

# Monitoreo de parámetros físico-químicos, en la cuenca alta del río Bogotá

JULIA SIERRA<sup>1</sup>, ALEXANDRA JAIME<sup>2</sup>  
ANDREA MORA<sup>2</sup>

## RESUMEN

La Universidad Militar "Nueva Granada" en su constante interés por el desarrollo de nuevas técnicas que permitan la preservación del medio ambiente, inició en el año 2000 la investigación "IDENTIFICACIÓN Y PRUEBA DE BIO-INDICADORES Y RECUPERADORES PARA LA DESCONTAMINACIÓN DEL RÍO BOGOTÁ". En la primera fase de este estudio se hace un diagnóstico de la situación actual de la cuenca alta del Río Bogotá, a través de los proyectos de grado presentados por los estudiantes de la Universidad y dirigidos por un grupo de profesores.

Se realizó una investigación como Tesis de Grado para optar al título de Ingeniero Civil, donde se analiza el comportamiento de los parámetros físico-químicos en la cuenca alta del Río Bogotá; estos parámetros son de gran importancia ya que establecen las modificaciones que sufre una corriente superficial, como consecuencia de los diferentes usos del agua (causados por

1 Ingeniera química, docente de Biología Aplicada e Ingeniería Civil. Universidad Militar Nueva Granada, jsierra@cordoba.unmg.edu.co  
2 Estudiantes de Ingeniería Civil último semestre. Universidad Militar Nueva Granada.

actividades industriales, domésticas, recreativas y de transporte).

El título del trabajo de grado es "MONITOREO DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS, EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ". Los aspectos físicos que se tienen en cuenta en este trabajo son: turbiedad, temperatura y conductividad, y como aspectos químicos oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), pH, alcalinidad total, acidez, dureza, cloruros, amonio, nitritos, nitratos, fosfatos altos y bajos, sulfatos, cromo, cobre y cloro total.

**Palabras clave:** Contaminación Río Bogotá, monitoreo "in situ", parámetros físico-químicos, descargas domésticas e industriales.

## SUMMARY

A research named "IDENTIFICATION AND TEST OF BIO-INDICATORS AND RECUPERATORS FOR DESCONTAMINATION OF BOGOTA RIVER" has been started in the Nueva Granada Military University on the year 2 000, in order to develop some new technologies that help the preservation of environment.

The first part of this research is related to diagnostic of current situation in the higher basin of the river, through graduation projects of students, under direction of a professor's team of our Engineering School.

Specifically this graduation work, was made as a condition to obtain the title of Civil Engineers, and analyses the behaviour of physical and chemical parameters in the catchment's area of the Bogotá River, as fundamental indicators of the modifications that the river current suffers as consequence of different usages of water (industrial, domestic, leisure or transport activities). Physical aspects considered, were: turbidity, temperature and conductivity; chemical aspects, as: dissolved

oxygen, biochemical demand of oxygen (DBO) chemical demand of oxygen (DQO), pH, total alkalinity, acidity, hardness, chlorides, ammonium nitrites, nitrates, high and low phosphates, sulphates, chromo, copper, total chlorates.

**Key Words:** Bogotá river contamination, "in situ" monitoring, physique-chemical parameters industrial and domestic discharges.

## INTRODUCCIÓN

En mayo de 2000 se inició el monitoreo y análisis de muestras de agua tomadas en la cuenca alta del Río Bogotá, analizándose en principio algunos parámetros, a los cuales después se fueron adicionando otros, hasta completar los 23 parámetros que se estudiaron con el fin de hacer un diagnóstico de la situación actual del río. Este trabajo corresponde al Proyecto de Grado de las alumnas Alexandra Jaime y Andrea Mora, dirigidos por la Ing. Julia Sierra Plazas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El análisis de las muestras se realizó en campo y en laboratorio, empleando en campo algunos instrumentos como el fotómetro (para medir las concentraciones de alcalinidad, amonio, nitratos, nitritos, cobre, sulfatos, cromo VI, fosfatos altos y bajos, y cloro) y el medidor de oxígeno disuelto. En los análisis que se llevaron a cabo en la universidad, se emplearon el potenciómetro o medidor de pH, conductivímetro, titulador automático y turbidímetro.

El método, en general, comprende tres etapas que son monitoreo "in situ", dos veces al mes y en algunas ocasiones cada ocho días, procesamiento en el laboratorio y análisis de resultados.

El trabajo de campo se llevó a cabo en tres estaciones ubicadas en la Cuenca Alta del Río Bogotá que se denominan E-1 localizadas aguas arri-

ba del municipio de Villapinzón, la Estación E-2 localizada 8 kilómetros aguas abajo de la cabecera municipal y finalmente la E-3 que se encuentra ubicada en las instalaciones de la Hacienda Río grande, de propiedad de la Universidad Militar Nueva Granada, sobre la vía Cajicá-Bogotá.

En estos puntos estratégicos se recolectan muestras de agua y se analizan algunos parámetros como oxígeno disuelto, temperatura, conductividad, pH, turbiedad, alcalinidad, nitratos, nitritos, amonio, cobre, sulfatos, cromo, fosfatos altos y bajos y cloro libre.

Los parámetros restantes se analizan en el Laboratorio de Aguas de la UMNG; en esta fase es importante la conservación de muestras.

A continuación se hace un estudio del comportamiento de cada parámetro para cada estación y así poder obtener un diagnóstico del río, que es el objetivo fundamental del trabajo de grado.

En este artículo sólo se tienen en cuenta algunos parámetros químicos. El estudio completo se encuentra en el trabajo de grado Monitoreo de Parámetros Físico-Químicos, Cuenca Alta del Río Bogotá.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

Después de recolectar la información necesaria y analizarla, se pueden señalar algunos parámetros que indican la situación del río Bogotá en cada una de las estaciones. El oxígeno disuelto es importante ya que indica su cantidad presente en la corriente; esta concentración ayuda al río a degradar la materia orgánica que llega a su cauce y disminuye el impacto causado por los vertimientos de los alcantarillados municipales y los residuos industriales.

Como se puede observar en la figura 1, en la primera estación la concentración de oxígeno disuelto es alta, siendo un factor importante la movilización del río que colabora con la mayor oxigenación del cauce. En la segunda estación (después de Villapinzón), la disminución de oxígeno disuelto es grande como consecuencia de los vertimientos incontrolados de Villapinzón y de las curtiembres situadas en la zona, que afecta considerablemente la concentración de oxígeno disuelto. La estación 3 presenta una situación similar a la estación dos, donde el oxígeno disuelto presenta valores muy bajos.

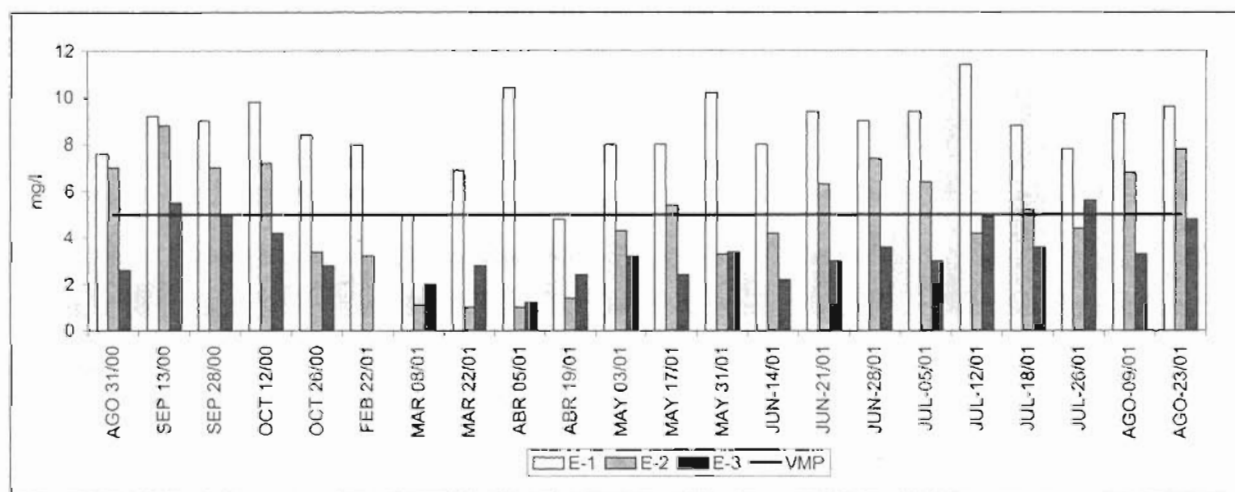


Figura 1. Variación en la concentración de oxígeno disuelto, en el período del 31 de agosto de 2000 al 23 de agosto de 2001

Durante los meses de marzo y abril de 2001, debido a las sequías que se presentaron en las zonas donde se encuentran ubicadas la segunda y tercera estación, disminuyó el valor de oxígeno disuelto, ya que la deficiencia de este elemento ocurre con mayor frecuencia en los meses de verano cuando disminuye el caudal y el ascenso de temperatura incrementa las velocidades de oxidación, aumentando así la demanda de oxígeno y haciéndolo menos soluble en el agua. De igual manera, al no haber mayor grado de dilución, hay mayor concentración de contaminantes, lo cual trae como consecuencia la disminución en la capacidad de purificación del río.

Para este período de monitoreo, la variación de la concentración de oxígeno disuelto en la primera estación se encuentra entre 4.8 y 11.4 mg/l de O<sub>2</sub>, en la segunda estación entre 1.0 y 8.8 mg/l de O<sub>2</sub> y la tercera esta entre 1.2 y 5.6 mg/l de O<sub>2</sub>.

La DBO<sub>5</sub> indica la cantidad de oxígeno que necesitan las bacterias para estabilizar la materia orgánica degradable bajo condiciones aeróbicas. Este parámetro se emplea principalmente para cuantificar el grado de polución de una corriente de agua.

Los registros obtenidos en los meses de marzo y abril no deben tenerse en cuenta, ya que en este periodo se estaba estandarizando el método.

De acuerdo con la figura 2, primera y tercera estación, es de notable consideración la estabilidad que presenta este parámetro, deduciendo así un bajo grado de contaminación, lo que significa que las condiciones para descomponer la materia orgánica por medios aeróbicos son muy buenas. Por el contrario, para la segunda estación, los valores son mayores y más inestables que los de las estaciones mencionadas anteriormente, debido al grado de contaminación en esta estación, por las curtiembres presentes en el sector Chocontá – Villapinzón.

El 12 de julio de 2001, la estación 1 presenta la mayor carga de materia orgánica con respecto a los valores de las otras dos estaciones en la misma fecha. Esto podría indicar el vertimiento de desechos orgánicos al cuerpo de agua en una época cercana a la toma de la muestra.

Entre junio y julio debió producirse una alta actividad industrial en la cual los vertimientos de

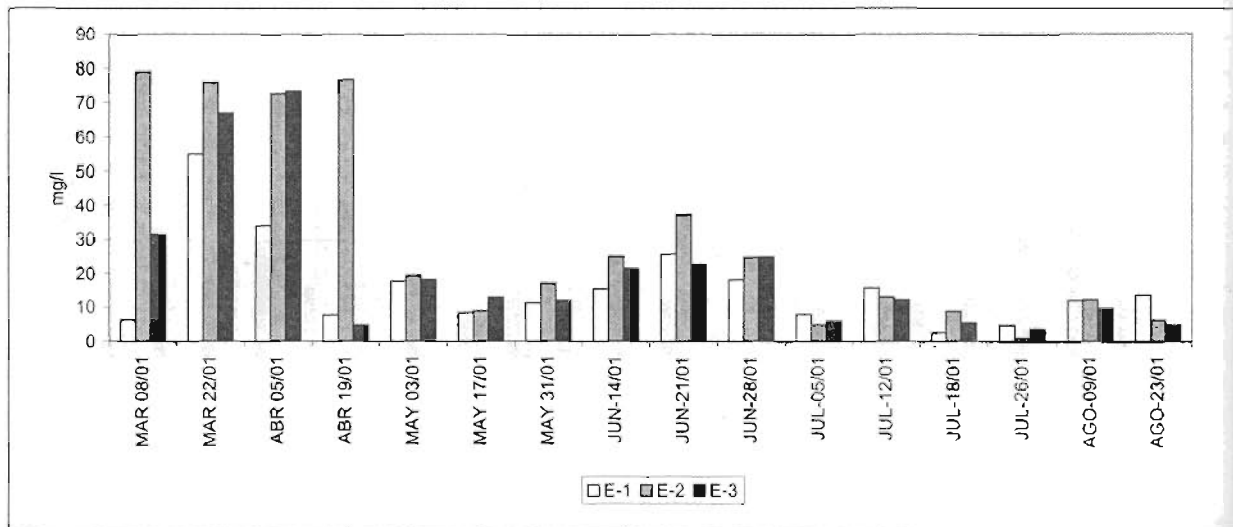


Figura 2. Variación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) en el periodo comprendido entre el 8 de marzo y el 23 de agosto de 2001

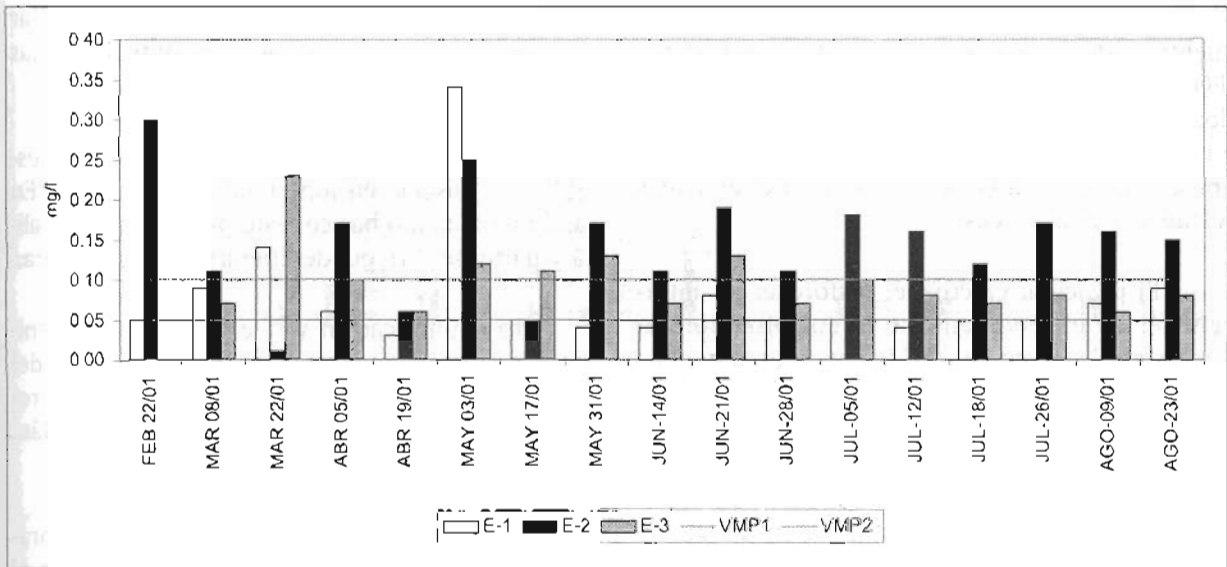


Figura 3. Variación de la concentración de cromo hexavalente en el período comprendido entre el 22 de febrero y el 23 de agosto de 2001.

agua residual industrial aumentaron, variando así los datos en los siguientes meses.

La primera estación presenta un rango de variación entre 2.5 y 25.6 mg/l, en la estación dos este rango se sitúa entre 0.9 y 37.4 mg/l y para la estación tres entre 3.6 y 24.8 mg/l.

El cromo puede presentarse de diversas formas de acuerdo con su valencia, así el cromo trivalente es una forma útil nutricionalmente, mientras que el hexavalente puede producir enfermedades de piel, hepáticas y hasta se ha llegado a pensar que es cancerígeno.

Ahora se analiza el cromo hexavalente (Cr +6) el cual llega al cauce del río Bogotá por diversas causas al ser utilizado en la fabricación de fertilizantes, colorantes, detergentes y plaguicidas, por lo general diluidos en agua que después de ser empleados llegan al cauce del río por escorrentía o por la descarga de los alcantarillados.

Sin embargo, la principal fuente de contaminación por cromo hexavalente en el río Bogotá

es la utilización de este elemento en el proceso de curtido, ya que de las 111 curtiembres ubicadas en el sector Villapinzón – Chocontá, 80 utilizan el curtido al cromo como proceso de producción de cueros, representando así 72% de las industrias dedicadas a esta actividad en la zona; como se observa en la figura 3, la segunda estación es la que presenta las mayores concentraciones de este elemento.

En la estación uno, los datos son relativamente constantes, es decir no se observan variaciones drásticas en los valores a lo largo del año. En general el intervalo es de 0.03 a 0.14 mg/l de cromo.

La tercera estación muestra una disminución en la concentración de cromo y su rango de variación es de 0.06 á 0.23 mg/l.

Dado que los fosfatos y los compuestos del nitrógeno son indispensables para el crecimiento de algas y cianobacterias, se deben controlar las concentraciones de estos elementos que regulan las tasas de crecimiento de dichos organismos.

Las formas más frecuentes en las que se encuentra el fósforo en el agua son los ortofosfatos ( $PO_4^{3-}$ ), polifosfato y fósforo orgánico. Los derivados del fósforo son utilizados como fertilizantes, en las formulaciones de detergentes, etc. Además, aparece como componente normal de las aguas residuales domésticas.

El principal efecto del fósforo es su intervención en el fenómeno de la eutrofización. El ión fosfato  $PO_4^{3-}$ , en general forma sales muy poco solubles y se precipita fácilmente como fosfato cálcico.

Según la figura 4, la estación uno presenta los menores valores de fosfatos, mientras que la dos y la tres registran valores muy cercanos, excepto en marzo de 2001, donde la estación dos aumenta considerablemente su valor.

El rango de variación en la concentración de fosfatos para la primera estación está comprendido entre 0.7 y 34 mg/l, para la segunda estación entre 7.5 y 77 mg/l y finalmente, para la estación tres, entre 8.7 y 42 mg/l.

La amonificación es la formación de amoníaco, a partir de la descomposición de la materia

orgánica. Este proceso se realiza por lo regular en el sedimento y en él actúan tanto bacterias aeróbicas como anaeróbicas.

El amoníaco en medio ácido o neutro es inestable y se disocia en ion amonio e hidroxilos. En cambio, en medio básico, este proceso no se realiza y parte del  $NH_3$  puede liberarse a la atmósfera.

La amonificación y la excreción de los animales acuáticos constituyen la fuente principal del amoníaco en el agua, aunque la amonificación representa la mayor parte de este proceso. (Roldán, 1992)

En un cuerpo de agua con alta incorporación de materia orgánica, como se observó en el análisis de  $DBO_5$ , la amonificación bacteriana debe ser la responsable de las altas concentraciones de amonio que se observan en la figura 5, sobre todo para la estación 2, donde altas  $DBO_5$  corresponden a altas concentraciones de amonio. Nótese el comportamiento de ambas graficas para el 19 de abril de 2001, donde una altísima  $DBO_5$  corresponde a una alta cantidad de amonio.

Por lo mencionado anteriormente se puede decir que la presencia de amonio en el río Bogotá

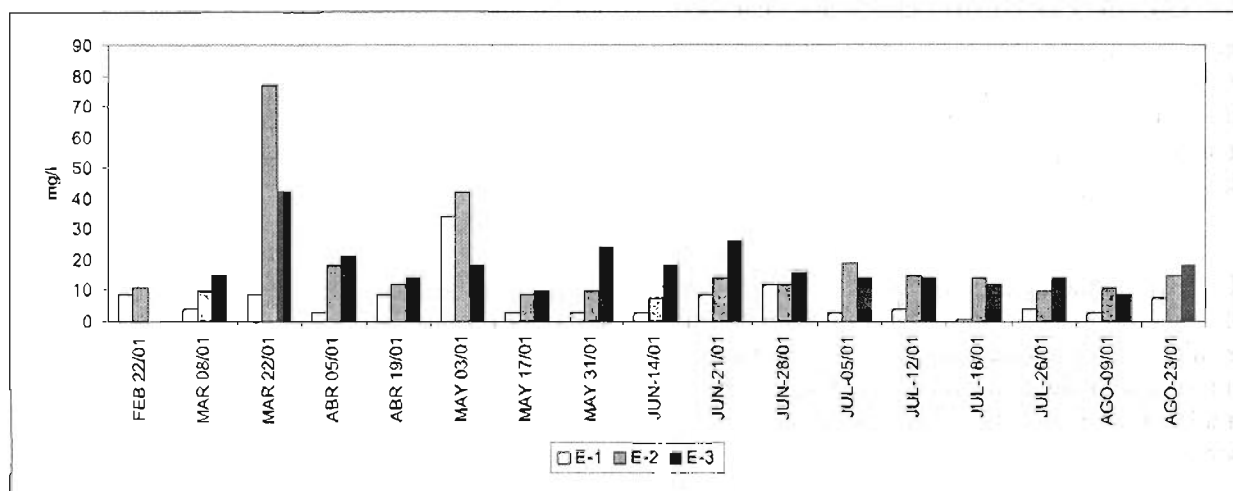


Figura 4. Variación en la concentración de fosfatos en el período comprendido entre el 22 de febrero y el 23 de agosto de 2001.

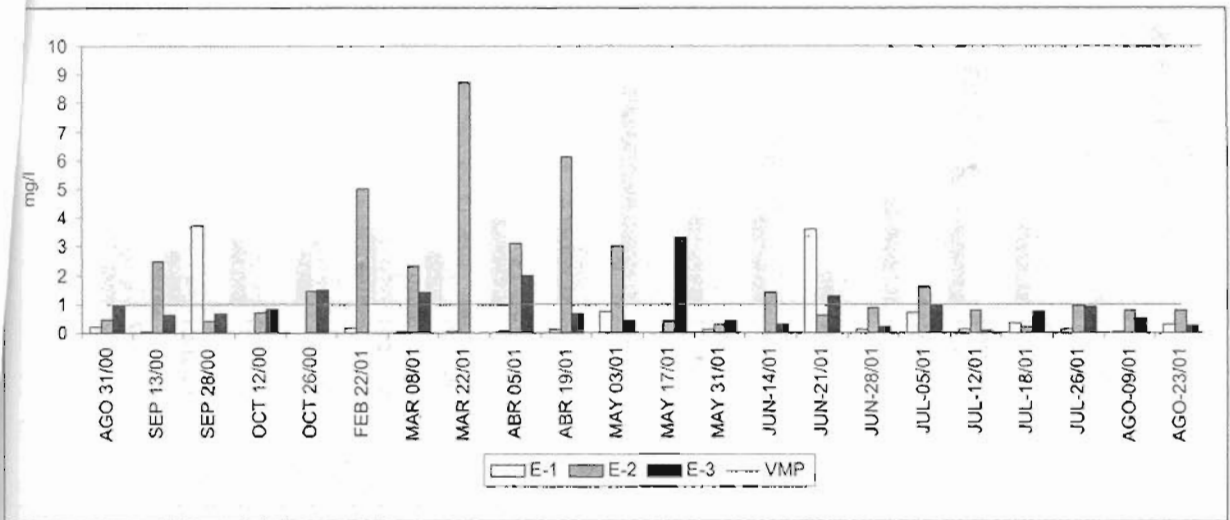


Figura 5. Variación en la concentración de amonio en el período comprendido entre el 31 de agosto de 2000 y el 23 de agosto de 2001.

es atribuida principalmente a las descargas de las aguas residuales agrícolas y de los alcantarillados, ya que la excreción líquida contiene el nitrógeno resultante de la degradación de las proteínas y este se convierte fácilmente en carbonato de amonio; de igual manera, en el sector agrícola la urea, (que es un compuesto del amonio) es suministrada al suelo con el fin de producir mayor cantidad de proteínas y mejorar así las condiciones de los cultivos.

El rango de variación del amonio para la primera estación se encuentra entre 0 y 3.70 mg/l, para la segunda entre 0.20 y 8.7 mg/l y para la tercera entre 0.01 y 3.30 mg/l. De acuerdo con los Artículos 38 y 39 del Decreto 1594 de 1984 el valor máximo permisible para consumo humano y doméstico de nitrógeno amoniacal, es de 1 mg/l; de los datos tomados, 26 % no cumplen con la norma.

La segunda estación es la que presenta el valor más alto en concentración de amonio, debido a los vertimientos de las aguas residuales agrícolas, domésticas, de escorrentía e industriales.

La forma más común de encontrarse el azufre en el agua es como  $SO_4^{2-}$  (ion sulfato). El ión

sulfato  $SO_4^{2-}$ , corresponde a sales entre moderadamente solubles a muy solubles, y llega al agua a través de la lluvia y por disolución de rocas que contengan compuestos, tales como  $CaSO_4$  y  $FeS_2$  (pirita). La presencia de  $H_2S$ ,  $HS^-$  y  $SO_4^{2-}$  está íntimamente relacionada con el pH del agua. En términos generales, en pH superiores a 8.0, la mayoría del azufre reducido existe en solución como  $HS^-$  y  $SO_4^{2-}$ , en cambio, el  $H_2S$  se encuentra en pequeñas cantidades y su olor es prácticamente imperceptible.

En pH inferiores a 8.0, comienza a formarse rápidamente gran cantidad de  $H_2S$  alcanzando su máxima concentración en un pH de 5.0.

El ión sulfato es uno de los aniones más abundantes en las aguas naturales y su presencia es necesaria para poder llevar a cabo la síntesis de proteínas.

Como se observa en la figura 6, el contenido de sulfatos se va incrementando a medida que se avanza en el trayecto del río, siendo la primera estación la que presenta los menores valores y, la tercera, la que tiene mayor concentración, debido a las diferentes descargas que llegan a su cauce.

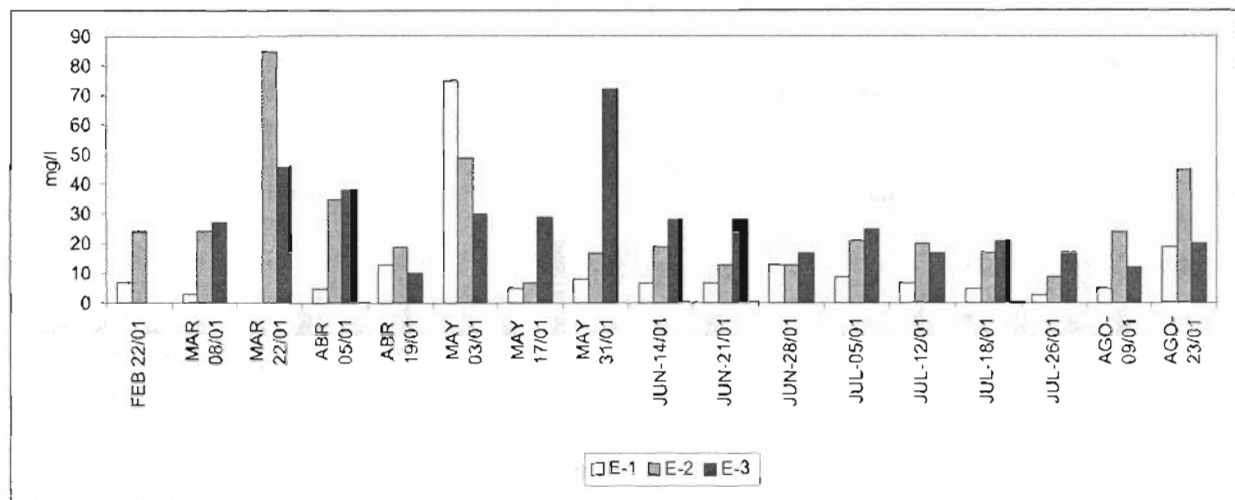


Figura 6. Variación en la concentración de sulfatos en el periodo que va del 22 de febrero al 23 de agosto de 2001.

En general, los sulfatos están presentes en el río Bogotá debido al ciclo del azufre, el cual en cierta parte, llega al cauce debido al ácido sulfúrico y los sulfuros que son utilizados en el proceso de curtido de pieles y otro porcentaje es producido por la descomposición de la materia fecal.

El rango de variación para la estación uno, está comprendido entre 0 y 75 mg/l, para la estación dos, entre 7 y 85 mg/l y para la estación tres, entre 10 y 72mg/l. El Decreto 1594 de 1984 en sus Artículos 38 y 39 establece como valor máximo admisible para consumo humano y doméstico una concentración de 400 mg/l de sulfatos; 100% de los datos cumplen con este rango de aceptabilidad.

## CONCLUSIONES

Aparte de los resultados mencionados anteriormente, se realizó el análisis de los otros parámetros, encontrándose en general que la estación uno (E-1), por ser la más cercana del nacimiento del río y no recibir ningún tipo de descarga de tipo industrial y muy pocas de tipo doméstico, presentó menores valores que las otras dos estaciones en turbiedad, temperatura, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), pH, alcalinidad, dureza, cloruros, amonio, nitritos,

nitratos, fosfatos, sulfatos, cromo VI, cobre y la mayor concentración de oxígeno disuelto. Las estaciones dos y tres presentan mayor contaminación, ya que reciben gran cantidad de vertimientos provenientes de las industrias y los alcantarillados municipales, presentando así la segunda estación los mayores valores de DBO, pH, alcalinidad, amonio, fosfatos altos, fosfatos bajos, cromo VI, cobre y la tercera estación de turbiedad, temperatura, conductividad, DQO, dureza, cloruros, nitritos, nitratos, fosfatos bajos, sulfatos, cloro libre, así como la menor concentración de oxígeno disuelto, la cual evidencia el deterioro del río, a través de su recorrido.

## BIBLIOGRAFÍA

1. METCALF, Eddy. Ingeniería de aguas residuales, Mc Graw Hill, 1990.
2. OROZCO JARAMILLO, Alvaro y SALAZAR ARIAS, Álvaro. Tratamiento biológico de las aguas residuales. Medellín: CESET, may. 1987. 155p.
3. MINA MARULANDA, Nacienceno. Calidad del agua. 1989. 79p. (Universidad Distrital Francisco José de Caldas).
4. Nuevos métodos de tratamiento de agua / Departamento de ingeniería y ciencias del ambiente. Centro panamericano de ingeniería sanitaria CEPIS. 1973. 476 p.
5. ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. y SINGLEY PHD, J. Edward. Teoría y práctica de la purificación del agua. Florida: AWWA, feb. 1992. 480p.