2.11 CALIDAD DE AGUAS

La Calidad del agua es la condición general que permite que el agua se emplee para usos diversos, está determinada por la hidrología, la fisicoquímica y la biología de la masa de agua a que se refiera. Las características hidrológicas son importantes ya que indican el origen, cantidad del agua y el tiempo de permanencia, entre otros datos. Estas condiciones tienen relevancia ya que, según los tipos de sustratos por los que viaje el agua, esta se cargará de unas sales u otras en función de la composición y la solubilidad de los materiales de dicho sustrato. Así, las aguas que discurren por zonas calizas (rocas muy solubles) se cargarán fácilmente de carbonatos, entre otras sales. En el otro extremo, los cursos de agua que discurren sobre sustratos cristalinos, como los granitos, se cargarán muy poco de sales, y aparecerá sílice en cantidad apreciable (Ramírez y Viña 1998).

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 físico-químicas 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 del río Amoyá se constituyen grandes riquezas para el municipio de Chaparral Tolima, entre otros, 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 las razones expuestas las aguas de la cuenca del río Amoyá requieren de metodologías de diagnóstico 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 la estructura y funcionamiento general de la cuenca, determina las zonas, niveles de calidad del agua con el fin de disminuir los efectos negativos que sobre el ecosistema se están presentando.

2.11.1 Factores Físico Químicos y Bacteriológicos de los Ecosistemas Acuáticos

Los parámetros más comúnmente utilizados para establecer la calidad de las aguas son el oxígeno disuelto, pH, sólidos en suspensión, DBO, fósforo, nitratos,

nitritos, amonio, amoniaco, compuestos fenólicos, hidrocarburos derivados del petróleo, cloro residual, zinc total y cobre soluble (Ramírez y Viña 1998).

Temperatura. La radiación solar determina la calidad y cantidad de luz y además afecta la temperatura del agua. En las zonas templadas la temperatura varia 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 agua receptoras al intervenir con la reproducción de especies, incrementar el crecimiento de bacterias y otros organismos no alóctonos. La solubilidad del oxigeno en el agua esta 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 25ºC a 0ºC; esto se debe a que el agua, las moléculas se unen mas, reteniendo por tanto, mayor cantidad de oxígeno. Un cuerpo de agua posee 14.6mg/L de oxigeno a 0ºC puede bajar su concentración a 6.4mg/L a 40ºC (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 oxigeno disuelto es uno de los indicadores mas 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). El oxígeno constituye uno de los elementos de mayor importancia en los ecosistemas acuáticos, ya que su presencia y concentración definen el tipo de especies que ocurren de acuerdo con sus tolerancias y rangos de adaptación, y por ende establecen toda la estructura y funcionamiento biótico de estos sistemas. La oxigenación de la materia orgánica por medios químicos constituye la demanda química de oxígeno (DQO); la descomposición de la materia orgánica por vías biológicas (microbios) se denomina demanda bioquímica o biológica de oxígeno (DBO) (Ramírez y Viña 1998).

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 depe4ndiente de factores como: reoxigenación atmosférica, respiración animal y vegetal, demanda béntica, demanda bioquímica (Perdomo y Gómez, 2000).

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Faña (2002) define este parámetro como la cantidad de Oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica bajo condiciones

especificas 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.

pH: Este parámetro es definido como el logaritmo del inverso de la concentración de hidrogeniones (H+); (Calderón Saenz, 2002). El intervalo de la concentración adecuado para la proliferación y desarrollo de la vida acuática es bastante estrecha y critico, 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). Esta se incrementa principalmente con el contenido de iones (sólidos disueltos) y la temperatura (Ramírez y Viña 1998).

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 procesos de coagulación química ablandamiento y control de la corrosión (Romero Rojas, 1996).

Dureza total. 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 está 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). La dureza total también se define como la capacidad para precipitar el jabón (Ramírez y Viña 1998).

Turbiedad: 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).

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 suspendidos y disueltos, 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). Los primeros corresponden a partículas menores a 1.2 micras (limos, arcillas, materia orgánica finamente dividida, o incluso plancton y otros microorganismos), los segundos constituyen los iones solubles en el agua cuyos principales cationes y aniones son: Na, K, Ca, Mg, Cl, SO_4, HCO_3 y CO_3. Estas sales se incorporan al agua a través de la atmósfera durante las lluvias, o en los suelos durante la escorrentía (Ramírez y Viña 1998).

Sulfatos: Su importancia para los microorganismos es atribuida a que el azufre es un elemento limitante para la existencia de la vida dentro de un ecosistema, debido a que es esencial para la síntesis proteica formando parte de aminoácidos (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 oxígeno 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 estudios de polución de ríos, así como en procesos químicos de y biológicos de purificación y tratamiento de aguas (Roldán, 2003).

Nitrógeno, Nitritos y Nitratos: El nitrógeno es un elemento esencial para el crecimiento de algas y causa un aumento en la demanda de oxígeno 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).

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 el 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).

Efecto de la materia orgánica disuelta. Las aguas naturales no contaminadas poseen por lo general bajas concentraciones de materia orgánica disuelta (menos de 2mg/L). La contaminación por desechos domésticos o industriales puede agotar el oxígeno en el agua, pues la materia orgánica lo requiere para su descomposición. La DBO (Demanda bioquímica de oxígeno) es una medida de la valoración de la cantidad de materia orgánica que se encuentra en un cuerpo de agua .El exceso de materia orgánica agota el oxígeno en el agua; bajo estas condiciones el agua tiene apariencia de color turbio, grisáceo y olores característicos de huevos podridos (ácido sulfhídrico). Este efecto causa una baja diversidad (Roldán, 2003).

2.11.1.2 Métodos

De Campo. En los meses de febrero (del 8 al 11) y julio (del 7 al 10) se realizó la toma de muestras en la parte baja de la cuenca del río Amoyá. Se establecieron en total 8 estaciones de muestreo desde los 435 a 830 m (Tabla 2.101), en el municipio de Chaparral. Se tomaron dos muestras de agua por cada estación, con el fin de evaluar los aspectos físico-químicos y bacteriológicos de la parte baja de la cuenca del río Amoyá.

Fueron analizados los principales ríos y quebradas afluentes: río Amoyá, río Ambeima, quebradas, Tuluní, Guainí y Neme se estudiaron en diferentes secciones: parte media, baja y desembocadura para observar el efecto que ocasionan los vertimientos de las quebradas en dichos ríos. Además en la ubicación de las estaciones se estimó el rango altitudinal de las zonas de estudio y, por tanto, los gradientes ambientales presentes.

Para la escogencia de las zonas de estudio se tuvo en cuenta ecosistemas poco perturbados con intervención antrópica y ecosistemas perturbados, afectados por actividades agrícolas-pecuarias, por contaminación de origen doméstico y por contaminación industrial, se tuvo en cuenta las posibilidades de acceso. Todas las estaciones fueron georeferenciadas con un geoposicionador de satélite (GPS).

- *Parámetros Físico-químicos.* En cada una de las estaciones de muestreo se midieron *"in situ"* temperatura del agua, temperatura ambiental, oxígeno disuelto, pH y Conductividad (Foto 2.17). Las muestras para análisis físico-químico se recolectaron superficialmente y en contra corriente, se envasaron en frascos plásticos debidamente lavados de un litro de capacidad y,

posteriormente se rotularon y preservaron en nevera refrigerada hasta el transporte al laboratorio de aguas de la Universidad del Tolima.

Tabla 2.101 Ubicación georeferenciada de las estaciones de muestreo para la caracterización físico-química y bacteriológica de la subcuenca del río Amoyá, durante los meses de febrero y julio de 2005.

No.	ESTACION	VEREDA	COORDENADAS	ALTURA
1	Q. Guainí en la desembocadura del R.Amoyá	Guainí	3º40´23,7" N 75º23´18,4" W	540
2	Desembocadura. del R. Amoyá en el R. Saldaña	Guainí	3º40´23,7" N 75º23´18,4" W	540
3	Q. Guainí	Guainí	3º40´18,9" N 75º21´07,5" W	540
4	Q. El Neme	San Bartolomé	3º40´32,9" N 75º23´22,7" W	435
5	Q. Tuluní – Cuevas	Tuluní	3º38´32" N 75º27´26,2" W	605
6	Q. Tuluní (Puente)	Tuluní	3º38´ 58,5"N 75º27´24,5" W	665
7	R. Ambeima	Mesa de Maito	3º44´ 21,9" N 75º32´ 42,3" W	830
8	R. Amoyá antes de unirse con el R. Ambeima	Mesa de Maito	3º44´ 21,9" N 75º32´ 42,3" W	830

- *Temperatura.* El método utilizado para la medición de la temperatura ambiental y del agua fue termométrico, medido por medio del termómetro del oxímetro *Hanna HI 9143*. La técnica posee un límite de detección de 1°C.

- *Oxígeno disuelto.* La medida del oxígeno disuelto se realizó a través del método electrométrico empleando un oxímetro *Hanna HI 9143* con límite de detección de 0.05, para la determinación de este parámetro se introdujo el electrodo en la muestra y se esperó hasta que el equipo precisara la lectura, el electrodo fue lavado con agua destilada y secado antes y después de cada medición.

Foto 2.17 Medición de variables Físico-químicas *in situ.*

- *pH.* Las mediciones se efectuaron manipulando el método potenciométrico con un phmetro *Schoott Gerate CG 818* con 0.01 de límite de detección, para la determinación se agitó la muestra ligeramente, se lavó y secó el electrodo con agua destilada, se sumergieron en la muestra y se espero hasta la estabilización de la lectura.

- *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 µS/cm.

- *Parámetros Bacteriológicos.* Se tomaron las muestras de agua, superficialmente y en contra corriente, en frascos de vidrio esterilizados, permitiendo que quedara una cámara de aire en el frasco de aproximadamente un cuarto de su capacidad, se rotularon y preservaron en nevera para su transporte al laboratorio de Cultivo de Tejidos y Microbiología en la Facultad de Ciencias, de la Universidad del Tolima.

De Laboratorio. Una vez las muestras fueron llevadas al laboratorio de Calidad Ambiental de la Universidad del Tolima (primer muestreo) y el Laboratorio de aguas de CORTOLIMA – CORCUENCAS (segundo muestreo), nuevamente se midió el pH, y el oxígeno disuelto (Foto 2.18).

Foto 2.18 Medición de variables Físico-químicas y bacteriológicas en laboratorio.

La recolección de las muestras, preservación y protocolos analíticos aplicados se basaron en las técnicas recomendadas y establecidas por el Standards Methods of Examination of Water and Wastewater, versión 19 (APHA – AWWA - WPCF, 1995). Estas metodologías han sido estandarizadas por el Laboratorio de Química Ambiental del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

(IDEAM) y son utilizadas rutinariamente en el Laboratorio Ambiental del Tolima – CORTOLIMA y por el laboratorio de calidad Ambiental de la Universidad del Tolima.

- *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 µS/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 µS/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 105º 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 1,2 µm 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 0.05 mg/l como límite de detección. Se midieron 100 ml muestra y se llevaron a un erlenmeyer, se añadieron 4 ml 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 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 2 ml de ácido sulfúrico concentrado impregnando completamente, y se esperaron 10 minutos. Posteriormente, se añadieron 15 ml de agua bidestilada y 15 ml 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 420 nm. 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 sometiéndola 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 colonias (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. Se realizaron gráficas a partir de una base de datos Excel para visualizar el comportamiento de las 15 variables analizadas en cada estación de muestreo. Además se empleó el método multivariado denominado *Análisis Factorial de Componentes Principales -ACP***,** éste permite ordenar un número de variables posiblemente correlacionadas en un conjunto menor de variables llamadas componentes principales. El primer componente (eje) absorbe la mayor varianza dentro del conjunto de datos y cada uno de los componentes restantes absorbe el resto, este método es empleado para reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos multivariados. Con base en estos componentes o factores generalmente los dos primeros (F1 y F2), se obtienen las coordenadas de las variables originales para su ubicación en los *diagramas de dispersión*.

- *Cálculo del Índice General de Calidad (WQI).* El Índice de Calidad Ambiental **(ICA)** o WQI por sus siglas en ingles (Water Quality Index) mide la calidad fisico-química del agua en una escala de 0 a 100 referida principalmente para potabilización (0, muy mala; 100, excelente). Es el índice de uso más extensivo en los trabajos de este tipo a nivel mundial con ciertas restricciones en Europa, fue creado por la NSF (National Sanitation Foundation), entidad gubernamental de Estados Unidos. Para su empleo se toman en cuenta los valores de oxígeno disuelto, coliformes fecales, pH, DQO, temperatura del agua, fósforo total, nitratos, turbiedad y sólidos totales reunidos en una suma lineal ponderada.

$$\mathbf{WQI:} \sum_{i=1}^{n} W_i \, I_I$$

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 2.102).

Tabla 2.102 Calidad del agua para uso potable con respecto al índice WQI.

Calidad	Rango	Color
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.

- **Comparación con la Legislación.** Los análisis de laboratorio fueron comparados con las legislaciones ambientales sobre calidad del agua para diferentes usos. En Colombia se ha legislado bajo este aspecto a través de los decretos 2105 de 1983 sobre potabilización del agua, el decreto 1594 de 1984 normas sobre el manejo del agua y el decreto 475 de 1998 que actualiza y amplia algunos parámetros contemplados en los dos anteriores, cabe anotar que cada uno de los decretos no tiene en cuenta la totalidad de los parámetros de análisis y por tanto dichas legislaciones se consideran complementarias entre sí.

2.11.3 Resultados

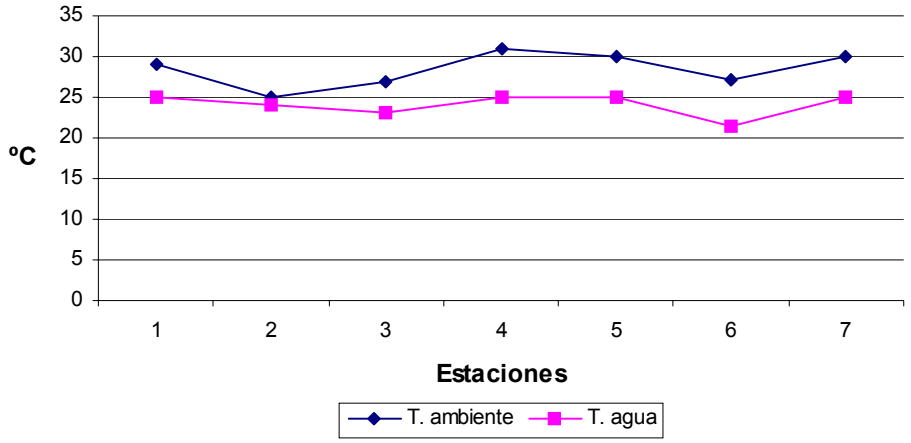
2.11.3.1 Parámetros Físico-Químicos y Bacteriológicos

Temperatura. En cuanto a temperatura sólo se muestran los resultados del primer muestreo (febrero) ya que en el segundo (julio) no se logró tomar este parámetro por falta de equipos especializados.

El promedio de la temperatura ambiente para la cuenca del río Amoyá en el primer muestreo fue de 28,5°C. El mayor valor se registró en la quebrada Tuluní, estación cuevas: 31°C. El menor valor se evaluó en el río Amoyá (desembocadura en el río Saldaña) (Figura 2.70).

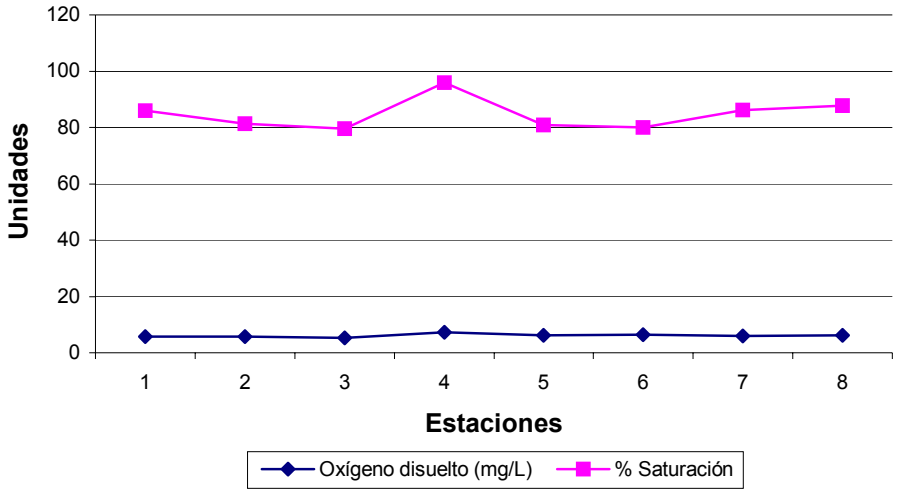
La temperatura del agua presentó un promedio de 24,5°C encontrándose el mayor valor: 25°C en las estaciones río Amoyá (desembocadura en el río Saldaña), quebrada Tuluní (Puente), quebrada Tuluní – cuevas y el río Amoyá vereda Mesa de Maito, mientras que el valor más bajo se reporta para el río Ambeima vereda Mesa de Maito equivalente a 21,4°C (Figura 2.70).

Oxígeno Disuelto. En la cuenca evaluada este parámetro se encontró en un rango de 5.395 mg/L a 7.4 mg/L en la quebrada Neme y la quebrada Guainí (San Bartolomé) respectivamente. El promedio de oxígeno disuelto fue de 6.14 mg/L (Figura 2.70); A nivel temporal se registró un promedio de 5.72 mg/L para el mes de febrero y 6.42 mg/L para el mes de julio. El porcentaje de saturación osciló entre 96 y 79.6% en la quebrada Guainí vereda San Bartolomé y la quebrada Neme respectivamente, registrándose un promedio de 84.7% (Figura 2.71); en el mes de febrero se registró un promedio de 83.29% y para julio 85.03%.



1. Quebrada Guainí en la desembocadura del río Amoyá, **2.** Desembocadura del río Amoyá en el río Saldaña, **3.** Quebrada Neme, **4.** Quebrada Tuluní – Cueva, **5.** Quebrada Tuluní (Punte), **6.** Río Ambeima, **7.** Río Amoyá antes de la unión con el río Ambeima.

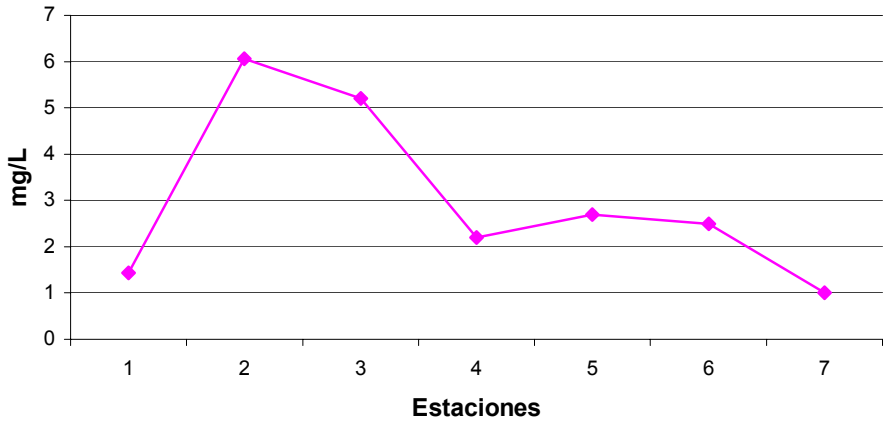
Figura 2.70 Comportamiento espacial de la Temperatura ambiente y del agua registrada en la cuenca del río Amoyá en el mes de febrero de 2005.



1. Quebrada Guainí en la desembocadura del río Amoyá, **2.** Desembocadura del río Amoyá en el río Saldaña, **3.** Quebrada Neme, **4.** Quebrada Guainí (San Bartolomé), **5.** Quebrada Tuluní – Cueva, **6.** Quebrada Tuluní (Punte), **7.** Río Ambeima, **8.** Río Amoyá antes de la unión con el río Ambeima.

Figura 2.71 Comportamiento espacial del oxígeno disuelto y el porcentaje de saturación en la cuenca del río Amoyá durante los meses de febrero y julio de 2005.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). La DBO en las estaciones evaluadas se presentó en un rango de 1 a 6,064 mg/L en el río Amoyá vereda Mesa de Maito y el río Amoyá en la desembocadura del río Saldaña respectivamente (Figura 2.72). Esta variable presentó un promedio de 3,01 mg/L. A nivel temporal se registró un promedio de 3.16 mg/L en el mes de febrero y 3.59 mg/L en el mes de julio. Es de aclarar que no se incluyó la quebrada Guainí (San Bartolomé) ya que no se realizó el análisis de este parámetro en el laboratorio el cual fue muestreado sólo en el mes de julio.

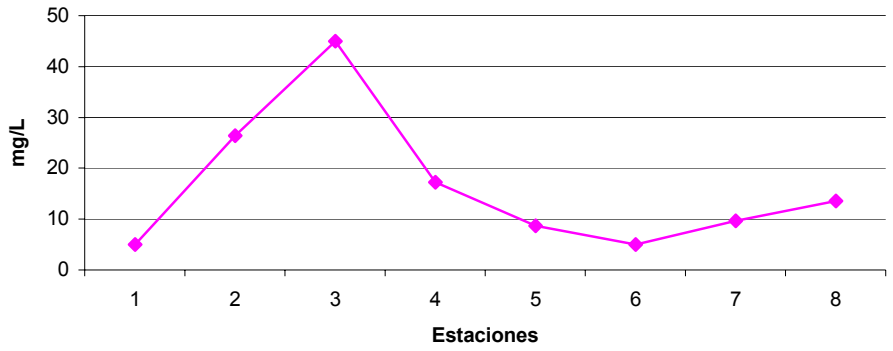


1. Quebrada Guainí en la desembocadura del río Amoyá, **2.** Desembocadura del río Amoyá en el río Saldaña, **3.** Quebrada Neme, **4.** Quebrada Tuluní – Cueva, **5.** Quebrada Tuluní (Punte), **6.** Río Ambeima, **7.** Río Amoyá antes de la unión con el río Ambeima.

Figura 2.72 Comportamiento espacial de la DBO en la cuenca del río Amoyá durante los meses de febrero y julio de 2005.

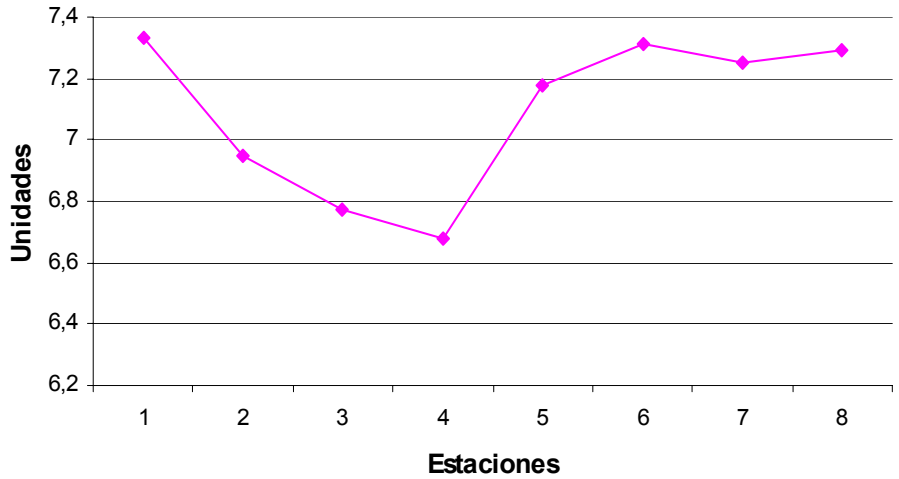
Demanda Química de Oxigeno (DQO). Los valores registrados para esta variable en la cuenca del río Amoyá oscilaron entre 5 (quebrada Guainí en la desembocadura del río Amoyá y quebrada Tuluní (Puente)) y 45.0225 mg/L en la quebrada Neme. En promedio esta variable presentó un valor de 16.32 mg/L (Figura 2.73). Durante el mes de febrero se encontró un promedio de 23.09 mg/L, mientras que en julio fue de 12.1 mg/L

pH: Este parámetro osciló entre 7,33 en la quebrada Guainí en la desembocadura del río Amoyá y 6,68 en la quebrada Guainí (San Bartolomé), con un promedio de 7,095 para la cuenca (Figura 2.74). En promedio a nivel temporal el pH fluctuó entre 7.24 y 6.92 (febrero y julio respectivamente).



1. Quebrada Guainí en la desembocadura del río Amoyá, **2.** Desembocadura del río Amoyá en el río Saldaña, **3.** Quebrada Neme, **4.** Quebrada Guainí (San Bartolomé), **5.** Quebrada Tuluní – Cueva, **6.** Quebrada Tuluní (Punte), **7.** Río Ambeima, **8.** Río Amoyá antes de la unión con el río Ambeima.

Figura 2.73 Comportamiento espacial de la DQO en la cuenca del río Amoyá durante los meses de febrero y julio de 2005.

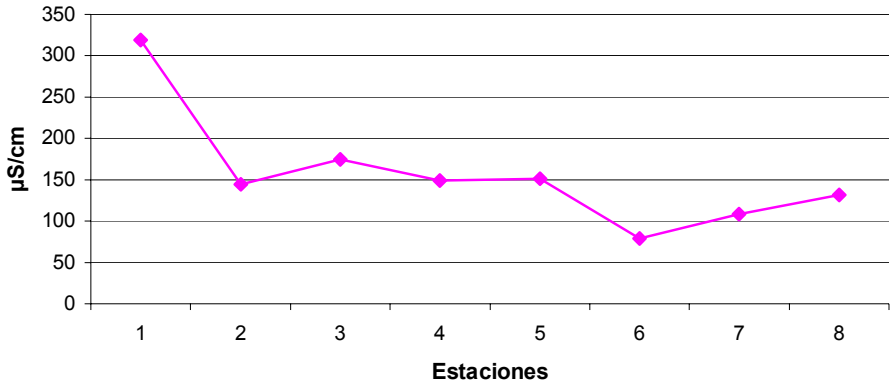


1. Quebrada Guainí en la desembocadura del río Amoyá, **2.** Desembocadura del río Amoyá en el río Saldaña, **3.** Quebrada Neme, **4.** Quebrada Guainí (San Bartolomé), **5.** Quebrada Tuluní – Cueva, **6.** Quebrada Tuluní (Punte), **7.** Río Ambeima, **8.** Río Amoyá antes de la unión con el río Ambeima.

Figura 2.74 Comportamiento espacial del pH en la cuenca del río Amoyá durante los meses de febrero y julio de 2005.

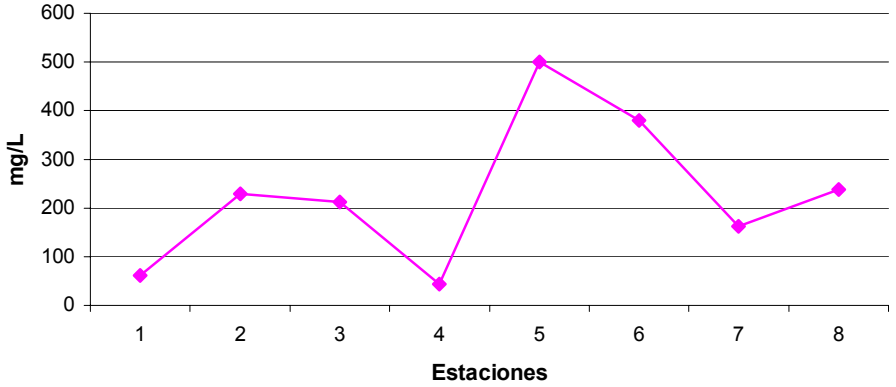
Conductividad Eléctrica. La conductividad osciló en un rango de 79 a 319 µS/cm en la quebrada Tuluní y la quebrada Guainí en la desembocadura del río Amoyá respectivamente (Figura 2.75). En promedio esta variable presentó 157,17 µS/cm en las zonas evaluadas. Para el mes de febrero se obtuvo un promedio de 158.43 µS/cm y para el mes de julio 143.12 µS/cm.

Alcalinidad. El promedio para la alcalinidad fue de Con un promedio de 228.34 mg/L, la cuenca del río Amoyá presentó el mayor nivel en la estación quebrada Tuluní - cueva: 500.05 mg/L, y el menor en la quebrada Guainí (San Bartolomé): 43.6 mg/L (Figura 2.76). Esta variable presento mayor valor en el mes de febrero con 416.04 mg/L mientras en julio fue de 42.63 mg/L.



1. Quebrada Guainí en la desembocadura del río Amoyá, **2.** Desembocadura del río Amoyá en el río Saldaña, **3.** Quebrada Neme, **4.** Quebrada Guainí (San Bartolomé), **5.** Quebrada Tuluní – Cueva, **6.** Quebrada Tuluní (Punte), **7.** Río Ambeima, **8.** Río Amoyá antes de la unión con el río Ambeima.

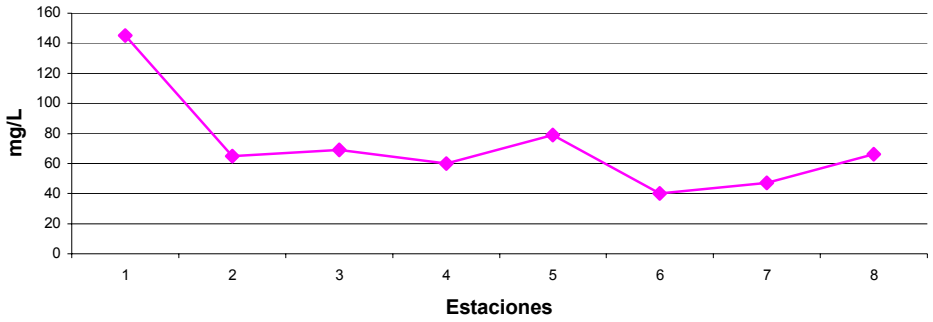
Figura 2.75. Comportamiento espacial de la Conductividad Eléctrica en la cuenca del río Amoyá durante los meses de febrero y julio de 2005.



1. Quebrada Guainí en la desembocadura del río Amoyá, **2.** Desembocadura del río Amoyá en el río Saldaña, **3.** Quebrada Neme, **4.** Quebrada Guainí (San Bartolomé), **5.** Quebrada Tuluní – Cueva, **6.** Quebrada Tuluní (Punte), **7.** Río Ambeima, **8.** Río Amoyá antes de la unión con el río Ambeima.

Figura 2.76. Comportamiento espacial de la Alcalinidad en la cuenca del río Amoyá durante los meses de febrero y julio de 2005.

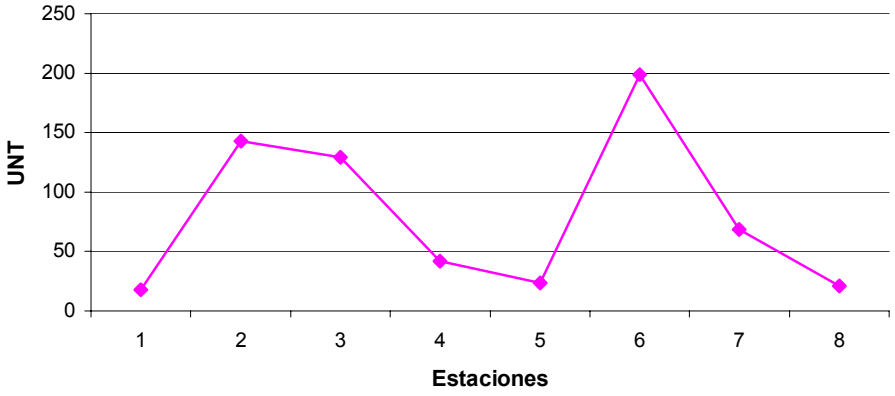
Dureza Total. Este parámetro se presentó en un rango de 40 mg/L a 145 mg/L en la quebrada Tuluní y la quebrada Guainí en la desembocadura del río Amoyá respectivamente, presentando un promedio de 71.38 mg/L (Figura 2.77). A nivel temporal este parámetro se encontró en un rango de 53.33 a 82.43 mg/L en el mes de julio y febrero respectivamente.



1. Quebrada Guainí en la desembocadura del río Amoyá, **2.** Desembocadura del río Amoyá en el río Saldaña, **3.** Quebrada Neme, **4.** Quebrada Guainí (San Bartolomé), **5.** Quebrada Tuluní – Cueva, **6.** Quebrada Tuluní (Punte), **7.** Río Ambeima, **8.** Río Amoyá antes de la unión con el río Ambeima.

Figura 2.77 Comportamiento espacial de la Dureza Total en la cuenca del río Amoyá durante los meses de febrero y julio de 2005.

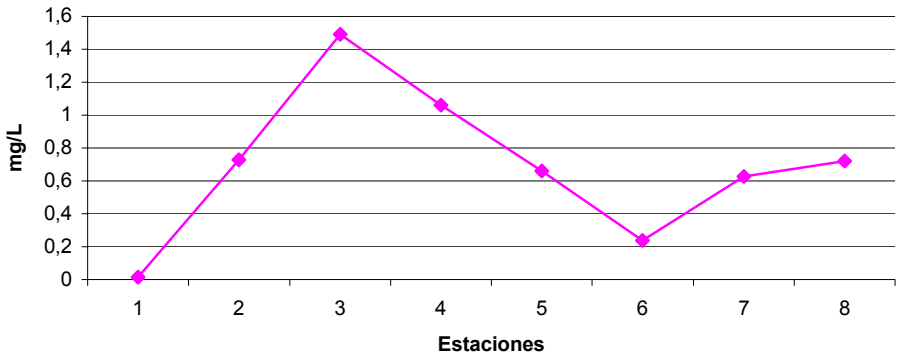
Turbiedad. Para la cuenca de río Amoyá la turbiedad se encontró en un rango de 199 y 18 UNT en las estaciones quebrada Tuluní (Puente) y la quebrada Guainí en la desembocadura del río Amoyá correspondientemente (Figura 2.78). El promedio de este parámetro fue de 80.5 UNT. Temporalmente se encontró que en el mes de julio el promedio fue de 35 UNT, mientras que en el mes de febrero se registró el mayor valor promedio con 117 UNT.



1. Quebrada Guainí en la desembocadura del río Amoyá, **2.** Desembocadura del río Amoyá en el río Saldaña, **3.** Quebrada Neme, **4.** Quebrada Guainí (San Bartolomé), **5.** Quebrada Tuluní – Cueva, **6.** Quebrada Tuluní (Punte), **7.** Río Ambeima, **8.** Río Amoyá antes de la unión con el río Ambeima.

Figura 2.78 Comportamiento espacial de la Turbiedad en la cuenca del río Amoyá durante los meses de febrero y julio de 2005.

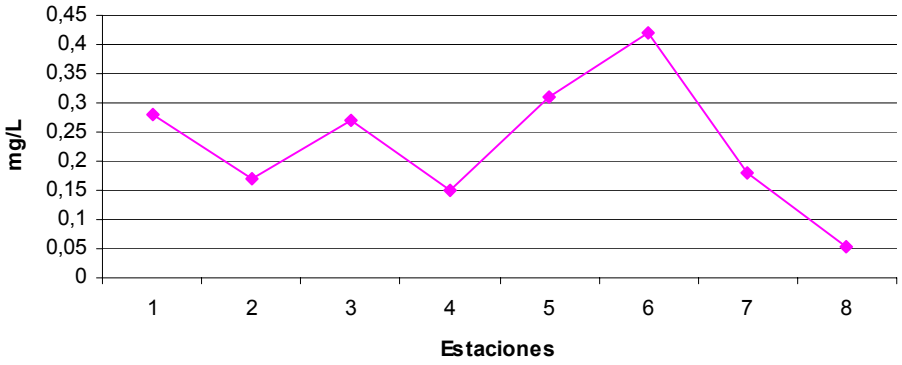
Nitratos. El promedio de este parámetro para la cuenca fue de 0,69 mg/L, la fluctuación espacial de esta variable estuvo comprendida entre 1.49 (quebrada Neme) y 0.014 mg/L (quebrada Guainí en la desembocadura del río Amoyá), (Figura 2.79). A nivel temporal se registró una fluctuación de 0.26 y 1.33 mg/L.



1. Quebrada Guainí en la desembocadura del río Amoyá, **2.** Desembocadura del río Amoyá en el río Saldaña, **3.** Quebrada Neme, **4.** Quebrada Guainí (San Bartolomé), **5.** Quebrada Tuluní – Cueva, **6.** Quebrada Tuluní (Punte), **7.** Río Ambeima, **8.** Río Amoyá antes de la unión con el río Ambeima.

Figura 2.79 Comportamiento espacial de los Nitratos en la cuenca del río Amoyá durante los meses de febrero y julio de 2005.

Fosfatos. El valor promedio en la cuenca para esta variable fue de 0,23 mg/l, La estación con el registro más alto correspondió a quebrada Tuluní (Puente) (0,42 mg/l), mientras que la estación río Amoyá vereda Mesa de Maito presentó 0,055 mg/L siendo la menor detección de fosfatos (Figura 2.80). Esta variable presentó a nivel temporal un mayor valor en el mes de febrero con 0.26 mg/L, mientras que en el mes de julio fue menor con 0.16 mg/L.

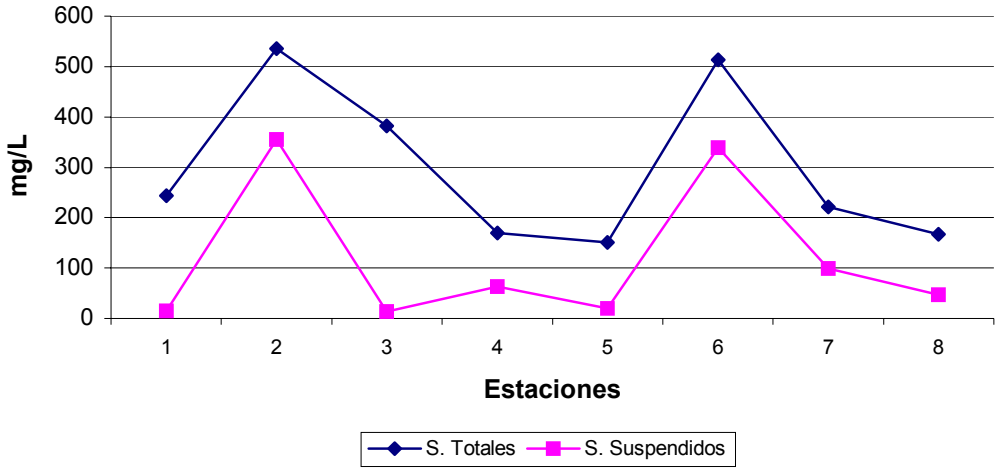


1. Quebrada Guainí en la desembocadura del río Amoyá, **2.** Desembocadura del río Amoyá en el río Saldaña, **3.** Quebrada Neme, **4.** Quebrada Guainí (San Bartolomé), **5.** Quebrada Tuluní – Cueva, **6.** Quebrada Tuluní (Punte), **7.** Río Ambeima, **8.** Río Amoyá antes de la unión con el río Ambeima.

Figura 2.80 Comportamiento espacial de los Fosfatos en la cuenca del río Amoyá durante los meses de febrero y julio de 2005.

Sólidos Totales. El mayor valor para los sólidos totales fue registrado en la estación río Amoyá en la desembocadura en el río Saldaña: 536 mg/l, el menor valor se registró en la quebrada Tuluní – Cueva: 151.1 mg/L, presentándose en valor promedio de 298.2 mg/L (Figura 2.81). Este parámetro fue mayor en el mes de febrero: 417.71 mg /L, mientras que en el mes de julio se registró un menor valor: 153.5 mg/L.

Sólidos Suspendidos. El valor promedio en la cuenca fue de 118.82 mg/l con valores límites de 13.76 y 355.5 mg/L que corresponden a la quebrada Neme y el río Amoyá en la desembocadura en el río Saldaña (Figura 2.81). Para el mes de febrero esta variable físico-química fue de 186.44 mg/L, disminuyendo en promedio en el mes de julio: 29.83 mg/L.



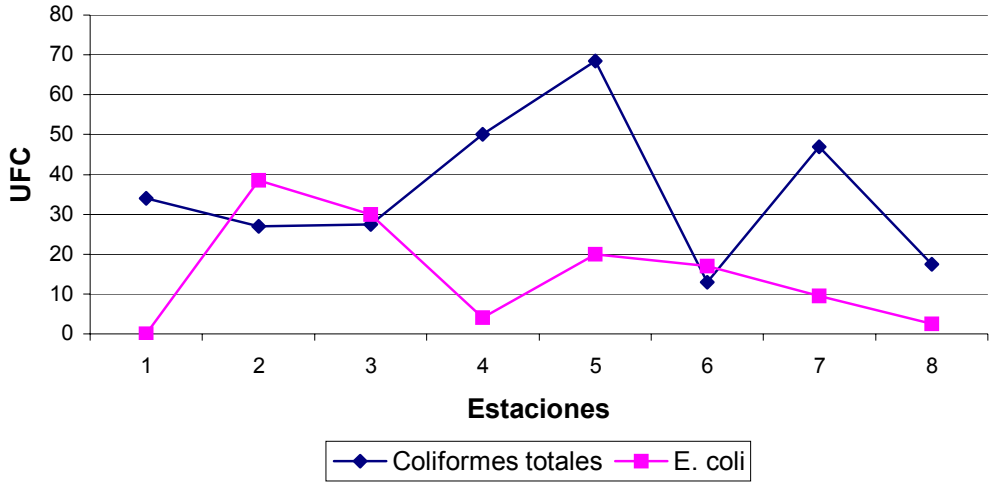
1. Quebrada Guainí en la desembocadura del río Amoyá, **2.** Desembocadura del río Amoyá en el río Saldaña, **3.** Quebrada Neme, **4.** Quebrada Guainí (San Bartolomé), **5.** Quebrada Tuluní – Cueva, **6.** Quebrada Tuluní (Punte), **7.** Río Ambeima, **8.** Río Amoyá antes de la unión con el río Ambeima.

Figura 2.81 Comportamiento espacial de los Sólidos Totales y Suspendidos en la cuenca del río Amoyá durante los meses de febrero y julio de 2005.

Coliformes Totales. La cuenca del río Amoyá presentó un promedio de 35.56 UFC/ ml, este parámetro varió entre 68.5 y 13 UFC/ ml. Los mayores valores registrados fueron en su orden para las quebradas Tuluní – Cueva y Guainí (San Bartolomé), los menores valores se registraron en el río Amoyá vereda Mesa de Maito y la quebrada Tuluní (Puente) (Figura 2.82). Para el mes de febrero, las estaciones muestreadas presentaron un promedio de 19.71 UFC/ml, aumentando en el mes de julio: 55.67 UFC/ml.

E. coli. El promedio para esta variable fue de 17.19 UFC/ ml, osciló entre 0 y 38.5 UFC/ml. El mayor valor fue correspondiente a la estación río Amoyá en la desembocadura en el río Saldaña. Las estaciones quebrada Guainí en la desembocadura del río Amoyá, río Amoyá vereda Mesa de Maito y quebrada Guainí (San Bartolomé) presentaron los menores niveles de *E. colí:* cero, 2.5 y 4

UFC/ml respectivamente. Este parámetro varia en comportamiento con respecto a los coliformes totales, sólo presenta similaridad en las quebradas Guainí (San Bartolomé) y Tuluní – Cueva y el río Amoyá vereda Mesa de Maito (Figura 2.82). A nivel temporal se encontró que en el mes de febrero se presentó un promedio de *E. coli* correspondiente a 27.71 UFC/ml, disminuyendo en el mes de julio: 4.67 UFC/ml.



1. Quebrada en la desembocadura del río Amoyá, **2.** Desembocadura del río Amoyá en el río Saldaña, **3.** Quebrada Neme, **4.** Quebrada Guainí3, **5.** Quebrada Tuluní – Cueva, **6.** Quebrada Tuluní (Punte), **7.** Río Ambeima, **8.** Río Amoyá antes de la unión con el río Ambeima.

Figura 2.82 Comportamiento espacial de Coliformes Totales y *E. colí* en la cuenca del río Amoyá durante los meses de febrero y julio de 2005.

2.11.3.2 Análisis de Ordenación (Análisis de Componentes Principales).

Con base en los datos de las variables físico-químicas del estudio en la cuenca del río Amoyá y a través del análisis de componentes principales se apreció que las dos primeras componentes en la ordenación de los valores respondió al 83.34% de la varianza acumulada de los mismos. La primera componente presentó el valor propio más alto con 0.152 mientras que la segunda componente registró un valor propio de 0.079.

El análisis general permitió determinar que en el primer componente las variables más significativas y con mayor varianza fueron: conductividad eléctrica y dureza total, a su vez estas dos últimas variables se encontraron correlacionadas positivamente y alejadas del origen (Tabla 2.103, Figura 2.83). De otra parte, en la segunda componente las variables más significativas y con mayor varianza fueron: conductividad eléctrica y sólidos totales, sin embargo, no se encontraron correlacionadas. Pero las variables pH, saturación de oxígeno y fosfatos se correlacionaron entre sí sin presentar varianzas altas ni similares, así como los sólidos totales y la DBO (Tabla 2.103, Figura 2.83).

Tabla 2.103 Resultados del análisis de ordenamiento por componentes principales ACP.

Variables	Primera Componente	Segunda Componente
pH	-0,003481565	-0,000087805
Turbiedad	0,08277268	0,0222558
Conductividad	-0,182891054	0,141355689
Alcalinidad	-0,052567911	-0,37995379
Dureza	-0,08544192	0,051830471
O. Disuelto	-0,004982403	0,003089865
% Saturación	-0,042504716	0,001842985
DBO	0,000710171	0,000928359
DQO	-0,002773589	0,006074309
Nitratos	-0,000214302	-0,000328839
Fosfatos	-0,000072723	-0,000018544
Sólidos totales	0,106563792	0,152394295
Sólidos suspendidos	0,208774487	0,032686966
Coliformes totales	-0,032292952	-0,026180071
Coliformes fecales	0,008402004	-0,005889689

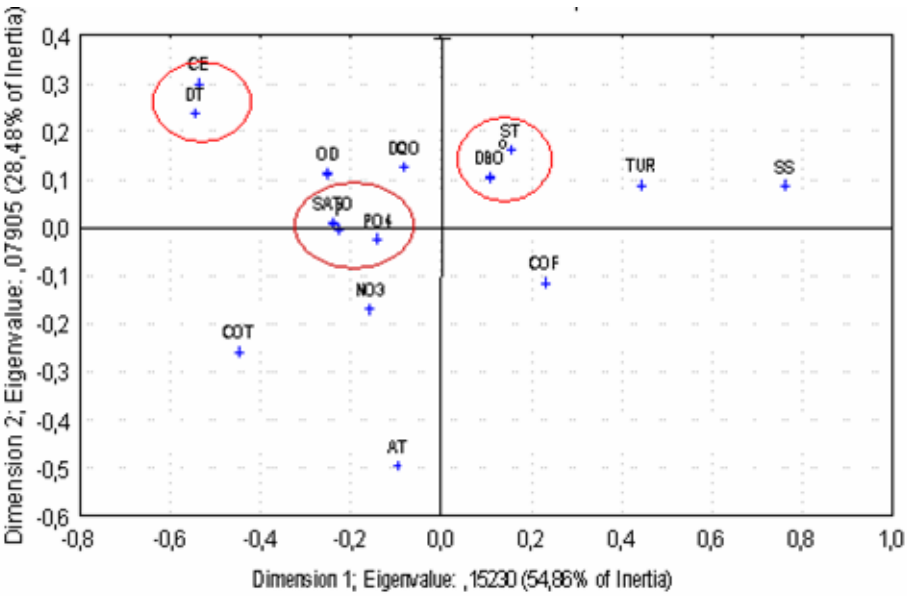


Figura 2.83 Diagrama de dispersión con las variables fisicoquímicas en cada componente.

2.11.4 Índice General de Calidad Hídrica (Wqi o Ica).

El 57.14% de las estaciones de muestreo en la cuenca del río Amoyá se encontraron dentro de una calificación de 71 y 85 puntos (Tabla 2.104) nivel representado por el color verde, de tal manera que el Índice General de Calidad Hídrica – ICA, permitió catalogar las aguas del río Amoyá y sus afluentes como de calidad buena para uso potable (Figura 2.84).

El 42.86 % de las estaciones el índice alcanzó niveles que consideran el agua como de calidad regular, tal es el caso de la desembocadura del río Amoyá en el

río Saldaña, quebrada El Neme y la quebrada Tuluní (Puente), con valores de 66 para la primera estación y 68 para las otras dos (Tabla 2.104). Es así como estas estaciones se consideran como de calidad regular para uso potable, siendo estos valores representados por el color naranja.

Tabla 2.104 Puntuación del ICA (WQI) para la cuenca del río Amoyá durante el periodo de estudio (febrero y julio de 2005)

No.	Estación	Altura (m)	ICA	Indicativo
1	Q. Guainí en la desembocadura del R. Amoyá	540	71	
2	Desemb. del R. Amoyá en el R. Saldaña	540	66	
3	Q. El Neme	435	68	
4	Q. Tuluní – Cuevas	605	79	
5	Q. Tuluní (Puente)	665	68	
6	R. Ambeima	830	79	
7	R. Amoyá antes de unirse con el R. Ambeima	830	85	

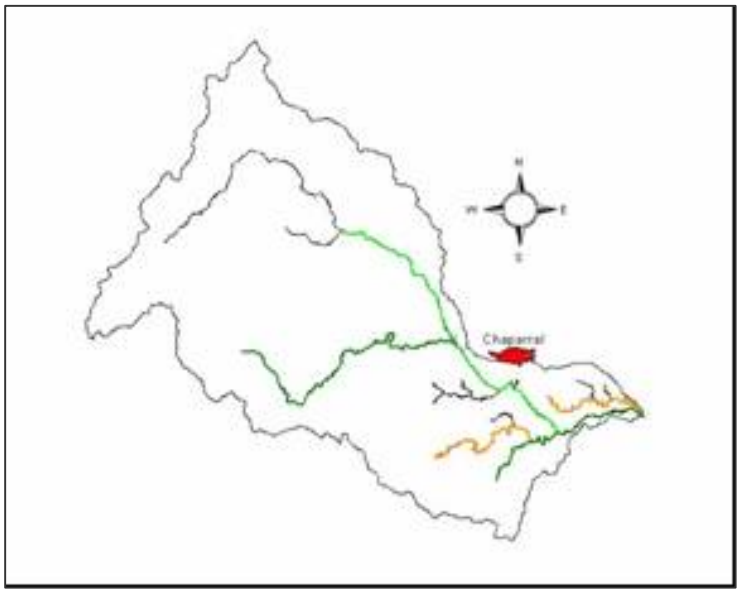


Figura 2.84. Índice General de Calidad Hídrica (ICA, WQI) de la cuenca del río Amoyá durante el período de estudio (febrero y julio de 2005).

- **COMPARACIÓN CON LA LEGISLACIÓN.**

Los resultados fueron comprados con los decretos 1594 de 1984, 2105 de 1983 y 475 de 1998, cabe anotar que cada uno de los decretos no tiene en cuenta la totalidad de los parámetros de análisis y por tanto dichas legislaciones se consideran complementarias entre sí, adicionalmente algunos parámetros físico-químicos de los realizados en el presente estudio no son contemplados por la normatividad empleada, tal es el caso de la temperatura ambiente y del agua, sólidos suspendidos, DBO, DQO y fosfatos(Tabla 2.105).De acuerdo con el decreto 475 de 1998 las aguas de la cuenca se consideran aptas para uso

potable con respecto a los parámetros pH, conductividad eléctrica, dureza, sólidos totales y nitratos. Los registros de alcalinidad, turbiedad, coliformes totales y fecales no se encuentran dentro del rango establecido por el decreto anteriormente mencionado y por tanto algunas aguas de la cuenca con relación a estos parámetros no se consideran potables.

Tabla 2.105 Normas colombianas para la destinación del recurso hídrico (extracción de algunos parámetros)

Parámetro	*Unidad*	**Decreto 1594 – 1984**									**Decreto 2105-83**	**Decreto 475-1998**
		ART 38	ART 39	ART 40	ART 41	ART 42	ART 43	ART 45				
								A1	A2	A3		
Oxigeno disu/	mg/l	-	-	-	70%	70%	70	75.0	4.0	4.0	-	-
Conductividad	us/cm	-	-	-	-	-		-	-	-	-	50-1000
PH	Unidades	5.0-9.0	6.5-8.5	4.5-9.0	5.0-9.0	5.0-9.0	5.0-9.0	6.5-9.0	4.5-9.0	6.5-8.5	6.5-9.0	6.5-9.0
Alcalinidad	mg/l CaCo3	-	-	-	-	-		-	-	-	-	100
Turbiedad	NTU	-	10	-	-	-		0.143	0.143	0.143	5-1	<5
Color	Upc	75	20	-	-	-		-	-	-	inobjetable	Aceptable
Dureza	mg/L CaCO3	-						-	-	-	30-150	160
DBO mensual	mg/l O2	-						-	-	-	-	-
DBO diario	mg/l O2	-						-	-	-	-	-
DQO	mg/l o2	-						-	-	-	-	-
Sólidos	mg/L	-						-	-	-	500-200	<500
Nitratos	mg/l N	10	10	-	-	-		-	-	-	30-150	10
Coliformes Totales	NMP/ 100 ml	20000	1000	5000	1000	-		-	-	-	-	<2
Coliformes Fecales	NMP/ 100 ml	2000	-	1000	200	5000		-	-	-	-	0

Fuente: Ministerio del medio ambiente *et al*, 2001.

Decreto 1594/84: Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.
ART 38: Consumo humano y domestico que requiere tratamiento convencional
ART 39: Consumo humano y domestico que requiere solo desinfección
ART 40: Uso agrícola
ART 41: Uso pecuario
ART 42: Fines recreativos contacto primario
ART 43: Fines recreativos contacto secundario
ART 45: Preservación de fauna y flora. **A1:** Agua dulce fría. **A2**: Agua dulce cálida. **A3:** Agua marina y estuarina.

Decreto 2105/83: Por el cual se reglamenta parcialmente el Título II de la Ley 09 de 1979 en cuanto a Potabilización del Agua.
Decreto 475/98: Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable

Al igual que el decreto 475 (1998), el decreto 2105 (1983), que también reglamenta la calidad de agua potable, permitió determinar que las aguas de la cuenca del río Amoyá son aptas para consumo humano con respecto a los parámetros pH, dureza y sólidos totales con excepción para éste último parámetro de las estaciones río Amoyá en la desembocadura sobre el río Saldaña y la quebrada Tuluní

(Puente). Los registros de turbiedad y nitratos no se encuentran dentro del rango establecido por dicho decreto y por tanto las aguas de la cuenca con relación a estas variables físico-químicas no se consideran potables.

Con respecto al decreto 1594 de 1984 que reglamenta algunos usos específicos del agua (Tabla 2.105), las aguas de la cuenca del río Amoyá se consideran aptas para los propósitos mencionados por el decreto (consumo humano, agrícola, pecuario, recreativo y preservación de fauna y flora) teniendo en cuenta los registros de pH, oxígeno disuelto, nitratos, coliformes totales y fecales, se considera en todas las estaciones con la concentración adecuada o límite exigido por el decreto para uso para consumo humano (artículos 38 y 39), uso agrícola (40), pecuario (41), recreativo (42 y 43) y preservación de fauna y flora (45).

2.11.5 Interpretación de Resultados

Las variaciones de los parámetros físico-químicos en las zonas de muestreo durante los dos épocas (febrero y julio), pueden estar relacionadas con el caudal, la velocidad, la altura y la capacidad de reoxigenación, particulares de cada cuerpo de agua, además, la influencia de otros agentes como la pluviosidad, temperatura, luminosidad y la hora de toma de la muestra entre otros. El oxígeno disuelto fluctuó entre 5.4 y 7.4 y el porcentaje de saturación entre el 79.6 - 96 %, estos valores pueden ser un indicio de que el agua de la cuenca del río Amoyá presenta niveles adecuados de oxígeno para el desarrollo de la vida y sus cuerpos de agua presentan poca contaminación de acuerdo a este parámetro.

La cantidad de iones calcio y magnesio en forma de carbonatos, cloruros y sulfatos medidos a través de la dureza total, variaron temporalmente posiblemente por el lavado de rocas que se intensifica por la fuerza de las corrientes y mayor volumen de aguas en periodos lluviosos (primer muestreo – febrero). También es conocido que la actividad de los seres vivos ha formado depósitos sedimentarios de carbonatos de calcio, este calcio del sedimento es liberado cuando el carbonato es atacado por aguas cargadas de CO_2 como ocurre con la precipitación. El calcio así removido, pasa a las corrientes y potencialmente reacciona con otros compuestos iónicos influyendo de esta forma en la dureza del agua (Ramírez y Viña, 1998). Sin embargo, todas las estaciones muestran valores que se adaptan a las exigencias de la legislación en cuanto a potabilidad, pues el límite es de 160 mg/$CaCO_3$ (Decreto 475 de 1998), y para la cuenca del río Amoyá se presentó un promedio de 71.38 mg/$CaCO_3$..

Según Yepes (2004) el promedio de la conductividad en aguas tropicales de cuencas bajas poco intervenidas se encuentra entre 150-200 µS/cm, las estaciones de muestreo evaluadas en el estudio pertenecen a esta catalogación y la mayoría de ellas fueron inferiores a este rango a excepción de la quebrada Guainí en la desembocadura del río Amoyá la cual fue la única que sobrepasó el límite establecido, presentando una conductividad de 319 µS/cm. Según Ramírez *et al,* (1998), la conductividad a partir de los 200 µS/cm en ríos colombianos empieza a señalar problemas de contaminación y a partir de 275 condiciones salobres, la gran mayoría

de estaciones dentro de la cuenca del río Amoyá no se encuentran en estas puntuaciones y por lo tanto puede afirmarse que no se evidencia deterioro ambiental.

En cuanto a alcalinidad se refiere, para las estaciones andinas de baja montaña de calificación ideal según Ramírez *et al*, (1998) se encuentran el rango 150 -200 mg/L. En la cuenca del río Amoyá, la mayoría de las estaciones se encontraron por encima de este rango por lo que el análisis de esta agua puede estar dando indicios de procesos contaminantes a excepción del río Amoyá en la vereda Mesa de Maito el cual se ubicó dentro del rango permitido indicando condiciones no contaminantes y las estaciones quebrada Guainí en la desembocadura del río Amoyá y quebrada Neme, las cuales presentaron valores inferiores al rango de calificación ideal, estimando estas aguas poco productivas. La turbiedad para la cuenca del río Amoyá se encontró fuera del límite admisible (10 UNT) según el decreto 1594 de 1984 y el promedio de este parámetro en este estudio fue de 80,5 UNT, indicando aguas de baja calidad.

Durante el primer muestreo se registró un aumento en el número de coliformes fecales (27.7 UFC/ml) comparadas con el segundo muestreo (4.7 UFC/ml), probablemente este hecho obedece a factores extrínsecos del cuerpo de agua como lo es el aumento de la pluviosidad para ésta época, además descargas de aguas residuales caracterizadas por su contenido bacterial, mayores temperaturas y aumento en el contenido de fosfatos. Esta situación está asociada al hecho de que en períodos lluviosos puede producirse un lavado de los potreros y arrastre de materia orgánica, las aguas servidas, hacen que el aumento de caudales debido a la lluvia no disminuya en gran medida la carga bacterial.

El índice General de Calidad Hídrica permitió valorar de manera ágil y general el estado de la calidad hídrica de las estaciones monitoreadas con su aptitud para uso potable, sin tener que acudir al análisis individual de cada una de las 17 variables fisicoquímicas y bacteriológicas determinadas, como se realiza en un análisis univariado; sin embargo, puede afirmarse que el hecho de reducir en un único número una gran cantidad de variables que pueden indicar problemas de contaminación copiosamente diferentes, discute la capacidad del índice General de Calidad de Agua WQI (ICA) para evaluar la condición hídrica actual. (Ver Mapa 2.17). Por otra parte, Según León Vizcaíno 2003 debido a las simplificaciones del índice, la evaluación de un cuerpo de agua debe acompañarse de valores límites permisible, no solo de los parámetros o variables involucradas en el índice sino también de aquellas que no lo están, debido a que permisiblemente un valor aceptable del índice puede estar acompañado de concentraciones elevadas de ciertas sustancias que puedan superar el máximo permitido. Adicionalmente el índice general no constituye una herramienta significativa que permita evaluar el estado ecológico, dado el inconveniente de relacionar un criterio de calidad hídrica con un indicador biológico de contaminación, ya que un criterio de calidad no permite asociar la presencia o abundancia de un determinado taxón a un proceso de contaminación, para lograrlo se tendría que revisar la matriz de variables físico-químicas y observar el comportamiento de cada una de ellas, hecho que debilita la utilidad del índice.

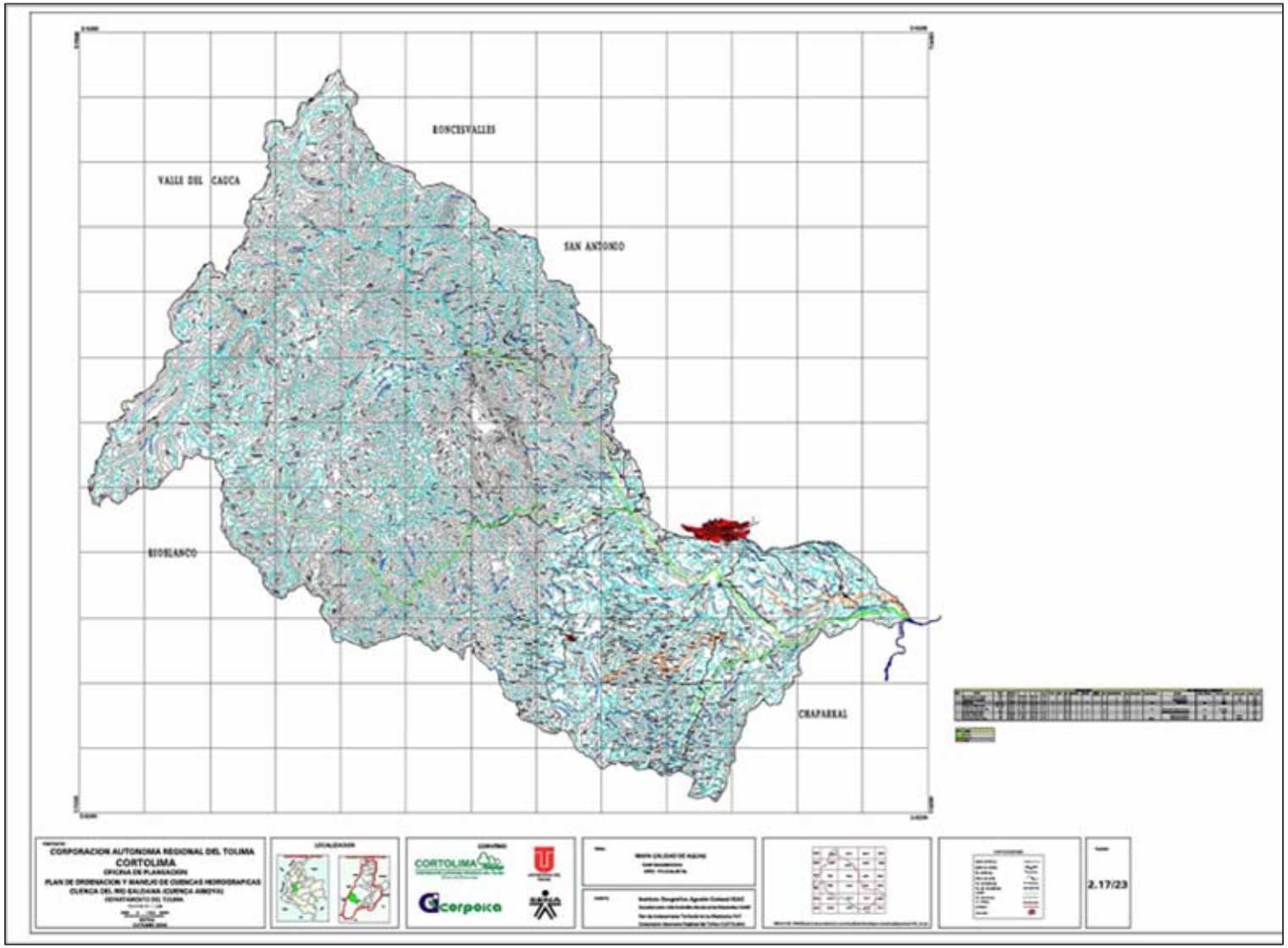
Ramírez y González argumentan que es necesario tener en cuenta que el índice WQI, los índices de contaminación y la legislación nacional parten de supuestos de generalidad respecto a la condición de un cuerpo de agua y definen con base en los usos potenciales rangos o valores, pero estas metodologías no tienen en cuenta cual es la condición natural de un cuerpo de agua en específico y en que magnitud varia un parámetro a causa de una perturbación en él; es decir, estos métodos califican la concentración de una variable independientemente de la fuente analizada, calificando una muestra sin tener en cuenta si proviene por ejemplo de una desembocadura o un río en alta montaña.

Las variables porcentaje de saturación de oxígeno, pH, conductividad, turbiedad, coliformes totales, DBO, nitratos y fosfatos, son valoradas en la aplicación del ICA, por lo tanto puede inferirse que los altos valores de turbiedad para algunas estaciones monitoreadas, determinaron el diagnóstico de calidad regular de las aguas evaluadas, siendo la turbiedad la variable de mayor valor, sin embargo es importante tener en cuenta que estos altos niveles pudieron deberse a factores como el arrastre de sedimentos y materiales de desechos, causados por las fuertes lluvias en el primer muestreo donde se encontraron los mayores valores. El cauce principal monitoreado (desembocadura del río Amoyá en el río Saldaña) presentó los niveles más altos en turbiedad, DBO, sólidos totales, suspendidos y coliformes, lo que permite visualizar que las descargas continuas de aguas domésticas afectan la calidad de los cuerpos receptores, al aumentar varios parámetros indicadores.

Observando el comportamiento individual de cada parámetro se evidenció que la dureza y conductividad describieron un comportamiento espacial similar, pudiéndose encontrar una relación directa entre estos parámetros. El Análisis de Componentes Principales mostró que estas dos variables fueron las más significativas y presentaron la mayor varianza, esta agrupación permite sugerir que en la cuenca mayor del río Amoyá se presentan procesos de mineralización que son los que tienen mayor incidencia sobre la dinámica de la cuenca.

La estrecha correlación entre conductividad y dureza en el *ACP* podría ser explicada por el hecho de que la conductividad es una medida indirecta de la concentración de iones en el agua ya que mide los cationes sodio, potasio, calcio, magnesio y los aniones carbonatos, bicarbonatos, sulfatos y cloruros principalmente, por tanto se correlaciona con la dureza (calcio y magnesio). (Yepes, 2004). Dentro del conjunto de variables que denotaron procesos de oxidorreducción de la materia orgánica fueron la DBO y los sólidos totales variables que por estar muy cercanas entre sí en el diagrama de dispersión y alejadas relativamente de las otras variables que denotan procesos distintos, están muy correlacionadas y se consideran asociadas a procesos propios del metabolismo natural de la cuenca.

La estrecha asociación entre el porcentaje de saturación de oxígeno y el pH en el ACP podría ser explicada por el hecho de que en buenas condiciones de pH, se mantienen los niveles de concentración de oxígeno aptos para productividad primaria y por ende la vida acuática (Roldán, 1992).



Mapa 2.17 Calidad de Aguas