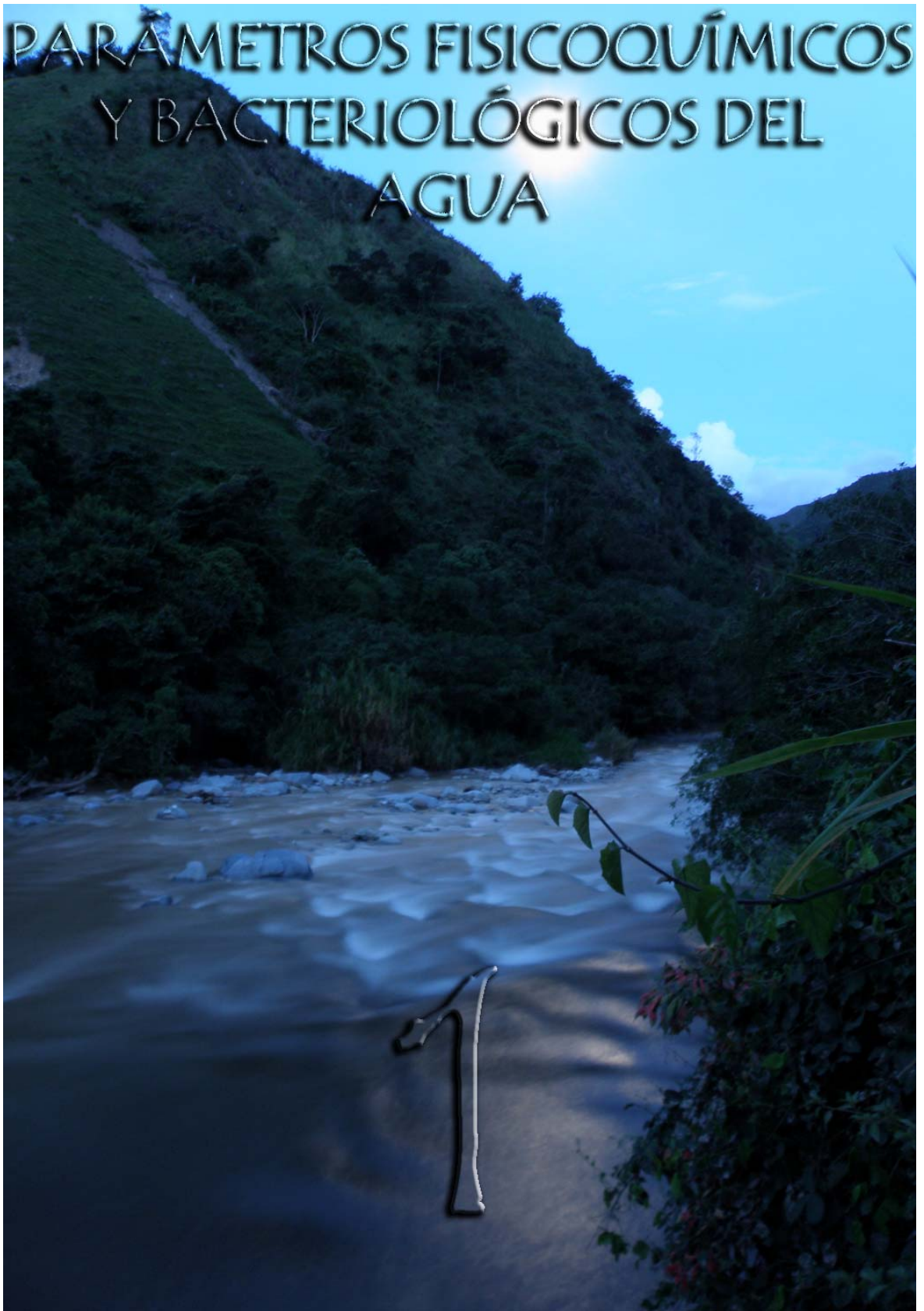


# PARAMETROS FISICOQUÍMICOS Y BACTERIOLÓGICOS DEL AGUA



## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>RAAS</b>	:	Río Anamichú - Antes desembocadura al Saldaña
<b>RAAU</b>	:	Río Anamichú - Antes Unión
<b>RQVP</b>	:	Río Quebradón - Vereda El Porvenir
<b>QDAP</b>	:	Quebrada Dos Aguas - Vereda el Porvenir
<b>QAVP</b>	:	Quebrada Acueducto - Vereda el Porvenir
<b>ACVQ</b>	:	Acueducto Colegio - Vereda Quebradón
<b>RBVQ</b>	:	Río Blanco - Vereda Quebradón
<b>QZOQ</b>	:	Quebrada Zanja Oscura - Vereda Quebradón
<b>AQVQ</b>	:	Acueducto Quebradón - Vereda Quebradón
<b>ARBL</b>	:	Acueducto Rioblanco
<b>RBDP</b>	:	Río Blanco - Después del Pueblo
<b>T. AMB.</b>	:	Temperatura Ambiente (°C)
<b>T. AG.</b>	:	Temperatura del Agua (°C)
<b>OX.DIS</b>	:	Oxígeno Disuelto In-Situ (mg O <sub>2</sub> /L)
<b>SAT. Ox</b>	:	Porcentaje de Saturación de Oxígeno (% Sat. O <sub>2</sub> )
<b>C.E</b>	:	Conductividad Eléctrica In-Situ (µS/cm)
<b>pH</b>	:	pH (Unid. pH)
<b>C.E Ex</b>	:	Conductividad Eléctrica Ex Situ (µS/cm)
<b>OX. DIS Ex</b>	:	Oxígeno Disuelto Ex-Situ (mg O <sub>2</sub> /L)
<b>TURB</b>	:	Turbidez (UNT)
<b>ALCA</b>	:	Alcalinidad (mg CaCO <sub>3</sub> /L)
<b>DURE</b>	:	Dureza (mg CaCO <sub>3</sub> /L)
<b>CLOR</b>	:	Cloruros (mg Cl/L)
<b>NITR</b>	:	Nitratos (mg NO <sub>3</sub> /L)
<b>FOSF</b>	:	Fosfatos (mg PO <sub>4</sub> /L)
<b>DQO</b>	:	Demanda Química de Oxígeno (mg O <sub>2</sub> /L)
<b>S.T.</b>	:	Sólidos Totales (mg/L)
<b>S.S.</b>	:	Sólidos Suspendidos (mg/L)
<b>COLI. T.</b>	:	Coliformes Totales (UFC/100 ml)
<b>COLI. FEC.</b>	:	Coliformes Fecales (UFC/100 ml)

## INTRODUCCIÓN

La calidad del agua y el grado de alteración o contaminación de la misma, se define como el cambio o modificación físico-química y biológica del recurso hídrico inducido por actividades socioeconómicas y naturales. La intensidad de dichas actividades está determinada por las características propias de estas dinámicas, es por tanto que se hace necesario el conocimiento de los procesos responsables del deterioro del recurso, para determinar la medida en que estos influyen en la calidad del sistema evaluado (CORTOLIMA, 2000).

Por ello, estudiar los ecosistemas acuáticos de agua dulce es de vital importancia pues estos constituyen una de las principales fuentes de agua; recurso natural vital para el desarrollo y mantenimiento de todas las formas de vida. Una de las metodologías usadas en la evaluación de la calidad de agua tradicionalmente se basa en los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, pues estos inciden en la productividad, flujo de energía dentro del ecosistema y ciclos de vida de los organismos entre otros (Roldán, 2003).

La pérdida de la calidad de las aguas superficiales proviene principalmente de los afluentes de actividades industriales, aguas negras domésticas y la escorrentía por el uso del suelo, también de actividades de minería y de los sitios de disposición final de residuos sólidos. Esta utilización del medio hídrico como receptor de descargas contaminantes (residuos, emisiones y vertimientos) provoca en los ecosistemas acuáticos modificaciones fisicoquímicas que repercuten en la composición y distribución de las comunidades biológicas, así como en el deterioro o limitación de los usos de agua, produciéndose pérdida de la calidad del agua y en muchas ocasiones imposibilidad de su suministro para diferentes usos, entre ellos el consumo humano (Cháves, 1997).

El agua es esencial para el mantenimiento de todos los procesos biológicos, la calidad de vida de una sociedad y el sostenimiento de las actividades económicas, es así como los afluentes de la Cuenca mayor del Río Anamichú constituyen grandes riquezas para el municipio de Río Blanco, pues son de gran importancia como fuente hídrica para el consumo humano y riego de cultivos. Teniendo en cuenta esta estimación, se hace evidente la necesidad de realizar una caracterización físico-química y bacteriológica que permitan visualizar el efecto de la intervención antrópica en el ecosistema acuático.

Por los motivos expuestos anteriormente las aguas de la cuenca mayor del río Anamichú demandan metodologías de análisis que permitan determinar la calidad del agua utilizada para consumo humano y agrario, así como para definir el estado ecológico del ecosistema. El presente estudio identifica de manera holística la estructura y funcionamiento de la cuenca.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 General**

Evaluar la calidad de las aguas de la cuenca del Río Anamichú por medio de la caracterización fisicoquímica y bacteriológica y el Índice General de Calidad de Aguas (ICA o WQI).de sus afluentes más importantes.

### **1.1.2 Específicos**

- Determinar el comportamiento espacial de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluados en la cuenca del Río Anamichú.
- Establecer comparación entre los resultados Físico-químicos y Bacteriológicos del estudio con los valores permisibles establecidos por la legislación colombiana sobre la calidad del agua para propósitos de consumo humano y preservación de flora y fauna.
- Determinar la calidad de las aguas de la cuenca del Río Anamichú empleando el Índice General de Calidad de Aguas (ICA o WQI).

## 1.2 MARCO TEÓRICO

### 1.21 Factores físico químicos y bacteriológicos de los ecosistemas acuáticos.

**Temperatura.** La radiación solar determina la calidad y cantidad de luz y además afecta la temperatura del agua. En las zonas templadas la temperatura varía ampliamente por el cambio de estaciones, en las zonas tropicales se mantiene más o menos constante, se conserva siempre fría en las altas montañas y cálida al nivel del mar. Es decir que los organismos sometidos a cambios estacionales soportan más los cambios de temperatura y sus ciclos de vida están acoplados a estos cambios. Las descargas de aguas a altas temperaturas pueden causar daños a la fauna y flora de las aguas receptoras al intervenir con la reproducción de especies, incrementar el crecimiento de bacterias y otros organismos no autóctonos. La solubilidad del oxígeno en el agua está afectada por la temperatura. Así, a mayor temperatura menor solubilidad y viceversa. Un cuerpo de agua puede aumentar la solubilidad en cerca de un 40% al bajar la temperatura de 25°C a 0°C; esto se debe a que el agua, las moléculas se unen más, reteniendo por tanto, mayor cantidad de oxígeno. Un cuerpo de agua posee 14.6mg/L de oxígeno a 0°C puede bajar su concentración a 6.4mg/L a 40°C (Roldán, 2003). Para Faña (2002), la temperatura está determinada por la cantidad de energía calórica (ondas del infrarrojo que es absorbida por un cuerpo de agua, es el promedio de la velocidad media del movimiento de átomos, iones o moléculas en una sustancia o combinación de sustancias en un momento determinado.

**Oxígeno disuelto.** El oxígeno disuelto es uno de los indicadores más importantes de la calidad del agua. Los valores normales varían entre los 7.0 y 8.0 mg/L. La fuente principal del oxígeno es el aire, el cual se difunde rápidamente en el agua por la turbulencia en los ríos y por el viento en los lagos (Roldán, 2003).

**Porcentaje de Saturación de Oxígeno (% SAT O<sub>2</sub>).** El Porcentaje de Saturación es la cantidad de Oxígeno Disuelto en la muestra de agua comparada con la cantidad máxima que podría estar presente a la misma temperatura. Por ejemplo, se dice que el agua está saturada en un 100% si contiene la cantidad máxima de Oxígeno a esa temperatura. Una muestra de agua que está saturada en un 50% solamente tiene la mitad de la cantidad de Oxígeno que potencialmente podría tener a esa temperatura. A veces, el agua se supersatura con Oxígeno debido a que el agua se mueve rápidamente. Esto generalmente dura un período corto de tiempo, pero puede ser dañino para los peces y otros organismos acuáticos. Los valores del Porcentaje de Saturación del OD de 80 a 120% se consideran excelentes y los valores menores al 60% o superiores a 125% se consideran malos. El Porcentaje de Saturación del Oxígeno Disuelto depende de la temperatura del agua y la elevación del sitio

donde se toma la muestra de agua (Sistema Básico de Información Municipal-SisBIM).

El Oxígeno se considera un compuesto ligeramente soluble en el agua y su presencia en solución esta determinada por la solubilidad del gas, la presión, la temperatura y la pureza del agua. Se conoce además que la concentración del oxígeno disuelto es dependiente de factores como: reoxigenación atmosférica, respiración animal y vegetal, demanda béntica, demanda bioquímica (Perdomo y Gómez, 2000).

**pH.** Este parámetro es definido como el logaritmo del inverso de la concentración de hidrogeniones (H<sup>+</sup>); (Calderón Saenz, 2002). El intervalo de la concentración adecuado para la proliferación y desarrollo de la vida acuática es bastante estrecha y crítico, la mayoría de animales acuáticos prefieren un rango de 6.5 a 8.0, fuera de este rango se reduce a la diversidad por estrés fisiológico y la reproducción (Roldán, 2003).

**Conductividad Eléctrica.** Es una medida de la propiedad que poseen las soluciones acuosas para conducir la corriente eléctrica. Esta propiedad depende de la presencia de iones, su concentración, movilidad, valencia y la temperatura de medición. La variación de la conductividad proporciona información acerca de la productividad primaria y descomposición de la materia orgánica, e igualmente contribuye a la detección de fuentes de contaminación, a la evaluación de la actitud del agua para riego y a la evaluación de la naturaleza geoquímica del terreno (Faña, 2002).

**Turbidez.** Es una expresión de la propiedad óptica que origina que la luz se disperse y absorba en vez de transmitirse en línea recta a través de la muestra. Es producida por materiales en suspensión como arcilla, limo, materia orgánica e inorgánica, organismos planctónicos y demás microorganismos. Incide directamente en la productividad y el flujo de energía dentro del ecosistema, La turbiedad define el grado de opacidad producido en el agua por la materia particulada en suspensión. Debido a que los materiales que provocan la turbiedad son los responsables del color, la concentración de las sustancias determinan la transparencia del agua puesto que limita el paso de luz a través de ella (Roldán, 2003).

**Alcalinidad.** Es la capacidad de neutralizar ácidos y en una muestra es la suma de todas las bases titulables, la alcalinidad de muchas aguas superficiales es primariamente una función del contenido de hidroxilos, carbonatos, bicarbonatos (calcio, potasio, sodio y magnesio) por tanto se toma como un indicador de la concentración de estos constituyentes (Faña, 2000). Este parámetro proporciona la acción buffer o amortiguadora de cambios de pH al agua, conocer por tanto la alcalinidad de un cuerpo de agua es fundamental para determinar su capacidad para mantener los procesos biológicos y una productividad sostenida y duradera (Roldán 2003). La alcalinidad es importante además en los proceso de coagulación química ablandamiento y control de la corrosión (Romero Rojas, 1996).

**Dureza.** La dureza del agua esta definida por la cantidad de iones de calcio y magnesio presentes en ella, evaluados como carbonato de calcio y magnesio. Las aguas con bajas durezas se denominan blandas y biológicamente son poco productivas, por lo contrario las aguas con dureza elevada duras son muy productivas, la productividad esta generalmente dada por unas pocas especies que se han adaptado a estas condiciones, aguas con durezas intermedias pueden poseer fauna y flora mas variada pero son menos productivas en términos de biomasa (Roldán, 2003).

**Cloruros.** La presencia de cloruros en las aguas naturales se atribuye a la disolución de depósitos minerales de sal gema, contaminación proveniente de diversos efluentes de la actividad industrial, aguas excedentarias de riego agrícolas y sobretodo de las minas de sales potásicas. A veces puede presentarse un incremento esporádico del contenido en cloruros como consecuencia de contaminaciones domesticas, en particular procedentes de la orina de hombre y los animales, que contiene por termino medio 5g/l de ión Cl (Catalán y Catalán 1971)

**Nitrógeno, Nitritos y Nitratos.** El nitrógeno es un elemento esencial para el crecimiento de algas y causa un aumento en la demanda de oxigeno al ser oxidado por bacterias reduciendo por ende los niveles de este, Las diferentes formas del nitrógeno son importantes en determinar para establecer el tiempo transcurrido desde la polución de un cuerpo de agua. En el tratamiento biológico de aguas residuales, los datos de nitrógeno amoniacal y orgánico son importantes para determinar si el residuo contiene suficiente nitrógeno para nutrir a los organismos (Roldán, 2003).

**Fósforo y fosfatos.** El fósforo en un cuerpo de agua permite la formación de biomasa, la cual requiere un aumento de la demanda biológica de oxigeno para su oxidación aerobia, además de los procesos de eutrofización y consecuentemente crecimiento de fitoplancton. El fósforo en forma de ortofosfato es nutriente de organismos fotosintetizadores y por tanto un componente limitante para el desarrollo de las comunidades, su determinación es necesaria para en estudios de polución de ríos, así como en procesos químicos de y biológicos de purificación y tratamiento de aguas (Roldán, 2003).

**Sólidos suspendidos.** Los sólidos suspendidos, tales como limo, arena y virus, son generalmente responsables de impurezas visibles. La materia suspendida consiste en partículas muy pequeñas, que no se pueden quitar por medio de deposición (Lenntech, 2007).

**Sólidos totales.** Se define el contenido de sólidos totales como la materia que se obtiene como residuo después de someter el agua a un proceso de evaporación entre 103-105°C. Los sólidos totales incluyen disueltos y suspendidos, los sólidos disueltos son aquellos que quedan después del

secado de una muestra de agua a 103-105°C previa filtración de las partículas mayores a 1.2 µm (Metcalf y Heddy, 1985).

**Demanda Química de Oxígeno (DQO).** Faña (2002) define este parámetro como la cantidad de Oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo; permite determinar las condiciones de biodegradabilidad y el contenido de sustancias tóxicas, así como la eficiencia de las unidades de tratamiento. Su determinación permite además calcular las descargas de los efectos de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores.

**Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).** La demanda biológica de oxígeno, también denominada demanda bioquímica de oxígeno, (DBO) es un parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, y se utiliza para determinar su grado de contaminación. Se expresa en mg O<sub>2</sub>/litro. El método mide la concentración de los contaminantes orgánicos y es aplicable en aguas superficiales continentales (ríos, lagos, acuíferos, etc.), aguas residuales o cualquier agua que pueda contener una cantidad apreciable de materia orgánica (Wikipedia, 2007).

**Coliformes Totales y Fecales.** El análisis bacteriológico es vital en la prevención de epidemias como resultado de la contaminación de agua, el ensayo se basa en que todas las aguas contaminadas por aguas residuales son potencialmente peligrosas, por tanto en control sanitario se realiza para determinar la presencia de contaminación fecal. La determinación de la presencia del grupo coliforme se constituye en un indicio de polución así como la eficiencia y la purificación y potabilidad del agua (Roldán, 2003).



## 1.3 MATERIALES Y MÉTODOS

### 1.3 Área de estudio

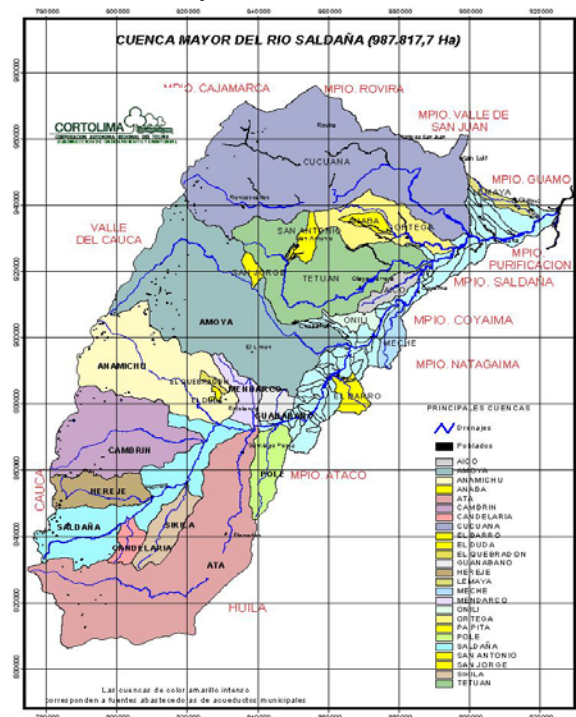
#### Subcuenca del río Anamichú.

La subcuenca del río Anamichú hace parte de la cuenca mayor del río Saldaña. Se encuentra localizada a 03° 28.02' N y 075° 39.65' W en el flanco derecho de la cordillera central, al sur occidente del departamento del Tolima, con un área 75845,71 Ha, donde tienen influencia el municipio de Rioblanco. El río Anamichú nace en el páramo Las Hermosas y desemboca a 725 m en el río Saldaña. Su afluente más importante es el río Blanco, que recibe toda la descarga del municipio que lleva su nombre. Entre los afluentes más importantes del río Blanco se encuentra el río Quebradon el cual se utiliza el acueducto del municipio.

**Estaciones de muestreo.** Se establecieron seis estaciones (Tabla 1) teniendo en cuenta la facilidad de acceso y sus principales tributarios con el objetivo de abarcar la mayor heterogeneidad de ambientes acuáticos presentes en la subcuenca.

Cada una de las estaciones de muestreo se georreferenció con un GPS marca Etrex Vista y caracterizó teniendo en cuenta de variables ecológicas como el tipo de fondo o de sustrato, margen del río, vegetación aledaña, profundidad, velocidad de la corriente y tipo de corriente según la clasificación de Roldán-Pérez (1992) (Figura 4, Tabla 2).

**Figura 4.** Mapa de la cuenca mayor del Río Saldaña



### 1.3.2 Metodos

**De Campo.** Se establecieron 11 estaciones de muestreo a lo largo de la cuenca del Río Anamichú con un rango altitudinal entre los 725m y los 1380m (Tabla 3). Se realizaron dos períodos de muestreo. La primera comprendida entre el 15 y 18 de mayo y la segunda entre el 7 y 10 de junio del año 2008. Se seleccionaron los sitios de muestreo teniendo como base la importancia del ecosistema acuático para los centros poblados, particularmente se evaluaron los acueductos y zonas de abastecimiento como las bocatomas, así mismo se evaluaron ecosistemas, no intervenidos, intervenidos, afectados por actividades agrícolas-pecuarias, por contaminación de origen doméstico y por contaminación industrial. Todas las estaciones fueron georeferenciadas con un geoposicionador satelital (GPS).

En cada localidad se seleccionó un tramo representativo del río o corriente a muestrear definido según representatividad del área en términos de distancia e influencia de actividad antrópica, trama de caminos rurales que facilitaron el acceso a los puntos de muestreo, y el uso de los cuerpos de agua para el consumo humano. En cada uno de los sitios de muestreo se registraron *in situ* la temperatura ambiente y la del agua, el oxígeno disuelto, el porcentaje de saturación de oxígeno y la conductividad eléctrica, usando dos equipos o sondas. Para el oxígeno, temperatura y porcentaje de saturación un oxímetro Hach sesión 6 y para la conductividad un conductímetro Hannah Hi 8033. Adicionalmente se colectaron muestras de agua para los demás análisis fisicoquímicos requeridos.

**Parámetros Bacteriológicos.** Se tomaron las muestras de agua en frascos de vidrio esterilizados con capacidad para 600ml, superficialmente y en contra corriente, Los frascos fueron debidamente rotulados y preservados en nevera para su transporte al laboratorio de Salud Pública del Hospital Federico Lleras Acosta (Ibagué, Tolima) donde se analizaron los Coliformes Totales y Fecales (coliformes/100ml ó NMP).

**Parámetros Fisicoquímicos.** Las muestras de agua fueron colectadas en dos frascos plásticos cada uno con capacidad para 1000ml, superficialmente y en contra corriente. Los frascos fueron debidamente rotulados y preservados en nevera para su transporte al laboratorio de análisis de aguas de CORCUENCAS (Llanitos-Ibagué) en asociación con CORTOLIMA, donde se analizaron 13 parámetros fisicoquímicos: pH (Unidades de pH), Conductividad Eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{CM}$ ), Oxígeno Disuelto ( $\text{mgO}_2/\text{L}$ ), Turbiedad (NTU), Alcalinidad Total y Dureza ( $\text{mgCaCO}_3/\text{L}$ ), Cloruros ( $\text{mg Cl}/\text{L}$ ), Nitratos ( $\text{mgNO}_3/\text{L}$ ), Fosfatos ( $\text{mg PO}_4/\text{L}$ ), Sólidos suspendidos y Sólidos Totales ( $\text{mg}/\text{L}$ ), DBO y DQO ( $\text{mgO}_2/\text{L}$ ).

**Tabla 3.** Estaciones de muestreo evaluadas en la subcuenca del río Anamichú, municipio de Río Blanco (Tolima).

No.	FUENTE	LUGAR	VEREDA	COORDENADAS						ALTURA
				N			W			
1	Río Anamichú	Antes Desembocadura en Saldaña	Bocas de Río Blanco	3°	28'	17.2"	75°	39'	57.1"	725
2	Río Anamichú	Antes Unión	Bocas de Río Blanco	3°	28'	17.2"	75°	39'	57.1"	812
3	Río Quebradon		El Porvenir	3°	33'	15.3"	75°	38'	54.4"	1345
4	Quebrada Dos Aguas		El Porvenir	3°	52'	56.6"	75°	39'	2.5"	1371
5	Acueducto Colegio		Quebradon							1506
6	Río Blanco		Quebradon	3°	34'	18.0"	75°	39'	9.0"	1528
7	Quebrada Zanja Oscura		Quebradon	3°	34'	4.0"	75°	39'	10.0"	1547
8	Acueducto Quebradon		Quebradon	3°	33'	48.4"	75°	38'	58.7"	1605
9	Quebrada Acueducto	Porvenir	El Porvenir	3°	32'	51.0"	75°	38'	56.4"	1380
10	Acueducto Río Blanco									
11*	Río Blanco	Después del Pueblo	Río Blanco							

\*Estaciones muestreadas solamente durante el segundo muestreo.

**Fuente:** Autores (2008).

**De Laboratorio.** En el laboratorio de análisis de aguas de CORCUENCAS (Llanitos-Ibagué), se realizaron los análisis de aguas de los parámetros anteriormente mencionados de la siguiente manera:

Los protocolos analíticos aplicados, se basaron en las técnicas recomendadas y establecidas por el Standards Methods of Examination of Water and Wastewater.

- *Demanda Química de Oxígeno-DQO.* Este parámetro se midió utilizando el método del reflujo cerrado con dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ), Este método consiste en tomar 2 ml de muestra, los cuales se llevan a un vial *Scott para DQO* de bajo rango (10-150mg/l), el vial se agita y es llevado al termociclador entre 150° y 300°C por 2 horas, una vez frío se determina el dicromato de potasio residual por titulación de la muestra con sulfato de amonio ferroso (FAS) 0.1N, utilizando una bureta digital y empleando ferroina como indicador. Paralelo a este proceso se prepara un testigo de agua destilada al que se le efectúa el mismo proceso definido para la muestra.
- *Conductividad.* La conductividad fue determinada por el método conductimétrico a través de un conductímetro con sensor y prestación interna de temperatura, con límite de detección de 0.05  $\mu$ S/cm. Para medir este parámetro se lavó el electrodo con agua desmineralizada y con una o varias raciones de muestra, se secó y se midió la conductividad hasta estabilización de la lectura. Se tomó la medida directa en  $\mu$ S/cm.
- *Alcalinidad Total.* Se empleó un método titulométrico con HCL cuyo límite de detección es de 0.5 mg/l. Fueron medidos 50 ml de muestra con una pipeta aforada y se llevó a un erlenmeyer, se colocó en una placa para agitación magnética y se tituló con ácido clorhídrico 0.02 N, empleando una bureta digital utilizando naranja de metilo como indicador.
- *Dureza Total.* El método utilizado fue titulométrico con EDTA que posee un límite de detección de 0.5 mg/l. Fueron medidos 50 ml de muestra con pipeta aforada, los cuales se llevaron a un erlenmeyer que fue colocado en una placa de agitación magnética, luego se agregaron 2 ml de buffer de dureza, 2 gotas de negro de eriocromo como indicador de cambio de pH y se tituló utilizando bureta digital con ácido etileno diaminotetracético (EDTA) 0.1 N estandarizado.
- *Turbiedad.* La determinación se realizó por medio del método nefelométrico que presenta 0.05 unidades de límite de detección, para la medición se utilizó un turbidímetro *Hanna HI 95703* debidamente calibrado con soluciones patrones de turbiedad cero y cuarenta. Se colocó la muestra en el tubo del equipo y se toma la lectura directa en unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).

- *Sólidos Totales.* Este parámetro fue determinado manejando el método gravimétrico, técnica que presenta 1g/l de límite de detección. Para este, las cápsulas fueron previamente secadas a una temperatura de 105°C y llevadas a desecador después de este proceso fueron pesadas en una balanza analítica calibrada. La botella contenedora de muestra se agitó en forma constante y fuertemente, se midieron 100 ml de esta y llevaron a una cápsula, después de lo cual se secó la muestra hasta evaporación total entre 103 y 105°C, se dejó enfriar en desecador y se pesó.
- *Sólidos suspendidos.* Se utilizó el método Filt-Crisol el cual presenta un límite de detección de 1 g/l. Se agitó a velocidad constante y fuertemente el frasco de recolección de muestra, luego se midió 100 ml de esta haciendo pasar la muestra por un filtro de fibra de vidrio de 1,2µm ajustado a un aparato de filtración al vacío. Se filtró a sequedad y se pasó el filtro a disco de pesaje, se secó este filtro a 103-105°C por 1 hora dejando enfriar en desecador, pesando y repitiendo secado hasta obtener un peso constante en la balanza analítica calibrada.
- *Fosfatos.* Se realizó la medición utilizando el método espectrofotométrico, técnica que presenta 0.03 mg/l como límite de detección. Se midieron 100ml muestra y se llevaron a un erlenmeyer, se añadieron 4ml de solución de molibdato de amonio, se agitó suavemente y se adicionaron 10 gotas de solución de cloruro estañoso homogenizando la solución. Se calcularon 10 minutos exactos para proceder a la lectura en el espectrofotómetro *Perkin-Elmer Lambda 1* a 690 nm de longitud de onda, si la muestra presentaba turbidez se preparó un blanco de ésta y se tuvo en cuenta su absorbancia. Semejantemente a este proceso, a partir de soluciones patrones de fosfatos se preparó una curva de calibración con estándares de 0.0, 0.5, 0.10, 0.20, 0.40, 0.80 y 1.60 mg/l de fosfatos, efectuando en esta curva el mismo proceso descrito para la muestra, los resultados fueron obtenidos por regresión lineal de la curva de calibración realizada. El material de vidrio empleado en esta prueba fue lavado con jabón libre de fosfatos. El método utilizado es descrito en detalle en la sección 4500-P según APHA - AWWA-WPCF, así como la preparación de las soluciones y la curva de calibración.
- *Nitratos.* Se manejó el método del salicilato sódico con límite de detección de 0.1 mg/l. Se midió 10 ml de muestra con pipeta aforada y llevó a una cápsula, se alcalinizó tenuemente con solución de hidróxido de sodio, se añadió 1 ml de solución de salicilato sódico y se llevó la cápsula a una estufa hasta evaporación a sequedad entre 75 y 80°C. Después de fría la cápsula, el residuo se trató con 2ml de ácido sulfúrico concentrado impregnando completamente y se esperaron 10 minutos. Posteriormente, se añadieron 15ml de agua bidestilada y 15ml de solución de hidróxido de sodio y tartrato doble de sodio y potasio, permitiendo que la muestra obtuviera la coloración esperada para su lectura.

Las lecturas se realizaron en espectrofotómetro *Perkin-Elmer Lambda 1* a longitud de onda de 420nm. De las densidades ópticas leídas para los

patrones se descontaron los valores encontrados para los testigos. Adjuntamente al procedimiento descrito, se preparó una curva de calibración con concentraciones equivalentes de 0, 0.5, 1.0, 2.5, y 5 mg/l sometiénola al mismo proceso descrito para la muestra desde la evaporación. Los resultados se obtuvieron a partir de la regresión lineal de la curva de calibración. La solución de hidróxido de sodio y de tartrato doble de sodio y potasio, así como las soluciones madre e hija patrón y el procedimiento para la preparación de la curva de calibración se realizó como es descrito por Rodier (1981).

- *Parámetros Bacteriológicos.* Tanto la siembra como el conteo se realizaron siguiendo la metodología de 3M™ Petrifilm. Se efectuó una siembra directa para lo cual la muestra fue homogenizada y se tomó 1 ml con pipeta estéril, con la pipeta perpendicular se sembró la alícuota en el centro de placas de cultivo para conteo de Coliformes totales y *E. coli* marca 3M™ Petrifilm™. Después de cubrir la placa con la superficie protectora, la alícuota de muestra se extiende suavemente sobre el gel de la placa aplicando una suave presión.

De acuerdo a la turbiedad, color de la muestra y algunas características propias de la zona muestreada descritas en las fichas de campo se preparó una solución salina pectonada con el fin de hacer disoluciones 1:10, 1:100, 1:1000 y facilitar el proceso de conteo de unidades formadoras de colonias.

El proceso de siembra se realizó con presencia de mecheros y con vidriería esterilizada en autoclave a 120°C y 15 libras de presión por 15 minutos, se siguió un control de la esterilización sembrando placas con agua destilada estéril como testigos. La siembra de la muestra se realizó en un tiempo de 24 horas máximo después de su colecta.

Las placas sembradas se incubaron durante 24 horas a 37°C para conteo de Coliformes Totales y por 48 horas a 35°C para *Echerichia coli*, después de lo cual se procedió al conteo de las unidades formadoras de colonia (UFC/ml) sobre la cuadrícula de la placa. Se consideraron *E. coli* colonias de color azul y Coliformes totales colonias rojas con presencia de gas.

## **De Análisis**











- *Análisis de la información.* Se realizaron gráficas a partir de una base de datos Excel para visualizar el comportamiento de las 17 variables analizadas en las estaciones del primer y segundo muestreo para el año 2008. Además se empleó el método multivariado denominado *Análisis de Componentes Principales –ACP*. Este permite ordenar un número de variables posiblemente correlacionadas en un conjunto menor de variables llamadas componentes principales.

- **Cálculo del Índice General de Calidad (WQI).** El Índice de Calidad Ambiental (**ICA**) o WQI por sus siglas en inglés (Water Quality Index) mide la calidad físico-química del agua en una escala de 0 a 100 referida principalmente para potabilización (0, muy mala; 100, excelente). fue creado por la NSF (National Sanitation Foundation), entidad gubernamental de Estados Unidos. Para su empleo se toman en cuenta los valores de nueve variables: oxígeno disuelto, coliformes fecales, pH, DQO, temperatura del agua, fósforo total, nitratos, turbiedad y sólidos totales reunidos en una suma lineal ponderada.

$$WQI: \sum_{i=1}^n W_i I_i$$

Donde **n** es el número de parámetros que intervienen en la sumatoria, **W** es el peso o ponderación de cada variable **i**, e **I** es el punto de intersección del valor de cada parámetro sobre una curva de sensibilidad de óptimos e indeseables. Esta curva es a su vez propia de cada variable debido a la naturaleza intrínseca de cada una de estas. La calidad del agua puede determinarse a partir de la puntuación obtenida por el índice (Tabla 4).

**Tabla 4.** Calidad del agua para uso potable con respecto al índice WQI.

<i>Calidad</i>	<i>Rango</i>	<i>Color</i>
Excelente	97-100	
	91-96	
Buena	81-90	
	71-80	
Regular	61-70	
	51-60	
Mala	39-50	
	26-38	
Muy mala	13-25	
	0-12	

**Fuente.** Adaptado de Ramírez y Viña, 1998.

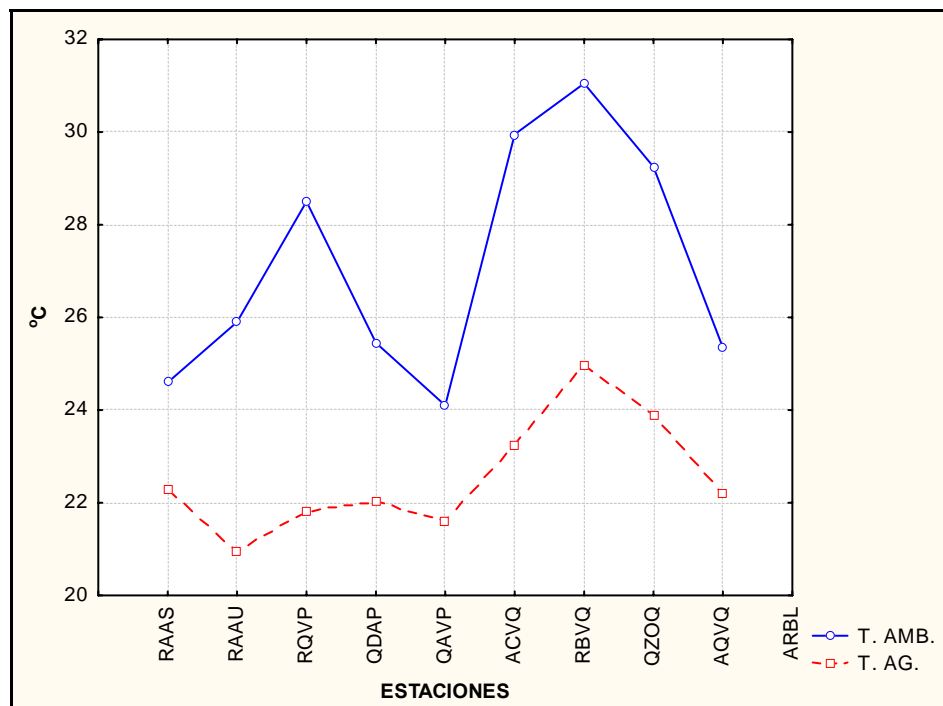
## 1.4. RESULTADOS

**1.4.1 ANALISIS ESPACIAL DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y BACTERIOLÓGICOS.** De las 11 estaciones muestreadas solo 10 fueron comunes en ambas campañas de muestreo. El parámetro D.B.O se eliminó de los análisis debido a que no se registró en los resultados; puesto que sus valores estaban por debajo del límite de detección que es de 2 mgO<sub>2</sub>/L.

**Temperatura.** La temperatura ambiente promedio para la cuenca del Río Anamichú durante todo el estudio realizado en los meses de mayo y junio de 2008 fue de 27.1°C. El menor valor de temperatura se registro en la estación Quebrada Acueducto - Vereda el Porvenir con un valor de 24.1°C y el mayor valor se registro en el Río Blanco - Vereda Quebradón con un valor de 31.1°C (Figura 5).

La temperatura promedio del agua para toda la cuenca del Río Anamichú durante todos los muestreos realizados en los meses de mayo de 2008 fue 22.6°C. El menor valor de temperatura del agua se registro en el Río Anamichú - Antes Unión con un valor de 21°C y el mayor valor para este parámetro se registro en el Río Blanco - Vereda Quebradón con un valor de 25 °C. (Figura 5).

**Figura 5.** Variación espacial de la temperatura ambiente y del agua (°C) en 11 estaciones muestreadas en la cuenca del Río Anamichú durante los meses de Mayo y Junio de 2008.



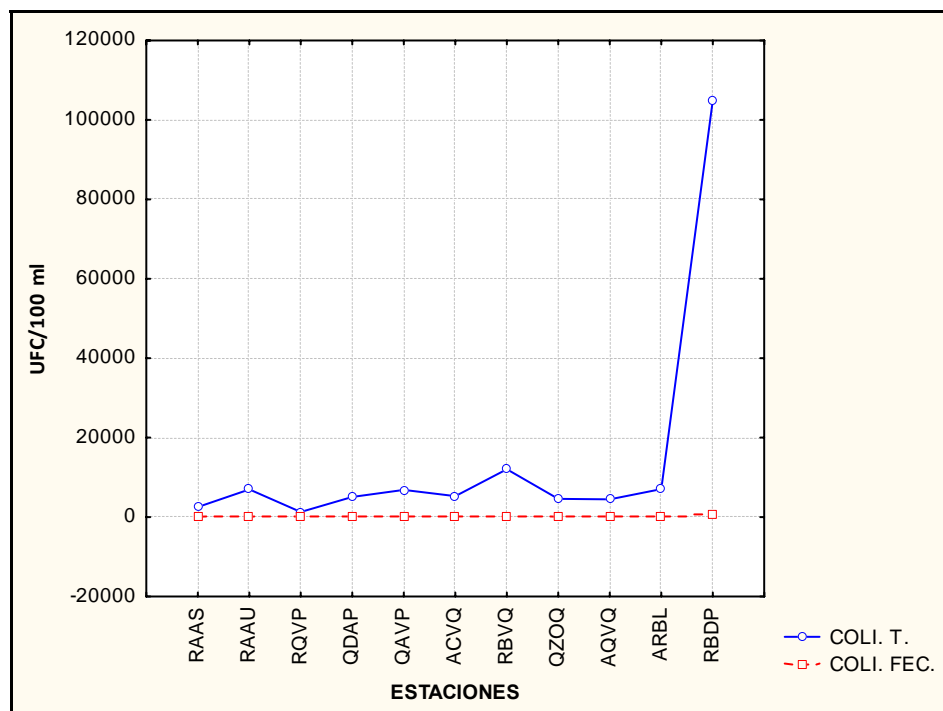
**Fuente:** Autores (2008).



**Coliformes Totales y Fecales.** Los coliformes totales para toda la cuenca del Río Anamichú oscilaron entre 1300 UFC/100 MI en el Río Quebradón - Vereda El Porvenir y 105000 UFC/100 MI en el Río Blanco - Después del Pueblo (Figura 6). Para toda la cuenca este parámetro tuvo un valor promedio general de 103361 UFC/100 MI

En cuanto a los coliformes fecales los valores más altos se registraron en la estación Río Blanco - Después del Pueblo con 880 UFC/100 y el más bajo en el Río Anamichú - Antes Unión con 40.5 UFC/100 MI. El promedio general para toda la cuenca fue de 173.1 UFC/100 MI. (Figura 6).

**Figura 6.** Variación espacial de los coliformes totales y fecales (Coliformes/100ml o NMP) en 11 estaciones muestreadas en la cuenca del Río Anamichú durante los meses de Mayo y Junio de 2008.



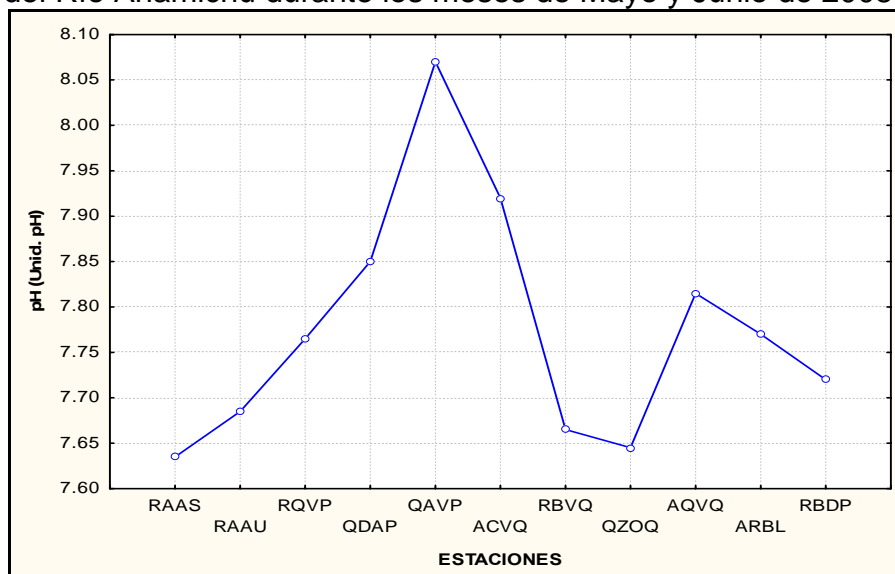
**Fuente:** Autores (2008).

**pH.** El pH promedio para toda la cuenca del Río Anamichú fue de 7.8 unidades. El valor más alto se registro en la estación Quebrada Acueducto - Vereda el Porvenir con 8.1 unidades, y el menor en el Río Anamichú - Antes desembocadura al Saldaña y la Quebrada Zanja Oscura - Vereda Quebradón con 7.6 unidades (Figura 7).

**Conductividad Eléctrica.** La conductividad eléctrica promedio para toda la cuenca del Río Anamichú durante los meses de mayo y junio del 2008 fue de

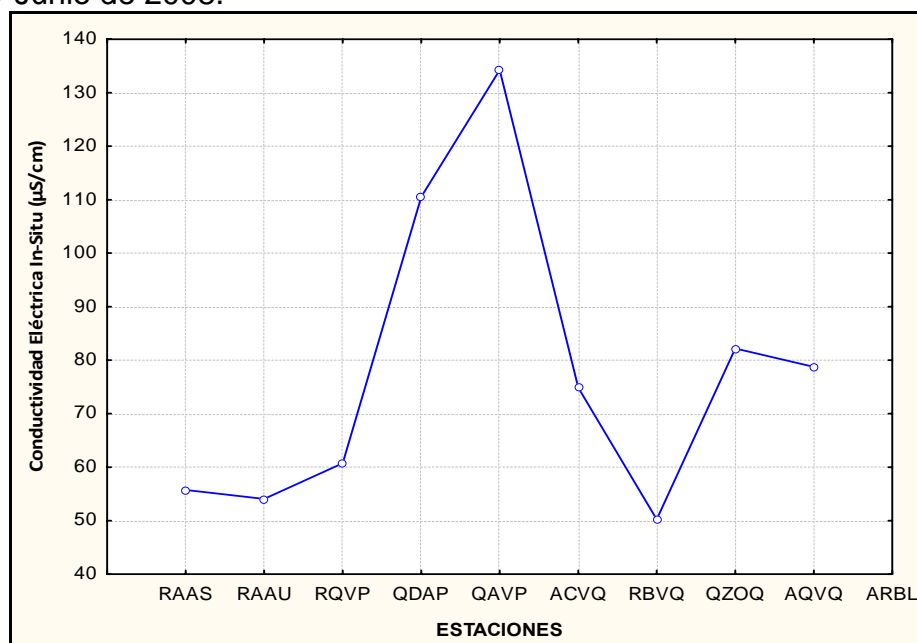
77.9  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . El menor valor para este parámetro se registro en el Río Blanco - Vereda Quebradón con un valor de 50.3  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , y el mayor valor se registró en la estación Quebrada Acueducto - Vereda el Porvenir con un valor de 134.3  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . (Figura 7).

**Figura 6.** Variación espacial del pH en 11 estaciones muestreadas en la cuenca del Río Anamichú durante los meses de Mayo y Junio de 2008.



**Fuente:** Autores (2008).

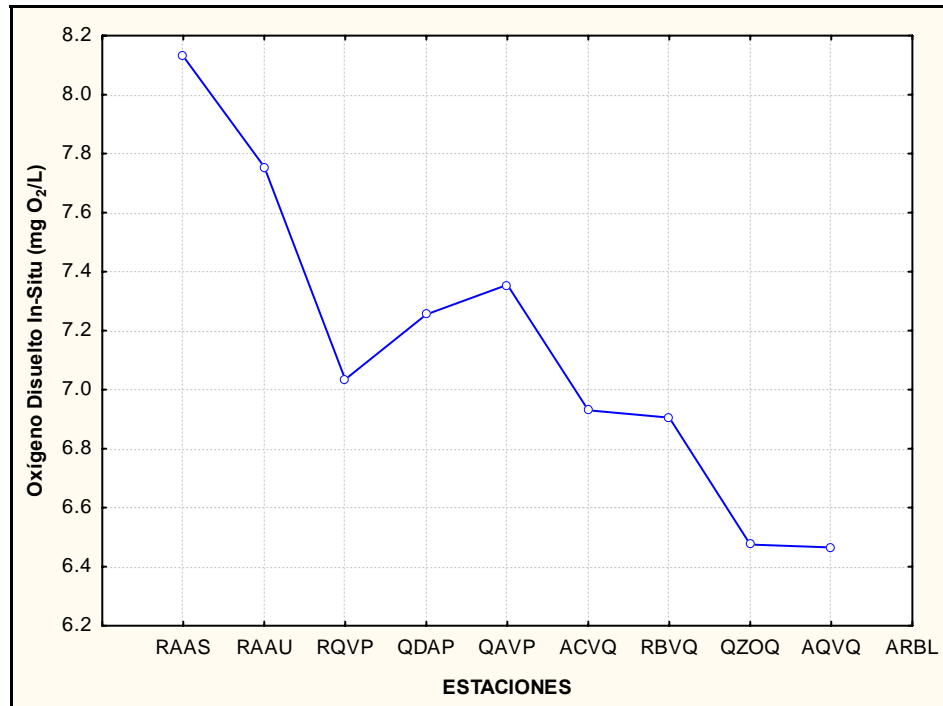
**Figura 7.** Variación espacial de la conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ .) en 11 estaciones muestreadas en la cuenca del Río Anamichú durante los meses de Mayo y Junio de 2008.



**Fuente:** Autores (2008).

**Oxígeno disuelto.** Los valores del oxígeno disuelto para la toda la cuenca del Río Anamichú durante los meses de mayo y junio del 2008 oscilaron entre 6.5 mg O<sub>2</sub>/L en las estaciones Quebrada Zanja Oscura - Vereda Quebradón y Acueducto Quebradón - Vereda Quebradón y 8.1 mg O<sub>2</sub>/L en el Río Anamichú - Antes desembocadura al Saldaña, con un valor promedio de 7.1 unidades (Figura 8).

**Figura 8.** Variación espacial del oxígeno disuelto (mgO<sub>2</sub>/L) en 11 estaciones muestreadas en la cuenca del Río Anamichú durante los meses de Mayo y Junio de 2008.

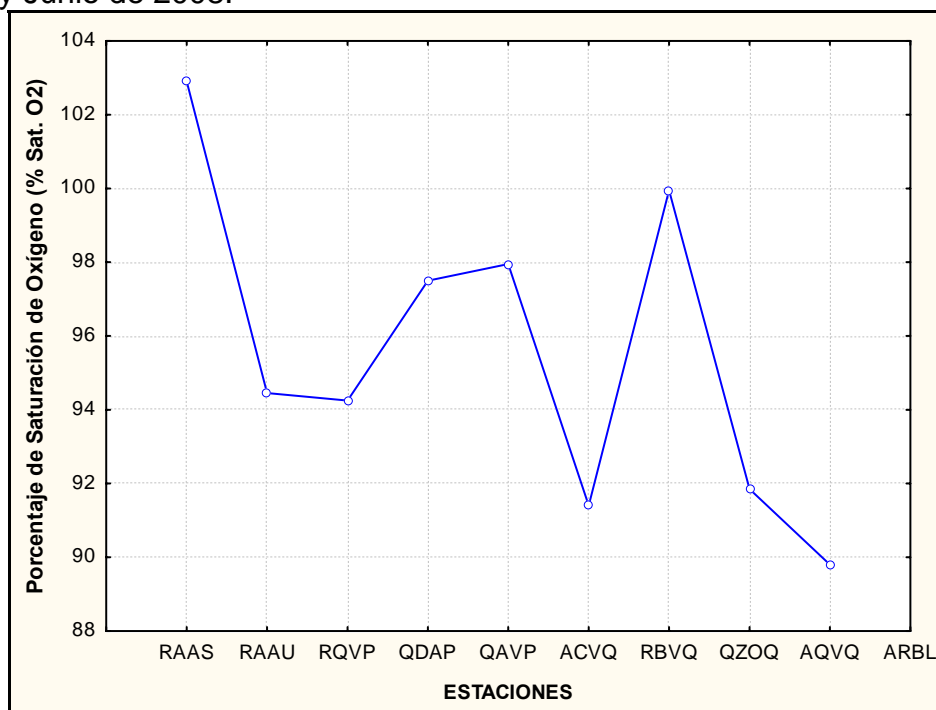


**Fuente:** Autores (2008).

**Porcentaje de Saturación de Oxígeno (% SAT O<sub>2</sub>).** El porcentaje de saturación de oxígeno promedio para toda la cuenca del Río Anamichú durante los meses de mayo y junio del 2008 fue de 95.8%, el menor valor se registró en la estación Acueducto Quebradón - Vereda Quebradón, con 89.8% y el mayor valor se registró en la estación Río Anamichú - Antes desembocadura al Saldaña, con un valor de 102.9% (Figura 9).

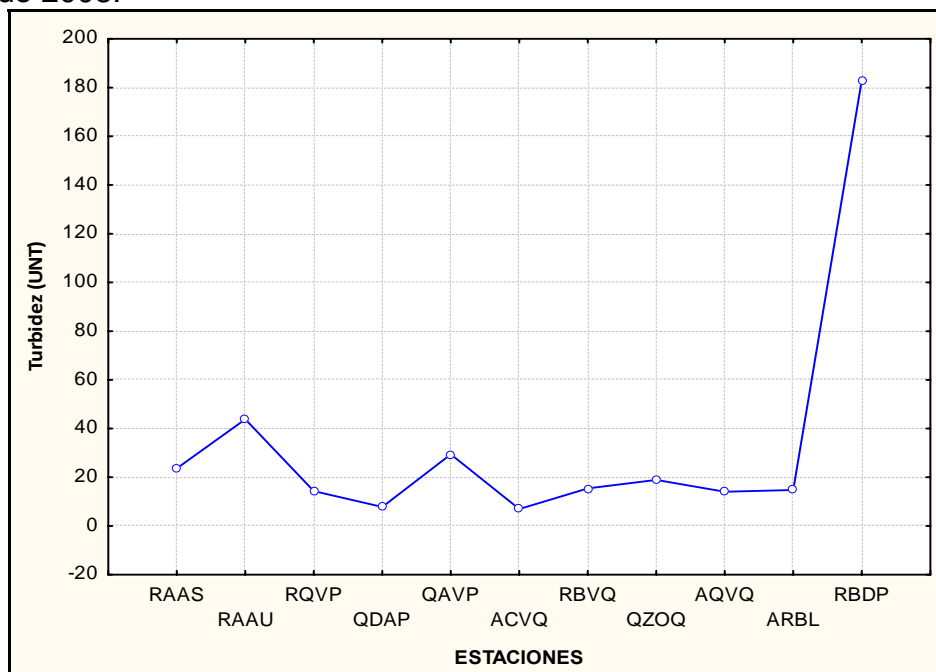
**Turbidez.** Los valores de la turbidez del agua oscilaron para toda la cuenca del Río Anamichú durante los meses de mayo y junio del 2008 entre 7.0 UNT en la estación Acueducto Colegio - Vereda Quebradón y 183 UNT en el Río Blanco - Después del Pueblo, con un valor promedio para toda la cuenca de 26.7 UNT (Figura 10).

**Figura 9.** Variación espacial del porcentaje de saturación de oxígeno en 11 estaciones muestreadas en la cuenca del Río Anamichú durante los meses de Mayo y Junio de 2008.



**Fuente:** Autores (2008).

**Figura 10.** Variación espacial de la turbidez (NTU) en 11 estaciones muestreadas en la cuenca del Río Anamichú durante los meses de Mayo y Junio de 2008.

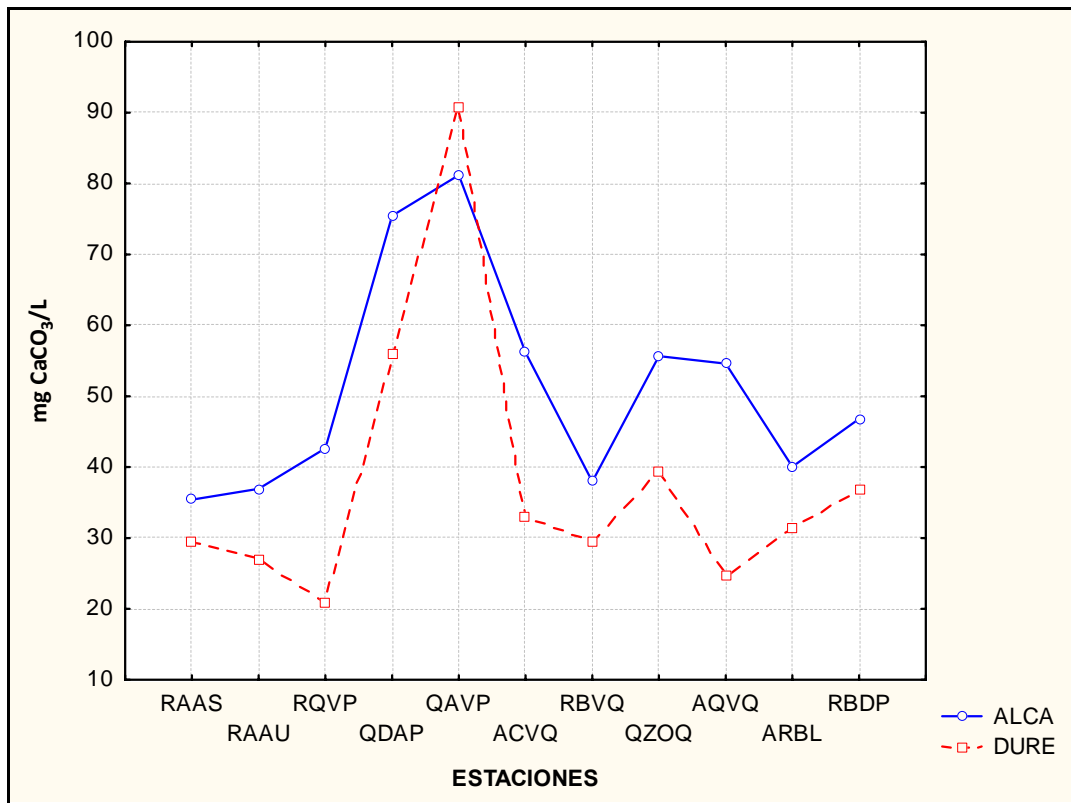


**Fuente:** Autores (2008).

**Alcalinidad total.** La alcalinidad total promedio para la cuenca del Río Anamichú durante los meses de mayo y junio del 2008 fue de 51.4 mg CaCO<sub>3</sub>/L, el valor más alto se registro en la Quebrada Acueducto - Vereda el Porvenir, con 81.2 mg CaCO<sub>3</sub>/L y el valor más bajo se registró en la estación Río Anamichú - Antes desembocadura al Saldaña con 35.4 mg CaCO<sub>3</sub>/L (Figura 11).

**Dureza.** Los valores de la dureza en el agua oscilaron para toda la cuenca del Río Anamichú durante los meses de mayo y junio del 2008 entre 20.9 mg CaCO<sub>3</sub>/L en el Río Quebradón - Vereda El Porvenir y 90.8 mg CaCO<sub>3</sub>/L en la Quebrada Acueducto - Vereda el Porvenir, con un valor promedio para toda la cuenca de 38.1 mg CaCO<sub>3</sub>/L (Figura 11).

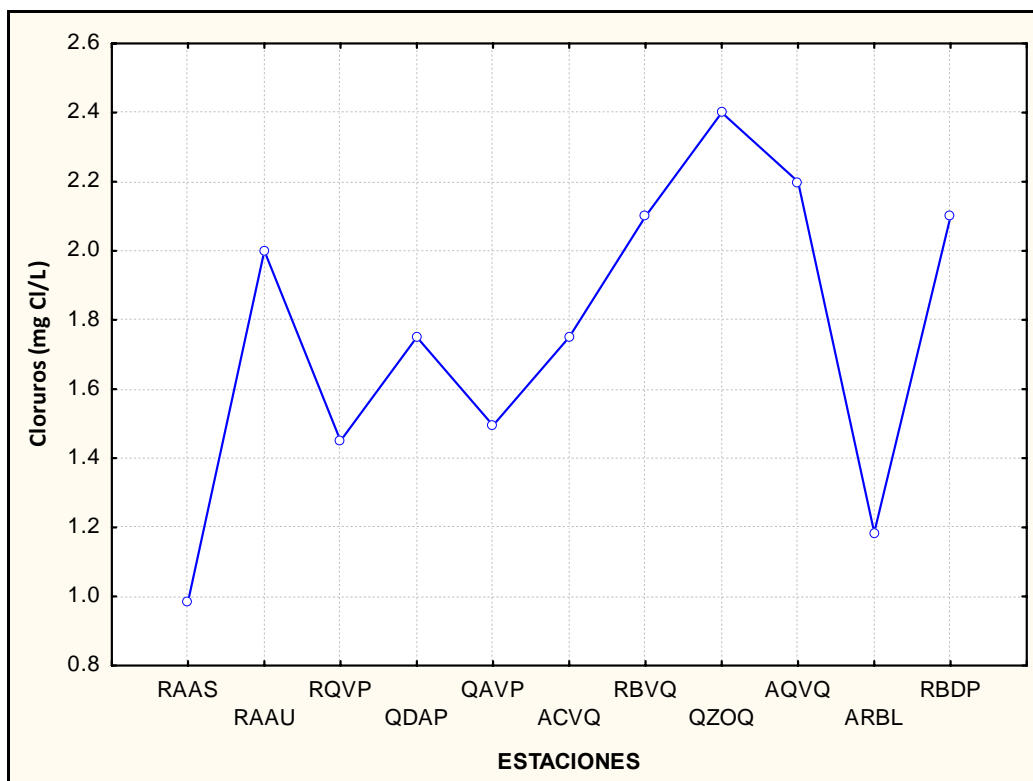
**Figura 11.** Variación espacial de la alcalinidad total y dureza (mgCaCO<sub>3</sub>/L) en 11 estaciones muestreadas en la cuenca del Río Anamichú durante los meses de Mayo y Junio de 2008.



**Fuente:** Autores (2008).

**Cloruros.** La cantidad promedio de cloruros para toda la cuenca del Río Anamichú durante los meses de mayo y junio del 2008 fue de 1.7 mg Cl/L, el menor valor para este parámetro se registro en el Río Anamichú - Antes desembocadura al Saldaña, con 1.0 mg Cl/L y el mayor valor se registró en la Quebrada Zanja Oscura - Vereda Quebradón, con 2.4 mg Cl/L

**Figura 12.** Variación espacial de los cloruros (mgCl/L) en 11 estaciones muestreadas en la cuenca del Río Anamichú durante los meses de Mayo y Junio de 2008.

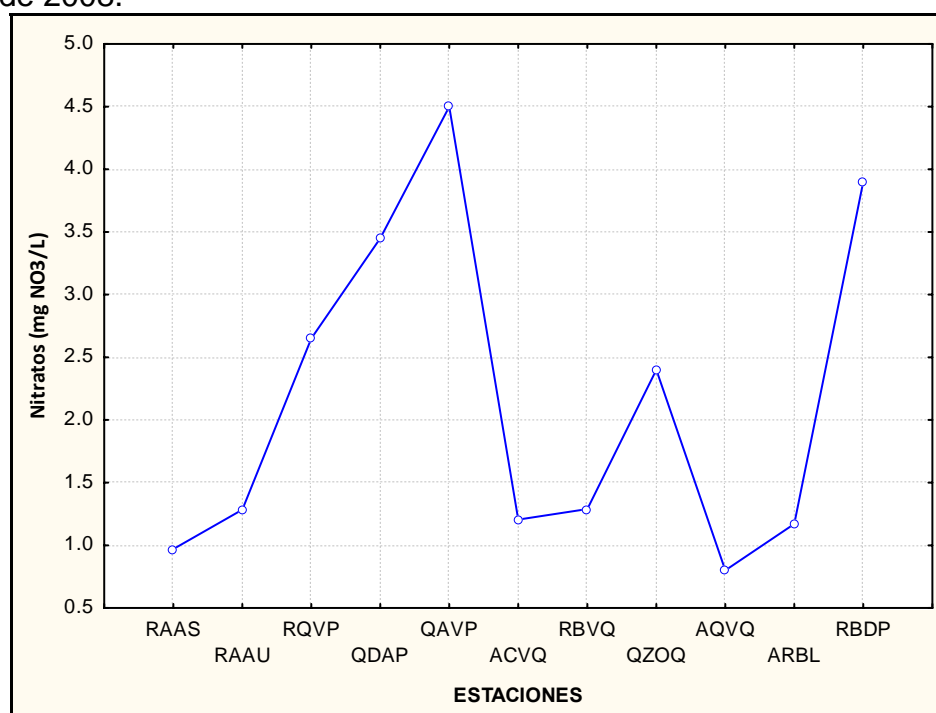


**Fuente:** Autores (2008).

**Nitratos.** Los valores de nitratos en el agua oscilaron para toda la cuenca del Río Anamichú durante los meses de mayo y junio del 2008 entre 0.8 mg NO<sub>3</sub>/L en el Acueducto Quebradón - Vereda Quebradón y 4.5 mg NO<sub>3</sub>/L en la Quebrada Acueducto - Vereda el Porvenir, con un valor promedio para toda la cuenca de 2.1 mg NO<sub>3</sub>/L (Figura 13).

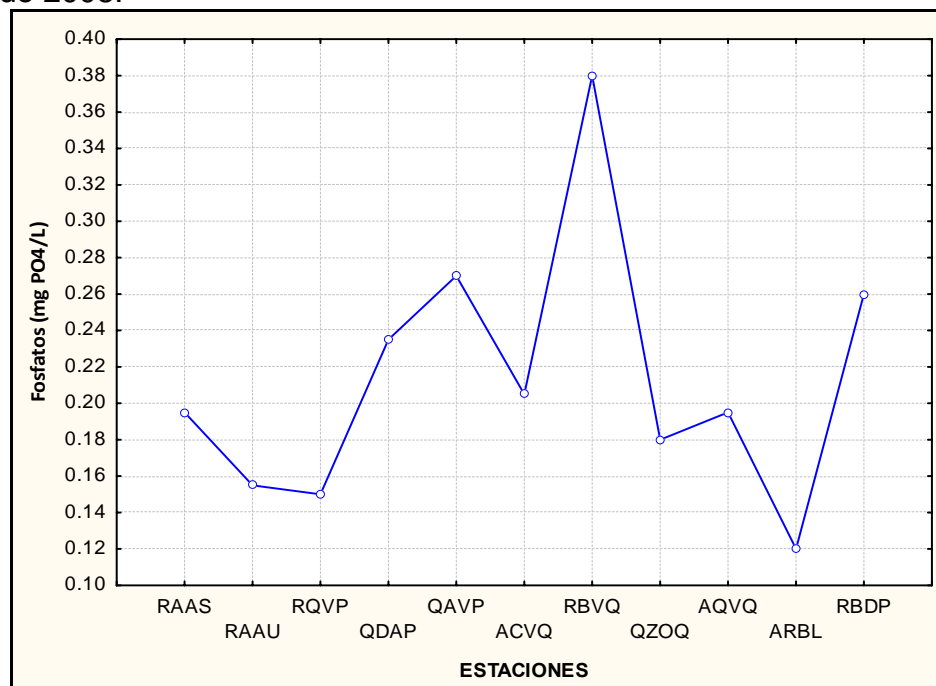
**Fosfatos.** La cantidad promedio de fosfatos para toda la cuenca del Río Anamichú durante los meses de mayo y junio del 2008 fue de 0.2 mg PO<sub>4</sub>/L. El menor valor para este parámetro se registro en la estación Acueducto Rioblanco con 0.1 mg PO<sub>4</sub>/L y la mayor cantidad de fosfatos se registro en el Río Blanco - Vereda Quebradón, con un valor de 0.4 mg PO<sub>4</sub>/L (Figura 13).

**Figura 14.** Variación espacial de los nitratos ( $\text{mgNO}_3/\text{L}$ ) en 11 estaciones muestreadas en la cuenca del Río Anamichú durante los meses de Mayo y Junio de 2008.



**Fuente:** Autores (2008).

**Figura 15.** Variación espacial de los fosfatos ( $\text{mg PO}_4/\text{L}$ ) en 11 estaciones muestreadas en la cuenca del Río Anamichú durante los meses de Mayo y Junio de 2008.

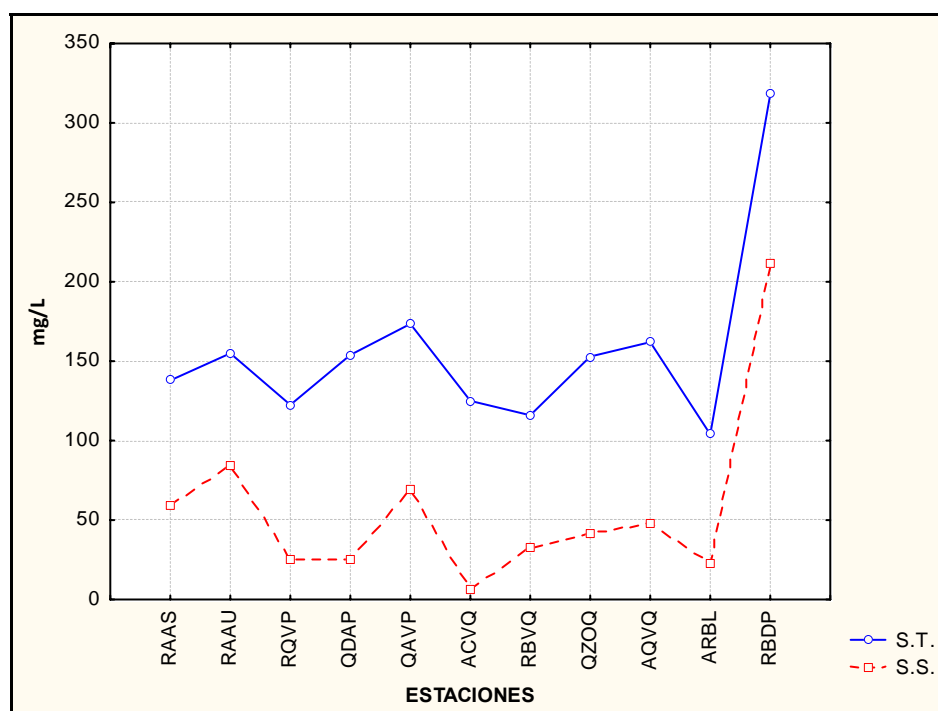


**Fuente:** Autores (2008).

**Sólidos suspendidos.** Los valores de los sólidos suspendidos en el agua oscilaron para toda la cuenca del Río Anamichú durante los meses de mayo y junio del 2008 entre 6.1 mg/L en el Acueducto Colegio - Vereda Quebradón y 212 mg/L en el Río Blanco - Después del Pueblo. Este parámetro tuvo un promedio general de 49.4 mg/L (Figura 16).

**Sólidos totales.** La cantidad promedio de sólidos totales para toda la cuenca del Río Anamichú durante los meses de mayo y junio del 2008 fue de 148.8 mg/L. El menor valor para este parámetro fue de 104 mg/L y se registró en el Acueducto Rioblanco, mientras que el mayor valor fue de 318 mg/L el cual se registró en la estación Río Blanco - Después del Pueblo (Figura 16).

**Figura 16.** Variación espacial de los sólidos suspendidos y sólidos totales (mg/L) en 11 estaciones muestreadas en la cuenca del Río Anamichú durante los meses de Mayo y Junio de 2008.

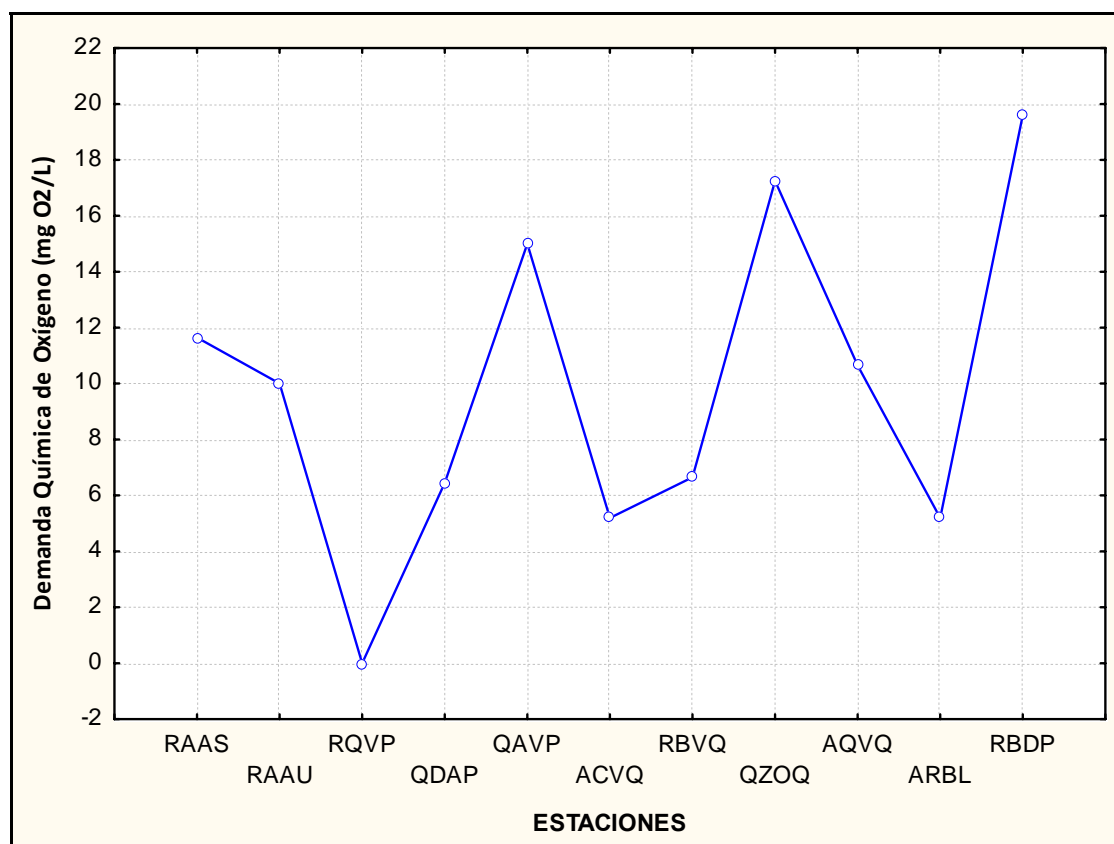


**Fuente:** Autores (2008).

**Demanda Química de Oxígeno (DQO).** Los valores de la DQO en el agua oscilaron para toda la cuenca del Río Anamichú durante los meses de mayo y junio del 2008 entre 0 mgO<sub>2</sub>/L en el Río Quebradón - Vereda El Porvenir y 19.6 mgO<sub>2</sub>/L en el Río Blanco - Después del Pueblo. Con un promedio general para toda la cuenca de 9.3 mgO<sub>2</sub>/L. (Figura 17)



**Figura 17.** Variación espacial de la DQO ( $\text{mgO}_2/\text{L}$ ) en 11 estaciones muestreadas en la cuenca del Río Anamichú durante los meses de Mayo y Junio de 2008.



**Fuente:** Autores (2008).

#### 1.4.2 Análisis temporal de parámetros físico-químicos y bacteriológicos.

**Temperatura.** Con respecto a este parámetro el valor promedio fue mayor durante el primer muestreo con respecto al segundo ( $27.4\text{ °C}$  y  $26.9\text{ °C}$  respectivamente). Sin embargo se presentó el caso contrario con respecto a los valores de temperatura máximos y mínimos observados (Tabla 5).

La temperatura del agua tuvo un promedio de  $22.8\text{ °C}$  en el segundo muestreo y de  $22.3\text{ °C}$  en el primero, así mismo en el segundo muestreo se registraron los valores más bajos y más altos de la temperatura del agua. (Tabla 5).

**Coliformes Totales y Fecales.** El valor promedio más alto de los coliformes fecales se registró en el segundo muestreo ( $17936.4\text{ UFC}/100\text{ ml}$ ), al igual que el menor y mayor valor durante este estudio en la cuenca del Río Anamichú (Tabla 5).

**pH.** El promedio general de pH para de la cuenca del Río Anamichú en el primer muestreo fue igual que en el segundo (7.8 unidades). Sin embargo los valores más altos y más bajos se registraron durante el segundo muestreo (Tabla 5).

**Conductividad Eléctrica.** La conductividad eléctrica para la cuenca del Río Anamichú tuvo un valor promedio mayor durante el primer muestreo (81.6  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y los valores más bajos y más altos fueron registrados durante el segundo muestreo. (Tabla 5).

**Oxígeno disuelto.** El promedio general y el valor máximo de oxígeno disuelto en el agua de la cuenca del Río Anamichú en el primer muestreo fue mayor que el del segundo (7.2  $\text{mgO}_2/\text{L}$  y 8.6 $\text{mgO}_2/\text{L}$  respectivamente), sin embargo, el valor mínimo se registró en el segundo muestreo (5.3  $\text{mgO}_2/\text{L}$ ) (Tabla 5).

**Porcentaje de Saturación de Oxígeno (% SAT O<sub>2</sub>).** El porcentaje de saturación de O<sub>2</sub> tuvo un promedio de 95.3% en el primer muestreo y de 96.3% en el segundo. Así mismo, los valores mínimos y máximos del porcentaje de saturación de oxígeno fueron inferiores en el segundo muestreo (Tabla 5).

**Turbidez.** El promedio general para la turbidez del agua de la cuenca del Río Anamichú en el segundo muestreo fue mayor que el del primero (32.8 UNT y 20.1 UNT respectivamente), al igual el valor máximo y mínimo de turbidez observado. (Tabla 5).

**Alcalinidad total.** La alcalinidad total tuvo un promedio de 53.3  $\text{mg CaCO}_3/\text{L}$  en el primer muestreo y de 49.7  $\text{mg CaCO}_3/\text{L}$  en el segundo. Así mismo, los valores máximos y mínimos de la alcalinidad total en el agua fueron superiores en el primer muestreo (Tabla 5).

**Dureza.** El promedio general de la dureza en el agua de la cuenca del Río Anamichú en el segundo muestreo fue mayor que el del primero (42.0  $\text{mg CaCO}_3/\text{L}$  y 33.7  $\text{mg CaCO}_3/\text{L}$  respectivamente), al igual que el valor máximo de dureza. Sin embargo el valor mínimo para este parámetro fue menor para el muestreo 2 (Tabla 5).

**Cloruros.** Los cloruros en el agua tuvieron un promedio de 1.9  $\text{mgCl}/\text{L}$  en el primer muestreo y de 1.6  $\text{mgCl}/\text{L}$  en el segundo. Así mismo, el valor máximo de los cloruros en el agua fue superior en el segundo muestreo, a diferencia del valor mínimo que fue mayor en el primer muestreo (Tabla 5).

**Nitratos.** El promedio general para los nitratos en el agua de la cuenca del Río Anamichú en el primer muestreo fue menor que en el segundo (2.0  $\text{mgNO}_3/\text{L}$  y 2.1  $\text{mgNO}_3/\text{L}$  respectivamente), al igual que el valor máximo de nitratos observados. Sin embargo, el valor mínimo más pequeño se presentó en el segundo muestreo (Tabla 5).

**Fosfatos.** Los fosfatos en el agua tuvieron un promedio de 0.2 mgPO<sub>3</sub>/L en el primer y segundo muestreo. Así mismo, el valor mínimo fue el mismo para ambos muestreos, mientras que el máximo valor de este parámetro se registró en el segundo muestreo. (Tabla 5).

**Sólidos suspendidos.** El promedio general de los sólidos suspendidos en el agua de la cuenca del Río Anamichú en el primer muestreo fue menor que en el segundo (39.8 mg/L y 58.2 mg/L respectivamente), al igual que el valor máximo observado, sin embargo el valor mínimo fue el mismo para ambos muestreos (Tabla 5).

**Sólidos totales.** Los sólidos totales en el agua tuvieron un promedio de 137.9 mg/L en el primer muestreo y de 158.6 mg/L en el segundo. De la misma forma el valor máximo se registró en el segundo muestreo, sin embargo el valor mínimo o mas bajo se registro durante el segundo (Tabla 5).

**Demanda Química de Oxígeno (DQO).** Los valores de la demanda Química de Oxígeno de la cuenca del Río Anamichú fueron mayores durante el segundo muestreo (Tabla 5).

**Tabla 5.** Valores promedio, máximos y mínimos de los parámetros fisicoquímicos evaluados en la cuenca del Río Anamichú (Tolima) en dos períodos de muestreo en los meses de Mayo (M1) y Junio (M2) de 2008.

PARAMETRO	M1 (Mayo de 2008)			M2 (Junio de 2008)		
	PROMEDIO	MIN	MAX	PROMEDIO	MIN	MAX
Temperatura Ambiente (°C)	27.4	20.3	30.6	26.9	21.2	32.1
Temperatura del Agua (°C)	22.3	21.0	24.1	22.8	18.9	26.7
Oxígeno Disuelto In-Situ (mg O <sub>2</sub> /L)	7.2	6.5	8.6	7.1	5.3	8.4
Porcentaje de Saturación de Oxígeno (%)	95.3	85.6	108.4	96.3	71.2	107.3
Conductividad Eléctrica In-Situ (µS/cm)	81.6	52.8	128.0	74.3	29.5	140.5
pH (Unid. pH)	7.8	7.6	8.0	7.8	7.3	8.1
Conductividad Eléctrica Ex Situ (µS/cm)	108.8	69.7	184.1	101.8	53.4	189.9
Oxígeno Disuelto Ex-Situ (mg O <sub>2</sub> /L)	6.6	6.2	6.9	6.1	5.7	6.6
Turbidez (UNT)	20.1	4.1	61.2	32.8	6.5	183.0
Alcalinidad (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	53.3	39.5	81.2	49.7	25.0	81.2
Dureza (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	33.7	18.4	73.5	42.0	17.2	108.0
Cloruros (mg Cl/L)	1.9	1.1	2.6	1.6	0.4	3.7
Nitratos (mg NO <sub>3</sub> /L)	2.0	1.2	4.0	2.1	0.4	5.0
Fosfatos (mg PO <sub>4</sub> /L)	0.2	0.1	0.3	0.2	0.1	0.6
Demanda Química de Oxígeno (mg O <sub>2</sub> /L)	3.5	0.0	18.2	14.6	0.0	23.3
Sólidos Totales (mg/L)	137.9	103.0	195.0	158.6	103.0	318.0
Sólidos Suspendidos (mg/L)	39.8	12.1	115.0	58.2	0.0	212.0
Coliformes Totales (UFC/100 ml)	2027.7	0.0	6000.0	17936.4	2600.0	105000.0
Coliformes Fecales (UFC/100 ml)	85.5	0.0	360.0	252.7	30.0	880.0

**Fuente:** Autores (2008).

### 1.4.3 Análisis de ordenación (análisis de componentes principales: acp).

Con base en los datos de las variables fisicoquímicas del muestreo realizado durante los meses de mayo y junio de 2008 en la cuenca del Río Anamichú y a través del análisis de componentes principales es de resaltar que las dos primeras componentes en la ordenación de los valores respondieron al 59.5% de la varianza acumulada de los mismos. La primera componente presentó el valor propio más alto con 6.72 mientras que la segunda componente registró un valor propio de 4.59.

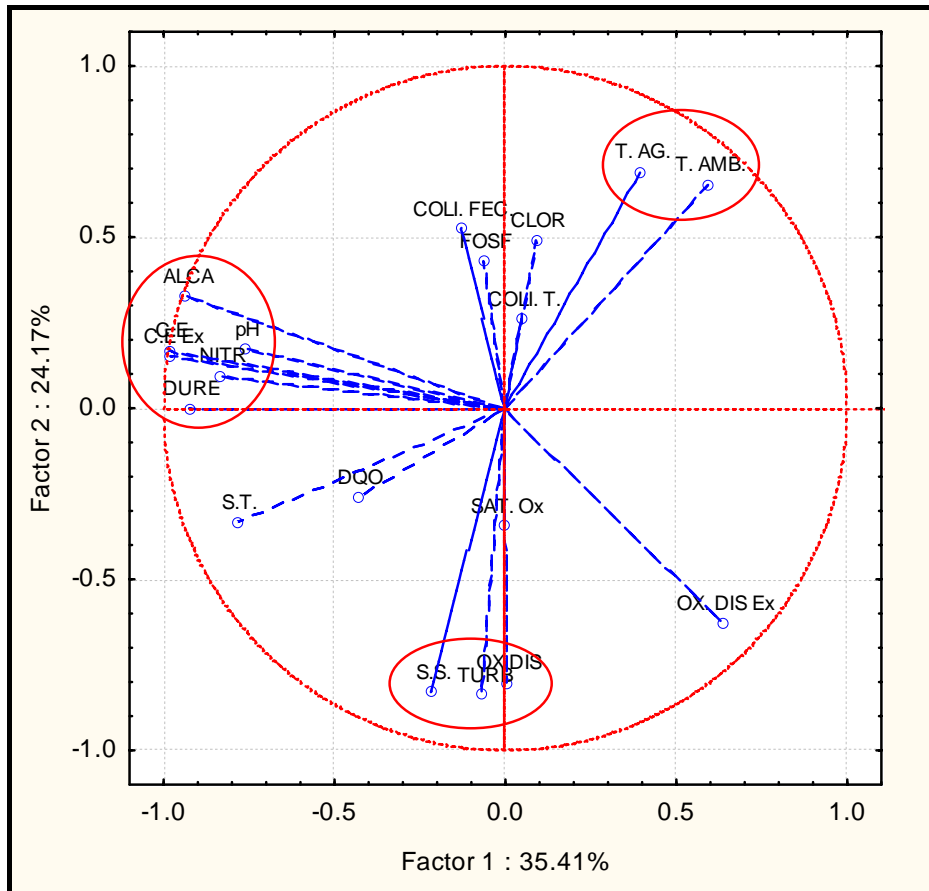
En general el análisis permitió determinar que en el primer componente las variables de mayor peso o más significativas fueron: Conductividad eléctrica, Alcalinidad, Dureza, Nitratos y Sólidos Totales (Tabla 6, Figura 18), por otra parte en el segundo componente las variables más significativas y con mayor varianza fueron: Turbidez, Sólidos suspendidos y Oxígeno Disuelto (Tabla 6, Figura 18).

**Tabla 6.** Resultados del análisis de ordenamiento por componentes principales ACP de los parámetros fisicoquímicos evaluados en la cuenca del Río Anamichú durante los meses de mayo y junio de 2008.

	Factor 1		Factor 2
C.E	0.143625	TURB	0.152749
C.E Ex	0.143058	S.S.	0.149984
ALCA	0.129891	OX.DIS	0.140112
DURE	0.127360	T. AG.	0.104080
NITR	0.103165	T. AMB.	0.092717
S.T.	0.091714	OX. DIS Ex	0.085979
pH	0.085993	COLI. FEC.	0.059620
OX. DIS Ex	0.059580	CLOR	0.052354
T. AMB.	0.052239	FOSF	0.040262
DQO	0.027865	SAT. Ox	0.025783
T. AG.	0.023103	S.T.	0.024075
S.S.	0.007060	ALCA	0.023194
COLI. FEC.	0.002547	DQO	0.014818
CLOR	0.001181	COLI. T.	0.014507
TURB	0.000653	pH	0.006543
FOSF	0.000621	C.E	0.006242
COLI. T.	0.000338	C.E Ex	0.005024
SAT. Ox	0.000005	NITR	0.001957
OX.DIS	0.000002	DURE	0.000000

**Fuente:** Autores (2008).

**Figura 18.** Proyección gráfica según los componentes principales de los parámetros fisicoquímicos evaluados en la cuenca del Río Anamichú durante los meses de mayo y junio de 2008.



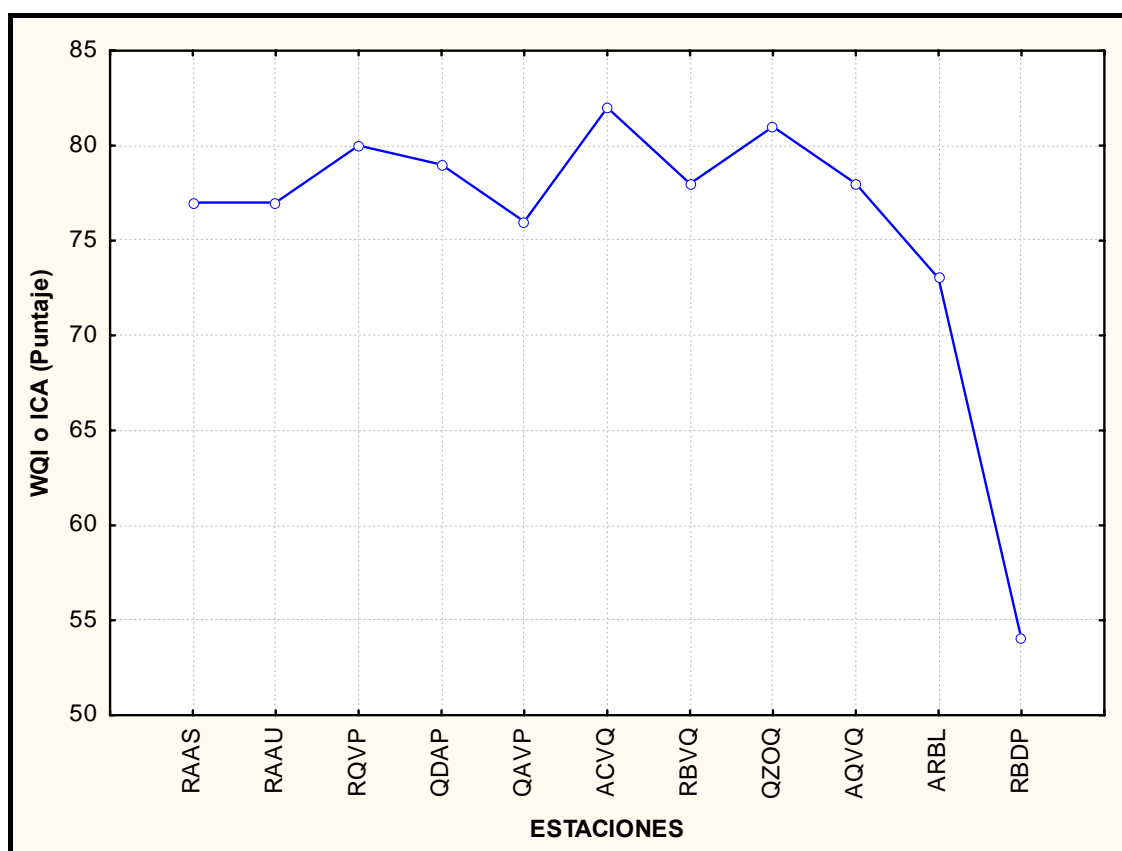
**Fuente:** Autores (2008).

#### 1.4.4 Índice general de calidad hídrica (WQI ó ICA)

En el estudio desarrollado durante los meses de mayo y junio de 2008 en la cuenca del Río Anamichú, el índice de calidad de agua fluctuó entre 54 puntos en la estación Río Blanco - Después del Pueblo y 82 puntos en el Acueducto Colegio - Vereda Quebradón (Figura 19).

De forma general, la mayoría de las estaciones muestreadas en la cuenca del Río Anamichú tuvieron una calidad de agua buena, con excepción de la estación Río Blanco - Después del Pueblo, la cual presentó una calidad regular. Ninguna de las estaciones presentó una calidad de agua excelente. (Tabla 7).

**Figura 19.** Fluctuación del ICA en la cuenca del Río Anamichú durante los meses de mayo y junio de 2008.



Fuente: Autores (2008).

**Tabla 7.** Puntuación del ICA para la cuenca del Río Anamichú durante los meses de mayo y junio de 2008.

No.	ABREV.	COORDENADAS						ALTURA	ICA	INDICATIVO
		N			W					
1	RAAS	3°	28'	17.2"	75°	39'	57.1"	725	82.0	
2	RAAU	3°	28'	17.2"	75°	39'	57.1"	812	81.0	
3	RQVP	3°	33'	15.3"	75°	38'	54.4"	1345	80.0	
4	QDAP	3°	52'	56.6"	75°	39'	2.5"	1371	79.0	
5	QAVP							1506	78.0	
6	ACVQ	3°	34'	18.0"	75°	39'	9.0"	1528	78.0	
7	RBVQ	3°	34'	4.0"	75°	39'	10.0"	1547	77.0	
8	QZOQ	3°	33'	48.4"	75°	38'	58.7"	1605	77.0	
9	AQVQ	3°	32'	51.0"	75°	38'	56.4"	1380	76.0	
10	ARBL								73.0	
11	RBDP								54.0	

Fuente: Autores (2008).

## 1.5 DISCUSIÓN

La medición de parámetros físico-químicos en los cuerpos de agua, es tal vez la forma más sencilla de identificar sus variaciones composicionales tanto espaciales como temporales, resultantes de cambios en factores naturales como la litología, relieve, vegetación y clima de la región. Además, son útiles para determinar el grado de contaminación tanto orgánica como inorgánica. Por lo que resulta conveniente su uso en estudios preliminares de por ejemplo impacto ambiental (Mogollón *et al* 1993).

En general, es aceptado que dichos parámetros ejercen una influencia notable sobre los procesos químicos y biológicos que ocurren en los sistemas acuáticos. También podría esperarse que estos parámetros sean útiles para identificar procesos geoquímicos, tales como los de autopurificación; sin embargo, la bibliografía acerca de este aspecto es escasa (Mogollón *et al* 1993). De esta forma, los parámetros físicoquímicos evaluados permiten determinar el estado en el que se encuentran los cuerpos de agua, ya que estos reflejan características propias de los cuerpos de agua, como procesos de contaminación, oxidorreducción, mineralización etc. Estos parámetros dependen del comportamiento de un conjunto de factores, los cuales intervienen en la dinámica de la cuenca, como por ejemplo: el clima, los tipos de suelo, la precipitación, la cantidad de organismos vegetales y animales que habitan los cuerpos de agua entre otros. De la misma forma cada ecosistema estudiado es único ya que existen diferencias espaciales como la altura, temperatura etc., aun cuando se presentan rasgos en común en las estaciones de muestreo.

A nivel espacial, se pudieron observar variaciones entre los valores de los parámetros evaluados en la cuenca, lo que probablemente este indicando una composición natural diferencial en los ecosistemas acuáticos evaluados. Además este comportamiento puede ser indicativo de la calidad de agua presente en las zonas evaluadas.

Las variaciones espacio temporales en las zonas estudiadas durante los dos muestreos pueden estar relacionadas con el caudal, la velocidad, la altura y la capacidad de reoxigenación, características propias de cada cuerpo de agua, además la influencia de otros factores como la pluviosidad y la hora de toma de la muestra entre otros.

Algunos parámetros estudiados se encuentran estrechamente relacionados, por ejemplo la temperatura ambiente, la temperatura del agua y aunque no es un parámetro físicoquímico en realidad, la altura; lo que permite hacer algunas inferencias acerca de su comportamiento. Sin embargo, la estación ubicada a la menor altura no tuvo la menor temperatura del agua (Río Anamichú - Antes desembocadura al Saldaña). Esto posiblemente puede explicarse por diferentes factores que afectan los resultados de estos parámetros como la

hora del día en que se tomo la muestra, o incluso la cercanía a la desembocadura en otros cuerpos de agua.

De la misma manera, el comportamiento espacial y temporal de variables como coliformes fecales y totales fue heterogéneo y relativamente bajo para aguas destinadas al uso agrícola y pecuario. Sin embargo, en términos de potabilidad estaciones como sin embargo algunas estaciones como Río Blanco - Vereda Quebradón y Río Blanco - Después del Pueblo, presentaron valores muy altos de ambas variables, los cuales sobrepasaron los niveles establecidos por la Norma Colombiana de Salud Pública, indicando que no son aptas para el consumo humano. Estas estaciones se encuentran localizadas en zonas cercanas a lugares habitados, y por lo tanto se evidencia la intervención a través de las descargas de sus vertimientos de la mayoría de fincas y zonas agropecuarias, generando un gran aumento en los coliformes fecales y totales.

Variables como el pH y la Conductividad eléctrica se caracterizaron por presentar un comportamiento similar, con cambios abruptos especialmente en las estaciones Quebrada Acueducto - Vereda el Porvenir (donde se presentó un drástico aumento) y Río Blanco - Vereda Quebradón (donde se presentó una disminución significativa de ambos parámetros). Según la literatura (Yepes, 2004) el promedio de la Conductividad en aguas tropicales de cuencas bajas poco intervenidas se encuentra entre 150-200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , sin embargo en este estudio no se registraron valores promedios cercanos a estos valores, de hecho todos fueron menores a este rango. En zonas de media y alta montaña los niveles óptimos de Conductividad se encuentran entre 50-150 y 20-50  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , respectivamente (Yepes, 2004). En la cuenca del río Anamichú la mayoría de las zonas de muestreo se adaptan a estos rangos ideales mencionados. Las aguas de la cuenca se consideran según la normatividad aguas idóneas para potabilidad según este parámetro y las zonas evaluadas.

Variables estrechamente relacionadas como el Oxígeno Disuelto, Saturación de Oxígeno y el DQO, que están relacionadas con procesos de oxidorreducción de la materia orgánica, exhibieron un comportamiento muy heterogéneo. El oxígeno disuelto in-situ tuvo la tendencia a disminuir a medida que aumenta la altura, lo cual es comprensible ya que la presión atmosférica va disminuyendo y el oxígeno se hace más fácil de separar de los cuerpos de agua. Con relación a la DQO y el Porcentaje de saturación de oxígeno, no pareció observarse un patrón claro, sin embargo la estación con mayor porcentaje de saturación fue la ubicada a la menor altura (Río Anamichú - Antes desembocadura al Saldaña). La DQO por su parte tuvo un comportamiento muy heterogéneo aumentando y disminuyendo sin un patrón aparente a lo largo de las estaciones evaluadas.

Con respecto a la Turbidez en la cuenca del Río Anamichú una de las 10 estaciones (Acueducto Colegio - Vereda Quebradón) no sobrepasó el límite (10 U.N.T). Por otra parte, la estación Río Blanco - Después del Pueblo registró valores muy altos, los cuales están relacionados con los sólidos totales y sólidos disueltos. Este resultado puede ser explicado porque este cuerpo de agua estaba muy cercano a la zona de asentamiento humano, lo cual



incrementa la probabilidad de que se generen mas descargas sobre el cuerpo de agua y aumente la carga de partículas en ella, aumentando la turbidez, dureza, alcalinidad y sólidos en el cuerpo de agua.

Algunos autores como Roldán (2000), consideran que los valores ideales de la alcalinidad son de 100 mg/CaCo<sub>3</sub> en zonas andinas, sin embargo los resultados del estudio en la cuenca del Río Anamichú se encuentran muy por debajo de este valor. Esto puede atribuirse a características propias de la cuenca, así como a la dinámica hidrológica en sí misma. En cuanto a la Dureza todas las estaciones muestran valores que se adaptan a las exigencias de la legislación en cuanto a potabilidad, pues este límite es de 160 mg/CaCo<sub>3</sub>.

Parámetros como los cloruros, nitratos y fosfatos son indicativos de la cantidad de nutrientes en el agua y se pueden relacionar con fuentes externas de contaminación. De forma general, los valores para esta cuenca en los tres parámetros fueron bajos, lo que parece indicar que no hay fuentes evidentes de contaminación que estén generando un aumento excesivo en los nutrientes del cuerpo de agua. Esto es importante especialmente en cuanto a los nitratos y fosfatos que son utilizados en la determinación de la calidad del agua.

A nivel temporal, no se observaron cambios significativos en el comportamiento de las variables evaluadas, pero esto puede explicarse porque los periodos de muestreo tuvieron un corto periodo de tiempo entre ellos, haciendo que las diferencias en las mediciones fueran poco evidentes.

El análisis de componentes principales (ACP), reveló que las variables que mas influyen en la variabilidad de la dinámica de los parámetros fisicoquímicos fueron Conductividad Electrica, Alcalinidad, Dureza, Nitratos, Solidos Totales, Turbidez, Solidos Suspendidos y Oxígeno Disuelto. En su mayoría, estas se caracterizan por ser variables de mineralización, menos el oxigeno que es considerado como de oxido-reduccion de la materia orgánica. Este comportamiento nos puede estar indicando que en la cuenca del Río Anamichú no se presenta una gran cantidad de materia orgánica que procesar, lo que se corresponde con los resultados obtenidos para variables como DQO y turbidez. Esto indica que los procesos que se están presentando en la cuenca se relacionan más con los niveles de minerales en el agua ya que variables como la conductividad se ven directamente relacionadas con este hecho.

De otra parte, se observaron en el diagrama de dispersión la formación de núcleos de variables que podrían explicar un poco mejor la dinámica en el cuerpo de agua. Por una parte tenemos a las temperaturas (agua y ambiente) que están estrechamente relacionadas, por otra tenemos a los sólidos suspendidos, oxigeno y turbidez que se relacionan estrechamente ya que a medida que aumentan los sólidos, aumenta la turbidez y disminuye la cantidad de oxigeno disuelto en el agua. Por último la alcalinidad, conductividad eléctrica, pH, nitratos y dureza formaron otro grupo que puede estar definido como uno de los principales en la dinámica del cuerpo de agua y que se relaciona generalmente con procesos de mineralización.

De acuerdo al índice de calidad de agua calculado usando 9 variables fisicoquímicas, la mayoría de las estaciones de la cuenca del Río Anamichú se encontraron en un nivel bueno, ninguna en excelente, exceptuando una que indicó un nivel regular. Esto indica que casi todas las estaciones poseen una buena calidad de agua destinada para el consumo humano, basándose en este parámetro, a excepción de la estación Río Blanco Después del Pueblo que parece no tener una buena calidad de agua probablemente por su ubicación con respecto a asentamientos humanos.

## **CONCLUSIONES**

La cuenca del Río Anamichú presenta una buena calidad de agua buena, con excepción de la estación Río Blanco Después del Pueblo, en la cual el grado de intervención antrópica y la contaminación por materia orgánica es obvio dada su cercanía con asentamientos humanos.

Las variables que parecen tener mayor influencia en la dinámica de la cuenca con respecto a los parámetros fisicoquímicos fueron Conductividad Eléctrica, Alcalinidad, Dureza, Nitratos, Sólidos Totales, Turbidez, Sólidos Suspendidos y Oxígeno Disuelto, indicando procesos de mineralización en los cuerpos de agua.

A nivel temporal los cambios que se registraron no fueron muy significativos, probablemente debido a que los periodos de muestreo no tuvieron amplios espacios de tiempo entre sí.

## **RECOMENDACIONES**

Se deben fomentar más programas de conservación de los cuerpos de agua en especial en las zonas cercanas a los asentamientos humanos, ya que son las que presentan los valores más altos de contaminación y de intervención antrópica.

Al realizar los análisis fisicoquímicos, es necesario evaluar las mismas variables para cada una de las épocas muestreadas con el fin de establecer un punto de comparación más confiable y exacta.

Es recomendable tomar el mismo número de muestras y conservar los puntos de una época de muestreo a otra, para poder realizar un análisis más completo a los datos.

Se deben realizar este tipo de muestreos con más periodicidad para así poder establecer de una manera más verídica el estado total de toda la cuenca no solo del río Anamichú sino de todo el departamento.

La selección de las estaciones y los periodos de muestreo debería tener en cuenta un mayor contraste a nivel temporal y espacial, con el fin de detectar cambios sutiles que pueden estar pasando desapercibidos en estudios con periodos de muestreo y estaciones muy cercanas.

## BIBLIOGRAFÍA

ALBA -TERCEDOR, Javier. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. En: IV Simposio del agua en Andalucía, Amealra. Vol.2 (1996); p. 203-213.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATERS WORKS ASSOCIATION (AWWA) & WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (WPCF). Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 19 ed. New York : Clescerl, L. S, 1995. 1325 p.

BEHAR, Roberto; ZÚÑIGA DE C, Maria del Carmen y ROJAS, Olga. Análisis y Valoración del índice de calidad de agua (ICA) de la NSF: El caso de los ríos Cali y Melendez- (Cali-Colombia). En: Seminario internacional sobre macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad de agua. Memorias. Cali: Universidad del Valle, 1997. 30 p.

CALDERÓN SAENZ, Felipe. 2001. Interpretación de Análisis de Agua: Parámetros Ambientales. [en línea]. [Octubre 15 de 2002, 07-20'40"]. Disponible en: [http://\\_wwwdrcalderonlabs.com/Métodos/Análisis\\_D](http://_wwwdrcalderonlabs.com/Métodos/Análisis_D)

CAROLINA BIOLOGICAL SUPPLY COMPANY. 3M™ Petrifilm™. Coliform count plates: Instruction manual. [en línea]. [Abril 25 de 2003, 07-20'40"]. Disponible en: [http://www.carolina.com/coliforms/Análisis\\_D](http://www.carolina.com/coliforms/Análisis_D).

CARTER, Larry. Manual de evaluación del Impacto Ambiental: Técnicas para la elaboración de los estudios de Impacto. 2º ed. Mexico: McGraw Hill, 2000. p. 154-163.

CENTRO DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS Y TECNICAS (Argentina). Análisis de componentes principales –PCA. [En: línea]. [Octubre 20 de 2003, 11-22'50"]. Disponible en: <http://www.lafe.uba.ar/tele/recursos/PCA.pdf>

CHAVES, Maria Elfi. Contaminación Agua. En: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. Informe Nacional Sobre el Estado de la Biodiversidad Colombia: Causas de pérdida de biodiversidad. Santa fe de Bogotá: El Instituto, 1997, Tomo II; p. 163-167

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL RÍO GRANDE DE LA MAGDALENA E INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Estudio ambiental de la cuenca Magdalena - Cauca y elementos para su ordenamiento territorial. Bogotá: CORMAGDALENA E IDEAM, 2000. v.1, p. 10-246

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL TOLIMA. SUBDIRECCIÓN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL. Clasificación de las cuencas hidrográficas del departamento del Tolima. Ibagué: CORTOLIMA, 2000. p. 42-51.

COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. Decreto número 2105 de 1983. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título II de la Ley 09 de 1979 en cuanto a Potabilización del Agua.

FAÑA, B. J. Evaluación Rápida de la Contaminación Hídrica. Ediciones G.H.e.N. Grupo Hidro-ecológico Nacional, Inc. (G.H.e.N). Republica Dominicana. [en línea]. [Marzo 2 de 2002, 09-15'22"]. Disponible en: [http://www.ambiente-ecologico.com/067-02\\_2000/juannicolasfania67.htm](http://www.ambiente-ecologico.com/067-02_2000/juannicolasfania67.htm)

METCALF y HEDDY. Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. 3° ed. México: MC Graw Hill, 1985. v.2, p. 59-102

MOGOLLÓN, J.L., RAMIREZ, A., GARCÍA, B. Y BIFANO, C. uso de los parametros fisico-quimicos de las aguas fluviales como indicadores de influencias naturales y antropicas En: INTERCIENCIA 18 (5): 249-254. 1993.

MORALES ZAPATA, G. Índices de calidad del agua y el río Medellín. En: AINSA, Medellín. Vol.2 (1984). p 9-21

PERDOMO, G. A y GOMEZ, M. M. Estatuto de aguas para el área de jurisdicción de la corporación autónoma regional del Tolima. 3° ed. Ibagué: CORTOLIMA, 2000. p. 21-28

RAMÍREZ, G. A; VIÑA, V. G. 1998. Limnología Colombiana. Aportes a su conocimiento y Estadísticas de Análisis. Edición: BP Exploration Company Ltd. p: 45-75

RODIER, J. Análisis de Aguas: Aguas naturales, residuales y agua de mar. Barcelona: Omega, 1981. p. 148-151, 178-181.

ROMERO ROJAS, J. A. Acuquímica. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 1996.

ROLDÁN PÉREZ, Gabriel. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Propuesta para el uso del método BMWP/Col. Medellín: Universidad del Antioquia, 2003. 170 p.

\_\_\_\_\_ Fundamentos de limnología neotropical. Medellín: Universidad de Antioquia, 1992. 529 p.

ROLDÁN PEREZ, G; BUILES, J; TRUJILLO, C. M Y SUÁREZ, A. Efectos sobre la contaminación industrial y doméstica sobre la fauna béntica del río Medellín. En: Actualidades biológicas, Medellín. Vol.2, No.5 (1973); p. 54-64.

SAENZ, F. C. 2001. Interpretación de Análisis de Aguas: Parámetros Ambientales. Bogotá. [en línea]. [Enero 27 de 2003, 05-25'06"]. Disponible en: [http://\\_www.drcalderonlabs.com/Métodos/Analisis-D](http://_www.drcalderonlabs.com/Métodos/Analisis-D)

WETZEL, Robert G. Limnología. Barcelona: Omega, 1981. 679 p.

YEPES, Sally L. Caracterización Físico-química y Bacteriológica de la cuenca del río Coello. Tesis de grado. Biólogo, facultad de Ciencias, Universidad del Tolima, 2004.137 p.