



## 2.11 CALIDAD DE AGUAS

### 2.11.1 Factores Físicoquímicos 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).

El Oxígeno se considera un compuesto ligeramente soluble en el agua y su presencia en solución está 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 biológica, 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 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.

**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 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.** 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).

**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).

**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.** 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  $\mu\text{m}$  (Metcalf y Heddy, 1985).

**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 en 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 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).



**Efecto de la salinidad.** La solubilidad del oxígeno también está afectada por un incremento en la salinidad. A 0°C el agua dulce contiene aproximadamente 2.8mg/L más que el agua del mar, a 15°C la diferencia es de aproximadamente de 2.1 mg/L. Este factor es muy importante teniendo en cuenta cuando se trabaja en ecosistemas acuáticos con salinidades cercanas a las del mar, pues allí los problemas de adaptación de los organismos ya no son solo por déficit de oxígeno, si no también por osmorregulación. Se concluye, entonces, que un incremento de salinidad en los ecosistemas de agua dulce sería letal para la mayoría de los organismos que allí habitan (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).

### 2.11.2 Métodos

**De Campo.** En los meses de agosto (del 13 al 23) y noviembre (del 11 al 23) de 2004 se realizó la toma de muestras a lo largo de la cuenca mayor del río Prado. Posteriormente se realizó un muestreo adicional en el mes de agosto (del 7 al 11) de 2005 en algunos afluentes de la cuenca del río Negro en el municipio de Dolores.

Se establecieron en total 53 estaciones de muestreo en la cuenca mayor desde los 311 a 2257 m (Tabla 2.178), en los municipios de Prado, Cunday, Villarrica y Dolores. Se tomaron dos muestras de agua por cada estación, con el fin de evaluar los aspectos físico-químicos y bacteriológicos de la cuenca del río Prado.

Fueron analizados los principales ríos tributarios de las principales cuencas de los ríos Cunday, Negro y Prado (ríos, quebradas y embalse); además se incluyó tomas de muestras de fuentes de agua de las cuales se suplen los acueductos de diferentes veredas de la región.

Entre los dos primeros muestreos se establecieron 45 estaciones en total. Para el último muestreo en el municipio de Dolores se establecieron 8 estaciones. Finalmente se establecieron 53 estaciones (Tabla 2.178), siendo comparados el



primero y segundo muestreo y el último se analizó independientemente ya que no se logró hacer una replica para comparar entre épocas.

Las estaciones fueron ubicadas sobre los ríos tributarios; para la escogencia de estas 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. Todas las estaciones fueron georeferenciadas con un geoposicionador de satélite (GPS).

Además, en la ubicación de las estaciones se estimó el rango altitudinal de las zonas de estudio y, por tanto, los gradientes ambientales presentes. Igualmente se estudiaron algunas quebradas que desembocan en los principales ríos para observar el efecto que ocasionan los vertimientos de dichas quebradas.

Tabla 2.178 Ubicación georeferenciada de las estaciones de muestreo para la caracterización físico-química y bacteriológica de la cuenca mayor del río Prado, durante el período de agosto a Noviembre de 2004 y agosto de 2005.

No.	ESTACIÓN	VEREDA	MUNICIPIO	SUBCUENCA	ALTURA	COORDENADAS	
						N	W
1	Río Negro	Buenos Aires	Prado	Río Negro	1285	3° 56' 2,51"	74° 53' 59,54"
2	Q. Cristalina	Buenos Aires	Prado	Río Negro	1325	3° 56' 6,78"	74° 56' 40,14"
3	Q. Aguas Claras	Buenos Aires	Prado	Río Negro	1200	3° 55' 30,23"	74° 56' 31,77"
4	Q. Aguas Claras nacimiento	Buenos Aires	Prado	Río Negro	1245	3° 56' 0,63"	74° 56' 6,94"
5	Q. Acueducto	Buenos Aires	Prado	Río Negro	1454	3° 56' 10,99"	74° 55' 56"
6	Río Negro	Aco Nuevo	Prado	Río Negro	430	3° 51' 11,48"	74° 56' 27,26"
7	Q. Aco	Aco Nuevo	Prado	Río Negro	387	3° 51' 11,48"	74° 55' 35,22"
8	Q. El Papayal	Chenchito	Prado	Río Prado	373	3° 44' 29,99"	74° 51' 46,64"
9	R. Prado (Desembocadura)	La Virginia	Prado	Río Prado	280	3° 43' 46,84"	74° 52' 7,70"
10	Infiltración Egetsa	El Puerto	Prado	Río Prado	311	3° 46' 3,52"	74° 55' 2,64"
11	R. Prado (Pto. El Medio)	La Virginia	Prado	Río Prado	308	3° 45' 9,20"	74° 54' 52,67"
12	Embalse de Prado	Tomogó	Prado	Río Prado	401	3° 46' 29,7"	74° 57' 32,8"
13	Embalse de Prado	Lozanía	Prado	Río Prado	376	3° 52' 43,07"	74° 47' 57,95"
14	Embalse de Prado	Yucupí	Prado	Río Prado	365	3° 50' 39,15"	74° 51' 54,03"
15	Embalse de Prado	Isla del Sol	Prado	Río Prado	372	3° 48' 48,8"	74° 54' 19,44"
16	Embalse de Prado	Aco Caimán	Prado	Río Prado	370	3° 50' 10,82"	74° 55' 28,35"
17	Q. Corinto	Corinto	Prado	Río Prado	380	3° 47' 46,97"	74° 53' 26,89"
18	Q. Corinto (Acueducto)	Corinto	Prado	Río Prado	429	3° 47' 58,47"	74° 53' 15,98"
19	R. Cunday	Valencia	Prado	Río Cunday	450	3° 54' 18,84"	74° 44' 34,85"
20	R. Cunday-R. Cuindeblanco	Valencia	Prado	Río Cunday	450	3° 54' 22,26"	74° 44' 40,40"
21	R. Cuindeblanco	Valencia	Prado	R. Cuindeblanco	450	3° 54' 22,69"	74° 44' 35,28"
22	Acueducto Tres Esquinas	Tres Esquinas	Cunday	Río Cunday	*	3° 58' 6,45"	74° 48' 33,82"
23	Q. Número 1	Alto Torres	Cunday	R. Cuindeblanco	1551	3° 58' 47,69"	74° 51' 32,13"
24	Q. Número 2	Alto Torres	Cunday	R. Cuindeblanco	1478	3° 58' 40,99"	74° 51' 25,80"
25	R. Cuindenegro	Puerto Lleras	Cunday	R. Cuindeblanco	1240	4° 00' 03,60"	74° 49' 53,69"
26	Q. Arcadia	La Arcadia	Villarrica	R. Cuindeblanco	1150	4° 03' 12,03"	74° 52' 22,90"



No.	ESTACIÓN	VEREDA	MUNICIPIO	SUBCUENCA	ALTURA	COORDENADAS	
						N	W
27	R. Cuindeblanco	La Arcadia	Villarrica	R. Cuindeblanco	945	4° 03' 46,91"	74° 44' 56,64"
28	Q. Aguas Blancas	La Arcadia	Villarrica	R. Cuindeblanco	950	4° 03' 45,51"	74° 45' 0,88"
29	R. Cuindefeo	Manzanita	Villarrica	R. Cuindeblanco	1550	4° 06' 29,79"	74° 43' 59,65"
30	Q. Manzanita	Manzanita	Villarrica	R. Cuindeblanco	1700	4° 05' 2,21"	74° 45' 30,71"
31	Q. Aldana	Castillo	Villarrica	R. Cuindeblanco	1386	4° 05' 15,95"	74° 45' 27,22"
32	Q. La Pedregosa	San Pedro	Cunday	R. Cuindeblanco	1000	4° 03' 56,48"	74° 38' 40,93"
33	R. Vichía (Antes)	San Pedro	Cunday	R. Cuindeblanco	1000	4° 03' 55,92"	74° 38' 40,22"
34	R. Vichía (Después)	San Pedro	Cunday	R. Cuindeblanco	1000	4° 03' 54,13"	74° 38' 40,77"
35	R. Cunday	Varsovia	Cunday	Río Cunday	900	4° 04' 58,20"	74° 35' 25,72"
36	Q. Cristalina	Los Alpes	Cunday	R. Cuindeblanco	946	4° 02' 49,29"	74° 43' 38,08"
37	R. Cunday	Parroquia Vieja	Cunday	Río Cunday	400	4° 01' 57,54"	74° 34' 57,27"
38	Q. Caribe	La Colonia	Villarrica	R. Cuindeblanco	2254	4° 07' 59,50"	74° 47' 53,02"
39	Laguna caribe	La Colonia	Villarrica	R. Cuindeblanco	2257	4° 08' 1,71"	74° 47' 52,05"
40	Q. La Cucuana	La Colonia	Villarrica	R. Cuindeblanco	1800	4° 06' 23,82"	74° 47' 24,60"
41	Q. La Granja	La Granja	Villarrica	R. Cuindeblanco	1608	4° 06' 15,75"	74° 46' 47,24"
42	Laguna Las Catorce	Las Catorce	Cunday	Río Cunday	1703	4° 05' 55,35"	74° 37' 24,76"
43	Q. La Pedregosa	Las Catorce	Cunday	Río Cunday	1441	4° 05' 22,05"	74° 37' 26,72"
44	Q. La Lagunilla	La Hoya	Cunday	Río Cunday	1592	4° 05' 52,40"	74° 37' 52,55"
45	R. Vichía	Bajo Robles	Villarrica	R. Cuindeblanco	1443	4° 05' 7,62"	74° 42' 8,85"
46**	Q. Montañita	San José	Dolores	Río Negro	1580	3° 31' 38,4"	74° 49' 48"
47**	Q. La Montaña	San José	Dolores	Río Negro	1710	3° 31' 30,5"	74° 49' 44,4"
48**	Q. El Pescado	San Pablo	Dolores	Río Negro	1187	3° 35' 57,5"	74° 51' 16,4"
49**	Q. Frío Bajo	San Pablo	Dolores	Río Negro	1190	3° 36' 24,7"	74° 50' 23,4"
50**	Q. Frío Alto	San Pablo	Dolores	Río Negro	1680	3° 35' 14,1"	74° 49' 23"
51**	Q. La Lejía	Soledad	Dolores	Río Negro	1184	3° 41' 5,6"	74° 45' 30,9"
52**	Q. El Boquerón	Soledad	Dolores	Río Negro	1102	3° 39' 45,1"	74° 46' 1,08"
53**	Q. La Laja	Ríonegro	Dolores	Río Negro	1460	3° 38' 50"	74° 48' 56,4"

\* Estación sin altitud

\*\* Estaciones muestreadas en agosto de 2005

**Parámetros Físico-químicos.** En cada una de las estaciones de muestreo se midieron *"in situ"* temperatura del agua, temperatura ambiental, oxígeno disuelto y pH (Foto 2.133), a excepción de las estaciones muestreadas en el mes de agosto de 2005 que sólo se tomó el pH. 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 del Tolima (Cortolima).



Foto 2.133 Medición de Variables Físico-químicas in.situ



- *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.
- *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.

*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 aguas de CORTOLIMA, las cuales fueron rotuladas con un código de recepción, nuevamente se midió el pH y el oxígeno disuelto (Foto 2.134).

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

Esta metodología es utilizada habitualmente en el Laboratorio Ambiental del Tolima de La Corporación Autónoma regional del Tolima (CORTOLIMA), lugar donde se realizaron las pruebas propuestas en este trabajo.

- *Demanda Química de Oxígeno-DQO.* Este parámetro se midió utilizando el método del refluo 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.



Foto 2.134 Medición de variables Físico-químicas y bacteriológicas en laboratorio.

- 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  $0.05 \mu\text{S}/\text{cm}$ . 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  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .
- Alcalinidad Total.** Se empleó un método titulométrico con HCL cuyo límite de detección es de  $0.5 \text{ mg}/\text{l}$ . Fueron medidos  $50 \text{ ml}$  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  $0.02 \text{ N}$ , 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  $0.5 \text{ mg}/\text{l}$ . Fueron medidos  $50 \text{ ml}$  de muestra con pipeta aforada, los cuales se llevaron a un erlenmeyer que fue colocado en una placa de agitación magnética, luego se agregaron  $2 \text{ ml}$  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)  $0.1 \text{ N}$  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  $1\text{g}/\text{l}$  de límite de detección. Para este, las cápsulas fueron previamente secadas a una temperatura de  $105^\circ\text{C}$  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 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 peptonada 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 2004 y las 15 variables para el muestreo de agosto de 2005. Además se empleó el método multivariado denominado *Análisis Factorial de Componentes Principales – ACP*. Este 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 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). Es el índice de uso más extensivo en los trabajos de este tipo a nivel mundial con ciertas restricciones en Europa, y 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.

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

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 2.179).

### 2.11.3 Resultados











#### 2.11.3.1 Parámetros Físico-Químicos y Bacteriológicos.

**Temperatura.** El valor promedio anual (muestreos realizados en el año 2004) de la temperatura ambiente para la cuenca mayor del río Prado fue de 23,7°C. Los promedios de mayor valor correspondieron a la estación Egetsá, seguida por Aco Nuevo, Tomogó y el río Cuinde Blanco en Valencia, las cuales oscilaron entre 28,5 y 30,8°C; la temperatura más baja para la cuenca se encontró en el río Cuindefeo vereda Manzanita con 17,7 y río Vichía (45) 17,5°C, las estaciones restantes oscilaron entre 17,9°C y 29°C. (Figura 2.166)

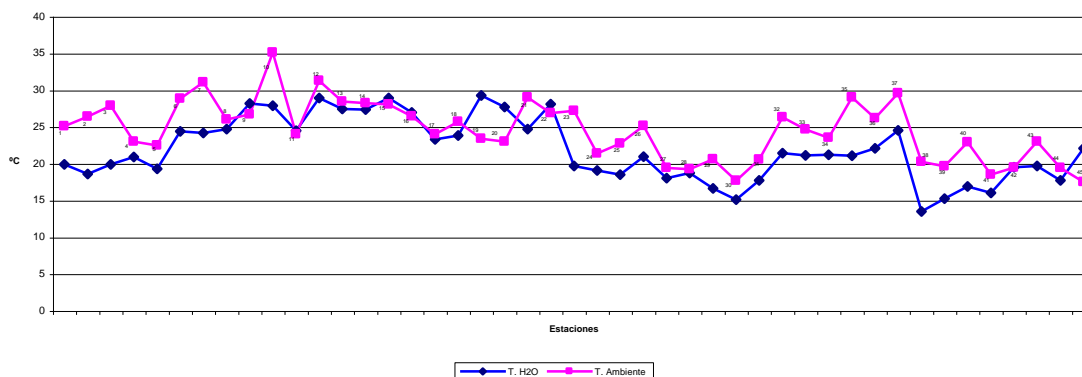
El promedio anual (muestreos realizados en el año 2004) de la temperatura del agua para la cuenca del río Prado fue de 22,5°C, este parámetro fue menor que la temperatura ambiente en todas las estaciones de muestreo y mostró un comportamiento análogo a la temperatura ambiental (Figura 2.166). Los mayores registros correspondieron a las estaciones de Tomogó, Isla del Sol y río Cunday en Valencia las cuales oscilaron entre 29,3 y 29,4°C. La temperatura más baja para la cuenca fue de 13,5°C en la quebrada Caribe, vereda La Colonia,



Tabla 2.179 Calidad del agua para uso potable con respecto al índice WQI.

<b>Calidad</b>	<b>Rango</b>	<b>Color</b>
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. Río Negro; 2. Q. Cristalina; 3. Q. Aguas Claras; 4. Q. Aguas claras nacimiento; 5. Q. Acueducto; 6. Río Negro; 7. Q. Aco; 8. Q. El Papayal; 9. Río Prado (desembocadura); 10. Infiltración Egetsa; 11. Río Prado; 12. Embalse de Prado, Tomogó; 13. Embalse de Prado, Lozania; 14. Embalse de Prado, Yucupí; 15. Embalse de Prado, Isla del Sol; 16. Embalse de Prado, Aco Caimán; 17. Q. Corinto; 18. Q. Corinto (Acueducto); 19. Río Cunday; 20. Río Cunday-R. Cuindeblanco; 21. Río Cuindeblanco; 22. Acueducto Tres Esquinas; 23. Q. Número 1; 24. Q. Número 2; 25. Río Cuindenegro; 26. Q. Arcadia; 27. Río Cuindeblanco; 28. Q. Aguas Blancas; 29. R. Cuindefeo; 30. Q. Manzanita; 31. Q. Aldana; 32. Q. La Pedregosa; 33. Río Vichía (Antes); 34. Río Vichía después desembocadura; 35. Río Cunday; 36. Q. Cristalina; 37. Río Cunday; 38. Q. Caribe; 39. Laguna Caribe; 40. Q. La Cucuana; 41. Q. La Granja; 42. Laguna Las Catorce; 43. Q. La Pedregosa; 44. Q. Lagunilla; 45. Río Vichía.

Figura 2.166 Comportamiento espacial de la temperatura ambiental y la temperatura del agua en la cuenca mayor del río Prado (agosto a noviembre de 2004).

las estaciones de muestreo restantes presentaron temperaturas del agua entre 15,5 y 28°C.

El valor promedio de las temperaturas ambiente y temperatura del agua por muestreo en las estaciones evaluadas durante los dos periodos varió muy poco, fluctuando entre 21,5 y 23,4°C para la temperatura ambiente y 20,9°C y 24,8°C para la temperatura del agua.

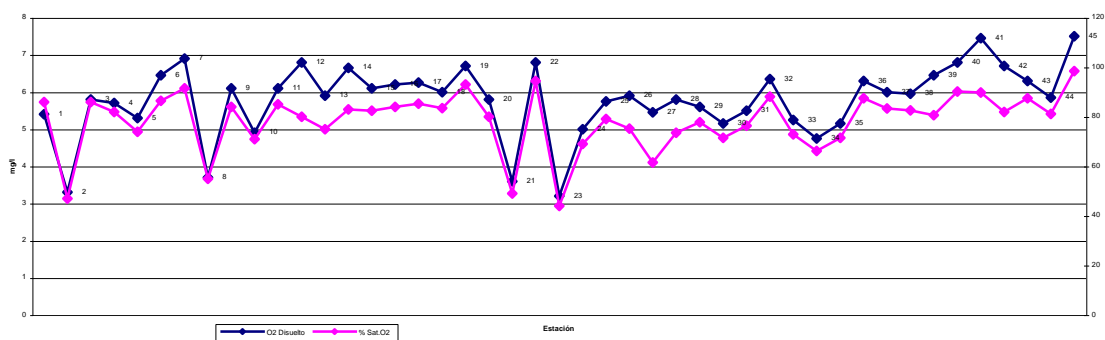
Para el muestreo realizado en agosto de 2005 en los afluentes del municipio de Dolores no se tomaron datos de temperatura del agua ni del ambiente.



**Oxígeno.** El promedio del oxígeno disuelto para la cuenca en el periodo de estudio durante el año 2004 fue de 5,8 mg/l (Figura 2.167), la oscilación de este parámetro para las estaciones de muestreo estuvo comprendida dentro de un rango de 3,1 a 7,5 mg/l. La estación con menor registro se encontró en la quebrada número 1 vereda Alto Torres y la de mayor valor en la quebrada acueducto Buenos aires. Entre muestreos esta variable estuvo entre 5,6 y 6,4 mg/l. El porcentaje de saturación de oxígeno alcanzó niveles de 94,4% y en promedio para toda la cuenca de 78,1%. Las estaciones de muestreo registraron un rango entre 55 y 98,4 %. Este parámetro describe un comportamiento en las diferentes zonas muestreadas afín al descrito por el oxígeno disuelto. A nivel temporal, el porcentaje de saturación osciló entre 75 y 85 (primer y segundo muestreo respectivamente del año 2004).

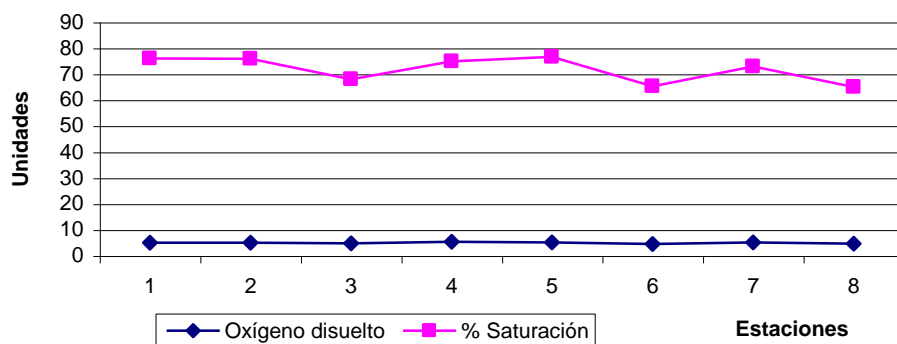
Para el muestreo realizado en el mes de agosto de 2005 se registro un promedio de 5 mg/l de oxígeno disuelto hallándose el mayor valor en la quebrada Frío bajo con 5,4 mg/l y el menor valor en la quebrada La Lejía con 4,6 mg/l. Igualmente la quebrada Frío bajo mostró el mayor valor en cuanto a porcentaje de saturación (76,7%), mientras que la quebrada La Laja obtuvo el menor valor (65,1%) respecto a este parámetro (Figura 2.168). En promedio, el porcentaje de saturación estuvo en un 71,9%.

**DQO.** Esta variable registró 17,1 mg/l de promedio anual (muestreos realizados en el año 2004) para toda la cuenca mayor del río Prado. Los menores registros se hallaron en las estaciones Tomogó, Isla del Sol, Aco Caimán con 0,03; 0,05; 0,07, seguidas por la quebrada Aguas claras, vereda Buenos Aires con 1,5 mg/l, los mayores registros se evidenciaron en los ríos Cuindeblanco con 42,8 mg/l, Cuindenegro con 37,6; Q. La Granja con 40,95 mg/l. A nivel temporal se encontró que esta variable osciló en promedio entre 19,3 y 18,9, siendo mayor la demanda en el primer muestreo (Figura 2.169)



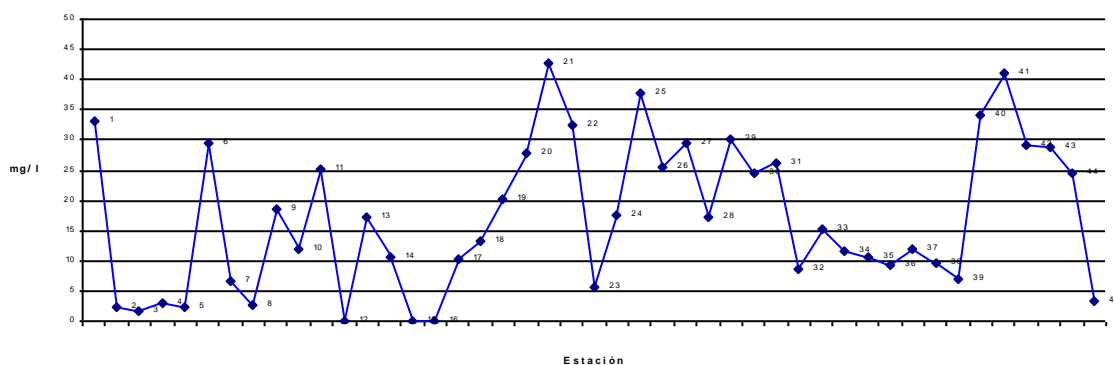
Río Negro; 2. Q. Cristalina; 3. Q. Aguas Claras; 4. Q. Aguas claras nacimiento; 5. Q. Acueducto; 6. Río Negro; 7. Q. Aco; 8. Q. El Papayal; 9. Río Prado (desembocadura); 10. Infiltración Egetsa; 11. Río Prado; 12. Embalse de Prado, Tomogó; 13. Embalse de Prado, Lozanía; 14. Embalse de Prado, Yucupí; 15. Embalse de Prado, Isla del Sol; 16. Embalse de Prado, Aco Caimán; 17. Q. Corinto; 18. Q. Corinto (Acueducto); 19. Río Cunday; 20. Río Cunday-R. Cuindeblanco; 21. Río Cuindeblanco; 22. Acueducto Tres Esquinas; 23. Q. Número 1; 24. Q. Número 2; 25. Río Cuindenegro; 26. Q. Arcadia; 27. Río Cuindeblanco; 28. Q. Aguas Blancas; 29. R. Cuindefeo; 30. Q. Manzanita; 31. Q. Aldana; 32. Q. La Pedregosa; 33. Río Vichía (Antes); 34. Río Vichía después desembocadura; 35. Río Cunday; 36. Q. Cristalina; 37. Río Cunday; 38. Q. Caribe; 39. Laguna Caribe; 40. Q. La Cucuana; 41. Q. La Granja; 42. Laguna Las Catorce; 43. Q. La Pedregosa; 44. Q. Lagunilla; 45. Río Vichía.

Figura 2.167 Comportamiento espacial del oxígeno disuelto y el porcentaje de saturación en la cuenca mayor del río Prado (agosto a noviembre de 2004)



1. Quebrada Montanita; 2. Quebrada La Montaña; 3. Quebrada El Pescado; 4. Quebrada Frío bajo; 5. Quebrada Frío alto; 6. Quebrada La Lejía; 7. Quebrada El Boquerón; 8. Quebrada La Laja.

Figura 2.168 Comportamiento espacial del oxígeno disuelto y el porcentaje de saturación en algunos afluentes de la cuenca del río Negro muestreados en el municipio de Dolores (agosto de 2005).

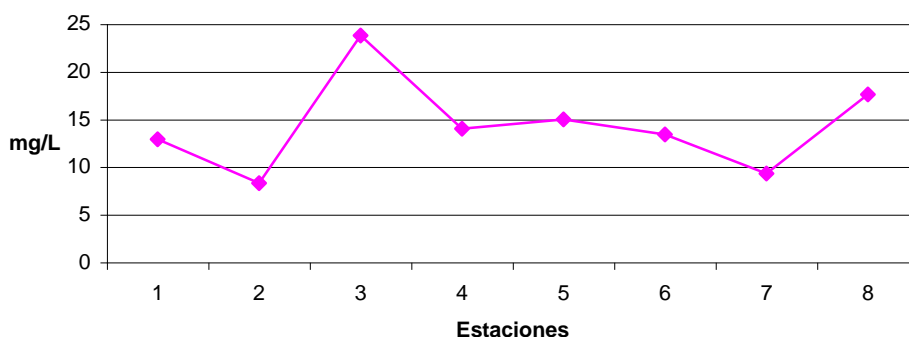


1. Río Negro; 2. Q. Cristalina; 3. Q. Aguas Claras; 4. Q. Aguas claras nacimiento; 5. Q. Acueducto; 6. Río Negro; 7. Q. Aco; 8. Q. El Papayal; 9. Río Prado (desembocadura); 10. Infiltración Egetsa; 11. Río Prado; 12. Embalse de Prado, Tomogó; 13. Embalse de Prado, Lozania; 14. Embalse de Prado, Yucupí; 15. Embalse de Prado, Isla del Sol; 16. Embalse de Prado, Aco Caimán; 17. Q. Corinto; 18. Q. Corinto (Acueducto); 19. Río Cunday; 20. Río Cunday-R. Cuindeblanco; 21. Río Cuindeblanco; 22. Acueducto Tres Esquinas; 23. Q. Número 1; 24. Q. Número 2; 25. Río Cuindenegro; 26. Q. Arcadia; 27. Río Cuindeblanco; 28. Q. Aguas Blancas; 29. R. Cuindefeo; 30. Q. Manzanita; 31. Q. Aldana; 32. Q. La Pedregosa; 33. Río Vichía (Antes); 34. Río Vichía después desembocadura; 35. Río Cunday; 36. Q. Cristalina; 37. Río Cunday; 38. Q. Caribe; 39. Laguna Caribe; 40. Q. La Cucuana; 41. Q. La Granja; 42. Laguna Las Catorce; 43. Q. La Pedregosa; 44. Q. Lagunilla; 45. Río Vichía.

Figura 2.169 Comportamiento espacial de la DQO en la cuenca mayor del río Prado (agosto a noviembre de 2004).

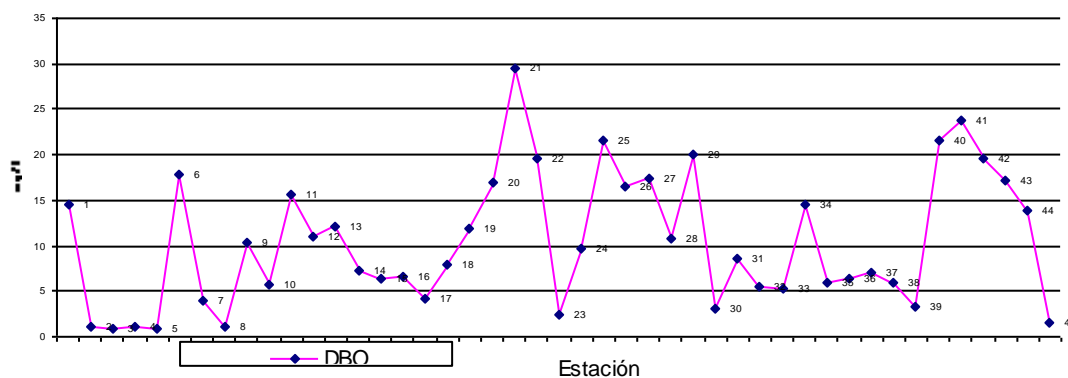
En el muestreo realizado durante el mes de agosto de 2005 se registró un promedio de 14.29 mg/l siendo la quebrada el Pescado la estación que mayor valor registró, mientras que la quebrada La Montaña sólo se encontró 8,3 mg/l (Figura 2.170).

**DBO.** Esta variable registró 10,4 mg/l de promedio en el periodo del año 2004 para toda la cuenca mayor del río Prado. Los menores registros se hallaron en las estaciones: quebrada Aguas claras, quebrada Acueducto de Buenos Aires, los mayores registros se presentaron en los ríos Cuindeblanco con 29,6; Cuindefeo con 20,5 mg/l y Q. La Granja con 23,8 mg/l (Figura 2.171). En promedio a nivel temporal la DBO fluctuó entre 10,5 y 11,7 mg/l (agosto y noviembre respectivamente).



1. Quebrada Montañita; 2. Quebrada La Montaña; 3. Quebrada El Pescado; 4. Quebrada Frío bajo; 5. Quebrada Frío alto; 6. Quebrada La Lejía; 7. Quebrada El Boquerón; 8. Quebrada La Laja.

Figura 2.170 Comportamiento espacial de la DQO en algunos afluentes de la cuenca del río Negro muestreados en el municipio de Dolores (agosto de 2005).



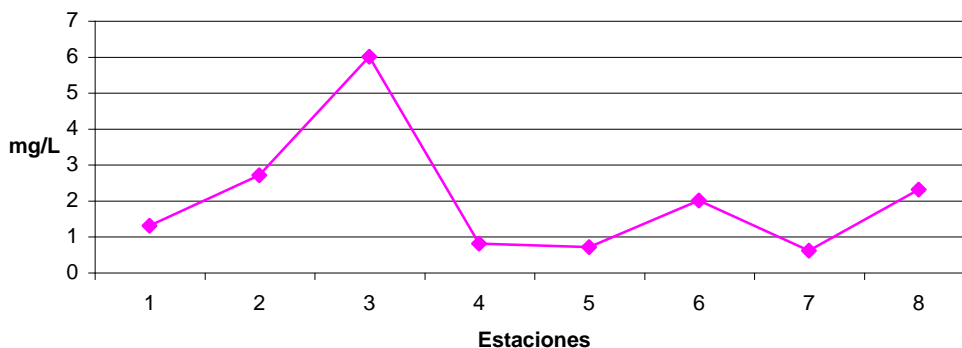
1. Río Negro; 2. Q. Cristalina; 3. Q. Aguas Claras; 4. Q. Aguas claras nacimiento; 5. Q. Acueducto; 6. Río Negro; 7. Q. Aco; 8. Q. El Papayal; 9. Río Prado (desembocadura); 10. Infiltración Egetsa; 11. Río Prado; 12. Embalse de Prado, Tomogó; 13. Embalse de Prado, Lozania; 14. Embalse de Prado, Yucupí; 15. Embalse de Prado, Isla del Sol; 16. Embalse de Prado, Aco Caimán; 17. Q. Corinto; 18. Q. Corinto (Acueducto); 19. Río Cunday; 20. Río Cunday-R. Cuindeblanco; 21. Río Cuindeblanco; 22. Acueducto Tres Esquinas; 23. Q. Número 1; 24. Q. Número 2; 25. Río Cuindenegro; 26. Q. Arcadia; 27. Río Cuindeblanco; 28. Q. Aguas Blancas; 29. R. Cuindefeo; 30. Q. Manzanita; 31. Q. Aldana; 32. Q. La Pedregosa; 33. Río Vichía (Antes); 34. Río Vichía después desembocadura; 35. Río Cunday; 36. Q. Cristalina; 37. Río Cunday; 38. Q. Caribe; 39. Laguna Caribe; 40. Q. La Cucuana; 41. Q. La Granja; 42. Laguna Las Catorce; 43. Q. La Pedregosa; 44. Q. Lagunilla; 45. Río Vichía.

Figura 2.171 Comportamiento espacial de la DBO en la cuenca mayor del río Prado (agosto a noviembre de 2004).

Durante el muestreo realizado en el mes de agosto de 2005 la DBO estuvo en un valor promedio de 2,05 mg/l, registrándose el mayor valor en la quebrada La Montaña con 6 mg/l y el menor en la quebrada El Boquerón con 0,6 mg/l (Figura 2.172).

**pH.** Se registró un valor promedio de 6,5 unidades para la cuenca (Figura 2.173). No se presentaron cambios marcados diferencialmente de pH, el mayor registro fue encontrado en la quebrada Aguas blancas 8,09 seguido por la estaciones Yucupí 7,6 y Aco Caimán 7,5; el menor valor se registró en la quebrada Las Catorce 4,47. Para el mes de agosto se tuvo en promedio 6,7 y para noviembre 6,42.

Para el muestreo de agosto de 2005 realizado en algunos afluentes de la cuenca del río Negro en el municipio de Dolores el valor promedio de pH fue de 6,8, siendo la quebrada La Montaña la estación que mayor valor obtuvo (7,72), mientras que la quebrada El Pescado fue menor (6,12) (Figura 2.174).

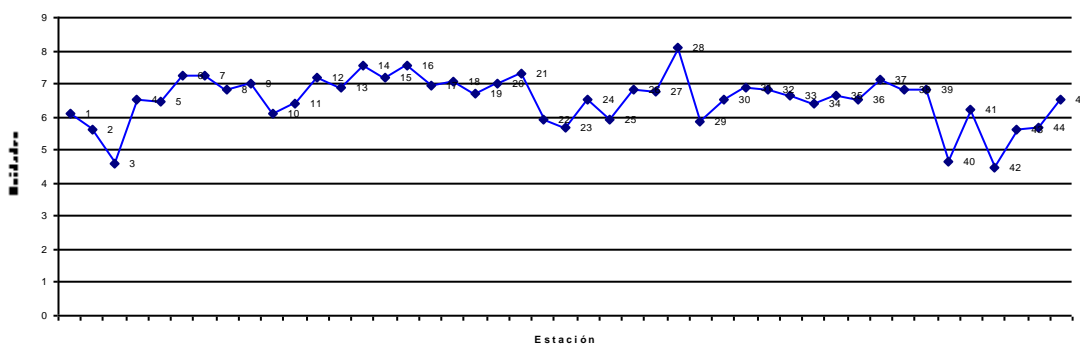


1. Quebrada Montanita; 2. Quebrada La Montaña; 3. Quebrada El Pescado; 4. Quebrada Frío bajo; 5. Quebrada Frío alto; 6. Quebrada La Lejía; 7. Quebrada El Boquerón; 8. Quebrada La Laja.

Figura 2.172 Comportamiento espacial de la DBO en algunos afluentes de la cuenca del río Negro muestreados en el municipio de Dolores (agosto 2005).

**Conductividad Eléctrica.** Para la cuenca mayor del río Prado (muestreos realizados en el año 2004) el promedio de esta variable fue de  $62 \mu\text{S}/\text{cm}$ , el menor registro se encontró en el río Cuindefeo vereda Manzanita  $2 \mu\text{S}/\text{cm}$  y el mayor en la quebrada Aguas Blancas con  $290 \mu\text{S}/\text{cm}$  (Figura 2.170). El valor de las demás estaciones osciló entre  $8,2$  y  $2,62 \mu\text{S}/\text{cm}$ . A nivel temporal se registró una fluctuación promedio de la cuenca mayor entre  $67,4$  y  $38,5 \mu\text{S}/\text{cm}$ .

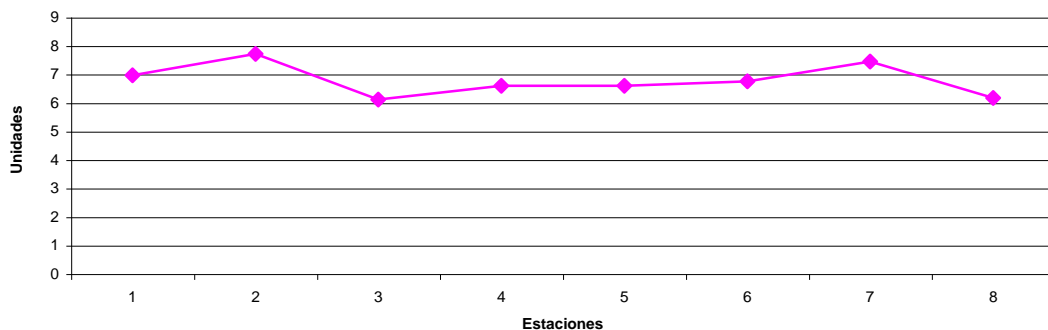
Durante el mes agosto de 2005 en algunos afluentes de la cuenca del río Negro la conductividad eléctrica promedio fue de  $25,4 \mu\text{S}/\text{cm}$ , siendo la quebrada El Boquerón la que mayor valor registró con  $50,5 \mu\text{S}/\text{cm}$  y la quebrada de menor valor fue la quebrada La Montaña con  $6,6 \mu\text{S}/\text{cm}$  (Figura 2.171)



1. Río Negro; 2. Q. Cristalina; 3. Q. Aguas Claras; 4. Q. Aguas claras nacimiento; 5. Q. Acueducto; 6. Río Negro; 7. Q. Aco; 8. Q. El Papayal; 9. Río Prado (desembocadura); 10. Infiltración Egetsa; 11. Río Prado; 12. Embalse de Prado, Tomogó; 13. Embalse de Prado, Lozanía; 14. Embalse de Prado, Yucupí; 15. Embalse de Prado, Isla del Sol; 16. Embalse de Prado, Aco Caimán; 17. Q. Corinto; 18. Q. Corinto (Acueducto); 19. Río Cunday; 20. Río Cunday-R. Cuindeblanco; 21. Río Cuindeblanco; 22. Acueducto Tres Esquinas; 23. Q. Número 1; 24. Q. Número 2; 25. Río Cuindenegro; 26. Q. Arcadia; 27. Río Cuindeblanco; 28. Q. Aguas Blancas; 29. R. Cuindefeo; 30. Q. Manzanita; 31. Q. Aldana; 32. Q. La Pedregosa; 33. Río Vichía (Antes); 34. Río Vichía después desembocadura; 35. Río Cunday; 36. Q. Cristalina; 37. Río Cunday; 38. Q. Caribe; 39. Laguna Caribe; 40. Q. La Cucuana; 41. Q. La Granja; 42. Laguna Las Catorce; 43. Q. La Pedregosa; 44. Q. Lagunilla; 45. Río Vichía.

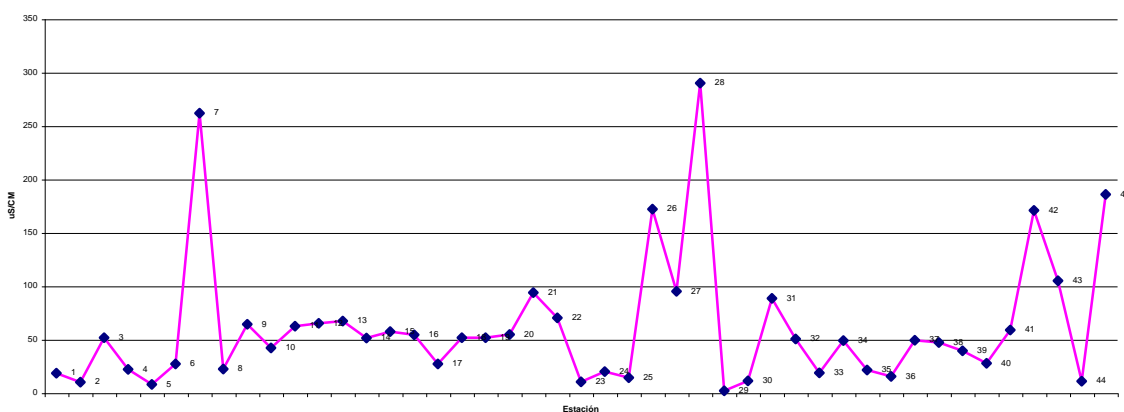
Figura 2.173 Comportamiento espacial del pH en la cuenca mayor del río Prado agosto a noviembre de 2004).





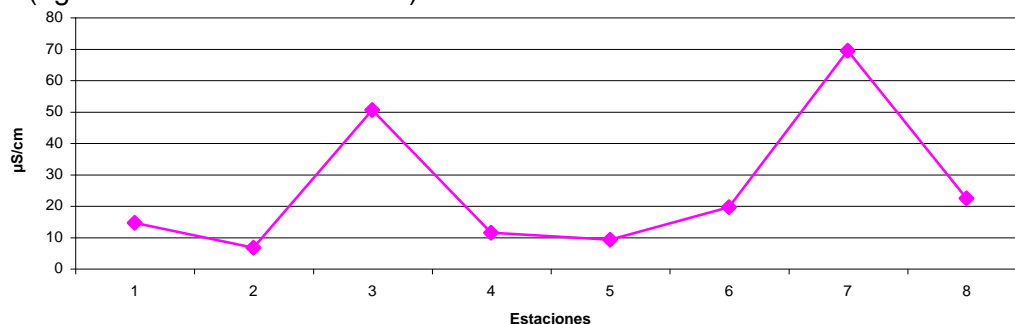
1. Quebrada Montaña; 2. Quebrada La Montaña; 3. Quebrada El Pescado; 4. Quebrada Frio bajo; 5. Quebrada Frio alto; 6. Quebrada La Lejía; 7. Quebrada El Boquerón; 8. Quebrada La Laja.

Figura 2.174 Comportamiento espacial del pH en algunos afluentes de la cuenca del río Negro muestreados en el municipio de Dolores (agosto 2005).



1. Río Negro; 2. Q. Cristalina; 3. Q. Aguas Claras; 4. Q. Aguas claras nacimiento; 5. Q. Acueducto; 6. Río Negro; 7. Q. Aco; 8. Q. El Papayal; 9. Río Prado (desembocadura); 10. Infiltración Egetsa; 11. Río Prado; 12. Embalse de Prado, Fomego; 13. Embalse de Prado, Lozania; 14. Embalse de Prado, Yucupi; 15. Embalse de Prado, Isla del Sol; 16. Embalse de Prado, Aco Caimán; 17. Q. Corinto; 18. Q. Corinto (Acueducto); 19. Río Cunday; 20. Río Cunday-R. Cuindeblanco; 21. Río Cuindeblanco; 22. Acueducto Tres Esquinas; 23. Q. Número 1; 24. Q. Número 2; 25. Río Cuindenegro; 26. Q. Arcadia; 27. Río Cuindeblanco; 28. Q. Aguas Blancas; 29. R. Cuindefeo; 30. Q. Manzanita; 31. Q. Aldana; 32. Q. La Pedregosa; 33. Río Vichía (Antes); 34. Río Vichía después desembocadura; 35. Río Cunday; 36. Q. Cristalina; 37. Río Cunday; 38. Q. Caribe; 39. Laguna Caribe; 40. Q. La Cucuana; 41. Q. La Granja; 42. Laguna Las Catorce; 43. Q. La Pedregosa; 44. Q. Lagunilla; 45. Río Vichía.

Figura 2.175. Comportamiento espacial de la Conductividad en la cuenca mayor del río Prado (agosto a noviembre de 2004).



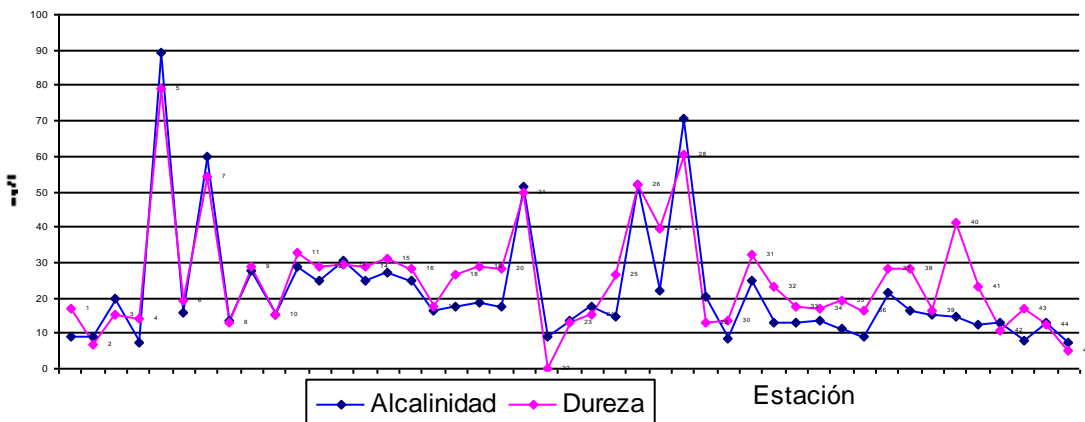
1. Quebrada Montaña; 2. Quebrada La Montaña; 3. Quebrada El Pescado; 4. Quebrada Frio bajo; 5. Quebrada Frio alto; 6. Quebrada La Lejía; 7. Quebrada El Boquerón; 8. Quebrada La Laja.

Figura 2.176. Comportamiento espacial de la conductividad eléctrica en algunos afluentes de la cuenca del río Negro muestreados en el municipio de Dolores (agosto 2005).



**Alcalinidad.** El promedio anual para la alcalinidad fue de 22,1 mg/l (Figura 2.172), esta variable, osciló espacialmente entre 7,1 y 89,1 mg/l correspondiente a las quebradas Aguas claras en el nacimiento y Acueducto vereda Buenos Aires respectivamente; a nivel temporal, este parámetro se encontró en un rango de 28,1 a 15,46 mg/l.

La dureza promedio para la cuenca fue de 25,2 mg/l y fluctuó entre estaciones alrededor de 0,1 y 79 mg/l que corresponden a las quebradas acueducto tres esquinas y Q. acueducto en Buenos Aires respectivamente. Las demás estaciones oscilaron entre 8,2 y 59 mg/l. Esta variable presentó un valor mayor en el mes de agosto 26,48, mientras en noviembre fue de 25,9.

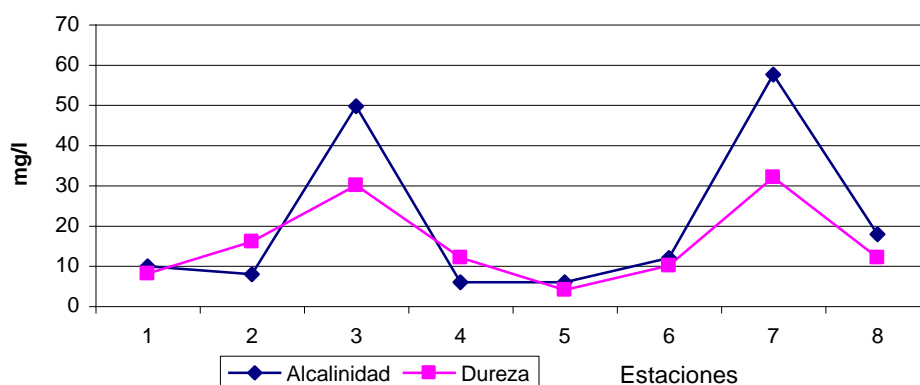


1. Río Negro; 2. Q. Cristalina; 3. Q. Aguas Claras; 4. Q. Aguas claras nacimiento; 5. Q. Acueducto; 6. Río Negro; 7. Q. Aco; 8. Q. El Papayal; 9. Río Prado (desembocadura); 10. Infiltración Egetsa; 11. Río Prado; 12. Embalse de Prado, Tomogó; 13. Embalse de Prado, Lozanía; 14. Embalse de Prado, Yucupi; 15. Embalse de Prado, Isla del Sol; 16. Embalse de Prado, Aco Caimán; 17. Q. Corinto; 18. Q. Corinto (Acueducto); 19. Río Cunday; 20. Río Cunday-R. Cuindeblanco; 21. Río Cuindeblanco; 22. Acueducto Tres Esquinas; 23. Q. Número 1; 24. Q. Número 2; 25. Río Cuindenegro; 26. Q. Arcadia; 27. Río Cuindeblanco; 28. Q. Aguas Blancas; 29. R. Cuindefeo; 30. Q. Manzanita; 31. Q. Aldana; 32. Q. La Pedregosa; 33. Río Vichía (Antes); 34. Río Vichía después desembocadura; 35. Río Cunday; 36. Q. Cristalina; 37. Río Cunday; 38. Q. Caribe; 39. Laguna Caribe; 40. Q. La Cucuana; 41. Q. La Granja; 42. Laguna Las Catorce; 43. Q. La Pedregosa; 44. Q. Lagunilla; 45. Río Vichía.

Figura 2.177 Comportamiento espacial de la Alcalinidad y Dureza Total en la cuenca mayor del río Prado (agosto a noviembre de 2004).

La alcalinidad, dureza y conductividad describen un comportamiento espacial similar, pudiéndose evidenciar relación directa entre este grupo de variables (Figuras 2.171, 2.172).

Para el muestreo realizado en el municipio de Dolores en algunos afluentes de la cuenca del río Negro la alcalinidad y dureza presentaron un comportamiento similar. En cuanto Alcalinidad el promedio fue de 20,8 mg/l, registrándose el mayor valor en la quebrada El Boquerón con 57,5 mg/l y el menor en las quebradas Frío bajo y Frío alto con 5,9 mg/l en ambas estaciones (Figura 2.173). Para el caso de la dureza total el promedio fue de 15,5 mg/l, siendo nuevamente la quebrada El Boquerón la estación que mayor valor presentó (32mg/l), mientras que la quebrada Frío alto registró el menor valor (4 mg/l) (Figura 2.173).



1. Quebrada Montanita; 2. Quebrada La Montaña; 3. Quebrada El Pescado; 4. Quebrada Frío bajo; 5. Quebrada Frío alto; 6. Quebrada La Lejía; 7. Quebrada El Boquerón; 8. Quebrada La Laja.

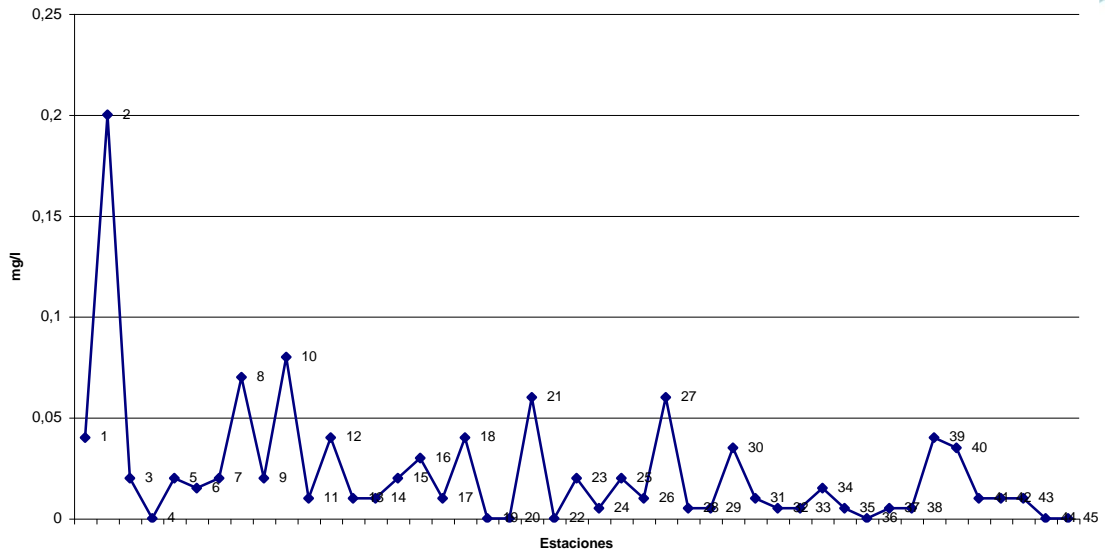
Figura 2.178 Comportamiento espacial de la alcalinidad y dureza total en algunos afluentes de la cuenca del río Negro muestreados en el municipio de Dolores (agosto 2005).

**Fosfatos.** El valor promedio anual (muestreos realizados en el año 2004) en la cuenca para esta variable fue de 0,02 mg/l, las zonas Río Cunday en Valencia, Aguas claras nacimiento, quebrada Cristalina no presentaron Fosfatos. (Figura 12.174). La estación con los registros más altos correspondió a quebrada Cristalina (0,2 mg/l). Los demás registros oscilaron entre 0,005 y 0,01. Esta variable presentó un valor menor en el mes de agosto 0,02 mientras en noviembre fue de 2,9.

En el muestreo de agosto de 2005 para algunos afluentes de la cuenca del río Negro el valor promedio fue de 0,31 mg/l, siendo la estación quebrada El Boquerón la de mayor valor con 0,66 mg/l y el menor valor se registró en la quebrada El Pescado con 0,04 mg/l (Figura 2.175).

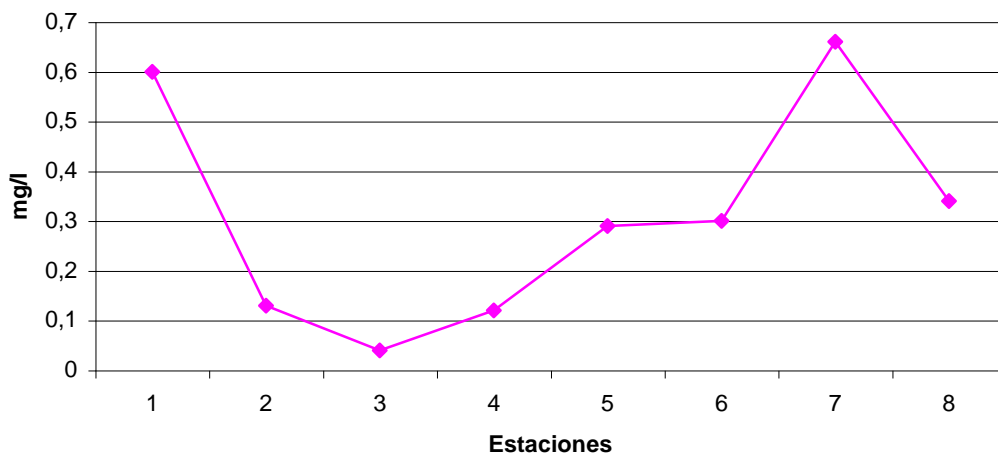
**Nitratos.** El promedio de este parámetro para la cuenca fue de 0,58 mg/l, la fluctuación espacial de esta variable estuvo comprendida entre 1,1 mg/l (río Cuindeblanco y acueducto Tres Esquinas) y 0,07 mg/l (Egetsa, seguida por quebrada Aguas Claras 0,1 mg/l), (Figura 2.176). A nivel temporal se registró una fluctuación promedio de la cuenca mayor entre 0,6 y 2,41.

Para el muestreo realizado en agosto de 2005 en algunos afluentes de la cuenca del río Negro el valor de nitratos en todas las estaciones fue de cero (0).



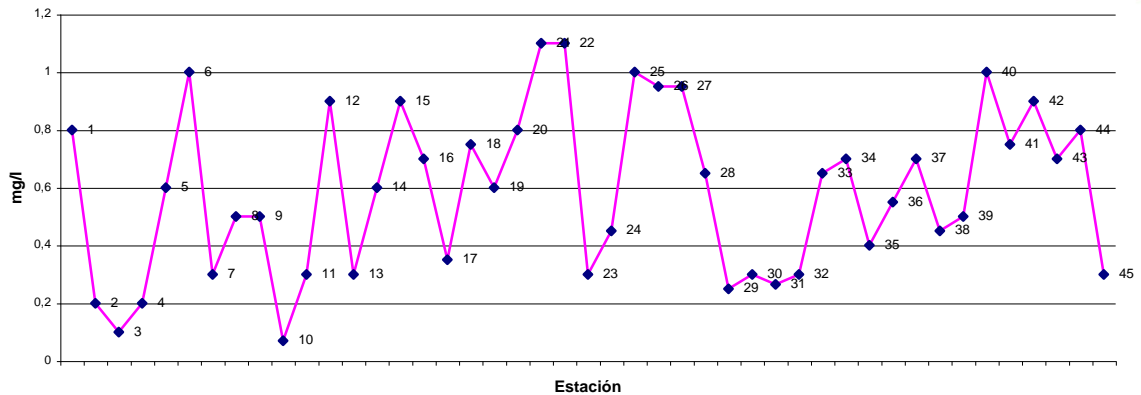
1. Río Negro; 2. Q. Cristalina; 3. Q. Aguas Claras; 4. Q. Aguas claras nacimiento; 5. Q. Acueducto; 6. Río Negro; 7. Q. Aco; 8. Q. El Papayal; 9. Río Prado (desembocadura); 10. Infiltración Egetsa; 11. Río Prado; 12. Embalse de Prado, Tomogó; 13. Embalse de Prado, Lozania; 14. Embalse de Prado, Yucupi; 15. Embalse de Prado, Isla del Sol; 16. Embalse de Prado, Aco Caimán; 17. Q. Corinto; 18. Q. Corinto (Acueducto); 19. Río Cunday; 20. Río Cunday-R. Cuindeblanco; 21. Río Cuindeblanco; 22. Acueducto Tres Esquinas; 23. Q. Número 1; 24. Q. Número 2; 25. Río Cuindenegro; 26. Q. Arcadia; 27. Río Cuindeblanco; 28. Q. Aguas Blancas; 29. R. Cuindefeo; 30. Q. Manzanita; 31. Q. Aldana; 32. Q. La Pedregosa; 33. Río Vichía (Antes); 34. Río Vichía después desembocadura; 35. Río Cunday; 36. Q. Cristalina; 37. Río Cunday; 38. Q. Caribe; 39. Laguna Caribe; 40. Q. La Cucuana; 41. Q. La Granja; 42. Laguna Las Catorce; 43. Q. La Pedregosa; 44. Q. Lagunilla; 45. Río Vichía.

Figura 2.179 Comportamiento espacial de los Fosfatos en la cuenca mayor del río Prado (agosto a noviembre de 2004).



1. Quebrada Montaña; 2. Quebrada La Montaña; 3. Quebrada El Pescado; 4. Quebrada Frío bajo; 5. Quebrada Frío alto; 6. Quebrada La Lejía; 7. Quebrada El Boquerón; 8. Quebrada La Laja.

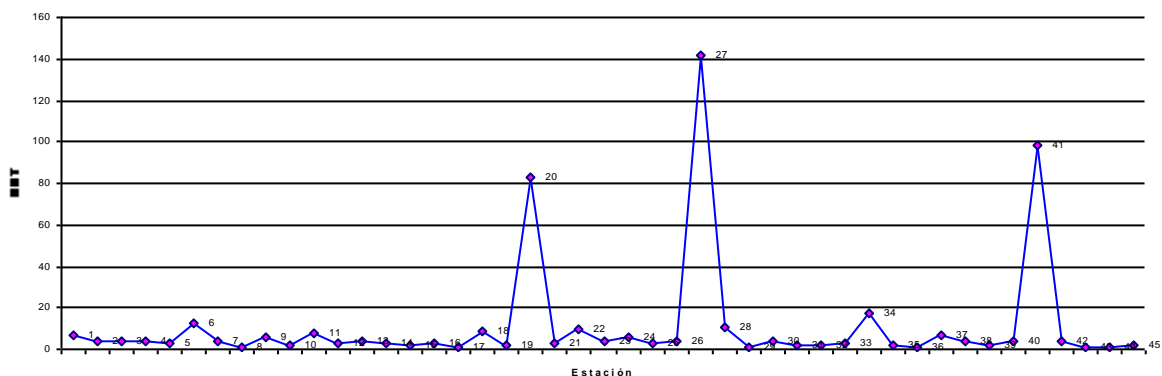
Figura 2.180 Comportamiento espacial de los fosfatos en algunos afluentes de la cuenca del río Negro muestreados en el municipio de Dolores (agosto 2005).



1. Río Negro; 2. Q. Cristalina; 3. Q. Aguas Claras; 4. Q. Aguas claras nacimiento; 5. Q. Acueducto; 6. Río Negro; 7. Q. Aco; 8. Q. El Papayal; 9. Río Prado (desembocadura); 10. Infiltración Egetsa; 11. Río Prado; 12. Embalse de Prado, Tomogó; 13. Embalse de Prado, Lozanía; 14. Embalse de Prado, Yucupi; 15. Embalse de Prado, Isla del Sol; 16. Embalse de Prado, Aco Caimán; 17. Q. Corinto; 18. Q. Corinto (Acueducto); 19. Río Cunday; 20. Río Cunday-R. Cuindeblanco; 21. Río Cuindeblanco; 22. Acueducto Tres Esquinas; 23. Q. Número 1; 24. Q. Número 2; 25. Río Cuindenegro; 26. Q. Arcadia; 27. Río Cuindeblanco; 28. Q. Aguas Blancas; 29. R. Cuindefeo; 30. Q. Manzanita; 31. Q. Aldana; 32. Q. La Pedregosa; 33. Río Vichía (Antes); 34. Río Vichía después desembocadura; 35. Río Cunday; 36. Q. Cristalina; 37. Río Cunday; 38. Q. Caribe; 39. Laguna Caribe; 40. Q. La Cucuana; 41. Q. La Granja; 42. Laguna Las Catorce; 43. Q. La Pedregosa; 44. Q. Lagunilla; 45. Río Vichía.

Figura 2.181 Comportamiento espacial de los Nitratos en la cuenca mayor del río Prado (agosto a noviembre de 2004).

**Turbiedad.** El promedio anual (muestreos realizados en el año 2004) de esta variable fue de 11,08 UNT, dentro de la cuenca las mayores mediciones se encontraron dentro del rango de 0,7 (quebrada Corinto) a 141 UNT (río Cuindeblanco), las demás estaciones presentaron valores entre 0,76 y 82,6 en el río Cuindefeo vereda Manzanita y río Cunday en Valencia (Figura 2.177), Temporalmente se encontró que en el mes de agosto el promedio de la cuenca mayor del río Prado fue de 6,8 mientras que en el mes de noviembre aumentó a 17,03.

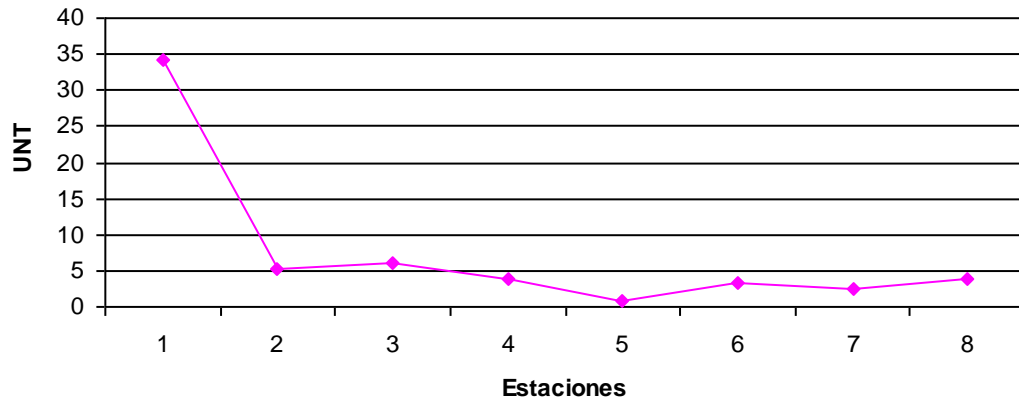


1. Río Negro; 2. Q. Cristalina; 3. Q. Aguas Claras; 4. Q. Aguas claras nacimiento; 5. Q. Acueducto; 6. Río Negro; 7. Q. Aco; 8. Q. El Papayal; 9. Río Prado (desembocadura); 10. Infiltración Egetsa; 11. Río Prado; 12. Embalse de Prado, Tomogó; 13. Embalse de Prado, Lozanía; 14. Embalse de Prado, Yucupi; 15. Embalse de Prado, Isla del Sol; 16. Embalse de Prado, Aco Caimán; 17. Q. Corinto; 18. Q. Corinto (Acueducto); 19. Río Cunday; 20. Río Cunday-R. Cuindeblanco; 21. Río Cuindeblanco; 22. Acueducto Tres Esquinas; 23. Q. Número 1; 24. Q. Número 2; 25. Río Cuindenegro; 26. Q. Arcadia; 27. Río Cuindeblanco; 28. Q. Aguas Blancas; 29. R. Cuindefeo; 30. Q. Manzanita; 31. Q. Aldana; 32. Q. La Pedregosa; 33. Río Vichía (Antes); 34. Río Vichía después desembocadura; 35. Río Cunday; 36. Q. Cristalina; 37. Río Cunday; 38. Q. Caribe; 39. Laguna Caribe; 40. Q. La Cucuana; 41. Q. La Granja; 42. Laguna Las Catorce; 43. Q. La Pedregosa; 44. Q. Lagunilla; 45. Río Vichía.

Figura 2.182 Comportamiento espacial de la Turbiedad en la cuenca mayor del río Prado (agosto a noviembre de 2004).



El promedio de la turbiedad en algunos afluentes de la cuenca del río Negro en el municipio de Dolores (muestreo realizado en agosto de 2005) fue de 7,47 UNT. El mayor valor se registró en la quebrada Montanita con 34,1 UNT y el menor en la quebrada Fría alta con 0,8 UNT (Figura 2.178).

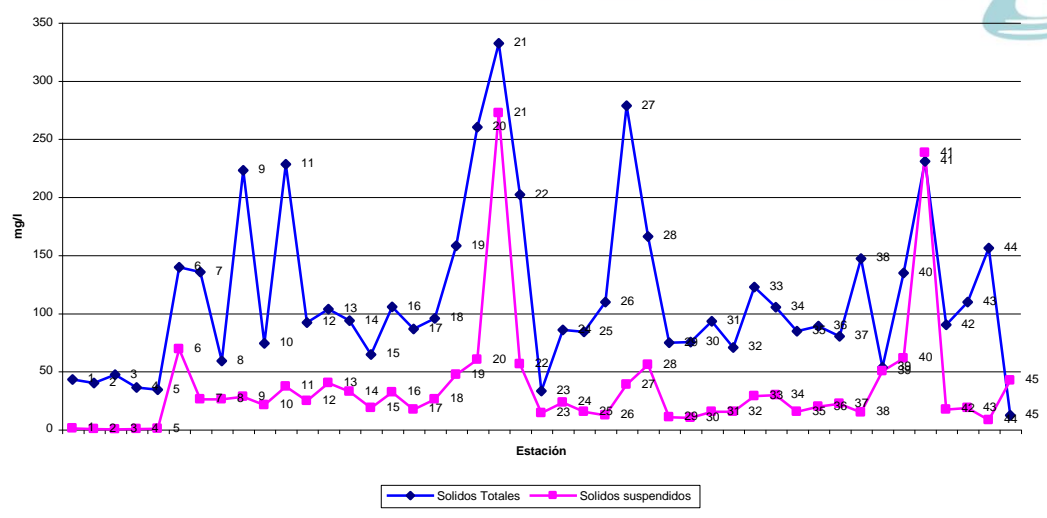


1. Quebrada Montanita; 2. Quebrada La Montaña; 3. Quebrada El Pescado; 4. Quebrada Frío bajo; 5. Quebrada Frío alto; 6. Quebrada La Lejía; 7. Quebrada El Boquerón; 8. Quebrada La Laja.

Figura 2.183 Comportamiento espacial de la turbiedad en algunos afluentes de la cuenca del río Negro muestreados en el municipio de Dolores (agosto 2005).

**Sólidos Totales.** En la cuenca (muestreos realizados en el año 2004) se obtuvo un promedio para los sólidos totales de 114 mg/l, no se presentó un comportamiento uniforme de este parámetro, fluctuando en gran medida entre las estaciones. Se puede observar que los mayores registros estuvieron dentro del rango de 332 mg/l a 278 mg/l (Figura 2.179) y corresponden en orden descendente a río Cuindeblanco en Valencia y en la vereda Arcadia, los valores menores de esta variable se hallaron en el río Vichía 12mg/l, la quebrada acueducto Buenos Aires: 34 mg/l y Aguas claras (nacimiento) 36 mg/l. Este parámetro fue menor en el mes de agosto: 89,9 mg/l, en el mes de noviembre el promedio fue de 131,5 mg/l.

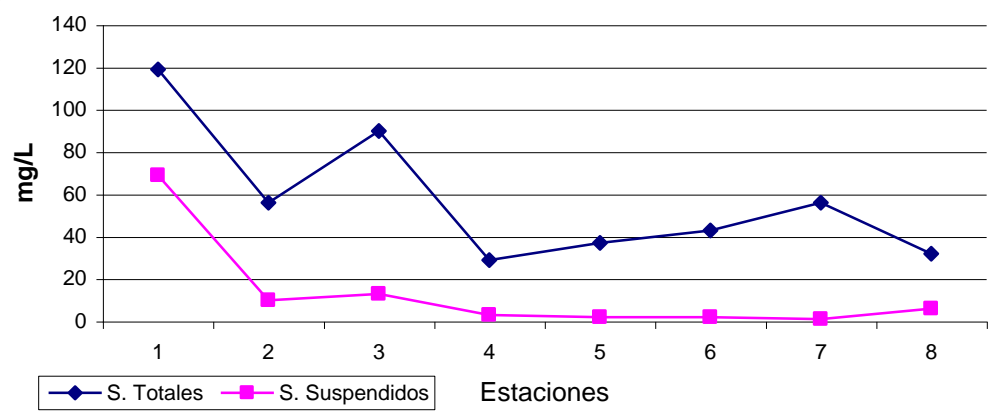
**Sólidos Suspendidos.** El valor promedio en la cuenca fue de 35,7 mg/l con valores límites de 0,1 y 272 mg/l que corresponden a la quebrada Aguas claras y al río Cuindeblanco en Valencia, las demás estaciones oscilaron entre 0,2 y 60 en la quebrada Aguas claras (nacimiento) y río Cunday en Valencia respectivamente. Para el mes de agosto esta variable físico-química fue de 35,7 disminuyendo en promedio en el mes de noviembre: 31,9 (Figura 2.179)



1. Río Negro; 2. Q. Cristalina; 3. Q. Aguas Claras; 4. Q. Aguas claras nacimiento; 5. Q. Acueducto; 6. Río Negro; 7. Q. Aco; 8. Q. El Papayal; 9. Río Prado (desembocadura); 10. Infiltración Egetsa; 11. Río Prado; 12. Embalse de Prado, Tomogó; 13. Embalse de Prado, Lozania; 14. Embalse de Prado, Yucupi; 15. Embalse de Prado, Isla del Sol; 16. Embalse de Prado, Aco Caimán; 17. Q. Corinto; 18. Q. Corinto (Acueducto); 19. Río Cunday; 20. Río Cunday-R. Cuindeblanco; 21. Río Cuindeblanco; 22. Acueducto Tres Esquinas; 23. Q. Número 1; 24. Q. Número 2; 25. Río Cuindenegro; 26. Q. Arcadia; 27. Río Cuindeblanco; 28. Q. Aguas Blancas; 29. R. Cuindefeo; 30. Q. Manzanita; 31. Q. Aldana; 32. Q. La Pedregosa; 33. Río Vichía (Antes); 34. Río Vichía después desembocadura; 35. Río Cunday; 36. Q. Cristalina; 37. Río Cunday; 38. Q. Caribe; 39. Laguna Caribe; 40. Q. La Cucuana; 41. Q. La Granja; 42. Laguna Las Catorce; 43. Q. La Pedregosa; 44. Q. Lagunilla; 45. Río Vichía.

Figura 2.184 Comportamiento espacial de los Sólidos Totales y Suspendidos en la cuenca mayor del río Prado (agosto a noviembre de 2004).

Los sólidos totales y suspendidos para el muestreo realizado en agosto de 2005 en algunos de los afluentes de la cuenca del río Negro en el municipio de Dolores presentaron un comportamiento similar (Figura 2.180). Respecto a sólidos totales el promedio fue de 57,75 mg/l, fluctuando entre 119 a 29 mg/l en las estaciones quebrada Montanita y quebrada Frío bajo respectivamente. En cuanto a sólidos suspendidos el promedio fue de 13,25 mg/l en un rango de 69 a 1 mg/l, al igual que el parámetro anterior en la quebrada La Montanita se registró el mayor valor, mientras que en la quebrada El Boquerón se registró el menor valor (Figura 2.180).



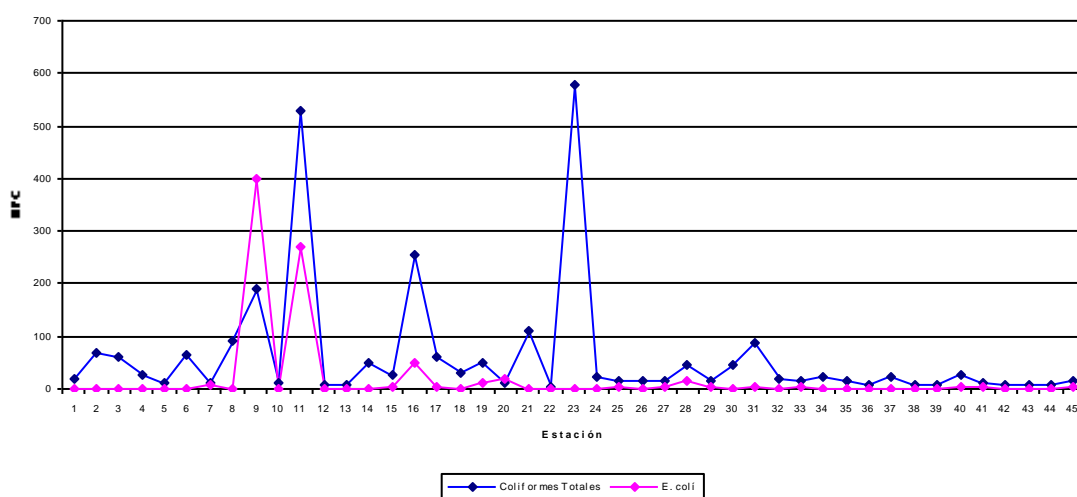
1. Quebrada Montanita; 2. Quebrada La Montaña; 3. Quebrada El Pescado; 4. Quebrada Frío bajo; 5. Quebrada Frío alto; 6. Quebrada La Lejía; 7. Quebrada El Boquerón; 8. Quebrada La Laja.

Figura 2.185 Comportamiento espacial de los Sólidos Totales y Suspendidos en algunos afluentes de la cuenca del río Negro muestreados en el municipio de Dolores (VIII-2005).



**Coliformes Totales.** La cuenca mayor del río Prado (muestreos realizados en el año 2004) presentó un promedio de 60,0 UFC/ml, este parámetro varió entre 3 y 580 UFC/ml. Los menores valores registrados fueron en su orden para las estaciones Acueducto Tres Esquinas, Lozanía y Tomogó, 3, 6 y 7 UFC/ml (Figura 2.181). Los mayores valores correspondieron en su orden a Quebrada 1 en Alto torres (580), río Prado en Puerto El medio (530) y Aco Caimán (255). Para el mes de agosto, las estaciones muestreadas presentaron un promedio de 61.22 UFC/ml, disminuyendo en noviembre (43,05 UFC/ml).

**Echerichia coli.** El promedio para esta variable fue de 18 UFC/ml, osciló entre 0 y 400 UFC/ml. El mayor valor fue correspondiente a la estación río Prado en la vereda Virginia. Las estaciones río Negro, quebrada Cristalina, quebrada acueducto Buenos Aires, quebrada El Papayal en Chenchito, Infiltración Egetsa, Tomogó, río Cuindeblanco, quebrada acueducto Tres Esquinas, quebrada 1 en Alto torres, quebrada Manzanita, quebrada La Pedregosa, río Cunday en Varsovia, quebrada Cristalina en Los Alpes, río Cunday en Parroquia Vieja y Laguna Caribe, no presentaron *E coli*. Este parámetro describió un comportamiento muy similar al observado para las coliformes totales en algunas estaciones (Figura 2.181), presentando similares picos y valles para ambos parámetros en las mismas estaciones. A nivel temporal se encontró que en la primera época el promedio de *E coli* correspondió a 6,03 UFC/ml, aumentando en la segunda: 22,2 UFC/ml.



1. Río Negro; 2. Q. Cristalina; 3. Q. Aguas Claras; 4. Q. Aguas claras nacimiento; 5. Q. Acueducto; 6. Río Negro; 7. Q. Aco; 8. Q. El Papayal; 9. Río Prado (desembocadura); 10. Infiltración Egetsa; 11. Río Prado; 12. Embalse de Prado, Tomogó; 13. Embalse de Prado, Lozanía; 14. Embalse de Prado, Yucupí; 15. Embalse de Prado, Isla del Sol; 16. Embalse de Prado, Aco Caimán; 17. Q. Corinto; 18. Q. Corinto (Acueducto); 19. Río Cunday; 20. Río Cunday-R. Cuindeblanco; 21. Río Cuindeblanco; 22. Acueducto Tres Esquinas; 23. Q. Número 1; 24. Q. Número 2; 25. Río Cuindenegro; 26. Q. Arcadia; 27. Río Cuindeblanco; 28. Q. Aguas Blancas; 29. R. Cuindefeo; 30. Q. Manzanita; 31. Q. Aldana; 32. Q. La Pedregosa; 33. Río Vichía (Antes); 34. Río Vichía después desembocadura; 35. Río Cunday; 36. Q. Cristalina; 37. Río Cunday; 38. Q. Caribe; 39. Laguna Caribe; 40. Q. La Cucuana; 41. Q. La Granja; 42. Laguna Las Catorce; 43. Q. La Pedregosa; 44. Q. Lagunilla; 45. Río Vichía.

Figura 2.186 Comportamiento espacial de Coliformes totales y *E. coli* en la cuenca mayor del río Prado (agosto a noviembre de 2004).





Para los afluentes muestreados en la cuenca del río Negro en el mes de agosto de 2005 los coliformes totales y *E. coli* no presentaron un comportamiento similar a los obtenidos en los dos muestreos realizados en el año 2004, ya que los valores de este último parámetro no variaron tanto (Figura 2.182).

El valor promedio de coliformes totales fue de 251,75 UFC/ml, registrándose mayor valor en la quebrada Frío alto: 620 UFC/ml y menor en la quebrada Montanita: 4 UFC/ml. En cuanto a *E. coli*, el promedio (12,75 UFC/ml) fluctuó entre 0 y 60 UFC/ml, siendo las quebradas Montanita, La Montaña, El Pescado y El Boquerón con valor de cero (0), mientras la quebrada La Laja registró el mayor valor (Figura 2.182).

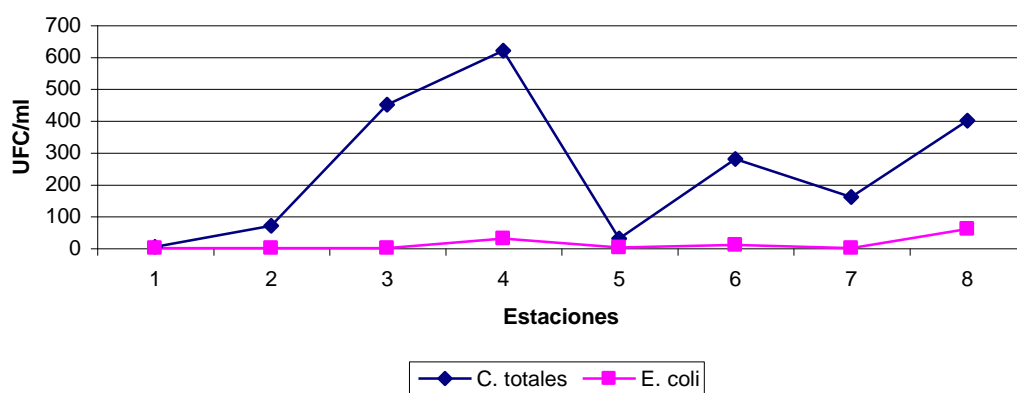


Figura 2.187 Comportamiento espacial de Coliformes totales y *E. coli* en algunos afluentes de la cuenca del río Negro muestreados en el municipio de Dolores (agosto 2005).

### 2.11.3.2 Análisis de Ordenación (Análisis De Componentes Principales: Acp).

Con base en los datos de las variables físico-químicas de los muestreos realizados en el año 2004 en la cuenca mayor del río Prado y a través del análisis de componentes principales se apreció que las tres primeras componentes en la ordenación de los valores respondió el 51,17% de la varianza acumulada de los mismos. La primera componente presentó el valor propio más alto con 3,499 mientras que la segunda componente registró un valor propio de 2,813 y por último la tercera componente con un valor de 2,387.

El análisis general permitió determinar que en el primer componente las variables más significativas y con mayor varianza fueron: conductividad eléctrica, alcalinidad total y dureza total, a su vez estas dos últimas variables se encontraron correlacionadas positivamente y alejadas del origen (Tabla 2.180, Figura 2.183). De otra parte, en la segunda componente las variables más significativas y con mayor varianza fueron: oxígeno disuelto y porcentaje de



saturación de oxígeno, sin embargo, la variable turbiedad aunque presentó un valor propio relativamente alto y cercana a las dos anteriores no fue significativa. Pero la variable coliformes totales se presentó totalmente opuesta a la variable oxígeno disuelto (Tabla 2.181, Figura 2.183).

Tabla 2.180 Resultados del análisis de ordenamiento por componentes principales ACP (agosto y noviembre de 2004).

VARIABLES	Primera componente	Segunda componente	Tercera componente
Temperatura ambiente	0,3369706	-0,06652	0,2616783
Temperatura agua	-0,147368	-0,075403	0,3813255
PH	-0,522838	-0,335045	-0,028603
Turbiedad	-0,032553	0,64299	-0,383408
Conductividad Eléctrica	<b>-0,814224</b>	-0,03811	0,0336287
Alcalinidad Total	<b>-0,857964</b>	-0,26959	0,0296904
Dureza Total	<b>-0,873965</b>	-0,194278	-0,032352
O <sub>2</sub> disuelto	-0,155335	<b>0,8652732</b>	0,4166925
% Saturación de O <sub>2</sub>	-0,110859	<b>0,7134944</b>	0,6311832
DBO	-0,179568	0,5278596	-0,62559
DQO	0,1126149	0,0298791	0,1101121
Fosfatos	0,3429122	-0,336001	-0,334467
Sólidos Totales	-0,642688	-0,064724	-0,468711
Sólidos Suspendidos	-0,158893	0,4807746	-0,59097
Nitratos	-0,16507	0,2717133	-0,4513
Coliformes Totales	0,2180802	-0,451514	-0,106266
<i>E coli</i>	-0,463064	0,0467195	0,3893286

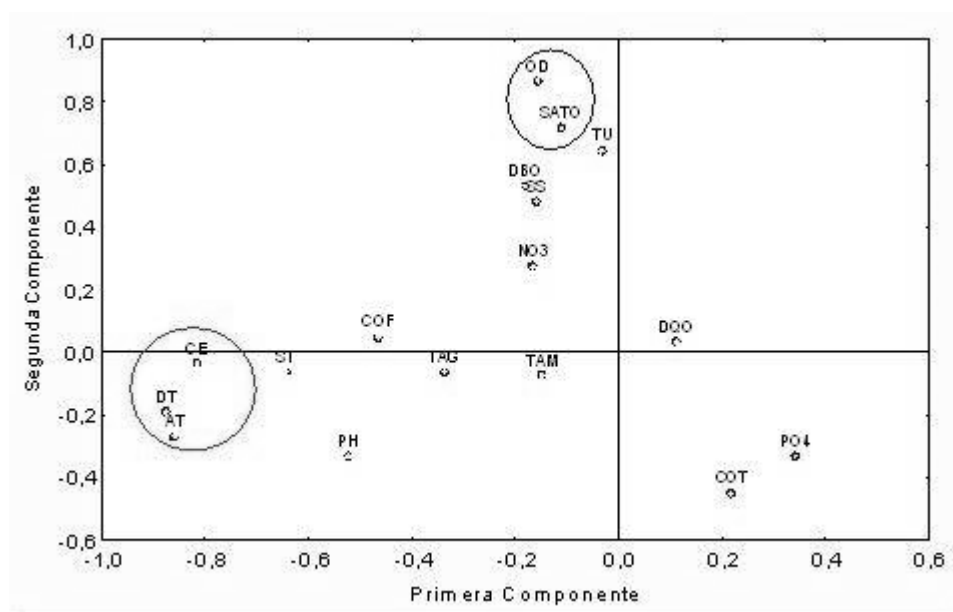


Figura 2.188 Diagrama de dispersión con las variables fisicoquímicas en cada componente (agosto y noviembre de 2004).



Según los datos de las variables físico-químicas del muestreo realizado en agosto de 2005 en la cuenca del río Negro y a través del análisis de componentes principales se apreció que las dos primeras componentes en la ordenación de los valores respondió el 83.35% de la varianza acumulada de los mismos. La primera componente presentó el valor propio más alto con 0,308 mientras que la segunda componente registró un valor propio de 0,552.

El análisis general permitió determinar que en el primer componente las variables con mayor varianza fueron: coliformes totales y sólidos totales, pero no fueron las más significativas, ni se correlacionan entre sí, además, se presentan cerca del origen (Tabla 2.11.4, Figura 2.184). De otra parte, en la segunda componente las variables con mayor varianza fueron: coliformes totales y conductividad eléctrica, sin embargo, las variables sólidos suspendidos y turbiedad fueron las más significativas a pesar de no presentar varianzas altas además se correlacionan entre sí, al igual que las variables dureza, conductividad y alcalinidad. La variable coliformes fecales también fue significativa a pesar de no haber obtenido una varianza alta (Tabla 2.181, Figura 2.184).

Tabla 2.181 Resultados del análisis de ordenamiento por componentes principales ACP (agosto de 2005).

Variable	Primera componente	Segunda componente
pH	-0,008766	-0,006743
Turbiedad	-0,039882	0,033692
Conductividad eléctrica	-0,011435	<b>-0,106449</b>
Alcalinidad Total	-0,008862	-0,095791
Dureza Total	-0,008027	-0,049097
O <sub>2</sub> disuelto	-0,006033	-0,004237
% Saturación de O <sub>2</sub>	-0,094384	-0,060726
DBO	-0,001118	-0,001186
DQO	-0,010727	-0,004499
Fosfatos	-0,000751	-0,000447
Sólidos totales	<b>-0,149953</b>	-0,003422
Sólidos suspendidos	-0,083384	0,070626
Coliformes totales	<b>0,392194</b>	<b>0,174991</b>
Coliformes fecales	0,031128	0,053288

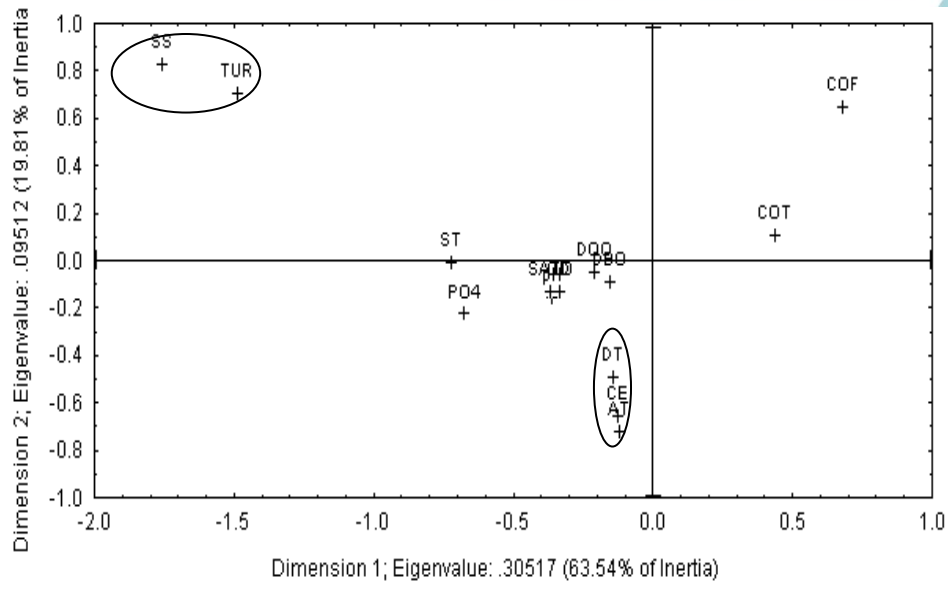


Figura 2.189 Diagrama de dispersión con las variables fisicoquímicas en cada componente (agosto de 2005).

### 2.11.4 Índice General de Calidad Hídrica (Wqi Ó Ica)

La mayoría de estaciones muestreadas en agosto y noviembre de 2004 en la cuenca mayor del río Prado se encontraron dentro de una calificación de 79 y 94 puntos para el índice (Tabla 2.182), nivel representado por el color verde, de tal manera que el Índice General de Calidad Hídrica - ICA, permitió catalogar las aguas del río Prado y sus afluentes como de buena calidad para uso potable. (ver figura 2.190)

En algunos afluentes de la cuenca del río Negro el índice varió desde 71 a 88 puntos (Tabla 2.182), nivel representado, por el color verde, siendo catalogada como de buena calidad para uso potable.

En algunos casos particulares el índice general alcanzó niveles que consideran el agua como de mala y muy mala calidad, tal es el caso del río Cunday-río Cuindeblanco en Valencia, río Cuindeblanco en la vereda Arcadia y la quebrada la Granja, perteneciente a la cuenca del Cuindeblanco, con valores de 33, 19, y 6 (Tabla 2.11.5). Es así como estas estaciones se consideran como de mala calidad para uso potable; estos valores están representados por color rojo y negro. La mejor calidad hídrica dentro de la cuenca se encontró en el río Vichía en la vereda Bajo Robles, seguida por la quebrada Corinto a 380 m, la quebrada Cristalina en la vereda los Alpes, quebrada la Pedregosa en San Pedro, Laguna Caribe, quebrada Aguas Claras y la quebrada acueducto en Buenos Aires (Tabla 2.11.5). Es de destacar que las estaciones ubicadas en esta última vereda (Buenos Aires) presentan los niveles más altos de ICA. Esta puntuación permitió una calificación



de buena a excelente para este sector con respecto a potabilidad, y se representó con el color azul y verde (Tabla 2.182).

Tabla 2.182 Puntuación del ICA para la cuenca mayor del río Prado durante el periodo de estudio (agosto a noviembre de 2004 y agosto de 2005)

Subcuenca	Estación	Vereda	Altura (m).	IGCA	Indicativo
<b>Cuindeblanco</b>	Q. número 1	Alto Torres	1551	87,00	Verde
	Q. Número 2	Alto Torres	1478	84,50	Verde
	R. Cuindenegro	Puerto Lleras	1240	83,40	Verde
	Q. Arcadia	La Arcadia	1150	82,00	Verde
	R. Cuindeblanco	La Arcadia	945	33,40	Rojo
	Q. Aguas Blancas	La Arcadia	950	76,00	Verde
	R. Cuindefeo	Manzanita	1550	87,00	Verde
	Q. Manzanita	Manzanita	1700	89,00	Verde
	Q. Aldana	Castillo	1386	88,00	Verde
	R. Cuindeblanco	Valencia	450	70,00	Naranja
	Q. La Pedregosa	San Pedro	1000	92,00	Azul
	R. Vichía Antes	San Pedro	1000	88,00	Verde
	R. Vichía Después	San Pedro	1000	72,00	Verde
	Q. Cristalina	Los Alpes	946	93,00	Azul
	Q. Caribe	La Colonia	2254	88,20	Verde
	Laguna Caribe	La Colonia	2257	92,00	Azul
	Q. La Cucuana	La Colonia	1800	83,00	Verde
	Q. La Granja	La Granja	1608	6,00	Negro
	R. Vichía	Bajo Robles	1443	95,00	Azul
	<b>Cunday</b>	R. Cunday	Valencia	450	89,00
R. Cunday-Cuindeblanco		Valencia	450	19,00	Negro
Acuedc. Tres Esquinas		Tres Esquinas	*	79,00	Verde
R. Cunday		Varsovia	900	89,10	Verde
R. Cunday		Parroquia Vieja	400	87,00	Verde
Laguna Las Catorce		Las Catorce	1703	82,10	Verde
Q. La Pedregosa		Las Catorce	1441	87,00	Verde
Q. La Lagunilla		La Hoya	1592	87,20	Verde
<b>Prado</b>	Q. El Papayal	Chenchito	373	88,00	Verde
	R. Prado desembocadura	La Virginia	280	83,00	Verde
	Infiltración Egetsa	El Puerto	311	89,00	Verde
	R. Prado (Puerto El Medio)	La Virginia	308	77,20	Verde



Río Negro	Embalse de Prado	Tomogó	401	87,00	
	Embalse de Prado	Lozanía	376	86,00	
	Embalse de Prado	Yucupí	365	89,00	
	Embalse de Prado	Isla del Sol	372	90,00	
	Embalse de Prado	Aco-Caiman	370	87,40	
	Q. Corinto	Corinto	380	93,00	
	Q. Corinto (Acueducto)	Corinto	429	84,00	
	R. Negro	Buenos Aires	1285	85,00	
	Q. Cristalina	Buenos Aires	1325	84,10	
	Q. Aguas Claras	Buenos Aires	1200	92,00	
	Q. Aguas Claras nacimiento	Buenos Aires	1245	92,20	
	Q. Acueducto	Buenos Aires	1454	91,40	
	R. Negro	Aco Nuevo	430	77,30	
	<b>Subcuenca</b>	<b>Estación</b>	<b>Vereda</b>	<b>Altura (m).</b>	
	Q. Aco	Aco Nuevo	387	89,00	
	Q. Montanita *	San José	1580	79,00	
	Q. La Montaña *	San José	1710	86,00	
	Q. El Pescado *	San Pablo	1187	76,00	
	Q. Frío bajo *	San Pablo	1190	82,00	
	Q. Frío alto *	San Pablo	1680	88,00	
	Q. La Lejía *	Soledad	1184	80,00	
	Q. El Boquerón *	Soledad	1102	85,00	
	Q. La Laja *	Ríonegro	1460	71,00	

\* No se registró altitud

\* Estaciones muestreadas en agosto de 2005

### 2.11.5 Interpretación de Resultados

La mayoría de parámetros analizados variaron a nivel espacial, la diferencia entre las estaciones de dichas variables puede atribuirse a la diversa naturaleza de los sitios muestreados que incluyeron estaciones en alta, media y baja montaña, además a las características hidromorfológicas de cada estación. Los valores de los parámetros fueron diferentes en las zonas altas con respecto a las zonas bajas debido posiblemente al efecto de las descargas de afluentes domésticos en partes medias y bajas, al transporte y acumulación de sustancias a lo largo del trayecto, este fenómeno se observó en estaciones de los ríos: Negro, Cuindeblanco, Prado, Cunday, Vichía y quebrada Alto torres donde variables como Temperatura ambiente, Temperatura del agua, dureza, alcalinidad, sólidos



totales, sólidos suspendidos, DQO y DBO aumentaron en las zonas bajas, mientras se presentó disminución de oxígeno disuelto y porcentaje de saturación.

El oxígeno disuelto fluctuó entre 4,6 y 6,4 y el porcentaje de saturación entre el 65,1 a 85%, estos valores pueden ser un indicio de que el agua de la cuenca mayor del río Prado presenta niveles adecuados de oxígeno para el desarrollo de la vida.

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.

Según la literatura (Yepes, 2004) el promedio de la Conductividad en aguas tropicales de cuencas bajas poco intervenidas se encuentra entre 150-200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , las estaciones de muestreo en la cuenca ubicados en sectores de baja altitud alcanzaron conductividades similares a este rango y por lo tanto se adaptan a esta condición, sin embargo la quebrada Aguas blancas (945 m) y la quebrada Aco (387 m) presentaron conductividades de 296 y 260  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en el mes de agosto, no obstante en el mes de noviembre este parámetro fue de 91,3 y 95,6  $\mu\text{S}/\text{cm}$  respectivamente, valores que se posicionan en el rango de aceptación y de acuerdo a esto pueden considerarse no alteradas y con niveles mínimos de contaminación.

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 Prado 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.

Según Ramírez *et al* (1998), la conductividad a partir de los 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en ríos colombianos empieza a señalar problemas de contaminación y a partir de 275 condiciones salobres, la mayoría de estaciones dentro de la cuenca del río Prado no se encuentran en estas puntuaciones y por lo tanto puede afirmarse que no se evidencia deterioro ambiental.

Para la Alcalinidad, las estaciones andinas de baja montaña tienen calificación ideal según Ramírez *et al* (1998), en el rango 150-200  $\text{mg}/\text{CaCO}_3$ , En la cuenca del río Prado todas las estaciones se encontraron por debajo de este nivel por lo que estas aguas pueden ser estimadas como poco productivas, en general puede decirse que este parámetro no indica condiciones contaminantes. Roldán (2000) atribuye un valor más bajo para la alcalinidad en las zonas andinas (100

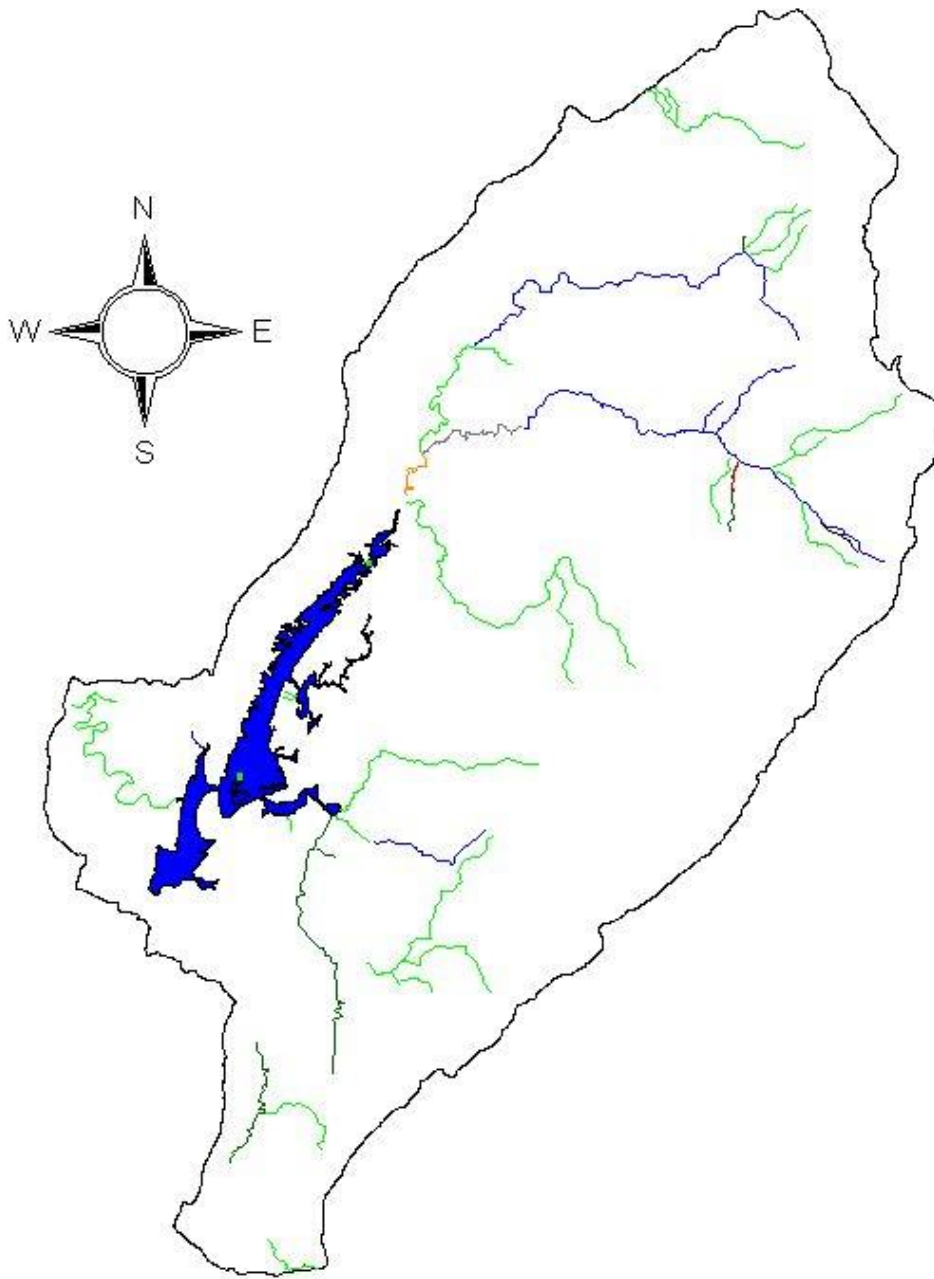
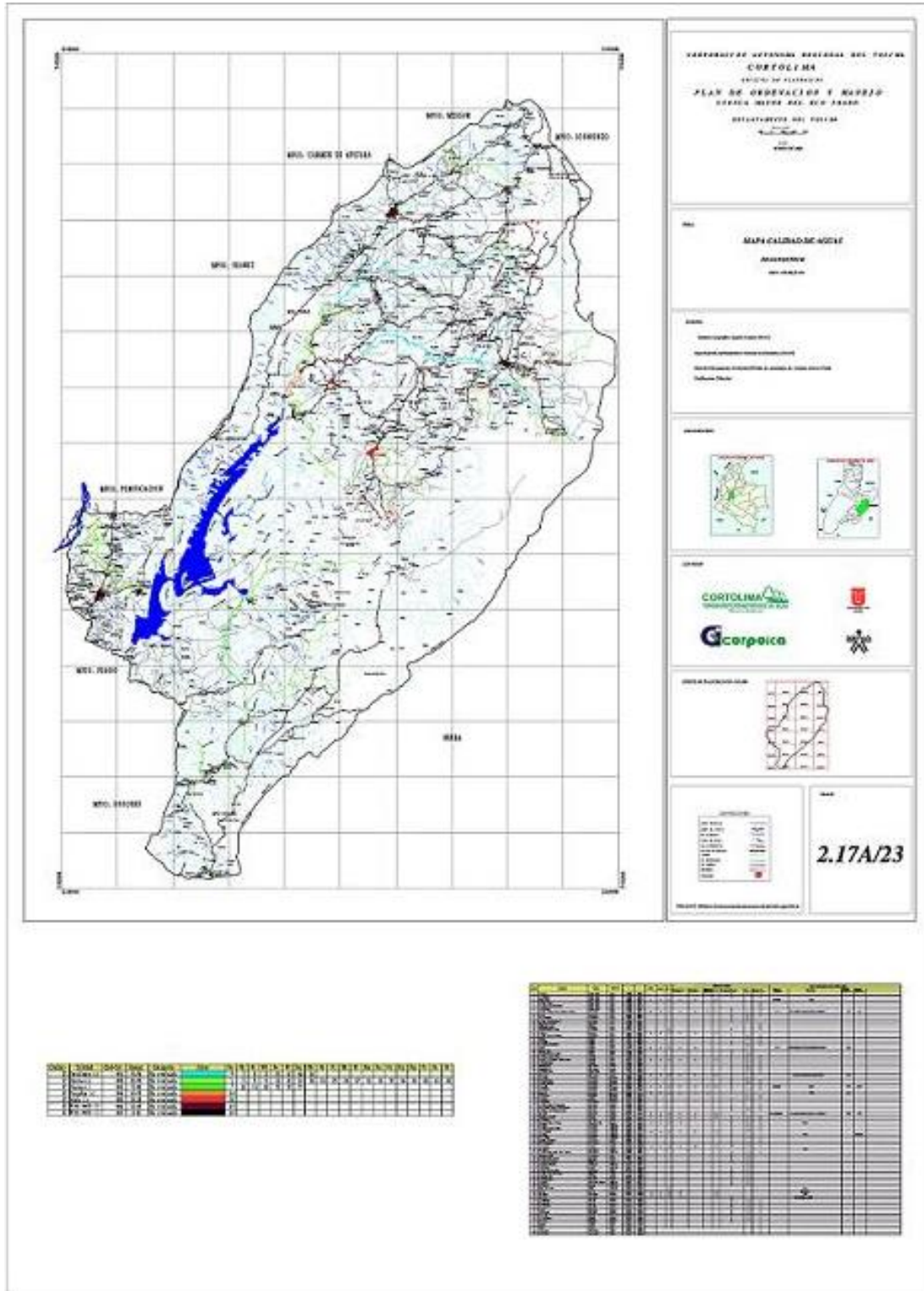


Figura 2.190 Índice General de Calidad Hídrica – WQI para la cuenca del río Prado durante el tiempo de estudio (agosto y noviembre de de 2004 y agosto de 2005).





Mapa 2.17-A Calidad de Aguas



mg/CaCO<sub>3</sub>), lo que se relaciona con lo obtenido para la cuenca del río Prado, pues a pesar de la estación 5: quebrada acueducto en Buenos Aires, la cual presentó el promedio más alto de esta variable (89,1 mg/CaCO<sub>3</sub>) se ubica por debajo de este nivel.

En cuanto a la Dureza la mayoría de 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> y para la cuenca del río Prado se presentó un promedio de 25,1 mg/CaCO<sub>3</sub> al igual que las estaciones muestreadas en agosto de 2005 en la cuenca del río Negro el cual obtuvo un promedio de 15,5 mg/CaCO<sub>3</sub>.

Durante el segundo muestreo del año 2004 se evidencia un aumento en el número de Coliformes Fecales en la mayoría de las estaciones de la cuenca mayor del río Prado, posiblemente este hecho obedece a factores extrínsecos del cuerpo de agua como lo es el aumento de la pluviosidad para esta época, además, descargas de aguas residuales caracterizadas por su contenido bacterial, mayores temperaturas y aumento en el contenido de fosfatos.

Esta situación esta asociada al hecho de que en los periodos 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.

En general la Turbiedad para la cuenca del río Prado se encontró en el rango admisible, pues el límite es de 10 U.N.T. y este osciló en un rango cercano, sin embargo las estaciones: río Cunday-río Cuindeblanco (20), río Cuindeblanco (27) y quebrada La Granja (41) excedieron estos límites. Por otra parte, es posible que este parámetro junto con DBO y DQO, haya sido determinante en la valoración del ICA, pues las dos últimas estaciones mencionadas, presentaron también los menores valores en estos parámetros fueron catalogadas según el índice como de baja calidad.

De igual forma, puede afirmarse que el hecho de reducir en un único número una gran cantidad de variables que pueden indicar problemas de contaminación considerablemente distintos, discute la capacidad del índice General de Calidad de Agua WQI (ICA) para evaluar una condición hídrica real, sin embargo, este permitió estimar de manera rápida y general el estado de la calidad hídrica de las estaciones monitoreadas, sin tener que acudir al análisis individual de cada una de las 17 variables fisicoquímicas y bacteriológicas determinadas para el caso de las estaciones muestreadas en agosto y noviembre de 2004 y 14 para el caso de las estaciones muestreadas en agosto de 2005, como se realiza en un análisis univariado.



Respecto al estudio realizado en el año 2004 y 2005, observando el comportamiento individual de cada parámetro se evidenció que la alcalinidad, dureza y conductividad describieron un comportamiento espacial similar, pudiéndose encontrar una relación directa entre este grupo de parámetros. El Análisis de Componentes Principales mostró que estas tres variables fueron las más significativas y presentaron la mayor varianza, esta agrupación permite sugerir que en la cuenca mayor del río Prado se presentan procesos de mineralización que son los que tienen mayor incidencia sobre la dinámica de la cuenca.

La estrecha correlación entre conductividad, alcalinidad 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) y la alcalinidad (bicarbonatos, carbonatos e hidroxilos). (Yepes, 2004).

Por otra parte, las mediciones de oxígeno se disociaron de las demás variables medidas (para el caso del estudio realizado en el año 2004), lo que denota la independencia de este parámetro. El hecho de que el oxígeno disuelto se presentara en una posición opuesta a Coliformes Totales y que los parámetros Turbiedad y DBO mostraran altas varianzas puede señalar que la cuenca tiende a presentar procesos de oxido-reducción de la materia orgánica. Además con respecto a esta característica, se tiene que mientras el aumento de las demás variables denotan niveles de contaminación, el aumento de niveles de oxígeno indican mejoras en la calidad hídrica.

Algunas variables relacionadas con la oxido-reducción (DBO, Turbiedad, Nitratos se encuentran separadas tendiendo a formar ángulo recto con el grupo asociado con la mineralización, indicando que estos dos procesos contaminantes existen independientemente; Identificándose por lo tanto dos tipos de contaminación hídrica de naturaleza distinta.

Otro de los grupos de variables que presentaron correlación alguna dentro de las variables de oxidoreducción de la materia orgánica fueron DBO, nitratos, turbiedad y sólidos en suspensión, variables que por estar más cercanas entre sí que de las otras variables pueden estar correlacionadas y se consideran asociadas a procesos propios del metabolismo natural de la cuenca.

De otra parte en el muestreo realizado para el año 2005 se encontró que las variables sólidos suspendidos y turbiedad presentan una correlación lo cual puede indicar que los afluentes de la cuenca del río Negro tienden a presentar procesos de oxido-reducción de la materia orgánica.