	2563	2563	2563
Temperatura media °C	15.0	15.5	15.5	15.0	16.0	15.5	15.5	16.5	16.0	15.5	14.5	15.0
Temperatura media de máximas °C	20.0	20.0	20.0	20.0	21.0	21.0	21.0	22.0	22.0	20.0	19.0	20.0
Temperatura media de mínimas °C	10.0	11.0	11.0	10.0	11.0	10.0	10.0	11.0	10.0	11.0	10.0	10.0
Presión atmosférica kPa	98.01	97.7	97.8	97.56	97.61	97.85	97.91	97.91	97.93	97.73	97.87	97.85
Presión atm. estimada kPa	75.95	75.95	75.95	75.95	75.95	75.95	75.95	75.95	75.95	75.95	75.95	75.95
Velocidad viento -anemómetro- (m/s)	1	1	1	1	1	1.1	1.3	1.3	1.2	0.9	0.9	0.9
Altura del anemómetro m	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Velocidad del viento a 2 m (m/s)	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.78	0.92	0.92	0.85	0.64	0.64	0.64
Número de horas de Sol máximas (h)	11.99	12.04	12.10	12.17	12.23	12.26	12.25	12.20	12.13	12.07	12.01	11.98
Horas de Sol media (h/día)	5.15	4.55	3.96	3.68	3.7	4.79	5.41	5.31	4.44	3.68	3.83	4.43
Insolación n/N	0.429	0.378	0.327	0.302	0.303	0.391	0.442	0.435	0.366	0.305	0.319	0.370
Rad. solar extraterrestre (MJ/m2-día)	35.27	36.99	37.86	37.20	35.57	34.37	34.68	36.10	37.23	37.02	35.64	34.63
Rad. solar Rs (MJ/m2-día)	16.39	16.24	15.66	14.93	14.27	15.31	16.33	16.88	16.12	14.90	14.59	15.06
Rad. día despejado sin nubes Rso MJ/m2-día	28.26	29.64	30.34	29.81	28.50	27.54	27.79	28.92	29.83	29.67	28.56	27.75
Factor nubosidad f	0.43	0.39	0.35	0.33	0.33	0.40	0.44	0.44	0.38	0.33	0.34	0.38
Humedad relativa %	79.0	78.0	79.0	80.0	79.0	76.0	70.0	69.0	73.0	79.0	82.0	81.0
Tensión de vapor saturación T (máxim)	2.34	2.34	2.34	2.34	2.49	2.49	2.49	2.64	2.64	2.34	2.20	2.34
Tensión de vapor saturación t (mínim)	1.23	1.31	1.31	1.23	1.31	1.23	1.23	1.31	1.23	1.31	1.23	1.23
Tensión de vapor real kPa "ea"	1.41	1.42	1.44	1.43	1.50	1.41	1.30	1.37	1.41	1.44	1.40	1.44
e*-ea	0.37	0.40	0.38	0.36	0.40	0.45	0.56	0.61	0.52	0.38	0.31	0.34
Emissividad neta (a1-b1*ea*0.5)	0.174	0.173	0.172	0.173	0.168	0.174	0.180	0.176	0.174	0.172	0.174	0.172
Albedo	0.230	0.230	0.230	0.230	0.230	0.230	0.230	0.230	0.230	0.230	0.230	0.230
Radiación neta entrante Rns (solar) MJ/m2-día	12.623	12.503	12.06	11.493	10.991	11.785	12.572	12.999	12.414	11.475	11.237	11.595
Radiación neta saliente Rnl (onda lar)	2.5488	2.2967	2.0328	1.9075	1.8866	2.3713	2.7271	2.6722	2.2637	1.9226	1.9891	2.2257
Flujo de calor en el suelo (período de)	0.035	0.035	-0.035	0.035	0.035	-0.035	0.07	0.035	-0.07	-0.105	-0.035	0.035
Temperatura media del mes previo (n)	15	15	15.5	15.5	15	16	15.5	15.5	16	15.5	14.5	15
Temperatura media del mes previo (n)	15.5	15.5	15	16	15.5	15.5	16.5	16	15.5	14.5	15	15
Días del mes	31	28.2	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31

EVAPOTRANSPIRACION DE REFERENCIA SEGUN FAO Penman-Monteith (mm)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura media °C	15.00	15.50	15.50	15.00	16.00	15.50	15.50	16.50	16.00	15.50	14.50	15.00
Calor vaporización "Cv" (MJ/kg)	2.47	2.46	2.46	2.47	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.47	2.47
Gradiente presión vapor satur "Gsv" (kPa/°C)	0.110	0.113	0.113	0.110	0.116	0.113	0.113	0.119	0.116	0.113	0.107	0.110
Presión kPa	98.01	97.70	97.80	97.56	97.61	97.85	97.91	97.91	97.93	97.73	97.87	97.85
Cons. psicrométrica "Cps" kPa/°C	0.065	0.065	0.065	0.064	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065
Cons. psicrom. modificada "Cps'" kPa/°C	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.082	0.085	0.085	0.084	0.079	0.079	0.079
Gsv/(Gsv-Cps')	0.577	0.585	0.585	0.578	0.592	0.580	0.570	0.584	0.582	0.590	0.576	0.582
Cps/(Gsv-Cps')	0.340	0.334	0.335	0.340	0.329	0.332	0.327	0.317	0.324	0.337	0.349	0.343
Radiación solar "Rs" MJ/m2-día	16.39	16.24	15.66	14.93	14.27	15.31	16.33	16.88	16.12	14.90	14.59	15.06
Rad. día despejado sin nubes "Rso" MJ/m2-día	28.26	29.64	30.34	29.81	28.50	27.54	27.79	28.92	29.83	29.67	28.56	27.75
Rad. neta entrante "Rns" (solar) MJ/m2-día	12.62	12.50	12.06	11.49	10.99	11.79	12.57	13.00	12.41	11.47	11.24	11.60
Rad. neta saliente (onda larga) MJ/m2-día	2.55	2.30	2.03	1.91	1.89	2.37	2.73	2.67	2.26	1.92	1.99	2.23
Radiación neta "Rn"	10.07	10.21	10.03	9.59	9.10	9.41	9.84	10.33	10.15	9.55	9.25	9.37
Flujo de calor en el suelo MJ/m2-día "G"	0.04	0.04	-0.04	0.04	0.04	-0.04	0.07	0.04	-0.07	-0.11	-0.04	0.04
"Rn-G"	10.04	10.17	10.06	9.55	9.07	9.45	9.77	10.29	10.22	9.66	9.28	9.33
Función del viento "f(u)"	2.22	2.22	2.22	2.22	2.21	2.44	2.88	2.87	2.65	1.99	2.00	2.00
Déficit de saturación de vapor "e*-e" (kPa)	0.37	0.40	0.38	0.36	0.40	0.45	0.56	0.61	0.52	0.38	0.31	0.34
(Gsv/(Gsv+Cps'))*(1/Cv)-(Rn-G)	2.35	2.41	2.39	2.24	2.18	2.22	2.26	2.44	2.41	2.31	2.17	2.21
(Cps/(Gsv+Cps'))*f(u)-(e*-e)	0.28	0.30	0.28	0.27	0.29	0.36	0.52	0.56	0.45	0.26	0.22	0.23
ETr (Penman-Monteith) mm/día	2.633	2.711	2.671	2.509	2.469	2.584	2.787	2.998	2.863	2.568	2.381	2.437
ETr (Penman-Monteith) mm/mes	82	76	83	75	77	78	86	93	86	80	71	76

**ANEXO I. Parámetros para el cálculo de la ETP de la estación del Aeropuerto
Guillermo León Valencia.**

MES	PARÁMETROS		
	Brillo Solar (h/día)	Humedad relativa (%)	Velocidad el Viento (m/s)
Ene	5.15	79	1
Feb	4.55	78	1
Mar	3.96	79	1
Abr	3.68	80	1
May	3.7	79	1
Jun	4.79	76	1.1
Jul	5.41	70	1.3
Ago	5.31	69	1.3
Sep	4.44	73	1.2
Oct	3.68	79	0.9
Nov	3.83	82	0.9
Dic	4.43	81	0.9

**ANEXO J. Parámetros de calidad de agua para tres puntos de muestreo para la sub
cuenca rio Las Piedras.**

Puente Alto

PARÁMETROS	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Promedio Multianual
CONDUCTIVIDAD	63.98	57.89	74.16	62.87			74.91	66.76
TURBIEDAD	1.51	2.28	2.14	2.42			4.25	2.52
COLOR APARENTE	10.29	10.50	8.67	9.61			13.23	10.46
P.H	7.21	7.09	7.56	7.57			8.01	7.49
ALCALINIDAD TOTAL	33.70	30.98	30.99	27.31			36.89	31.97
DUREZA TOTAL	32.30	31.75	31.58	25.00			31.36	30.40
HIERRO TOTAL	0.14	0.09	0.19	0.49			0.37	0.26
S.D.T	31.99	28.95	37.21	31.44			37.56	33.43
S.S.T. (1999)								95.06
NITRITOS	0.02	0.03	0.06	0.01			0.03	0.03
OXIGENO DISUELTO	7.27	7.21	6.41	7.13			8.27	7.26
D.Q.O 5			2.30	2.58			5.00	3.29
D.B.O 5	0.20		0.30	1.71				0.74
CLORUROS	0.80	4.33	5.33	4.18			1.41	3.21
FOSFATOS (2005)								0.02
NITRATOS			0.03	0.88			0.46	0.46
TEMPERATURA			21.75	21.26			18.63	20.55
COLIFORMES TOTALES	752.29	842.98	870.74	1613.01	2307.89	2897.23	1613.0 1	1556.73
COLIFORMES FECALES	120.10	73.09	144.62	187.96	125.37	119.95	224.97	142.29

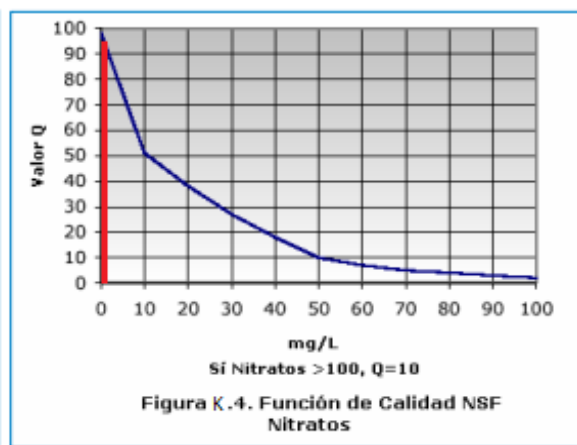
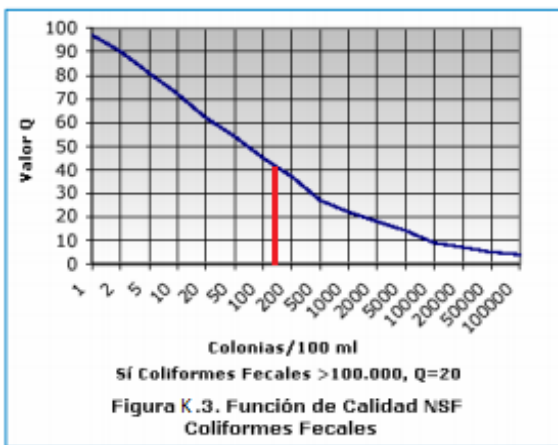
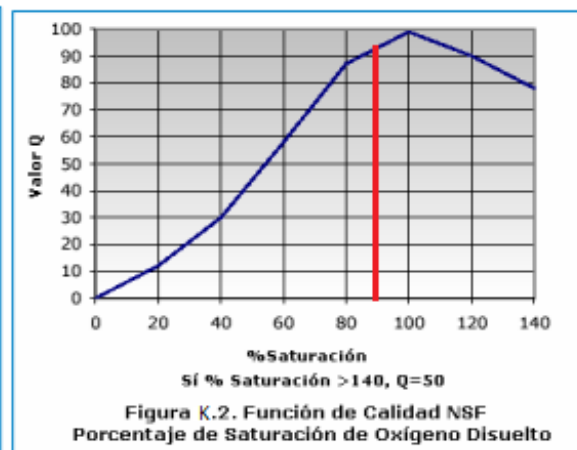
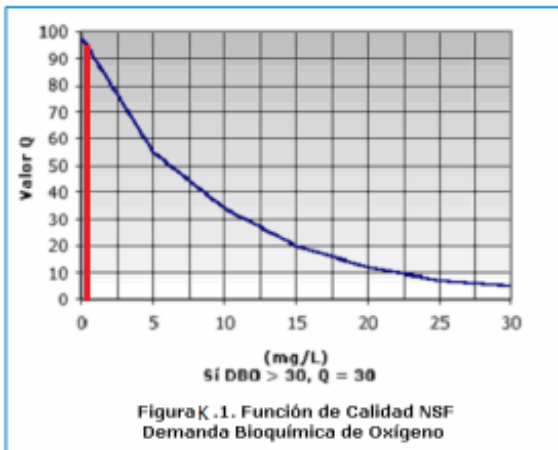
Bocatoma Diviso

PARÁMETROS	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Promedio Multianual
CONDUCTIVIDAD	61.43	55.96	60.83	62.76			71.11	62.42
TURBIEDAD	1.47	2.83	1.61	1.41			3.18	2.10
COLOR APARENTE	9.69	14.12	8.41	8.57			13.82	10.92
P.H	7.27	7.14	7.66	7.70			8.00	7.55
ALCALINIDAD TOTAL	34.00	29.48	28.04	27.43			34.38	30.67
DUREZA TOTAL	32.33	29.50	31.25	23.92			31.15	29.63
HIERRO TOTAL	0.12	0.16	0.12	0.26			0.28	0.19
S.D.T	30.71	27.98	30.81	31.38			38.29	31.84
S.S.T. (1999)								66.30
NITRITOS	0.01	0.02	0.02	0.01			0.03	0.02
OXIGENO DISUELTO	7.23	7.18	6.70	6.73			8.37	7.24
D.Q.O 5	1.70	1.50	1.20	1.48			15.66	4.31
D.B.O 5	0.80	1.00	0.80	0.98			0.00	0.72
CLORUROS	1.10	3.67	4.80	4.00			1.43	3.00
FOSFATOS (2005)								0.02
NITRATOS			1.08	1.59			0.79	1.15
TEMPERATURA			21.28	21.47			18.13	20.29
COLIFORMES TOTALES	780.43	941.01	972.09	1632.91	2196.58	2239.65	1632.91	1485.08
COLIFORMES FECALES	122.97	107.80	176.55	134.37	89.85	132.80	214.98	139.90

Puente Carretera

PARÁMETROS	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Promedio Multianual
CONDUCTIVIDAD	69.04	59.29	71.80	67.35		76.14	78.73	70.39
TURBIEDAD	3.71	7.00	4.22	2.34		2.90	3.86	4.00
COLOR APARENTE	14.82	18.83	13.77	11.72		13.66	17.35	15.03
P.H	7.24	7.13	7.54	7.69		8.06	7.89	7.59
ALCALINIDAD TOTAL	33.30	27.77	29.64	27.33		31.95	33.73	30.62
DUREZA TOTAL	29.90	27.58	28.92	23.00		25.38	27.68	27.08
HIERRO TOTAL	0.14	0.16	0.16	0.17		0.25	0.28	0.19
S.D.T	34.52	29.65	35.71	33.69		37.81	42.00	35.56
S.S.T. (1999)								71.06
NITRITOS	0.03	0.04	0.04	0.03		0.03	0.10	0.04
OXIGENO DISUELTO	7.04	7.08	6.62	6.92		7.48	8.21	7.23
D.Q.O 5	0.00	0.00	4.27	5.95		9.89	29.48	8.26
D.B.O 5	0.00	0.00	2.25	3.95		0.00	0.00	1.03
CLORUROS	1.40	4.40	5.11	4.36		2.83	1.98	3.35
FOSFATOS (2005)								0.02
NITRATOS			0.62	2.16		2.94	1.49	1.80
TEMPERATURA			20.77	20.97		20.61	18.55	20.23
COLIFORMES TOTALES	914.61	1011.20	967.9	1779.42	2960.52	3509.90	1779.42	1846.13
COLIFORMES FECALES	137.41	162.13	119.0	172.45	122.23	116.95	192.33	146.07

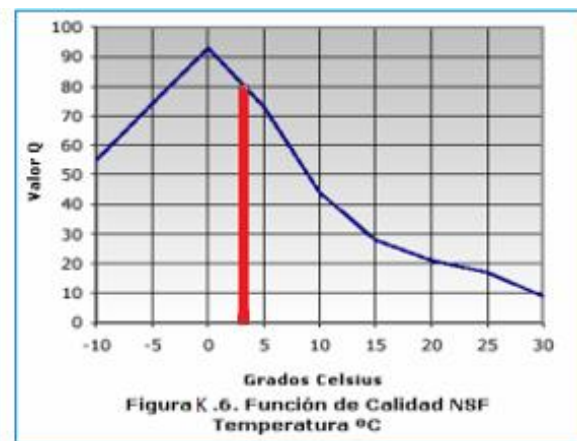
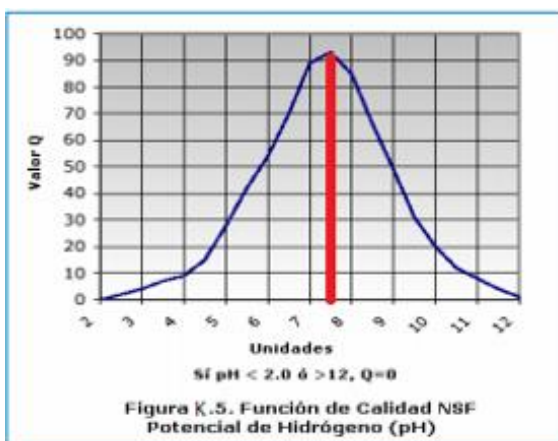
ANEXO K. Curvas de Función por Parámetro de Calidad de Agua.

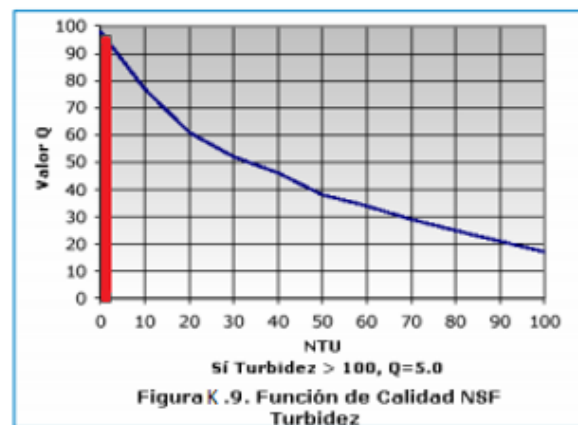
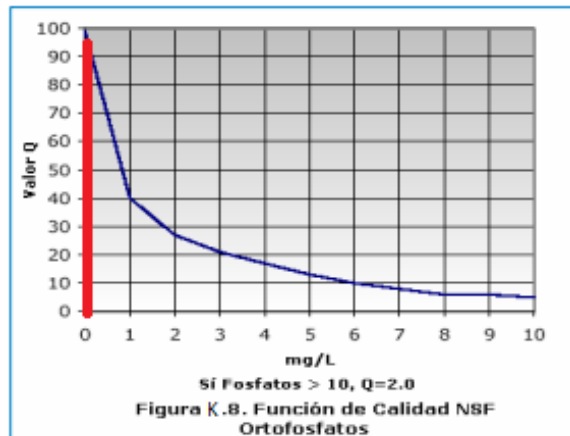
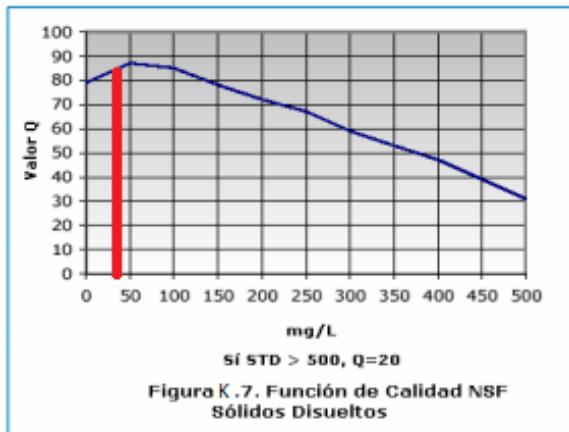


El valor Q para el cambio de temperatura (Figura K.6.) se halla calculando la siguiente diferencia de temperatura tomando los datos del Anexo J para el punto de muestreo Puente Alto:

$$21.75 - 18.63 = 3.12$$

Por ello, se traza la línea roja por el valor de 3.12 para este parámetro.





ANEXO L. Valores trabajados cálculo del ICA-NSF.

Puente Alto:

Altura(msnm)= 2463

OD =	7,26
T (°C) =	20,6
Patm (mmHg) =	696,04
100% OD =	8,24
% Sat OD =	88,11
I DBO5 =	0,99
I OD =	0,93
I pH =	0,90
I turb =	0,98
I fosf =	0,98
I nitra =	0,99
I temp =	0,8
I STD =	0,85
I col.fec. =	0,43

			Calidad de Agua
ICA =	0,82	82,00	Buena

Bocatoma Diviso:

Altura (msnm)= 2278

OD =	7,24
T (°C) =	20,3
Patm (mmHg) =	701,22
100% OD =	8,45
% Sat OD =	85,68
I DBO5 =	0,98
I OD =	0,91
I pH =	0,93
I turb =	0,98
I fosf =	0,98
I nitra =	0,97
I temp =	0,8
I STD =	0,87
I col.fec. =	0,43

		Calidad de Agua	
ICA =	0,82	81,87	Buena

Puente Carretera:

Altura 2000

OD =	7,23
T (°C) =	20,2
Patm (mmHg)	708,00
100% OD =	8,55
% Sat OD =	84,56
I DBO5 =	0,93
I OD =	0,89
I pH =	0,92
I turb =	0,91
I fosf =	0,98
I nitra =	0,96
I temp =	0,83
I STD =	0,86
I col.fec. =	0,41

		Calidad de Agua	
ICA =	0,80	80,05	Buena

ANEXO M. Valores trabajados cálculo del ICA (IDEAM).

Puente Alto:

Altura(msnm)= 2463

OD =	7,26
T (°C) =	20,6
Patm (mmHg) =	696,04
100% OD =	8,24
% Sat OD =	88,11
I OD =	0,88
I SST =	0,73
I DQO=	0,91
I C.E. =	0,85
I pH =	1

ICA =	0,87
-------	------

Calidad de Agua
Aceptable

Bocatoma Diviso:

Altura(msnm)= 2278

OD =	7,24
T (°C) =	20,3
Patm (mmHg) =	701,22
100% OD =	8,45
% Sat OD =	85,68
I OD =	0,86
I SST =	0,82
I DQO=	0,91
I C.E. =	0,86
I pH =	1

ICA =	0,89
-------	------

Calidad de Agua
Aceptable

Puente Carretera

Altura(msnm)= 2000

OD =	7,23
T (°C) =	20,2
Patm (mmHg) =	708,00
100% OD =	8,55
% Sat OD =	84,56
I OD =	0,85
I SST =	0,81
I DQO=	0,91
I C.E. =	0,84
I pH =	1

ICA =	0,88
-------	------

Calidad de Agua
Aceptable