

**ANÁLISIS DE LA OFERTA HÍDRICA DE ZONAS DE CONSERVACIÓN,  
SOLUCIONES DE AGUA Y ACUEDUCTOS VEREDALES EN LAS SUBCUENCAS  
RÍO LAS PIEDRAS Y RÍO MOLINO Y ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICO  
QUÍMICOS Y BACTERIOLÓGICOS DE LAS PRINCIPALES FUENTES DE  
ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA EL MUNICIPIO DE POPAYÁN**

**ANA MARÍA RÍOS CEBALLOS**



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

**ANÁLISIS DE LA OFERTA HÍDRICA DE ZONAS DE CONSERVACIÓN,  
SOLUCIONES DE AGUA Y ACUEDUCTOS VEREDALES EN LAS SUBCUENCAS  
RÍO LAS PIEDRAS Y RÍO MOLINO Y ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICO  
QUÍMICOS Y BACTERIOLÓGICOS DE LAS PRINCIPALES FUENTES DE  
ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA EL MUNICIPIO DE POPAYÁN**

**ANA MARÍA RÍOS CEBALLOS**

**Informe final de la práctica profesional, modalidad pasantía, para optar al título  
de Ingeniera Ambiental**

**Director  
Ing. Luis Jorge González Muñoz  
Departamento de Hidráulica**

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

NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

Firma del director del trabajo de grado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Popayán, septiembre de 2016.

## **DEDICATORIA**

A Dios por darme la sabiduría, por iluminar cada momento de mi vida, por darme la oportunidad de culminar satisfactoriamente este proyecto que marca el inicio de mi carrera profesional.

A mi familia, por su apoyo permanente en todos los momentos de mi vida, especialmente a mi madre por su amor, su tenacidad y fortaleza que fueron mi ejemplo para avanzar en el logro de mis metas.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios, por darme la vida, por brindarme la oportunidad de obtener este logro tan importante en mi vida personal y profesional.

Doy gracias a mi familia, a mi mamá María Inés, a mi padre Carlos Ríos, a mi abuela Regina, a mi Hermano Juan Andrés, a Julián Narváez por su apoyo incondicional, al estar presente en todos los momentos de mi vida, especialmente a mi madre por sus consejos e inculcarme la perseverancia.

A la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca, especialmente al Ingeniero Luis Jorge Gonzales Muñoz, por su valiosa asesoría y contribución durante la ejecución del proyecto.

A la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A E.S.P y a La Fundación Procuencia Río Las Piedras, dirigida por La Dra. Liliana Recaman Mejía; al Ingeniero Víctor Hugo Zúñiga Silva, a José Libardo Ahumada y Lilia Leonor Torres Dorado, por el apoyo recibido, por compartir sus conocimientos y experiencias para adelantar este proyecto.

Agradezco a los líderes de las Comunidades de las Veredas Santa Helena y El Hogar, por su acompañamiento y dedicación durante la ejecución del proyecto.

## CONTENIDO

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>11</b>
<b>1 OBJETIVOS</b> .....	<b>13</b>
1.1 OBJETIVO GENERAL .....	13
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	13
<b>2 ANTECEDENTES</b> .....	<b>14</b>
<b>3 JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>16</b>
<b>4 GENERALIDADES DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL</b> .....	<b>17</b>
4.1 DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	17
4.2 INFORMACIÓN DE LA EMPRESA .....	19
4.2.1 Empresa de Acueducto y Alcantarillado De Popayán S.A. E.S.P.....	19
4.2.2 Fundación Procuena Río las Piedras .....	20
<b>5 METODOLOGIA</b> .....	<b>21</b>
<b>6 MARCO REFERENCIAL</b> .....	<b>24</b>
6.1 ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA .....	24
6.2 ICATEST v1.0.....	24
6.3 FENÓMENO DEL NIÑO.....	24
6.4 ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR MINERALIZACIÓN – ICOMI .....	25
6.5 ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR MATERIA ORGÁNICA – ICOMO .....	26
6.6 ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR PH – ICOPH.....	26
<b>7 RESULTADOS Y ANALISIS</b> .....	<b>27</b>
<b>8 CONCLUSIONES</b> .....	<b>60</b>
<b>9 RECOMENDACIONES</b> .....	<b>62</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>63</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>65</b>

## LISTA DE GRÁFICAS

	<b>Pág.</b>
Gráfica 1. Precipitaciones medias mensuales río Piedras. ....	35
Gráfica 2. Precipitaciones medias mensuales río Molino. ....	41
Gráfica 3. Índice de contaminación por mineralización ICOMI río Cauca. ....	42
Gráfica 4. Índice de contaminación por materia orgánica ICOMO río Cauca. ....	43
Gráfica 5. Índice de contaminación por pH ICOpH en el río Cauca. ....	44
Gráfica 6. Índice de contaminación por mineralización ICOMI río Molino. ....	45
Gráfica 7. Índice de contaminación por materia orgánica ICOMO río Molino. ....	46
Gráfica 8. Índice de contaminación por pH ICOpH río Molino. ....	47
Gráfica 9. Índice de contaminación por mineralización ICOMI río Palacé. ....	48
Gráfica 10. Índice de contaminación por materia orgánica ICOMO río Palacé. ....	49
Gráfica 11. Índice de contaminación por pH ICOpH río Palacé. ....	50
Gráfica 12. Índice de contaminación por mineralización ICOMI río Pisojé. ....	51
Gráfica 13. Índice de contaminación por materia orgánica ICOMO río Pisojé. ....	52
Gráfica 14. Índice de contaminación por pH ICOpH río Pisojé. ....	53
Gráfica 15. Índice de contaminación por mineralización ICOMI río Las Piedras. ....	54
Gráfica 16. Índice de contaminación por materia orgánica ICOMO río Las Piedras. ...	56
Gráfica 17. Índice de contaminación por mineralización ICOMI río Las Piedras. ....	58

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1 Ubicación desarrollo del proyecto, departamento del Cauca. ....	17
Figura 2 Hoja de cálculo índice de contaminación por mineralización (ICOMI) .....	22
Figura 3 Hoja de cálculo índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO).....	22
Figura 4 Hoja de cálculo índice de contaminación por pH (ICOpH) .....	23
Figura 5. Aforo área-velocidad o con molinete .....	29
Figura 6. Aforo volumétrico .....	29
Figura 7. Mapa de lluvias e isoyeta media mensual subcuenca río Piedras octubre 2015. ....	30
Figura 8. Mapa de lluvias e isoyeta media mensual subcuenca río Piedras noviembre 2015. ....	31
Figura 9. Mapa de lluvias e isoyeta media mensual subcuenca río Piedras diciembre 2015.....	32
Figura 10. Mapa de lluvias e isoyeta media mensual subcuenca río Piedras enero 2016.....	33
Figura 11. Mapa de lluvias e isoyeta media mensual subcuenca río Piedras febrero 2016.....	34
Figura 12. Mapa de lluvias e isoyeta media mensual subcuenca río Molino octubre 2015. ....	36
Figura 13. Mapa de lluvias e isoyeta media mensual subcuenca río Molino noviembre 2015. ....	37
Figura 14. Mapa de lluvias e isoyeta media mensual subcuenca río Molino diciembre 2015.....	38
Figura 15. Mapa de lluvias e isoyeta media mensual subcuenca río Molino enero 2016.....	39
Figura 16. Mapa de lluvias e isoyeta media mensual subcuenca río Molino febrero 2016.....	40



## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 ubicación puntos de muestreo.....	18
Tabla 2 Ubicación puntos de aforo río las piedras .....	18
Tabla 3 Ubicación aforos río Molino .....	19
Tabla 4. Caudal promedio acueductos veredales subcuenca río Molino. ....	27
Tabla 5. Caudal promedio acueductos veredales subcuenca río Las Piedras.....	28

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
ANEXO A: Tabla caudales mensuales medidos río Molino.....	65
ANEXO B: Tabla caudales mensuales medidos río Las Piedras .....	66
ANEXO C: Tablas de índices obtenidos.....	67

## INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso esencial para el desarrollo de la vida en la tierra, ya que sus propiedades permiten la realización de los principales procesos de los seres vivos. El ser humano no puede sobrevivir más de unos pocos días sin agua, por eso las distintas civilizaciones siempre se han establecido cerca de fuentes hídricas, como lo cuenta la historia: Mesopotamia ubicada en el valle del Éufrates y Tigris, y también Egipto, en el Nilo y así se podrían enumerar muchas más civilizaciones que le deben su crecimiento, desarrollo y prosperidad la conexión con alguna gran fuente de agua (Agua y civilizaciones, 2012).

El agua no sólo se utiliza para el consumo, sino también para diferentes actividades productivas. Por eso un lugar que no tenga agua o que tiene dificultades de acceso a ella, está condenado al subdesarrollo, salvo que cuente con algún otro recurso en grandes cantidades (Crespo, 2006).

En la actualidad aún hay lugares en el mundo que carecen de este servicio, y son sitios que claramente muestran altos índices de pobreza y enfermedad. Por ello a través del tiempo se han ido desarrollando acueductos que constan de sistemas e infraestructura para facilitar el acceso de agua potable. Así, en julio de 2010 la Asamblea General de Naciones Unidas aprobó la resolución 64/292, la cual reconoce al agua potable y al saneamiento básico como derecho humano esencial para el pleno disfrute de la vida y de todos los derechos humanos.

Con la creciente población mundial, muchos recursos naturales se han vuelto escasos, y el agua no es la excepción, a pesar de la escasez, los recursos hídricos disponibles son suficientes para atender las necesidades de todos los seres humanos, pero la distribución de este recurso entre las diversas regiones es muy desigual además la demanda de agua es cada vez mayor y su creciente contaminación es preocupante.

Para poder atender de manera adecuada las necesidades de los seres humanos es necesario conocer la oferta hídrica, por eso la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P., requirió hacer el análisis de la oferta hídrica de zonas de conservación, soluciones de agua y acueductos veredales, generando una línea base a través de mediciones de caudales, ya que es de vital importancia, por los impactos de déficit hídrico causado por el fenómeno El Niño.

También las empresas prestadoras de servicios públicos deben asegurarse que el servicio prestado cuente con adecuados niveles de calidad, y aún más importante es el servicio agua potable ya que ésta es utilizada para el consumo y por ello requiere un tratamiento especial, para la potabilización del agua cruda se deben conocer las características de esta, por eso la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P., realiza muestreos mensuales donde evalúa ciertos parámetros que permiten conocer el estado actual de las fuentes de agua a tratar, igualmente en Colombia de acuerdo con el Estudio Nacional del Agua (IDEAM, 2000) la medición de parámetros fisicoquímicos es una actividad rutinaria. Sin embargo, no ha sido así el cálculo de índices de calidad de agua, a pesar de las recomendaciones explícitas en la legislación y de los desarrollos de formulaciones propias de nuestro país como las de Ramírez y Viña (1998).

En este contexto para analizar los datos obtenidos de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de las diferentes fuentes de abastecimiento de la ciudad de Popayán, se empleó el ICATest v1.0, que es un Software que facilita el cálculo de gran variedad y cantidad de índices de calidad y de contaminación del agua (Fernández P, Ramos Suárez, & Solano Ortega, 2004).

## **1 OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Analizar la oferta hídrica de zonas de conservación, soluciones de agua y acueductos veredales en las subcuencas río las Piedras y Molino, y analizar los parámetros físico-químicos y bacteriológicos de las principales fuentes de abastecimiento de agua para el municipio de Popayán, tales como río Cauca, Molino, Pisojé, Palacé y Las Piedras.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Determinar la oferta hídrica de zonas de conservación, soluciones de agua o acueductos veredales de las subcuencas río Las Piedras y Molino involucrando a la comunidad para que se continúe realizando el seguimiento de la oferta hídrica mediante aforos de tipo volumétrico.
- Analizar la calidad del agua de las principales fuentes de abastecimiento para la ciudad de Popayán, mediante el cálculo de índices de calidad con el software ICATest V1.0.0.44.

## **2 ANTECEDENTES**

La División Ambiental de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A.E.S.P. y la Fundación Procuencia Río Las Piedras desde hace más de 25 años vienen trabajando en la integración de los factores sociales biofísicos, técnicos, ambientales y económicos que garanticen sostenibilidad a la oferta y conservación hídrica de las principales cuencas abastecedoras de agua del municipio de Popayán y de las micro cuencas urbanas que requieran rehabilitación.

Las cuencas de abastecimiento está comprendida por los ríos Piedras, Molino, Pisojé, Palacé, Cauca y micro cuencas del sector urbano.

En el marco de la gestión integral del recurso hídrico, se ha venido desarrollando un trabajo en coordinación con los diferentes actores sociales que ha permitido el sostenimiento de la oferta hídrica, tanto para la ciudad de Popayán como para los habitantes de las cuencas. La principal fuente de agua para la ciudad de Popayán es la del río Las Piedras, en este se desarrollan distintas actividades que lo impactan considerablemente; es así como la planificación predial participativa ha permitido la liberación de áreas dedicadas a la ganadería extensiva para la conservación y regeneración de ecosistemas, lo que ha contribuido al sostenimiento de la oferta hídrica que se ha mantenido en un clima cambiante bajo condiciones normales. Popayán cuenta además con otra fuente; el río Molino que abastece el sector histórico de la ciudad y que igualmente ha sostenido su caudal apoyado en la participación de la comunidad.

También como parte de las actividades de La Fundación Procuencia río Las Piedras, analizar la calidad de aguas que abastecen la población es una tarea que se realiza continuamente debido a la necesidad de prestar adecuadamente sus servicios.

A nivel local es importante resaltar los antecedentes de las actividades realizadas por la Fundación como la pasantía de Idrobo (2010), estudió el desarrollo del monitoreo de la calidad y cantidad del agua captada de la cuenca del río Las Piedras y el comportamiento hidrológico de la cuenca en el período de 1999 a 2005. Los resultados de la calidad de agua muestran la Bocatoma del río Las Piedras está dentro de los rangos permisibles del Decreto 1575 de 2.007 por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano, a excepción de los valores registrados para la Turbiedad. En cuanto a parámetros Microbiológicos se observó que los resultados obtenidos para Coliformes Totales y Coliformes Fecales, indican que estas aguas no son aptas para el consumo directo de la población, por lo tanto necesitan tratamiento.

### **3 JUSTIFICACIÓN**

Los seres humanos necesitamos del recurso hídrico, para su consumo y utilización en las diferentes actividades productivas, por ello, el conocimiento de la oferta hídrica es necesario para lograr atender la demanda básica de una población, su desconocimiento podría involucrar el desabastecimiento en épocas de estiaje y generar pérdidas en los sistemas productivos.

Es importante mencionar que el fenómeno El Niño, ocurrido desde mediados de abril de 2015 hasta mes de marzo de 2016, generó incrementos en las temperaturas y disminución de las precipitaciones, provocando reducción de la oferta hídrica, por eso se planteó generar una línea base de manera participativa, para recalcar la importancia del mantenimiento adecuado de las zonas de conservación e identificar la disponibilidad hídrica en épocas de estiaje en las soluciones de agua y acueductos veredales. La vinculación de las comunidades al proceso de medición de la cantidad de agua en época de estiaje, como consecuencia del fenómeno El Niño, permite identificar los efectos que pueden ocasionar este tipo de eventos climáticos así como la permanencia de los caudales por actividades de protección y conservación de fuentes hídricas

Por otro lado, el presente trabajo también involucró la valoración de la calidad del agua de las principales fuentes que abastecen al municipio de Popayán, dicha valoración puede ser entendida como la evaluación de su naturaleza fisicoquímica y bacteriológica, en relación con la calidad natural, los efectos humanos y usos posibles. Con el fin de hacer más simple la interpretación de los parámetros monitoreados se empleó el software ICATest v1.0 con el que se calcularon índices de calidad de agua, los cuales son herramientas prácticas que reducen una gran cantidad de parámetros a una expresión sencilla dentro de un marco unificado (Fernandez Parada & Solano Ortega, 2005).

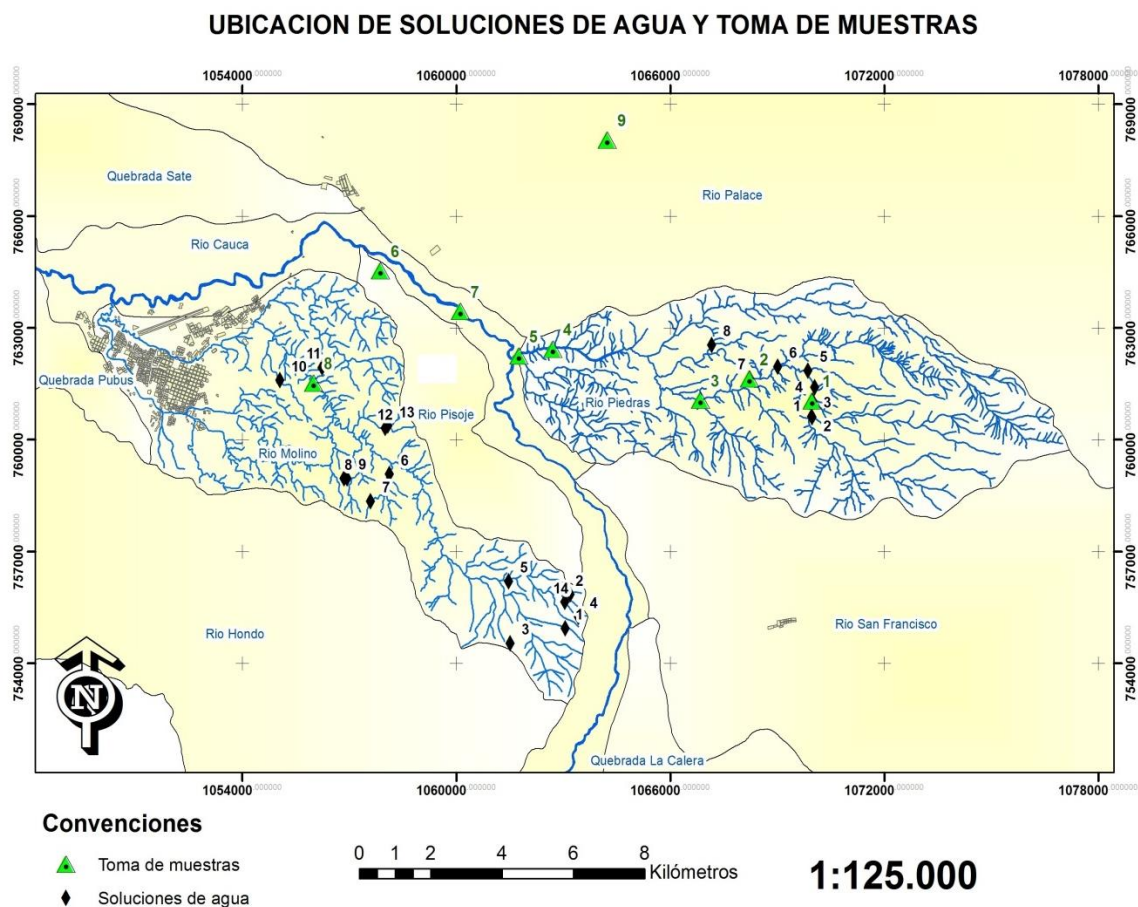


## 4 GENERALIDADES DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL

### 4.1 DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Las actividades de la práctica se realizaron en el Departamento del Cauca. Los aforos se realizaron en los acueductos veredales, soluciones de agua y zonas de conservación de las subcuencas del río Las Piedras y Molino. Y los estudios de análisis de calidad del agua corresponden a las subcuencas del río Piedras, Molino, Pisojé, Palacé y Cauca. La ubicación se presenta en la figura 1.

**Figura 1 Ubicación desarrollo del proyecto, departamento del Cauca.**



A continuación se muestra la tabla 1 donde se enumeran los puntos donde se realizaron los muestreos de los parámetros físico-químicos y bacteriológicos, los cuales se observan en el mapa.

**Tabla 1 ubicación puntos de muestreo**

<b>ID</b>	<b>LUGAR</b>	<b>SUBCUENCA</b>	<b>ELEVACION msnm</b>	<b>LATITUD</b>	<b>LONGITUD</b>
1	Puente Alto	Rio Piedras	2465	2°26'6.20"N	76°26'54.82"O
2	Bocatoma Diviso	Rio Piedras	2306	2°26'25.43"N	76°27'51.77"O
3	Descarga Diviso	Rio Piedras	2212	2°26'6.85"N	76°28'36.49"O
4	Puente Carretera	Rio Piedras	1993	2°26'51.48"N	76°30'50.30"O
5	Bocatoma Piedra	Rio Piedras	1932	2°26'45.48"N	76°31'21.20"O
6	Bocatoma PISOJÉ	Rio PISOJÉ	1847	2°28'0.03"N	76°33'26.92"O
7	Bocatoma Cauca	Rio Cauca	1854	2°27'24.46"N	76°32'14.40"O
8	Bocatoma Molino	Rio Molino	1821	2°26'21.95"N	76°34'27.48"O
9	Bocatoma Palace	Rio Palacé	1989	2°29'54.19"N	76°30'0.92"O

Las siguientes tablas muestran la ubicación de los acueductos veredales o soluciones de agua, donde fueron tomados los aforos ubicados en el mapa.

**Tabla 2 Ubicación puntos de aforo río las piedras**

<b>RÍO LAS PIEDRAS</b>					
<b>ID</b>	<b>Solución de agua</b>	<b>Quebrada</b>	<b>ELEVACION Msnm</b>	<b>LATITUD</b>	<b>LONGITUD</b>
1	Solución de agua Quintana	La Chorrera	2487	2°25'52.87"N	76°26'54.23"O
2	Finca de Miguel Escobar	La Cristalina	2486	2°25'53.20"N	76°26'53.90"O
3	Finca de Aida Lame	La Cristalina	2458	2°26'5.90"N	76°26'53.58"O
4	Llanos Guacas	Quebrada Carnicería	2434	2°26'18.10"N	76°26'51.70"O
5	Solución de agua Quebrada EL Trébol	Quebrada El Trébol	2410	2°26'32.87"N	76°26'57.79"O
6	Solución de agua Quebrada Santa Teresa	Quebrada Santa Teresa	2350	2°26'36.26"N	76°27'25.24"O
7	Canal abierto Quebrada Santa Teresa	Quebrada Santa Teresa	2309	2°26'25.41"N	76°27'51.12"O
8	Solución de agua Quebrada El Canelo	El Canelo	2294	2°26'54.96"N	76°28'25.50"O

**Tabla 3 Ubicación aforos río Molino**

<b>RÍO MOLINO</b>					
<b>ID</b>	<b>Aforo</b>	<b>Quebrada</b>	<b>ELEVACION msnm</b>	<b>LATITUD</b>	<b>LONGITUD</b>
1	El Arado (Santa Elena)	Canchoncho	2580	2°22'47.94"N	76°30'38.08"O
2	San Antonio	El Umuy	2530	2°23'17.26"N	76°30'33.59"O
3	San Rafael	La Palma	2580	2°22'34.79"N	76°31'28.28"O
4	Santa Elena	Alto Pesares	2615	2°22'57.81"N	76°30'26.20"O
5	Inter-veredal	San Antonio (inter-veredal)	2306	2°23'28.88"N	76°31'29.60"O
6	El sendero	Pata de Venado	2048	2°25'2.49"N	76°33'17.84"O
7	Santa Bárbara	El Chicle	2125	2°24'38.83"N	76°33'34.68"O
8	El Arado (Santa Bárbara)	La Honda	2046	2°24'58.69"N	76°33'58.68"O
9	El Sendero	La Honda	2055	2°24'58.89"N	76°33'56.09"O
10	Pueblillo Alto	Candamo	1943	2°26'24.80"N	76°34'8.93"O
11	Bosques del Río Molino	Cacería Puerto Amor	1896	2°26'35.81"N	76°34'18.77"O
12	El Hogar	Liceo Lame	2054	2°25'42.83"N	76°33'21.38"O
13	El Hogar	Cerro Alto-Los Chorritos	2075	2°25'44.95"N	76°33'18.96"O
14	San Antonio	Alto Pesares fuente alterna	2512	2°23'10.82"N	76°30'38.54"O

## **4.2 INFORMACIÓN DE LA EMPRESA**

### **4.2.1 Empresa de Acueducto y Alcantarillado De Popayán S.A. E.S.P.**

El objeto social de la Empresa lo constituye la prestación del servicio público de acueducto y alcantarillado consistente en la distribución municipal de agua apta para el consumo humano, incluida su conexión y medición y en las actividades complementarias, tales como captación de agua, procesamiento, tratamiento, almacenamiento, conducción y transporte de ésta. El servicio público de alcantarillado se refiere a la recolección municipal de residuos principalmente líquidos por medio de tuberías y conductos a las actividades complementarias de transporte, tratamiento y disposición final de tales residuos.

La gestión ambiental se refiere al conjunto de actividades destinadas al manejo integral de un sistema ambiental incluyendo el concepto de desarrollo sostenible que es la estrategia mediante la cual se organizan las actividades antrópicas que afectan al medio ambiente, con el fin de lograr una adecuada calidad de vida, previniendo o mitigando los problemas ambientales y sus efectos directos en la comunidad.

En este orden de ideas la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P. cuenta con la División Ambiental, la cual tiene como objetivo principal el coordinar, controlar, evaluar y hacer seguimiento a las actividades de planificación del uso del suelo, conservación del recurso hídrico y recuperación de las cuencas de abastecimiento de los procesos de captación y gestión ambiental (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P, 2016).

#### **4.2.2 Fundación Procuenca Río las Piedras**

Comprende las cuencas de abastecimiento del Acueducto y Alcantarillado de Popayán con los ríos Piedras, Molino, Pisojé, Palacé, Cauca y micro cuencas del sector urbano. Su principal objetivo es facilitar la integración de los factores sociales, biofísicos, técnicos y ambientales que garanticen sostenibilidad a la oferta hídrica en las principales cuencas abastecedoras del municipio de Popayán y de las microcuencas urbanas (SAATP, 2014).

## 5 METODOLOGIA

El desarrollo de la práctica empresarial consiste en dos partes, en la primera se determina la oferta hídrica de acueductos veredales o soluciones de agua y zonas de conservación, de las subcuencas río Las Piedras y río Molino. Se seleccionan los sitios a ser aforados teniendo en cuenta su ubicación y acceso. Luego se realizan los aforos volumétricos o por el método de Área- velocidad según las características del sitio, es importante resaltar la participación comunitaria a través de sus representantes para esta actividad. Con esto se logra identificar cual es la oferta hídrica de las diferentes fuentes en época de estiaje, como consecuencia del fenómeno El Niño. La información meteorológica fue suministrada por la fundación ya que ésta es tomada mensualmente, con la cual se realizaron mapas de lluvia para la comparación hidrológica en las zonas de aforo.

La segunda parte consiste en analizar la calidad del agua teniendo en cuenta parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de las principales fuentes de abastecimiento para el municipio de Popayán; río Las Piedras, río Molino, río Cauca, río Palacé y río Pisojé, para los años 2013 a 2015. La toma de muestras de estos parámetros está a cargo de funcionarios de la División Ambiental de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P., el análisis de las muestras se realiza en los laboratorios de la planta El Tablazo. Los resultados se analizan con el software ICATestv1 a partir de índices como El ICOMI, ICOMO e ICOpH.

A continuación se presentan las hojas de cálculo de los índices de contaminación del programa ICATest v1.0, con las cuales se calcularon los índices.

**Figura 2 Hoja de cálculo índice de contaminación por mineralización (ICOMI)**



**Figura 3 Hoja de cálculo índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)**



**Figura 4 Hoja de cálculo índice de contaminación por pH (ICOpH)**



En la parte inferior derecha de cada una de las anteriores figuras se muestra el cuadro de escala de color, el cual indica el grado de contaminación presentado. En la parte superior derecha de cada una de las figuras anteriores se muestra el cuadro de resultado, donde se indica el número de parámetros involucrados en el cálculo del índice, el valor del índice, la clasificación, el rango y la escala de color. Posteriormente los resultados de los índices fueron ingresados a hojas de cálculo de excel donde se realizaron las gráficas del comportamiento de los índices a través del tiempo en los ríos estudiados.

## **6 MARCO REFERENCIAL**

Para el presente trabajo es importante conocer los términos relacionados con oferta hídrica y calidad de agua para tener más claro sobre lo que se está hablando, como los presentados a continuación:

### **6.1 Índice de calidad del agua**

Consiste básicamente en una expresión simple de una combinación más o menos compleja de un número de parámetros, los cuales sirven como una medida de la calidad del agua. El índice puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o un color (Fernández, 2005).

### **6.2 ICATest v1.0**

Es un software diseñado para asistir a expertos, académicos, agencias del sector e inclusive al público en general, en la valoración de la calidad del agua del sistema o recurso hídrico de su escogencia, con la ventaja de presentar la información de una manera sencilla, amable y fácilmente entendible por los distintos usuarios, en consideración a su marco unificado de criterios. Esta herramienta computacional, facilita el cálculo de gran variedad y cantidad de índices de calidad y de contaminación del agua, los cuales se presentan discriminados por país y/o autor (Fernández, 2005).

### **6.3 Fenómeno del Niño**

El fenómeno El Niño es una de las fases extremas dentro del ciclo ENOS, que es la causa de la mayor señal de la variabilidad climática interanual, en la zona tropical (Pabón & Montealegre, 2008). El Niño está asociado con la aparición y permanencia por varios meses de aguas superficiales relativamente más cálidas que lo normal desde el Pacífico tropical central hasta las costas del norte de Perú,



Ecuador y sur de Colombia. Este calentamiento de la superficie del Océano Pacífico cubre grandes extensiones y por su magnitud afecta el clima en diferentes regiones del planeta (Montealegre, 2009).

A continuación se describen los índices de contaminación que serán estudiados como también sus respectivas formulas, la información es tomada de Fernández y Solano (2005).

#### 6.4 Índice de Contaminación por Mineralización – ICOMI

Integra conductividad, dureza y alcalinidad. Este índice se define en un rango de 0 a 1, a medida que el valor va aumentando, también aumenta la contaminación por mineralización.

$$ICOMI = \frac{1}{3} (I_{\text{conductividad}} + I_{\text{Dureza}} + I_{\text{Alcalinidad}})$$

Dónde:

$$I_{\text{Conductividad}} = \log_{10} \cdot I_{\text{Conductividad}} = -3,26 + 1,34 \log_{10} \cdot \text{Conductividad}(\mu\text{S}/\text{cm})$$

$$I_{\text{Conductividad}} = 10^{\log I_{\text{Conductividad}}}$$

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

$$I_{\text{Dureza}} = -9,09 + 4,40 \log_{10} \text{Dureza}(\text{mg}/\text{L})$$

$$I_{\text{Dureza}} = 10^{\log I_{\text{Dureza}}}$$

Durezas mayores a 110 mg/L tienen un índice = 1

Durezas menores a 30 mg/L tienen un índice = 0

$$I_{\text{Alcalinidad}} = -0.25 + 0.005 \text{Alcalinidad}(\text{mg}/\text{L})$$

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

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

## 6.5 Índice de Contaminación por Materia Orgánica – ICOMO

Conformado por Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Coliformes Totales y Porcentaje de Saturación de Oxígeno. Este índice se define en un rango de 0 a 1, a medida que el valor va aumentando, también aumenta la contaminación por materia orgánica.

$$ICOMO = \frac{1}{3} (I_{DBO} + I_{Coliformes} + I_{oxigeno\%})$$

Dónde:

$$I_{DBO} = -0,05 + 0,70 \log_{10} DBO (mg/L)$$

DBO > 30 (mg/l) = 1

DBO < 2 (mg/l) = 0.

$$I_{Coliformes\ Totales} = -1,44 + 0,56 \log_{10} Col. Tot. (NMP/100ml)$$

Coliformes Totales > 20.000 (NMP/100 ml) = 1

Coliformes Totales < 500 (NMP/100 ml) = 0.

$$I_{Oxigeno\%} = 1 - 0,01Oxigeno\%$$

Oxígenos (%) mayores a 100% tienen un índice de oxígeno de 0.

Para sistemas lénticos con eutrofización y porcentajes de saturación mayores al 100%, se sugiere reemplazar la expresión por:

$$I_{Oxigeno\%} = 0,01Oxigeno\% - 1$$

## 6.6 Índice de Contaminación por PH – ICOPH

Índice calculado a partir de la variación del pH en un cuerpo de agua. Este índice se define en un rango de 0 a 1, a medida que el valor va aumentando, también aumenta la contaminación por pH.

$$ICOpH = \frac{e^{-31,08+3,45pH}}{1 + e^{-31,08+3,45pH}}$$

## 7 RESULTADOS Y ANALISIS

La siguiente tabla muestra los caudales promedio de los acueductos veredales y soluciones de agua durante los meses de octubre a febrero, el porcentaje de captación corresponde a la cantidad porcentual de agua tomada por dicho acueducto, el cual se determinó de la resta de los porcentajes de agua, cabe resaltar que en esta época se presentó el fenómeno El Niño. En las tablas de los **Anexos A y B**, se muestran los caudales con que se calcularon los caudales promedio.

**Tabla 4. Caudal promedio acueductos veredales subcuena río Molino.**

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

**Tabla 5. Caudal promedio acueductos veredales subcuenca río Las Piedras.**

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

**Figura 5. Aforo área-velocidad o con molinete**



Fuente: elaboración propia

**Figura 6. Aforo volumétrico**



Fuente: elaboración propia

A continuación se muestran los mapas de lluvias que fueron elaborados a partir de los datos de las estaciones meteorológicas del área de estudio.

Figura 7. Mapa de lluvias e isoyeta media mensual subcuenca río Piedras octubre 2015.

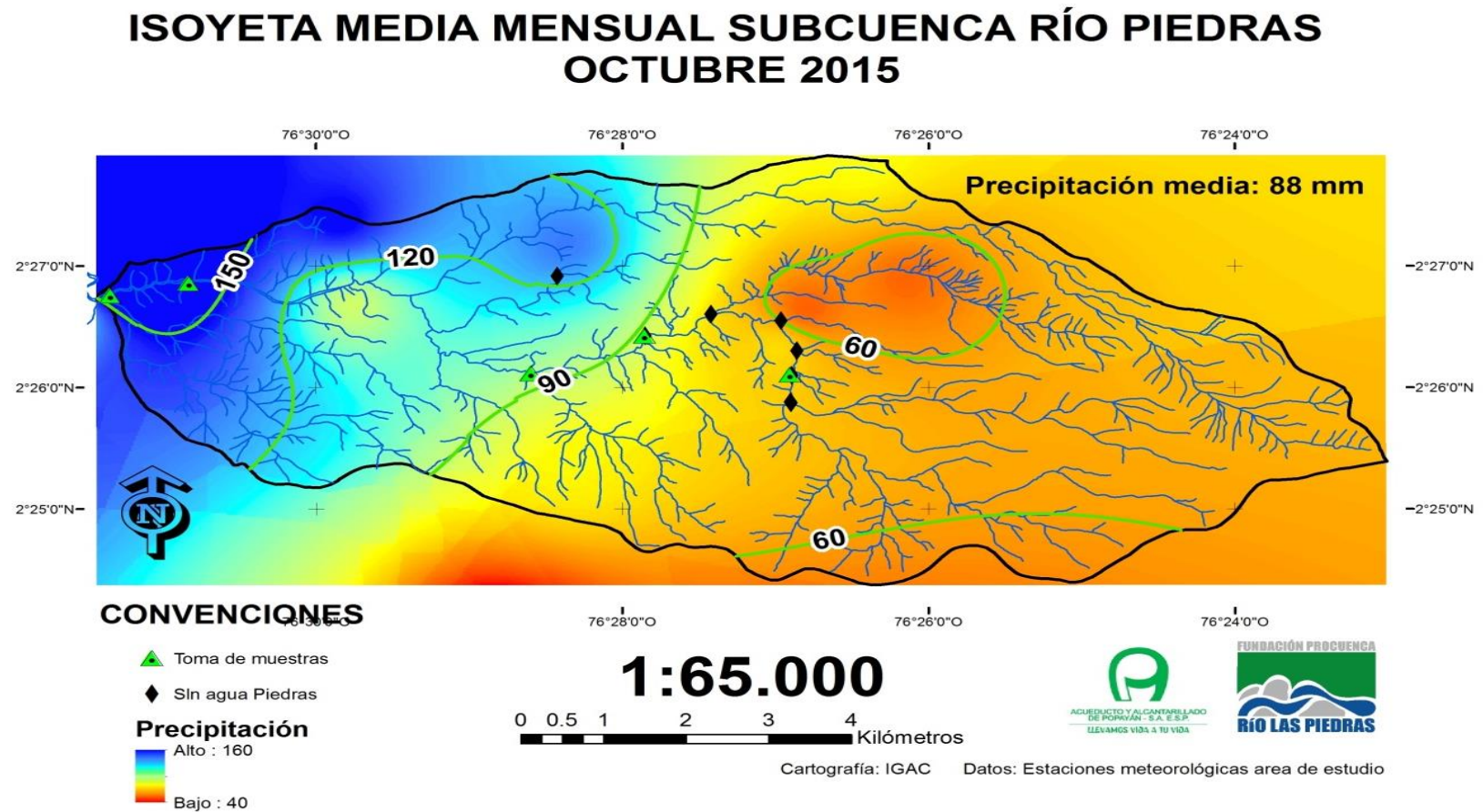


Figura 8. Mapa de lluvias e isoyeta media mensual subcuenca río Piedras noviembre 2015.

## ISOYETA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO PIEDRAS NOVIEMBRE 2015

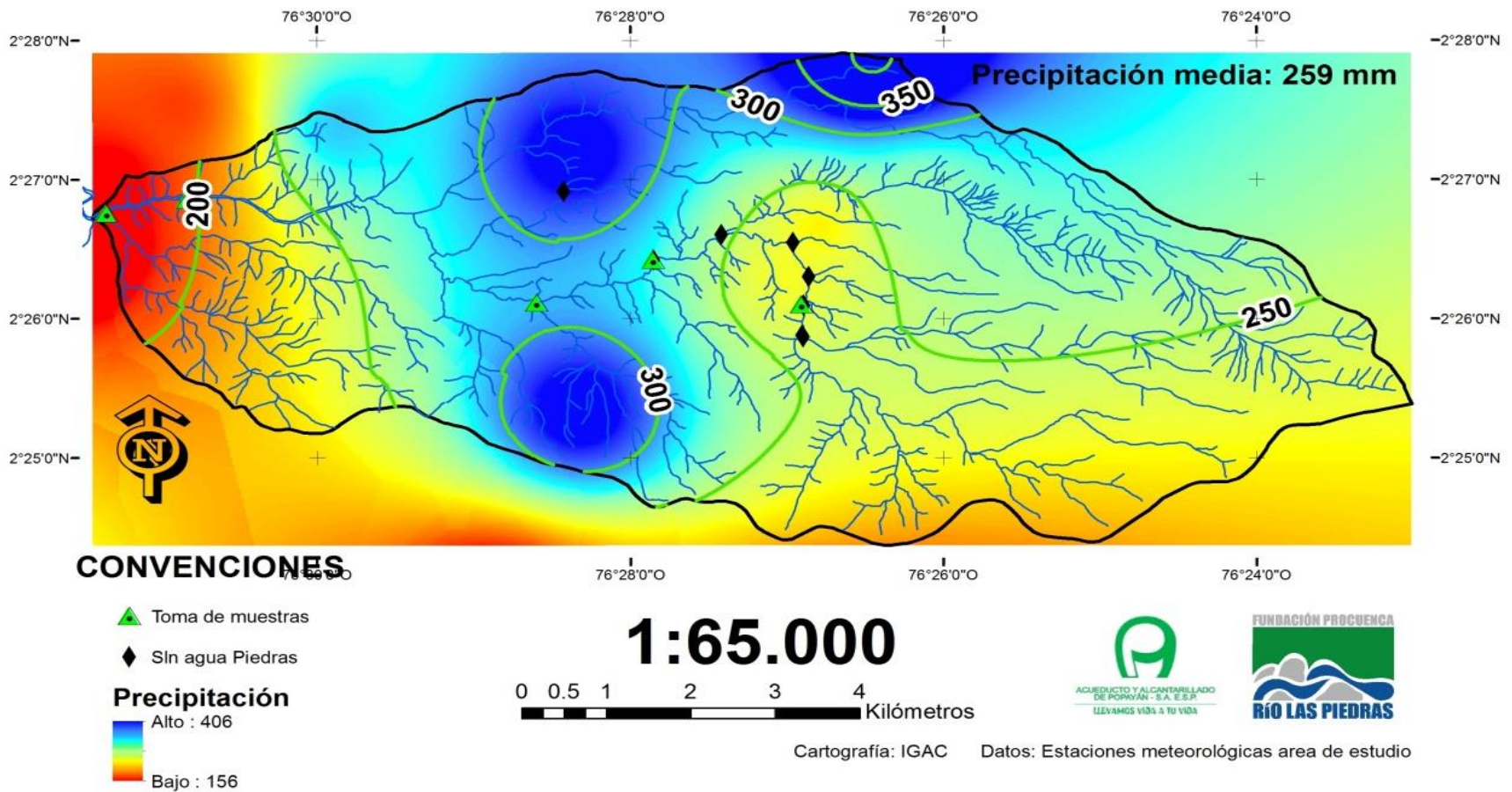


Figura 9. Mapa de lluvias e isoyeta media mensual subcuenca río Piedras diciembre 2015.

## ISOYETA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO PIEDRAS DICIEMBRE 2015

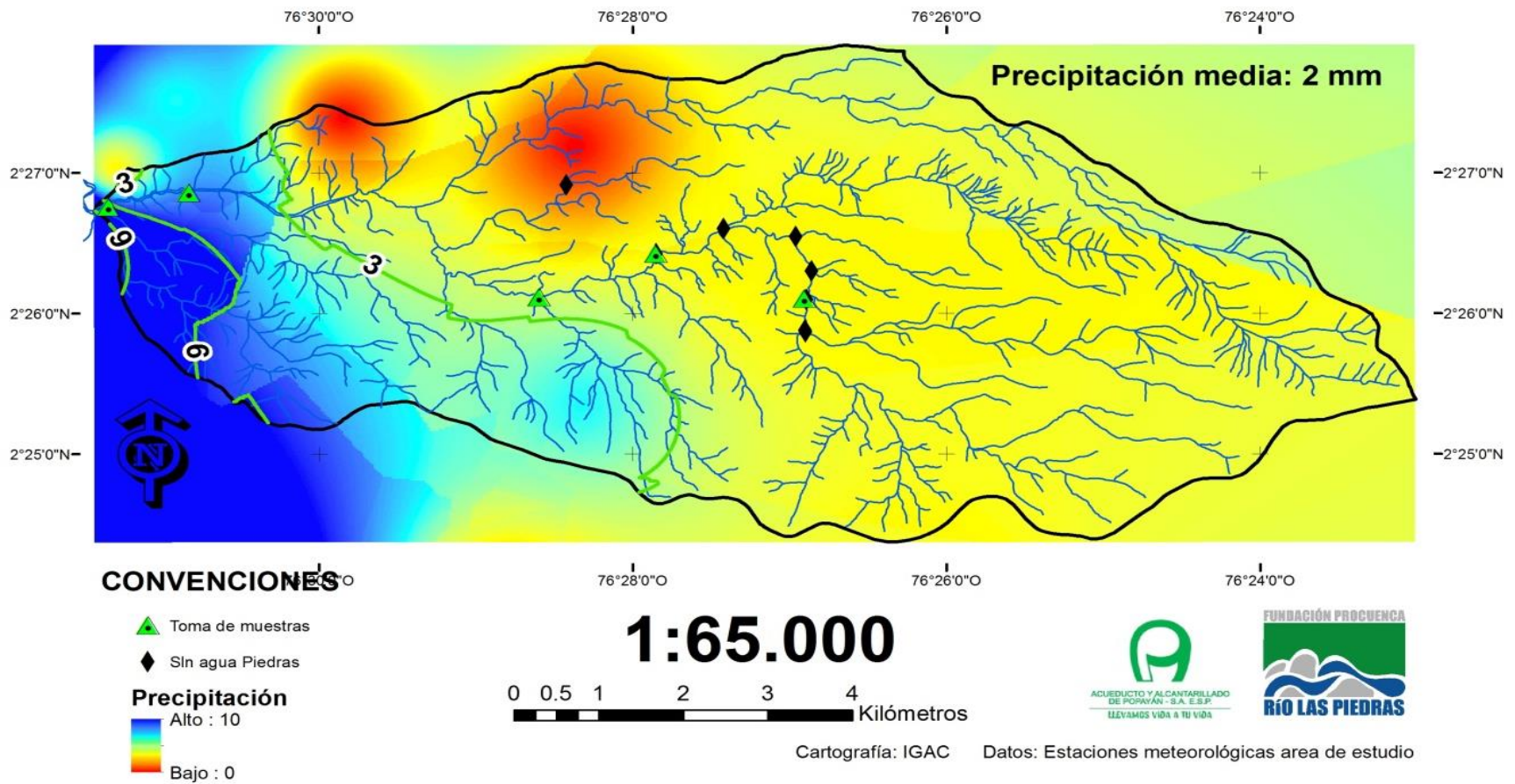




Figura 10. Mapa de lluvias e isoyeta media mensual subcuenca río Piedras enero 2016.

## ISOYETA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO PIEDRAS ENERO 2016

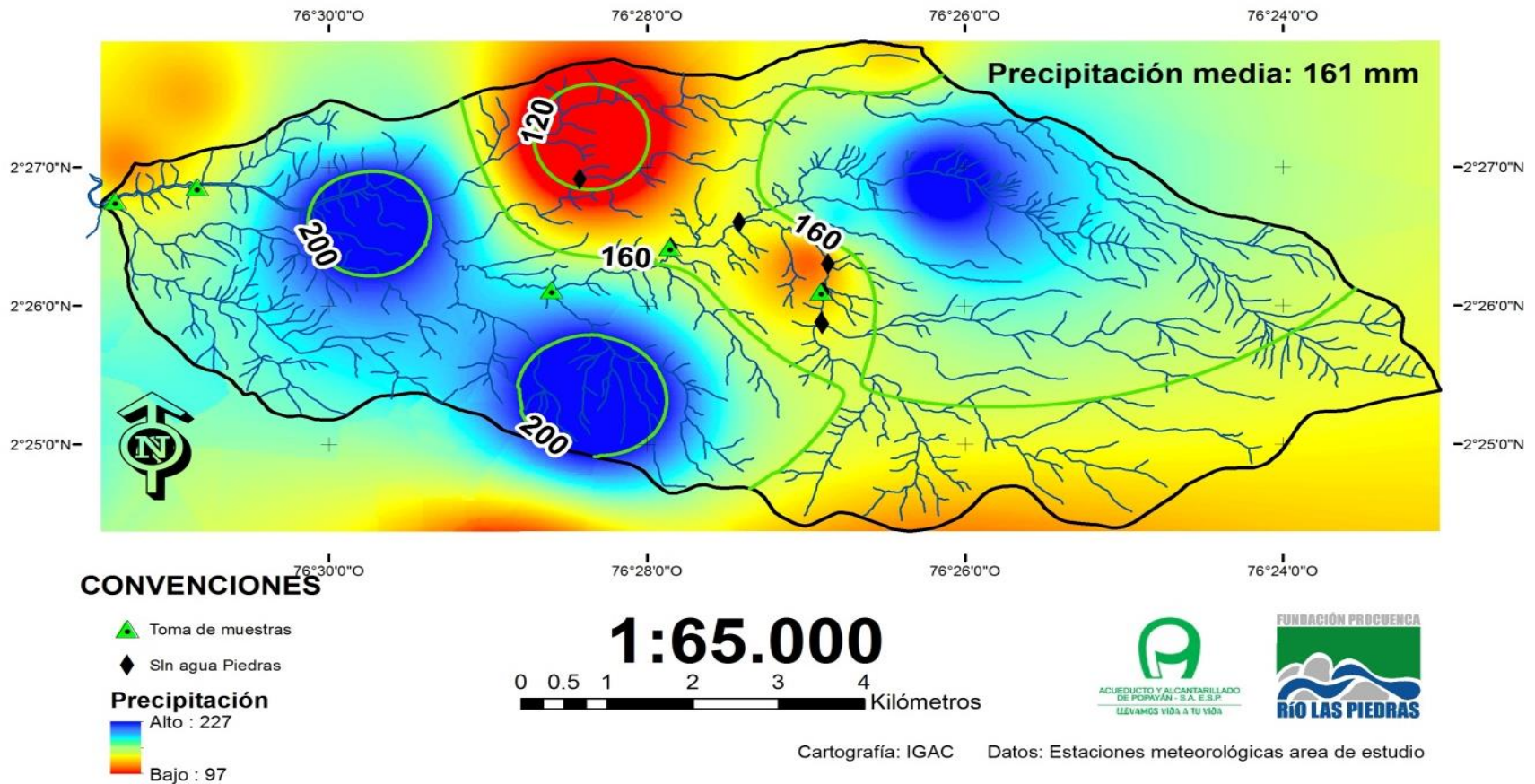
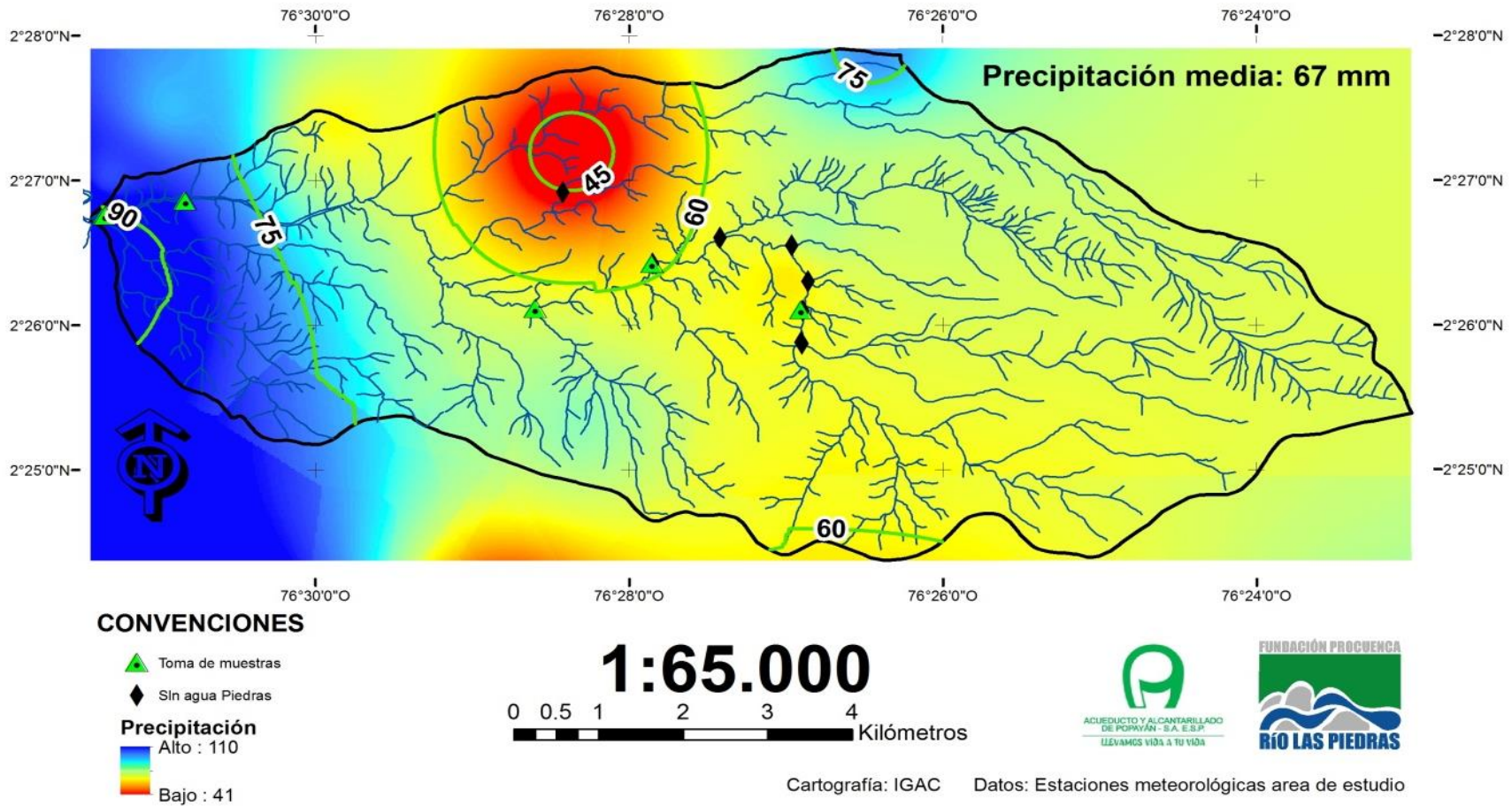
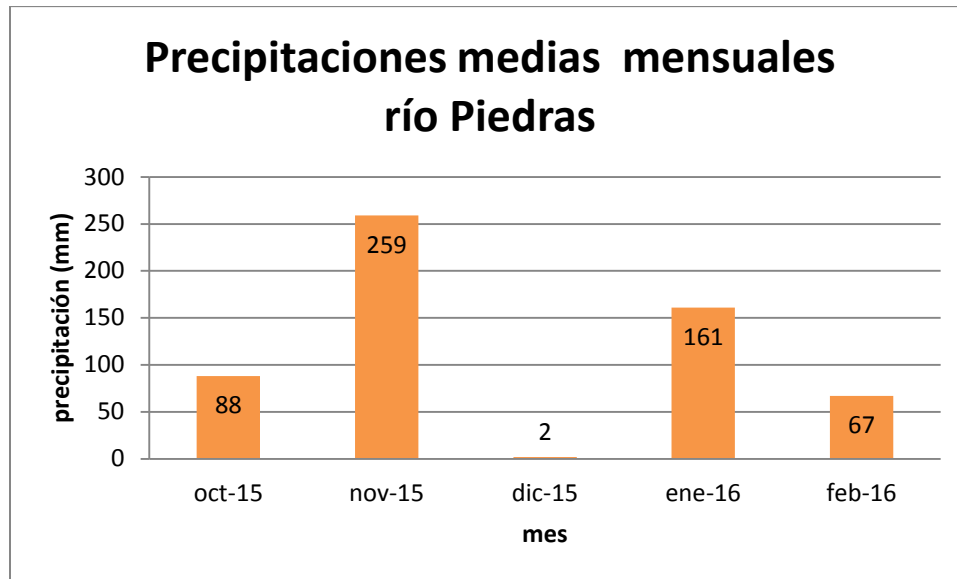


Figura 11. Mapa de lluvias e isoyeta media mensual subcuenca río Piedras febrero 2016.

## ISOYETA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO PIEDRAS FEBRERO 2016



**Gráfica 1. Precipitaciones medias mensuales río Piedras.**



La **Gráfica 1**, muestra las precipitaciones medias mensuales del río Las piedras en los meses octubre de 2015 a febrero de 2016, en octubre se presentó una precipitación de 88mm, en el mes de noviembre aumento a 259 mm en diciembre bajo drásticamente a 2mm, en el mes de enero aumento a 161mm y en febrero volvió a disminuir a 67 mm, al ser comparados estos valores con los valores de los caudales mensuales presentados en el **Anexo B**. Se observa que en los meses de octubre y diciembre, en varios de los puntos de muestreo, se presentaron valores más bajos que en los otros meses, lo que corresponden a las precipitaciones bajas en estos meses.

Figura 12. Mapa de lluvias e isoyeta media mensual subcuenca río Molino octubre 2015.

### ISOYETA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO MOLINO OCTUBRE 2015

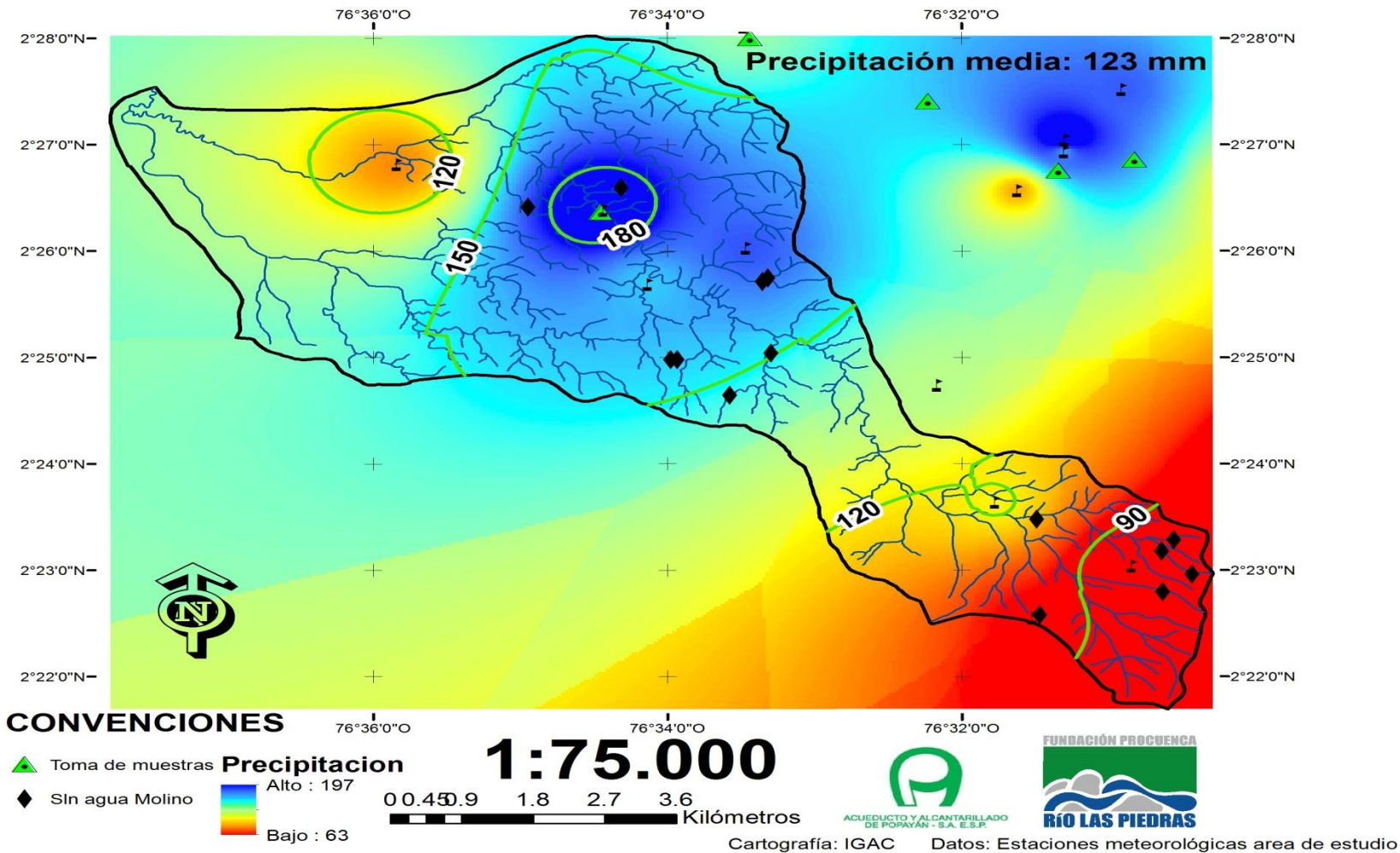


Figura 13. Mapa de lluvias e isoyeta media mensual subcuenca río Molino noviembre 2015.

### ISOYETA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO MOLINO NOVIEMBRE 2015

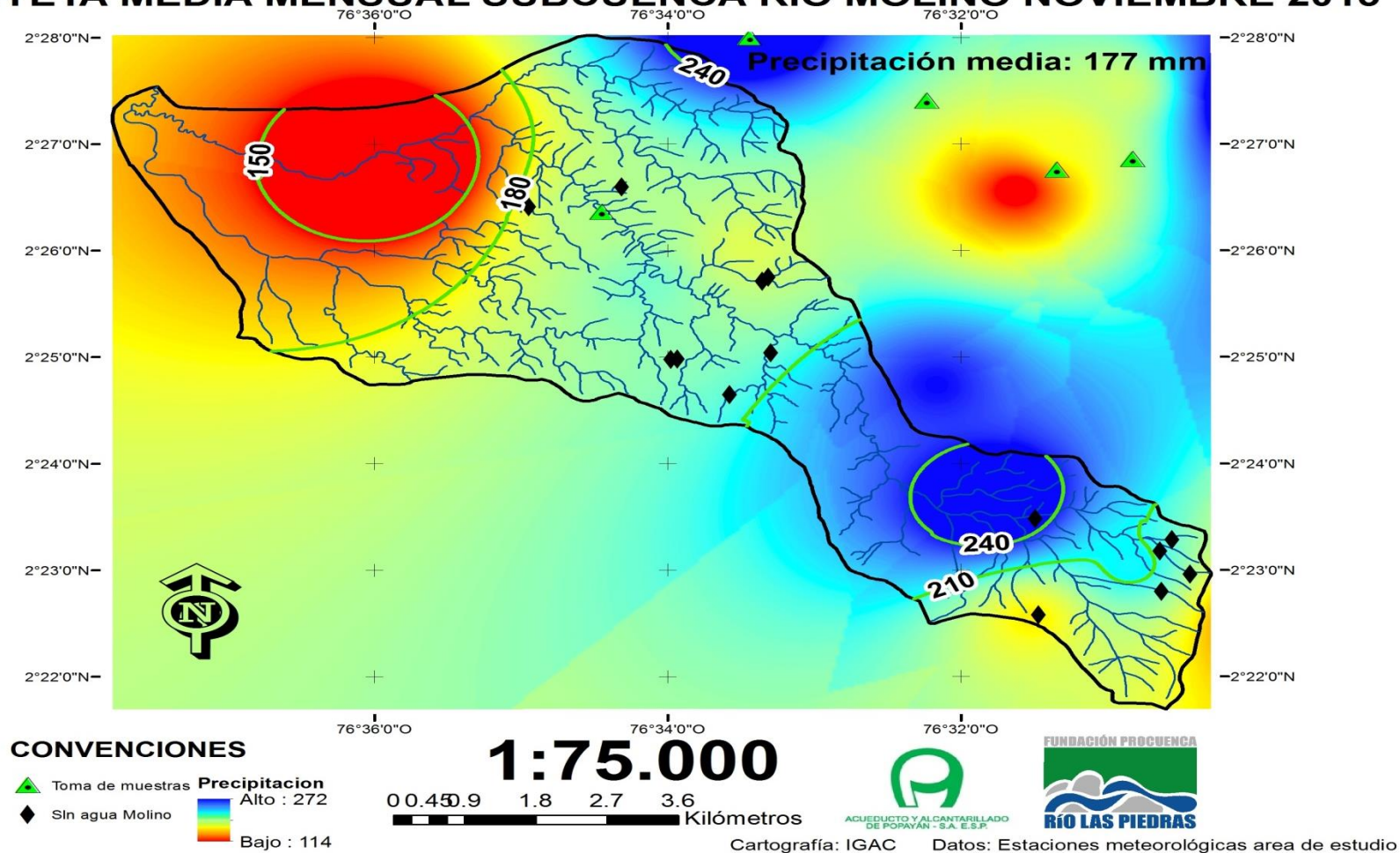


Figura 14. Mapa de lluvias e isoyeta media mensual subcuenca río Molino diciembre 2015.

### ISOYETA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO MOLINO DICIEMBRE 2015

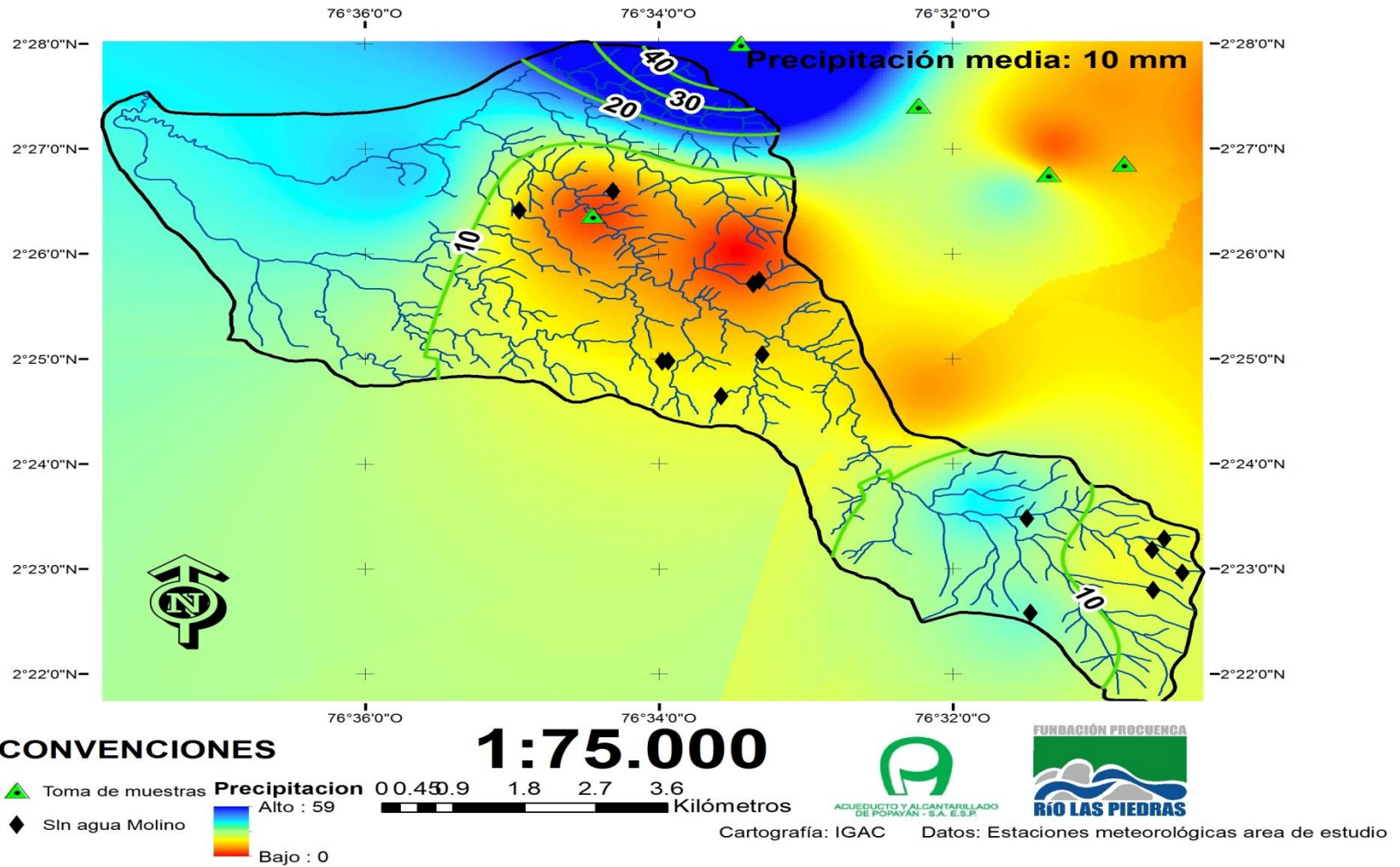
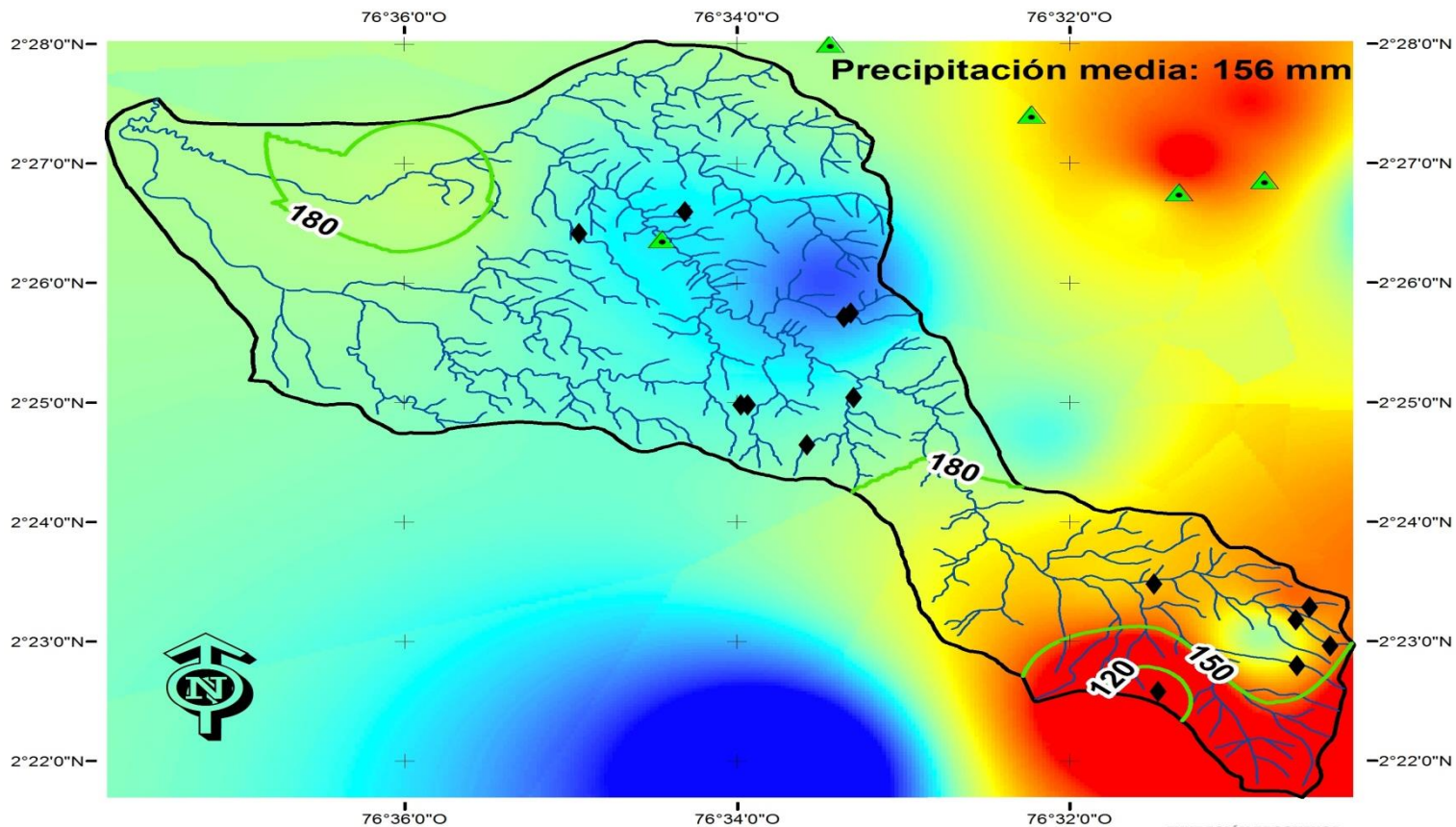


Figura 15. Mapa de lluvias e isoyeta media mensual subcuenca río Molino enero 2016.

### ISOYETA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO MOLINO ENERO 2016



#### CONVENCIONES

- ◆ Sin agua Molino
  - ▲ Toma de muestras
- Precipitación**  
 Alto : 250  
 Bajo : 106

**1:75.000**  
 0 0.45 0.9 1.8 2.7 3.6 Kilómetros

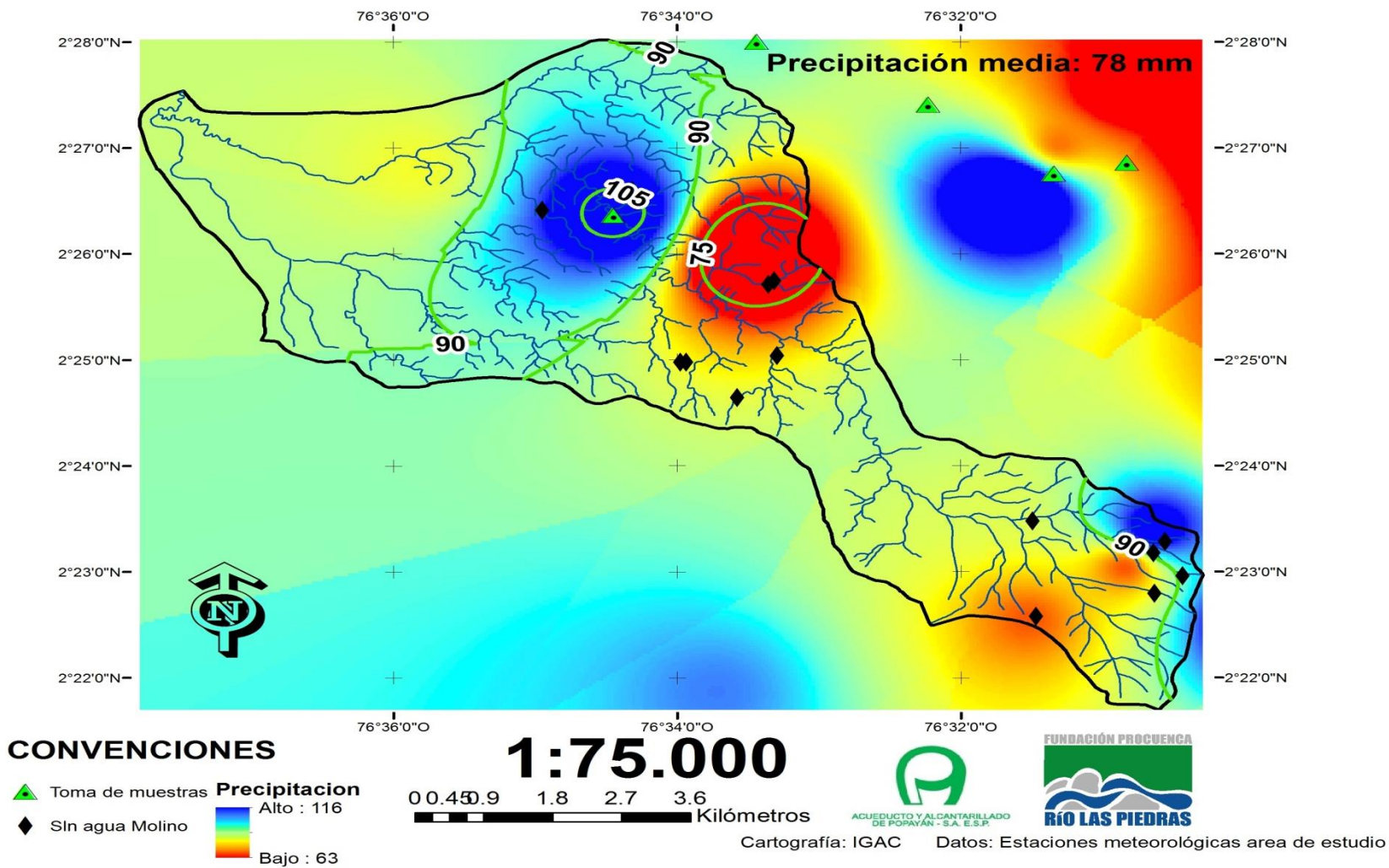


Cartografía: IGAC

Datos: Estaciones meteorológicas area de estudio

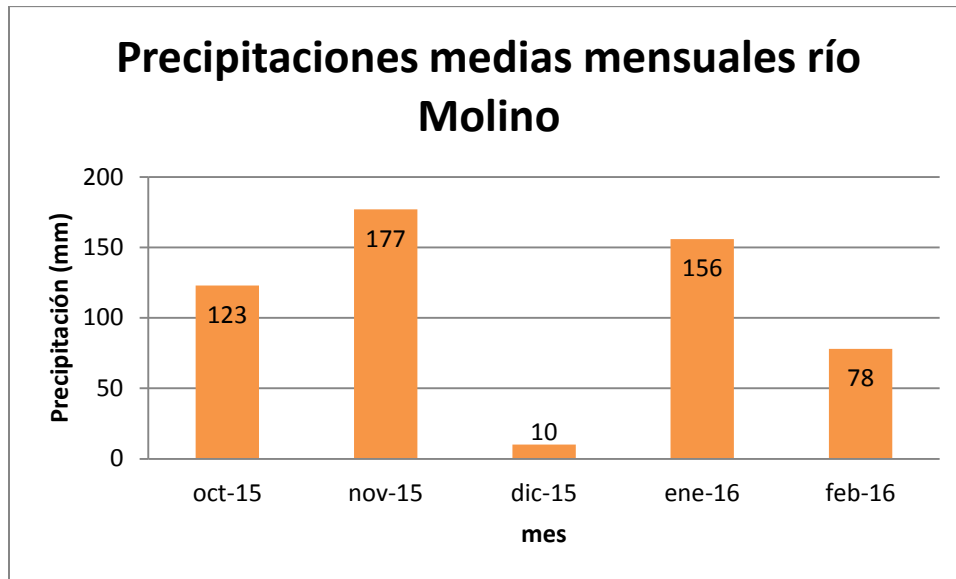
Figura 16. Mapa de lluvias e isoyeta media mensual subcuenca río Molino febrero 2016.

### ISOYETA MEDIA MENSUAL SUBCUENCA RÍO MOLINO FEBRERO 2016





**Gráfica 2. Precipitaciones medias mensuales río Molino.**



La **Gráfica 2**, muestra las precipitaciones medias mensuales del río Molino en los meses octubre de 2015 a febrero de 2016, en octubre se presentó una precipitación de 123mm, en el mes de noviembre aumento a 177 mm en diciembre bajo drásticamente a 10mm, en el mes de enero aumento a 156mm y en febrero volvió a disminuir a 78mm, al ser comparados estos valores con los valores de los caudales mensuales presentados en el **Anexo A**. Se observa que en los meses de octubre y diciembre, en varios de los puntos de muestreo, se presentaron valores más bajos que en los otros meses

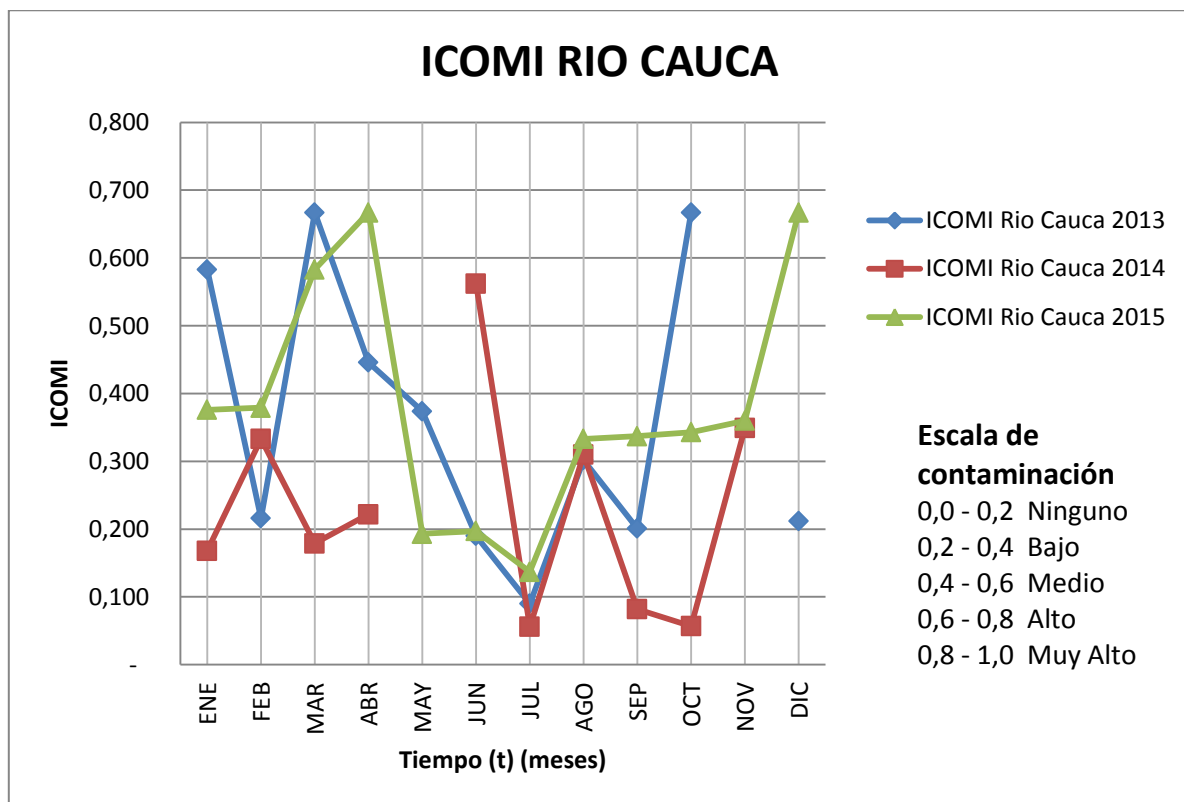
Al ser comparadas las **Gráficas 1 y 2**, se observa que tuvieron un comportamiento similar, con aumentos y disminuciones en los mismos meses, siendo más fuerte la disminución de la precipitación en el mes de diciembre, afectando de esta manera el caudal de las fuentes analizadas.

A continuación se muestra las gráficas obtenidas para los índices de contaminación y su respectivo análisis

Partiendo de la información de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, se determinó que los índices que se pueden calcular con el programa ICATest, son el ICOMI, ICOMO e ICOpH. Tanto las tablas como las gráficas muestran ciertos vacíos, que indican la ausencia del dato correspondiente. Las tablas de resultados con que se hicieron las gráficas, se muestran en el **Anexo C**.

### Resultados río Cauca

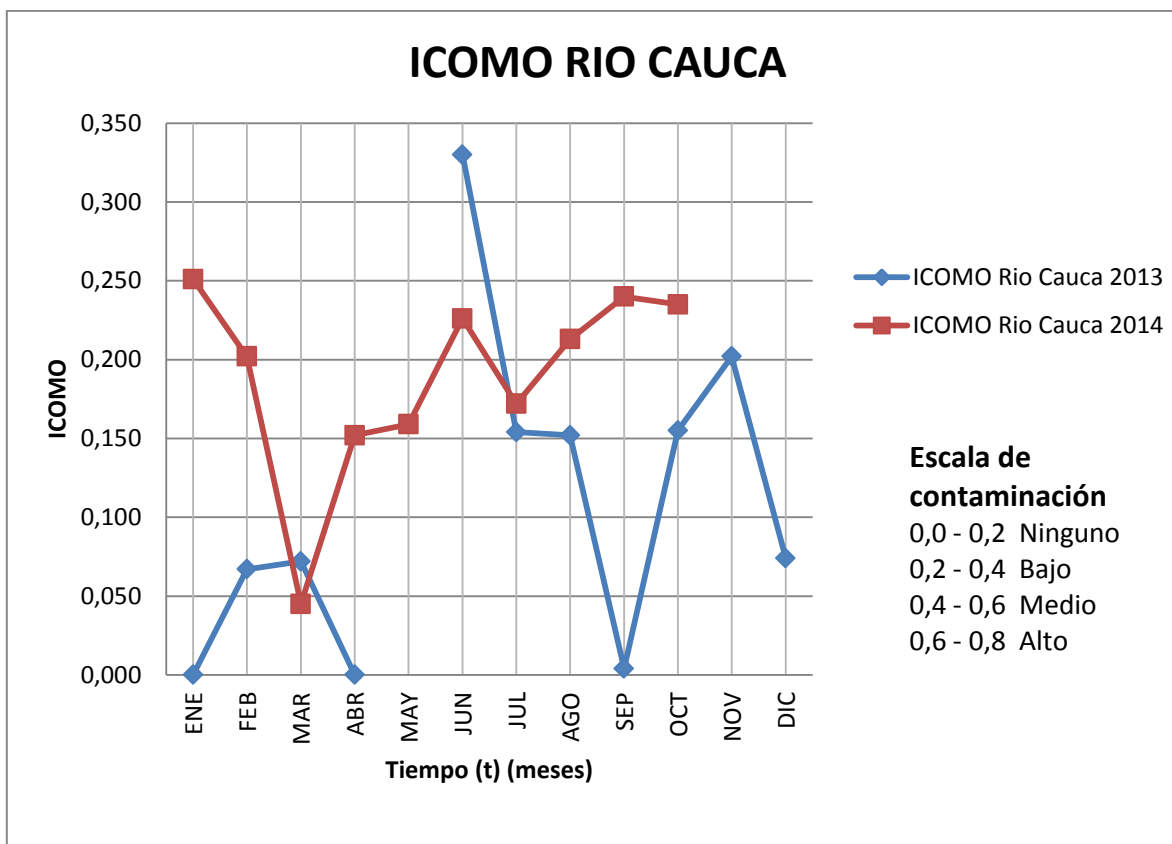
**Gráfica 3. Índice de contaminación por mineralización ICOMI río Cauca.**



La **Gráfica 3**, muestra que el río Cauca presentó variación en cuanto al índice de contaminación por mineralización ICOMI en cada uno de los años estudiados 2013, 2014 y 2015. No hubo un comportamiento similar a través del tiempo. De

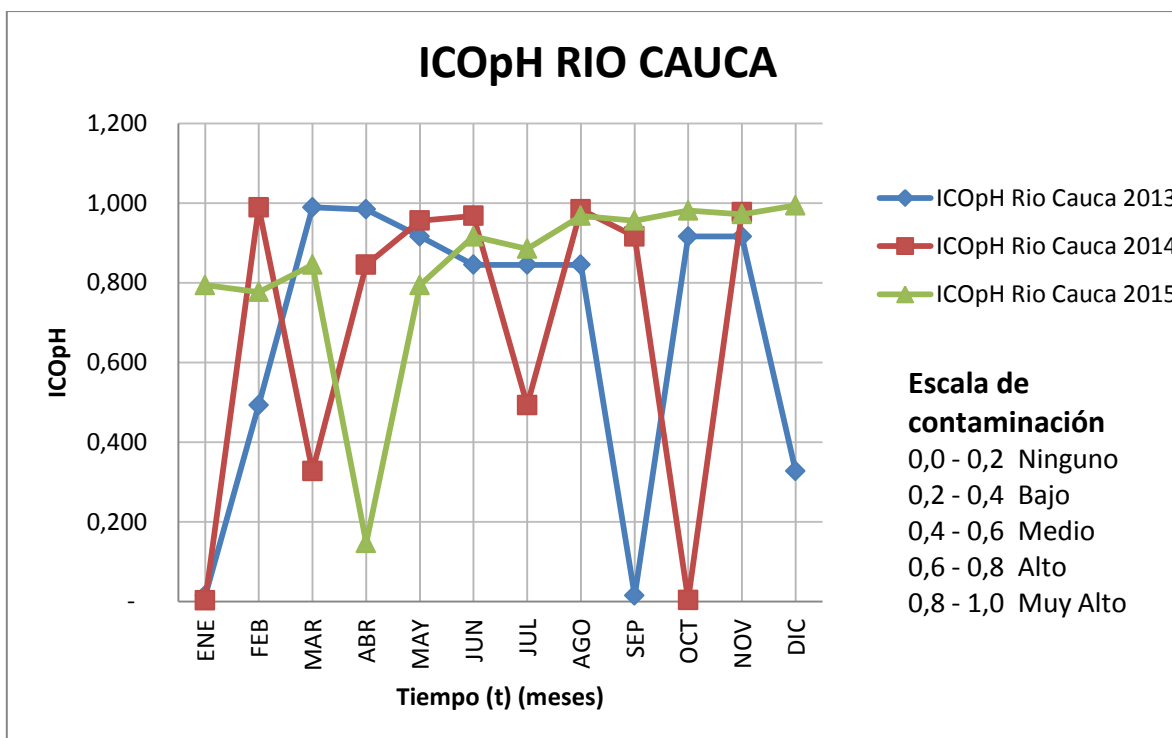
acuerdo con la escala de contaminación que se muestra en la gráfica, se presentaron 10 valores que indica que no se presentó ninguna contaminación por mineralización, se presentaron 15 valores en el rango de contaminación baja, para una contaminación media se presentaron 4 y para una alta contaminación se presentaron también 4 valores, por lo tanto, se observa que el ICOMI tiene una tendencia baja o nula para el periodo estudiado, a pesar de esto, se nota la presencia de valores altos en algunos meses en los parámetros involucrados en el ICOMI, y de esta manera un alto contenido de cationes de magnesio y calcio que son los más abundantes en la dureza, igualmente se infieren valores altos de conductividad ya que esta involucra el contenido de sales y solidos disueltos. Es importante resaltar que en el año 2015 los valores de alcalinidad fueron de 0, lo que puede generar disminución en el valor del índice, y disminuir la capacidad del agua para neutralizar los ácidos.

**Gráfica 4. Índice de contaminación por materia orgánica ICOMO río Cauca.**



La **Gráfica 4**, muestra el comportamiento del índice de contaminación por materia orgánica ICOMO para los años 2013 y 2014. El comportamiento del índice a través del tiempo fue variado, de acuerdo a la escala de contaminación mostrada en la gráfica, se presentaron 13 valores con nula contaminación y 8 de baja contaminación. En el año 2013 la mayoría de valores están por debajo de 0,2 mostrando que no se presentó contaminación por materia orgánica exceptuando el mes de junio que obtuvo el pico más alto de 0,330, el cual se ubica en un rango de contaminación baja e indicar alto contenido de materia orgánica en este mes, lo que generaría disminución de oxígeno.

**Gráfica 5. Índice de contaminación por pH ICOpH en el río Cauca.**

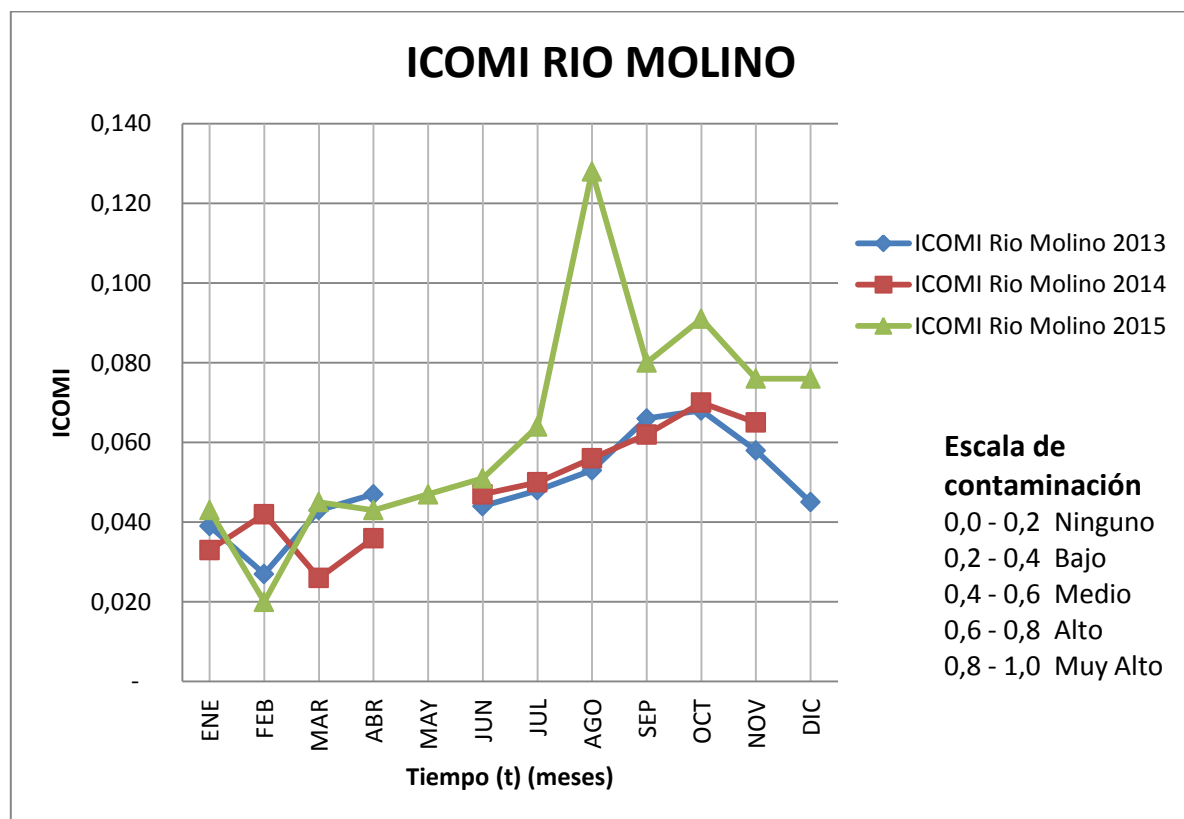


La **Gráfica 5**, muestra el comportamiento del índice de contaminación por pH, ICOpH estudiado para los años 2013, 2014 y 2015, de acuerdo a la escala de contaminación mostrada en la gráfica, se presentaron 5 valores sin ninguna contaminación, 2 valores de contaminación baja, 2 de media contaminación, 3 de alta y 23 de muy alta contaminación, siendo esta última la más predominante, lo que indica valores de pH ácidos, indicando una alta contaminación por la

variación del pH, como ya se dijo anteriormente en el 2015 la alcalinidad fue de 0 lo que es necesario tener en cuenta, ya que la presencia de alcalinidad es la suma total de los componentes en el agua que tienden a elevar el pH del agua por encima de un cierto valor, entonces la presencia de alcalinidad evita cambios bruscos en el pH, razón por la cual en el 2015, se presentaron altos valores de ICOPH, siendo abril el único mes de este año que no presentó contaminación. Los valores de pH en el río Cauca durante los años estudiados presentaron valores ácidos indicando así componentes que disminuyen el pH como lo son dióxido de carbono, ácidos minerales, ácidos poco disociados, sales de ácidos fuertes y bases débiles.

### Resultados río Molino

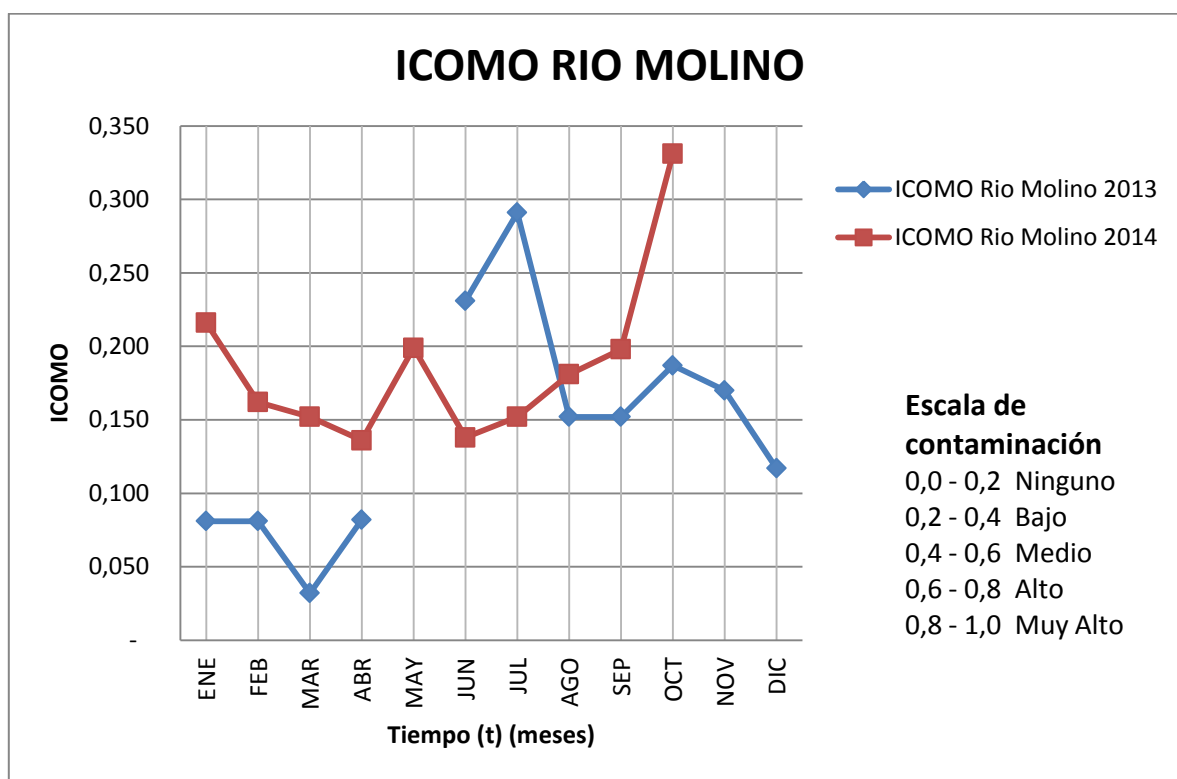
**Gráfica 6. Índice de contaminación por mineralización ICOMI río Molino.**



La **Gráfica 6**, muestra el ICOMI para el río Molino, de acuerdo a la escala de contaminación, no presento contaminación por mineralización en ninguno de los

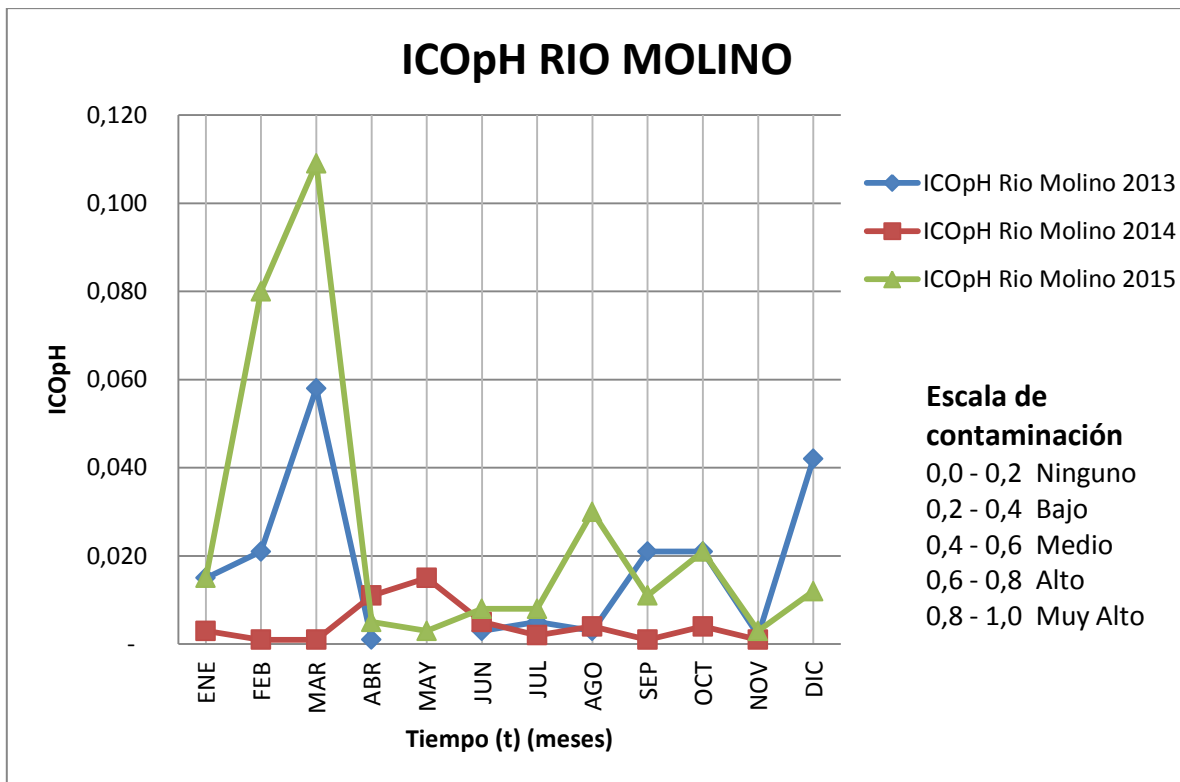
años estudiados 2013, 2014 y 2015, también se observó un comportamiento similar en el tiempo, con algunas variaciones en los primeros meses y mostrando más similitud en los años 2013 y 2014 en los meses de junio a noviembre, en el año 2015 se observan valores más altos a partir de junio presentando un pico en el mes de agosto lo que podría indicar un pequeño aumento en el contenido de sales disueltas pero igual sin ser significativo para indicar contaminación por mineralización.

**Gráfica 7. Índice de contaminación por materia orgánica ICOMO río Molino.**



La **Grafica 7**, muestra el comportamiento del ICOMO en el río molino, en cuanto a la escala de contaminación mostrada en la gráfica, se presentaron 17 valores sin contaminación y 4 con baja contaminación por materia orgánica, siendo más los valores que indican ninguna contaminación, el pico más alto de 0,331 ubicado en el rango de baja contaminación, éste se presentó en octubre de 2014, indicando así aumento en esta fecha en los parámetros involucrados y por tanto aumento de materia orgánica en este mes, igual que en julio de 2013 donde se presentó otro pico alto de 0,291 también ubicado en el rango de baja contaminación.

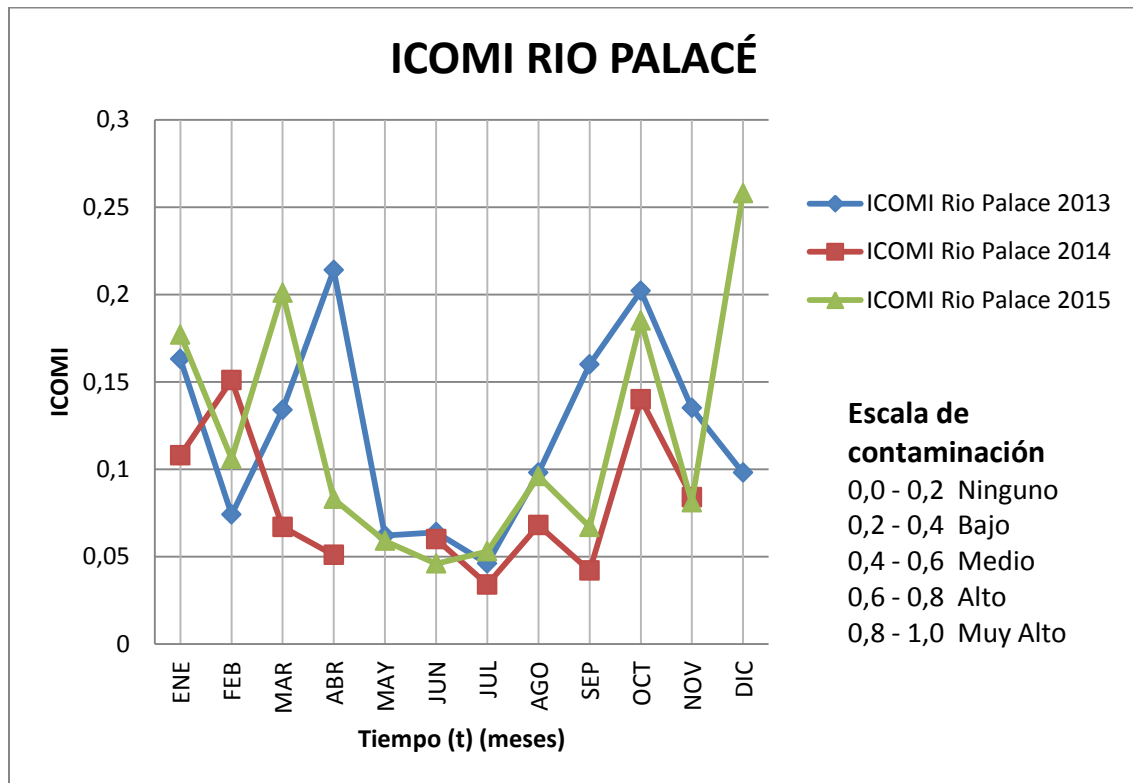
**Gráfica 8. Índice de contaminación por pH ICOpH río Molino.**



La **Grafica 8**, presenta el ICOpH para el río Molino, en cuanto a la escala de contaminación mostrada, el río Molino durante los años 2013, 2014 y 2015, presentó valores bajos de ICOpH indicando ninguna contaminación por pH. Con algunos picos de 0,058 en marzo de 2013, de 0,080 en febrero y de 0,109 en marzo de 2015 los cuales muestran variación del pH a ácido, igualmente estos valores no son significativos para indicar contaminación.

## Resultados río Palacé

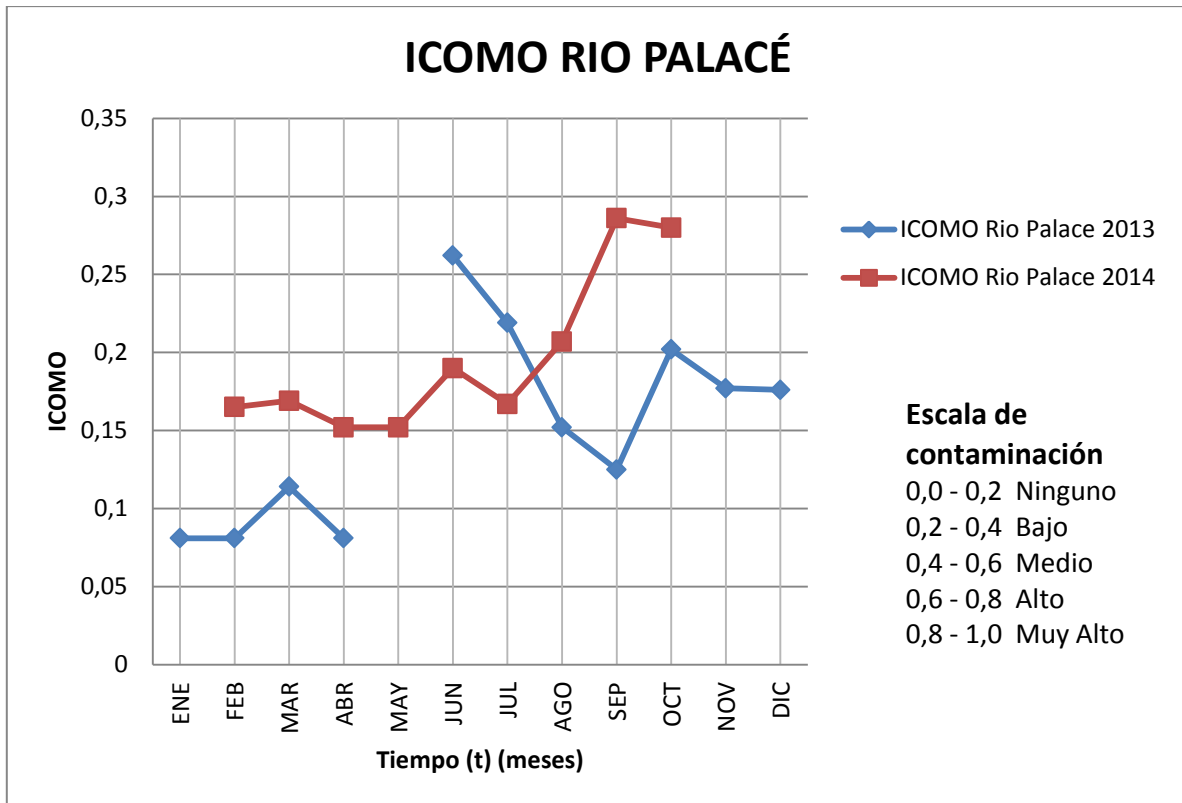
Gráfica 9. Índice de contaminación por mineralización ICOMI río Palacé.



La **Grafica 9**, muestra el ICOMI para el río Palacé estudiado para los años 2013, 2014 y 2015, en cuanto a la escala de contaminación mostrada, presentó 30 valores indicando ninguna contaminación y 4 valores ubicados en el rango de baja contaminación por mineralización, siendo diciembre de 2015 con 0,258 el pico más alto, ubicado también en el rango de baja contaminación, lo que indica un posible aumento en las sales disueltas durante este mes.

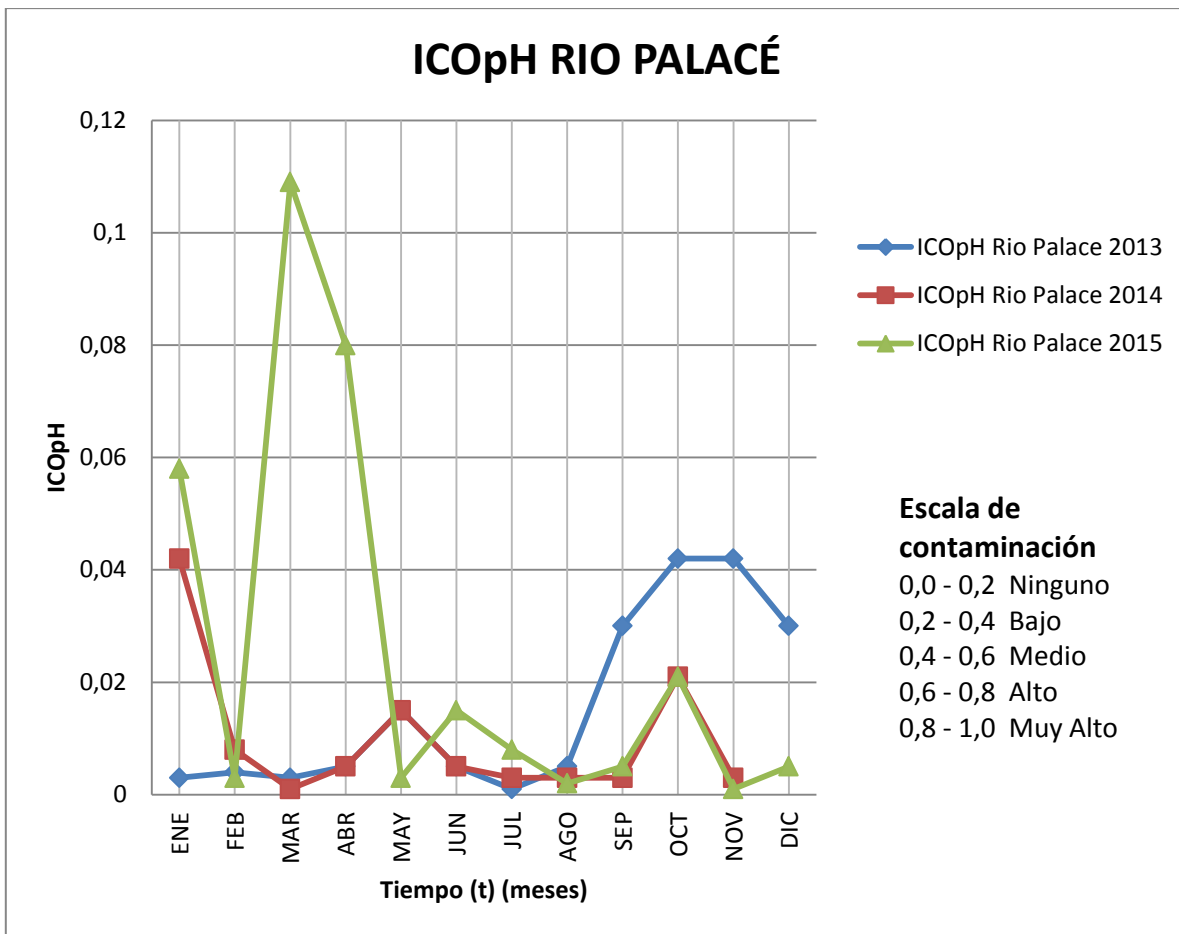


**Gráfica 10. Índice de contaminación por materia orgánica ICOMO río Palacé.**



La **Gráfica 10**, presenta el comportamiento del ICOMO para el río Palacé durante los años 2013 y 2014, en cuanto a la escala de contaminación mostrada, se presentaron 14 valores que indican ninguna contaminación y 6 de baja contaminación. En el año 2014 se presentaron los picos mayores en los meses de septiembre con 0,286 y octubre con 0,28, ambos ubicados en un rango de baja contaminación, lo que podría indicar que hubo un mayor contenido de materia orgánica en estas fechas que en los otros meses. En el año 2013 hubo valores menores de ICOMO, siendo el pico más alto en el mes de junio con un valor de 0,262 ubicado en un rango de baja contaminación.

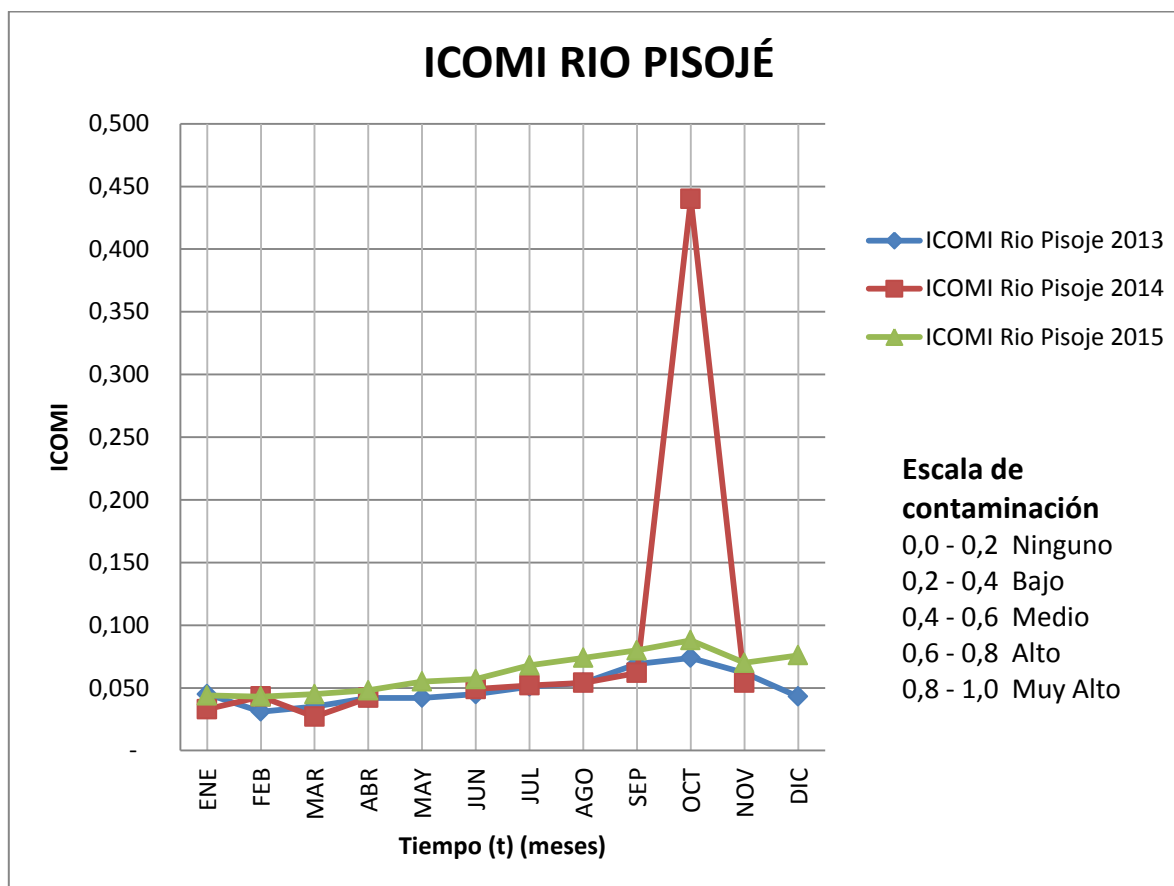
**Gráfica 11. Índice de contaminación por pH ICOpH río Palacé.**



La **Gráfica 11**, muestra el ICOpH para el río Palacé durante los años 2013, 2014 y 2015, en cuanto a la escala de contaminación presentada, tuvo todos los valores en el rango de ninguna contaminación por la variación del pH, los valores más altos se presentaron en los meses de marzo y abril de 2015 pero no indicaron contaminación.

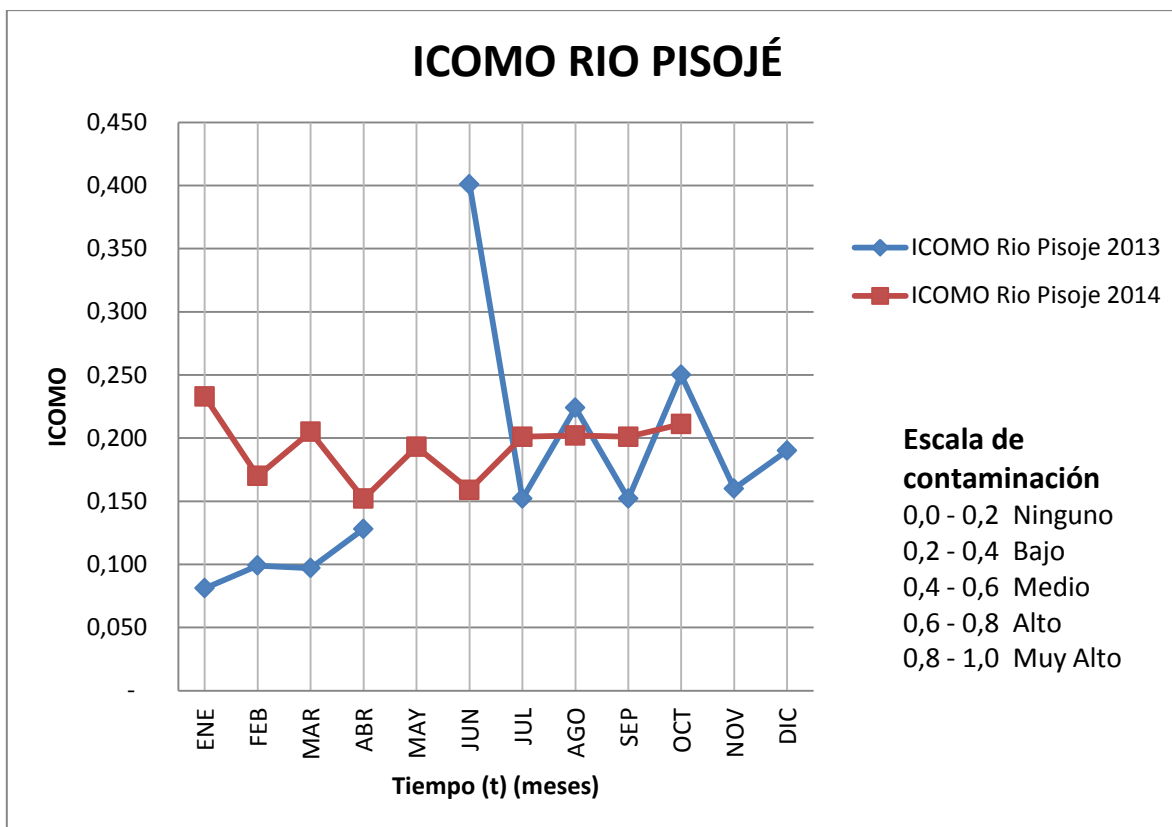
## Resultados río Pisojé

Gráfica 12. Índice de contaminación por mineralización ICOMI río Pisojé.



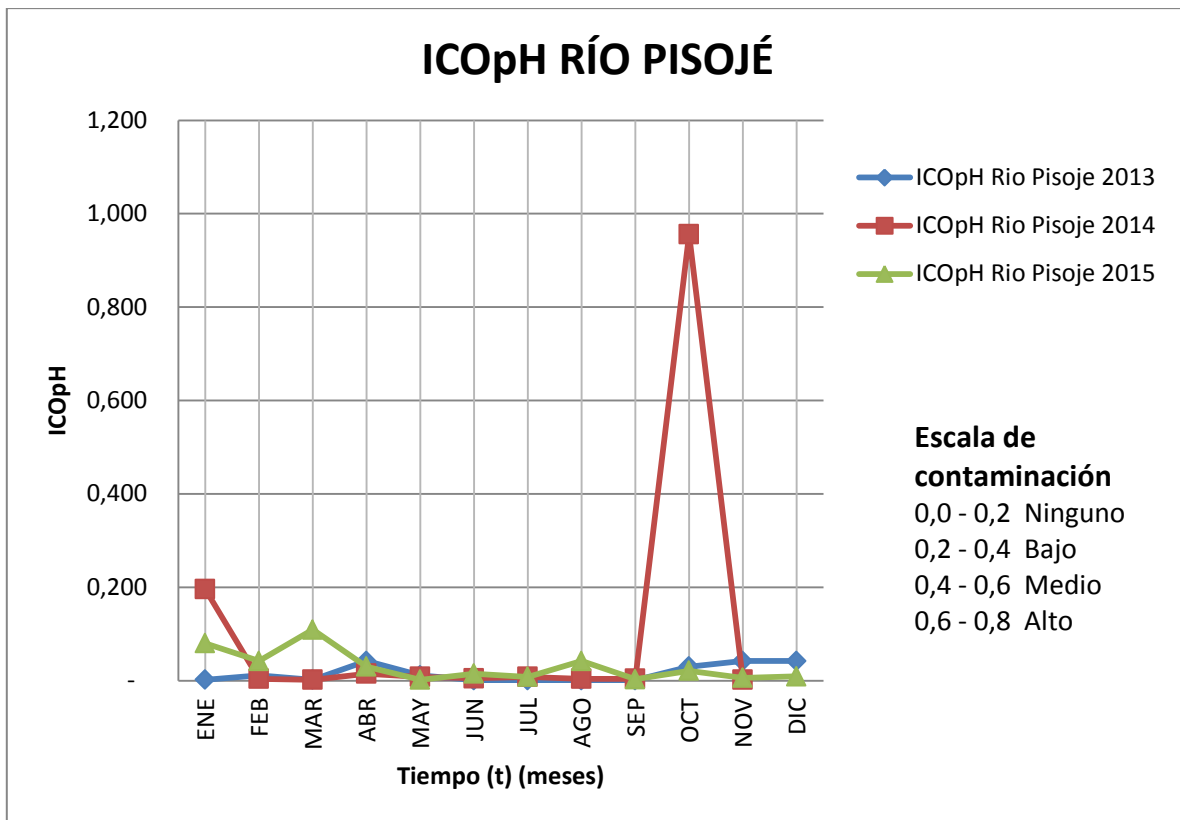
La **Gráfica 12**, presenta el ICOMI para el río Pisojé, de acuerdo a la escala de contaminación, el río Pisojé presentó 33 valores que indican ninguna contaminación por mineralización, el comportamiento del índice a través del tiempo fue similar exceptuando un pico de 0,440 en el mes de octubre de 2014 que indica contaminación media en este mes, lo que infiere altos valores en los parámetros relacionados y por tanto aumento en la concentración de sólidos y sales disueltas, y aumento de calcio y magnesio, el pico alto puede indicar un vertimiento de minerales que afecten de esta forma la alcalinidad, igualmente al ser el único pico que indica contaminación se puede pensar en un error en la toma de muestra o análisis de ésta.

**Gráfica 13. Índice de contaminación por materia orgánica ICOMO río Pisojé.**



La **Grafica 13**, muestra el comportamiento del ICOMO para el río Pisojé, de acuerdo a la escala de contaminación, el índice ICOMO para el rio Pisojé presento 12 valores que indican ninguna contaminación, 9 de baja contaminación, y 1 valor de contaminación media, siendo este el pico más alto presentado en el mes de junio del año 2013 con un valor de 0,401 lo que indica un aumento en los parámetros involucrados, y por ende un aumento en la materia orgánica.

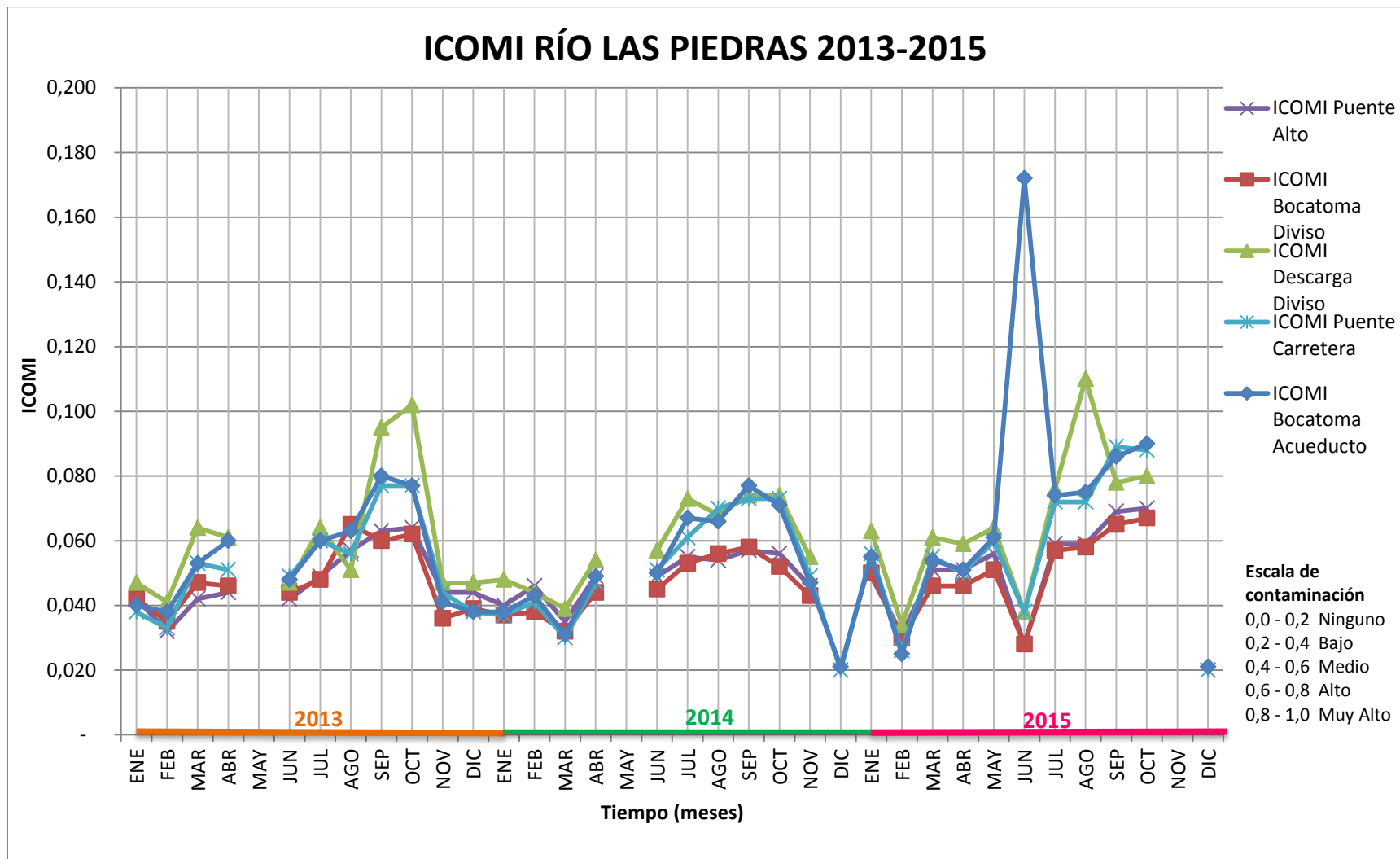
**Gráfica 14. Índice de contaminación por pH ICOpH río PISOJÉ.**



La **Grafica 14**, presenta el ICOpH del río Palace en los años 2013, 2014 y 2015, el cual de acuerdo a la escala de contaminación presentó 34 valores que indican ninguna contaminación por pH, en el mes de octubre de 2014 se presentó un incremento en el ICOpH de 0,956 lo que indica una contaminación muy alta por la variación del pH, al comparar con el valor obtenido del ICOMI en este mismo mes se observa el aumento de este, lo que tiene coherencia ya que este índice involucra la alcalinidad la cual al variar afecta directamente el pH.

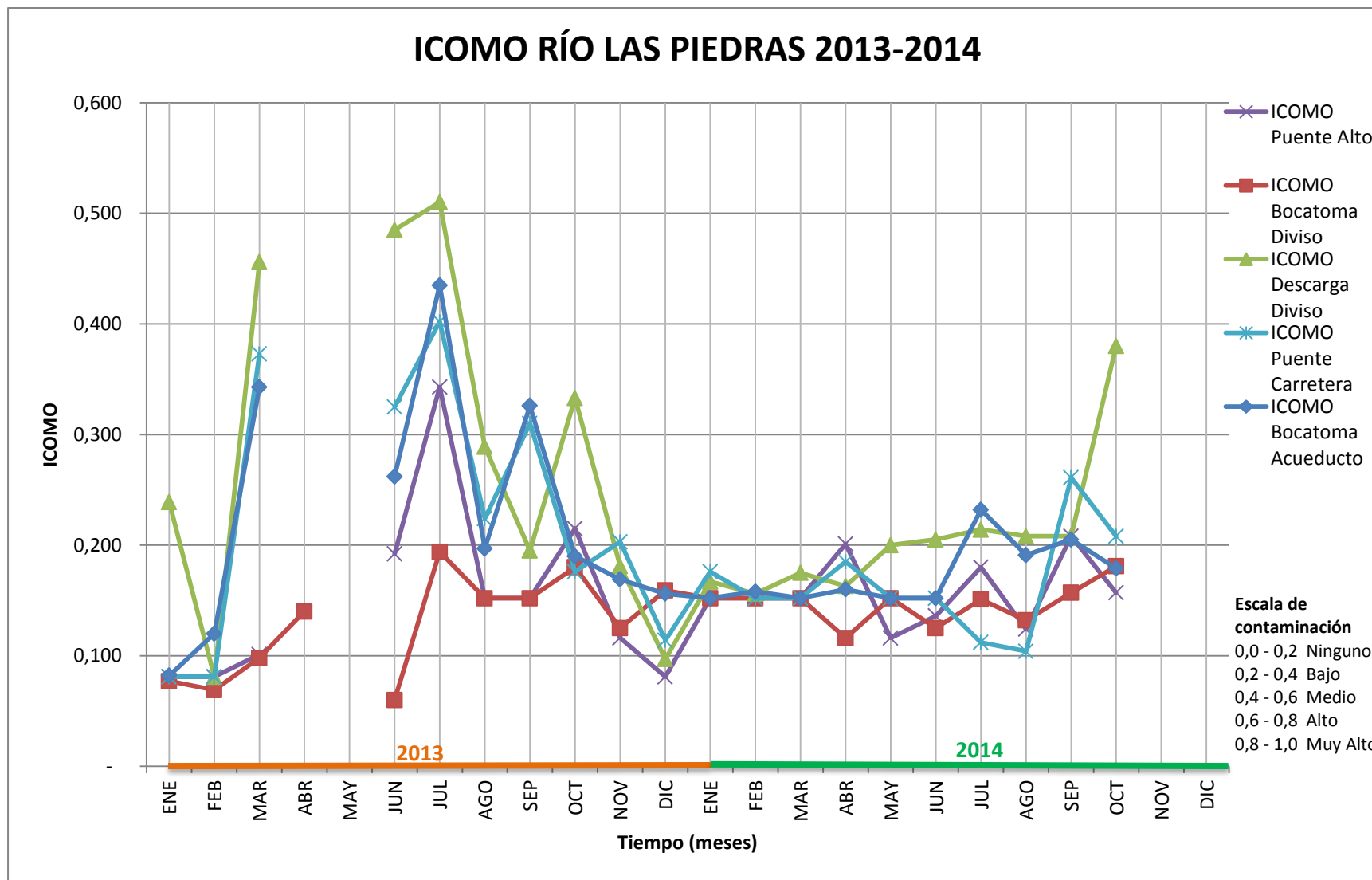
## Resultados río Las Piedras

Gráfica 15. Índice de contaminación por mineralización ICOMI río Las Piedras.



La **Grafica 15**, presenta el río Las Piedras durante los años estudiados 2013, 2014 y 2015, de acuerdo a los rangos establecidos en la escala de contaminación, los valores de ICOMI de los 5 puntos de muestreo indican que no hay contaminación. El comportamiento del índice a través del tiempo fue similar, sobre todo entre la bocatoma Diviso y Puente Alto, y los otros presentaron algunas variaciones, siendo la descarga Diviso la que presentó valores superiores comparados con los otros puntos de muestreo. En el mes de junio de 2015 en la bocatoma acueducto se presentó un pico de 0,172 pero no alcanzó a haber contaminación, esta alza refleja un aumento en los parámetros involucrados en el ICOMI lo que infiere aumento en las sales y sólidos disueltos como también en la concentración de calcio y magnesio.

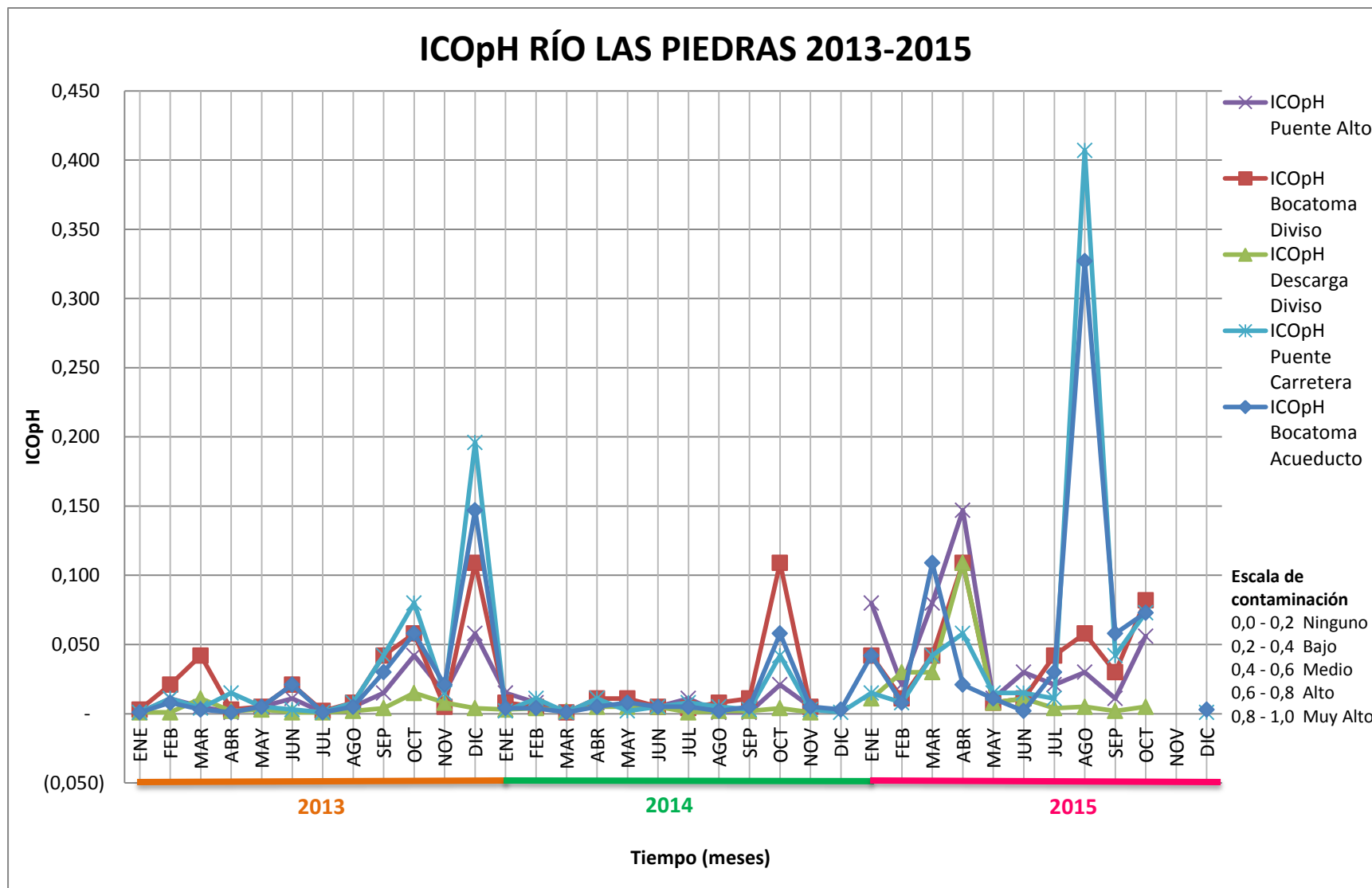
Gráfica 16. Índice de contaminación por materia orgánica ICOMO río Las Piedras.





La **Grafica 16**, presenta el comportamiento del ICOMO en el río Las Piedras, de acuerdo a los rangos establecidos en la escala de contaminación, se presentaron 72 valores que indican ninguna contaminación, 24 valores de baja contaminación y 5 valores de media contaminación, situándose así la mayoría de valores en nula y baja contaminación. La bocatoma Diviso fue la única que no presento contaminación y presentó datos menos dispersos, la bocatoma Acueducto, Descarga Diviso y Puente Alto muestran incremento en el mes de marzo, los meses de abril y mayo no se muestran y de nuevo en junio se continúa los valores altos en estas bocatomas, disminuyendo a partir del mes de agosto. La Descarga Diviso es la que muestra los picos más altos de 0,456 en marzo, 0,485 en junio, 0,510 en julio y 0,380 en septiembre, cerca de esta hay ubicada una piscifactoría, sus aguas residuales puede influenciar en el comportamiento elevado de algunas características como lo son materia orgánica producida por los restos de alimentos y materia fecal de los peces. La acumulación de materia orgánica depende de varios factores, entre otros de la especie en cultivo, la calidad del alimento, el tipo de manejo, las corrientes y la profundidad. Las heces y restos de alimento tienen mayores contenidos de carbono, nitrógeno, y fósforo que los sedimentos naturales, ello produce que los fondos bajo los sistemas de cultivo puedan tener muy alto contenido de materia orgánica y nutrientes, razón por la cual el ICOMO es mayor. (Buschmann, 2001).

Gráfica 17. Índice de contaminación por mineralización ICOMI río Las Piedras.



La **Grafica 17**, presenta el comportamiento del ICOpH en el río Las Piedras, de acuerdo a los rangos establecidos en la escala de contaminación, la mayoría de valores presentados de ICOpH no indican contaminación, exceptuando 2 valores en el mes de agosto de 2015, de 0,327 contaminación baja en Bocatoma Acueducto y de 0,407 contaminación media en Puente Carretera, lo que indica una variación en el pH que causa contaminación en estos meses, los valores presentados de pH en estos meses fueron básicos el año 2015 presento más valores dispersos y otros picos no significativos, el año 2014 tuvo tendencia a valores más bajos y con comportamiento más similar, con un pico no significativo en todas las bocatomas en el mes de octubre de este mismo año, menos en descarga diviso, el año 2013 presentó valores dispersos con picos no significativos en algunos meses, siendo los más notorios en diciembre en todas las bocatomas, menos en descarga diviso.

## 8 CONCLUSIONES

- Con el trabajo realizado se generó una línea base de la oferta hídrica de zonas de conservación, soluciones de agua y acueductos veredales de las subcuencas río Las Piedras y río Molino; contribuyendo para futuras investigaciones y para que las comunidades afectadas puedan prepararse para enfrentar los efectos de fenómenos como El Niño.
- Debido a las bajas precipitaciones causadas por el fenómeno El Niño, las fuentes hídricas se vieron afectadas en la disminución del nivel de agua, razón por la cual los acueductos veredales o soluciones de agua estaban captando toda el agua que entraba sin dejar caudal ecológico, afectando de esta forma la biodiversidad.
- La activa participación de las comunidades de la región, en las diferentes etapas del proyecto, contribuyó a concientizarlas respecto a los posibles riesgos por la disminución del recurso hídrico logrando el empoderamiento y aportando en la conservación y adecuado uso de las fuentes de agua.
- El software ICATest v1.0 facilitó el cálculo de índices de calidad, a través de los cuales se logró realizar análisis más detallados de las fuentes de abastecimiento tales como río Cauca, Molino, Pisojé, Palacé, y Las Piedras, los resultados obtenidos reflejan ausencia de contaminación en estas fuentes, a excepción de algunos puntos que presentaron baja contaminación.
- De acuerdo a los resultados del río Cauca se evidencia contaminación por minerales y materia orgánica, de los resultados de ICOMI, el 70% indica contaminación con tendencia a la baja, de los resultados de ICOpH, el 65,71% de estos se ubican en el rango de 0,8-1,0 indicando una muy alta contaminación. Por tanto se requiere tratamiento previo a su consumo. Es importante mencionar que el río Cauca se ve altamente contaminado por que es vertido por el río vinagre el que a su vez recibe los desechos industriales de la mina de azufre de Purace

- Se determinó luego de consulta con los ingenieros del acueducto que las fuentes de contaminación de los ríos son causadas en su mayoría por razones antrópicas como la minería tanto legal como ilegal, el mal uso de pesticidas para labores agrícolas y de cría de animales como peces, Ganadería extensiva, cultivos ilegales, construcción de carreteras sin los requisitos ambientales, aguas servidas sin tratar que caen a las fuentes hídricas limpias y las contaminan. Así mismo la contaminación causada por las altas precipitaciones que no se controlan por la tala de bosques y causan

## 9 RECOMENDACIONES

- Se sugiere continuar con el proceso de aforo de los acueductos veredales, que permita establecer comparativos de los valores en época del fenómeno El Niño con periodos neutros.
- Se sugiere continuar con el apoyo de las Comunidades que contribuyan con la preservación de las fuentes
- Se recomienda medir otros parámetros tales como: fosfatos, variaciones de temperatura, taxones, entre otros, que permitan analizar más índices de calidad los cuales podrían determinar que contaminantes están produciendo las variaciones de calidad.
- Se propone adelantar análisis complementarios en los puntos que presentan mayor contaminación, con el fin de determinar las causas y disminuir en lo posible su ocurrencia.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A. 2012, 12. Agua y civilizaciones. Revista ARQHYS.com. Obtenido 08, 2016, de <http://www.arqhys.com/construccion/agua-civilizaciones.html>.

Buschmann, A. (2001). Impacto ambiental de la acuicultura. *Terram*, (56 2), 67. <http://doi.org/10.1016/j.enfcli.2009.02.001>

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P, 2016) (SAATP, 2014).

Fernández P, N. J., Ramos Suárez, J. G., & Solano Ortega, F. (2004). ICATest v1.0.0.44 Una herramienta para la valoración de la calidad del agua, 1–24.

Fernandez Parada, N. J., & Solano Ortega, F. (2005). Capítulo I: LA CALIDAD DEL AGUA. *Indices de Calidad Y de Contaminación Del Agua*, 24.

IDEAM. (2000). Estudio nacional del agua. En: <http://www.ideam.gov.co>

Idrobo, V, (2010) Monitoreo de la calidad y cantidad del agua captada de la cuenca del rio piedras para potabilización por parte del acueducto y alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P. Comportamiento hidrológico de la cuenca en la última década, Informe de pasantía.

La resolución 64/292 de la Asamblea General “El derecho humano al agua y el saneamiento” A/RES/64/292 (3 de agosto de 2010)

MONTEALEGRE. (2009).Estudio de la variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada a procesos oceánicos y atmosféricos de meso y gran escala.

PABON Daniel & MONTEALEGRE Edgar, (2008): El Ciclo El Niño, La Nina – Oscilación del Sur. En lista de espera en la imprenta de la Universidad Nacional de Colombia, febrero de 2009. Bogotá, Colombia

Ramírez, A., Viña, G. 1998. Limnología Colombiana. Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis. Univ. Jorge Tadeo Lozano - bp exploration, Bogotá



## ANEXOS

### ANEXO A: Tabla caudales mensuales medidos río Molino

			CAUDALES MEDIDOS RIO MOLINO			
	NOMBRE DEL ACUEDUCTO		CAUDAL (L/S)			
			OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	FEBRERO
1	Santa Bárbara	El Chicle	0,75		0,50	0,71
2	El Arado	La Honda	0,37		0,52	0,64
3	El Sendero	La Honda	0,48		0,38	0,35
4	Pueblillo Alto	Candamo	2,00		2,10	2,14
5	Bosques del Rio Molino	Cacería Puerto Amor	0,24		0,37	0,42
6	El Hogar	Liceo Lame	1,00		1,00	0,97
7	El Hogar	Cerro Alto-Los Chorritos	0,16		0,38	1,12
8	San Antonio	El Umuy	0,70	0,62		0,73
9	San Antonio	Alto Pesares fuente alterna	0,28	0,41		0,061
10	Santa Helena	Alto Pesares	0,14	0,13		0,098
11	El Arado	Canchoncho	1,41	1,27		1,02
12	San Rafael	La Palma	0,41	0,58		0,46
13	Inter-veredal	San Antonio (inter-veredal)	13,39	28,56		27,00
14	Inter-veredal	Rebose San Antonio (inter-veredal)	3,73	16,36		12,85
15		Pata de Venado	7,14		12,42	12,15
16		Rebose Pata de Venado	4,11		7,33	8,60

**ANEXO B: Tabla caudales mensuales medidos río Las Piedras**

CAUDALES MEDIDOS RIO LAS PIEDRAS						
	NOMBRE DEL ACUEDUCTO	NOMBRE DE LA CUENCA	CAUDAL (L/S)			
			OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	FEBRERO
17	Solución de agua Quintana	La Chorrera	4,39		2,96	2,48
18	Finca de Miguel Escobar	La Cristalina	0,07			
19	Finca de Aida Lame	La Cristalina	0,32			
20	Llanos-Guacas	Quebrada Carnicería	15,70		9,68	23,52
21	Rebose Llanos-Guacas	Quebrada Carnicería	15,37		18,07	14,66
22		Quebrada El Trébol	8,08			
23		Quebrada El Trébol después de bocatoma	2,11			
24		Quebrada Santa Teresa	18,57		13,39	10,57
25		Quebrada Santa Teresa después de bocatoma	13,36			
26		Quebrada Santa Teresa después de Cana Abierto	8,24		2,78	
27		El Canelo antes de bocatoma			13,07	7,46
28		El canelo después de acueducto			5,82	6,00

## ANEXO C: Tablas de índices obtenidos

ÍNDICE ICOMI CAUCA			
MES	AÑO		
	2013	2014	2015
1	0,583	0,168	0,376
2	0,216	0,333	0,379
3	0,667	0,179	0,583
4	0,446	0,222	0,667
5	0,374		0,193
6	0,190	0,562	0,197
7	0,090	0,056	0,137
8	0,302	0,310	0,333
9	0,201	0,082	0,337
10	0,667	0,057	0,343
11		0,349	0,360
12	0,212		0,667
Promedio	0,359	0,232	0,381

ÍNDICE ICOMO CAUCA		
MES	AÑO	
	2013	2014
1	0,000	0,251
2	0,067	0,202
3	0,072	0,045
4	0,000	0,152
5		0,159
6	0,330	0,226
7	0,154	0,172
8	0,152	0,213
9	0,004	0,240
10	0,155	0,235
11	0,202	
12	0,074	
Promedio	0,110	0,190

ÍNDICE ICOpH CAUCA			
MES	AÑO		
	2013	2014	2015
1	0,015	0,003	0,794
2	0,493	0,989	0,777
3	0,989	0,327	0,845
4	0,984	0,845	0,147
5	0,916	0,956	0,794
6	0,845	0,968	0,916
7	0,845	0,493	0,885
8	0,845	0,984	0,968
9	0,015	0,916	0,956
10	0,916	0,004	0,981
11	0,916	0,977	0,972
12	0,327		0,994
Promedio	0,676	0,678	0,836

ÍNDICE ICOMI MOLINO			
MES	AÑO		
	2013	2014	2015
1	0,039	0,033	0,043
2	0,027	0,042	0,020
3	0,043	0,026	0,045
4	0,047	0,036	0,043
5			0,047
6	0,044	0,047	0,051
7	0,048	0,050	0,064
8	0,053	0,056	0,128
9	0,066	0,062	0,080
10	0,068	0,070	0,091
11	0,058	0,065	0,076
12	0,045		0,076
Promedio	0,049	0,049	0,064

ÍNDICE ICOMO MOLINO		
MES	AÑO	
	2013	2014
1	0,081	0,216
2	0,081	0,162
3	0,032	0,152
4	0,082	0,136
5		0,199
6	0,231	0,138
7	0,291	0,152
8	0,152	0,181
9	0,152	0,198
10	0,187	0,331
11	0,170	
12	0,117	
Promedio	0,143	0,187

ÍNDICE ICOpH MOLINO			
MES	AÑO		
	2013	2014	2015
1	0,015	0,003	0,015
2	0,021	0,001	0,080
3	0,058	0,001	0,109
4	0,001	0,011	0,005
5		0,015	0,003
6	0,003	0,005	0,008
7	0,005	0,002	0,008
8	0,003	0,004	0,030
9	0,021	0,001	0,011
10	0,021	0,004	0,021
11	0,002	0,001	0,003
12	0,042		0,012
Promedio	0,017	0,004	

ÍNDICE ICOMI PALACE			
MES	AÑO		
	2013	2014	2015
1	0,163	0,108	0,177
2	0,074	0,151	0,106
3	0,134	0,067	0,201
4	0,214	0,051	0,083
5	0,062		0,059
6	0,064	0,060	0,046
7	0,046	0,034	0,053
8	0,098	0,068	0,096
9	0,160	0,042	0,067
10	0,202	0,140	0,185
11	0,135	0,084	0,081
12	0,098		0,258
Promedio	0,121	0,081	0,118

ÍNDICE ICOMO PALACE		
MES	AÑO	
	2013	2014
1	0,081	
2	0,081	0,165
3	0,114	0,169
4	0,081	0,152
5		0,152
6	0,262	0,190
7	0,219	0,167
8	0,152	0,207
9	0,125	0,286
10	0,202	0,280
11	0,177	
12	0,176	
Promedio	0,152	0,196

ÍNDICE ICOpH PALACE			
MES	AÑO		
	2013	2014	2015
1	0,003	0,042	0,058
2	0,004	0,008	0,003
3	0,003	0,001	0,109
4	0,005	0,005	0,080
5	0,015	0,015	0,003
6	0,005	0,005	0,015
7	0,001	0,003	0,008
8	0,005	0,003	0,002
9	0,030	0,003	0,005
10	0,042	0,021	0,021
11	0,042	0,003	0,001
12	0,030		0,005
Promedio	0,015	0,010	0,026

ÍNDICE ICOMI PISOJÉ			
MES	AÑO		
	2013	2014	2015
1	0,045	0,033	0,044
2	0,031	0,043	0,043
3	0,035	0,027	0,045
4	0,042	0,042	0,048
5	0,042		0,055
6	0,045	0,049	0,057
7	0,051	0,052	0,068
8	0,054	0,054	0,074
9	0,069	0,062	0,080
10	0,074	0,440	0,088
11	0,062	0,054	0,070
12	0,043		0,076
Promedio	0,049	0,086	0,062

ÍNDICE ICOMO PISOJÉ		
MES	AÑO	
	2013	2014
1	0,081	0,233
2	0,099	0,170
3	0,097	0,205
4	0,128	0,152
5		0,193
6	0,401	0,159
7	0,152	0,201
8	0,224	0,202
9	0,152	0,201
10	0,250	0,211
11	0,160	
12	0,190	
Promedio	0,176	0,193

ÍNDICE ICOpH PISOJÉ			
MES	AÑO		
	2013	2014	2015
1	0,002	0,196	0,080
2	0,011	0,004	0,042
3	0,002	0,002	0,109
4	0,042	0,015	0,030
5	0,011	0,008	0,002
6	0,001	0,005	0,015
7	0,001	0,008	0,008
8	0,001	0,004	0,042
9	0,001	0,004	0,003
10	0,030	0,956	0,021
11	0,042	0,002	0,006
12	0,042		0,009
Promedio	0,016	0,109	0,031



ÍNDICE ICOMI PIEDRAS BOCATOMA ACUEDUCTO			
MES	AÑO		
	2013	2014	2015
1	0,040	0,038	0,055
2	0,038	0,043	0,025
3	0,053	0,031	0,054
4	0,060	0,049	0,051
5			0,061
6	0,048	0,050	0,172
7	0,060	0,067	0,074
8	0,063	0,066	0,075
9	0,080	0,077	0,086
10	0,077	0,071	0,090
11	0,041	0,047	
12	0,038	0,021	0,021
Promedio	0,054	0,051	0,069

ÍNDICE ICOMO PIEDRAS BOCATOMA ACUEDUCTO		
MES	AÑO	
	2013	2014
1	0,082	0,152
2	0,120	0,158
3	0,343	0,152
4		0,160
5		0,152
6	0,262	0,152
7	0,435	0,232
8	0,197	0,191
9	0,326	0,205
10	0,190	0,179
11	0,169	
12	0,156	
Promedio	0,228	0,173

ÍNDICE ICOpH PIEDRAS BOCATOMA ACUEDUCTO			
MES	AÑO		
	2013	2014	2015
1	0,001	0,004	0,042
2	0,008	0,004	0,008
3	0,003	0,001	0,109
4	0,001	0,005	0,021
5	0,005	0,008	0,011
6	0,021	0,005	0,002
7	0,001	0,005	0,030
8	0,005	0,002	0,327
9	0,030	0,005	0,058
10	0,058	0,058	0,073
11	0,021	0,005	
12	0,147	0,003	0,003
Promedio	0,025	0,009	0,062

ÍNDICE ICOMI PIEDRAS BOCATOMA DIVISO			
MES	AÑO		
	2013	2014	2015
1	0,042	0,037	0,050
2	0,035	0,038	0,030
3	0,047	0,032	0,046
4	0,046	0,044	0,046
5			0,051
6	0,044	0,045	0,028
7	0,048	0,053	0,057
8	0,065	0,056	0,058
9	0,060	0,058	0,065
10	0,062	0,052	0,067
11	0,036	0,043	
12	0,039		
Promedio	0,048	0,046	0,050

---

**ÍNDICE ICOMO PIEDRAS BOCATOMA DIVISO**

---

MES	AÑO	
	2013	2014
1	0,077	0,152
2	0,069	0,152
3	0,098	0,152
4	0,140	0,116
5		0,152
6	0,060	0,125
7	0,194	0,151
8	0,152	0,132
9	0,152	0,157
10	0,180	0,181
11	0,125	
12	0,159	
Promedio	0,128	0,147

---

---

**ÍNDICE ICOPH PIEDRAS BOCATOMA DIVISO**

---

MES	AÑO		
	2013	2014	2015
1	0,003	0,008	0,042
2	0,021	0,005	0,011
3	0,042	0,001	0,042
4	0,003	0,011	0,109
5	0,005	0,011	0,008
6	0,021	0,005	0,011
7	0,002	0,004	0,042
8	0,008	0,008	0,058
9	0,042	0,011	0,030
10	0,058	0,109	0,082
11	0,005	0,005	
12	0,109		
Promedio	0,027	0,016	0,044

---

ÍNDICE ICOMI PIEDRAS DESCARGA DIVISO			
MES	AÑO		
	2013	2014	2015
1	0,047	0,048	0,063
2	0,041	0,044	0,034
3	0,064	0,039	0,061
4	0,061	0,054	0,059
5			0,064
6	0,047	0,057	0,038
7	0,064	0,073	0,076
8	0,051	0,068	0,110
9	0,095	0,074	0,078
10	0,102	0,074	0,080
11	0,047	0,055	
12	0,047		
Promedio	0,061	0,059	0,066

ÍNDICE ICOMO PIEDRAS DESCARGA DIVISO		
MES	AÑO	
	2013	2014
1	0,239	0,167
2	0,081	0,156
3	0,456	0,175
4		0,163
5		0,200
6	0,485	0,205
7	0,510	0,214
8	0,289	0,208
9	0,195	0,208
10	0,333	0,380
11	0,181	
12	0,097	
Promedio	0,287	0,208

ÍNDICE ICOpH PIEDRAS DESCARGA DIVISO			
MES	AÑO		
	2013	2014	2015
1	0,001	0,003	0,011
2	0,001	0,004	0,030
3	0,011	0,002	0,030
4	0,002	0,005	0,109
5	0,003	0,005	0,008
6	0,001	0,005	0,011
7	0,001	0,001	0,004
8	0,002	0,002	0,005
9	0,004	0,002	0,002
10	0,015	0,004	0,005
11	0,008	0,001	
12	0,004		
Promedio	0,004	0,003	0,022

ÍNDICE ICOMI PIEDRAS PUENTE ALTO			
MES	AÑO		
	2013	2014	2015
1	0,042	0,040	0,049
2	0,032	0,046	0,031
3	0,042	0,035	0,051
4	0,044	0,049	0,051
5			0,056
6	0,042	0,049	0,028
7	0,049	0,055	0,059
8	0,057	0,054	0,059
9	0,063	0,057	0,069
10	0,064	0,056	0,070
11	0,044	0,046	
12	0,044		
Promedio	0,048	0,049	0,052

ÍNDICE ICOMO PIEDRAS PUENTE ALTO		
MES	AÑO	
	2013	2014
1	0,081	0,152
2	0,081	0,152
3	0,101	0,152
4		0,201
5		0,116
6	0,192	0,136
7	0,343	0,180
8	0,152	0,124
9	0,152	0,208
10	0,215	0,157
11	0,116	
12	0,081	
Promedio	0,151	0,158

ÍNDICE ICOpH PIEDRAS PUENTE ALTO			
MES	AÑO		
	2013	2014	2015
1	0,001	0,015	0,080
2	0,011	0,008	0,021
3	0,005	0,001	0,080
4	0,001	0,008	0,147
5	0,005	0,005	0,011
6	0,011	0,005	0,030
7	0,001	0,011	0,021
8	0,005	0,001	0,030
9	0,015	0,001	0,011
10	0,042	0,021	0,056
11	0,015	0,005	
12	0,058		
Promedio	0,014	0,007	0,049

ÍNDICE ICOMI PIEDRAS PUENTE CARRETERA			
MES	AÑO		
	2013	2014	2015
1	0,038	0,037	0,056
2	0,033	0,041	0,026
3	0,053	0,030	0,055
4	0,051	0,047	0,050
5			0,060
6	0,049	0,051	0,038
7	0,060	0,061	0,072
8	0,056	0,070	0,072
9	0,077	0,073	0,089
10	0,077	0,073	0,088
11	0,044	0,049	
12	0,038	0,020	0,020
Promedio	0,052	0,050	0,057

ÍNDICE ICOMO PIEDRAS PUENTE CARRETERA		
MES	AÑO	
	2013	2014
1	0,081	0,176
2	0,081	0,152
3	0,373	0,152
4		0,185
5		0,152
6	0,325	0,152
7	0,402	0,112
8	0,224	0,104
9	0,310	0,261
10	0,176	0,208
11	0,203	
12	0,114	
Promedio	0,229	0,165

ÍNDICE ICOpH PIEDRAS PUENTE CARRETERA			
MES	AÑO		
	2013	2014	2015
1	0,001	0,002	0,015
2	0,011	0,011	0,008
3	0,004	0,001	0,042
4	0,015	0,011	0,058
5	0,005	0,002	0,015
6	0,003	0,005	0,015
7	0,001	0,008	0,011
8	0,008	0,005	0,407
9	0,042	0,003	0,042
10	0,080	0,042	0,073
11	0,015	0,003	
12	0,196	0,001	0,001
Promedio	0,032	0,008	0,062