

Calidad del agua en la Reserva Forestal Regional productora del norte de Bogotá, Thomas Van der Hammen

Water quality in the Regional Forest Reserve of northern Bogota, Thomas Van der Hammen

Ángela María Jaramillo¹ y Luz Marina Cabrera²

Resumen

En este estudio se analizó y caracterizó la calidad fisicoquímica del agua en la Reserva Forestal del Borde Norte de Bogotá – Thomas Van der Hammen. La Reserva Forestal, es una zona clave de conectividad entre los cerros orientales del norte de Bogotá y el río del mismo nombre. Esta Reserva, fue declarada como tal mediante el Acuerdo 11 de 2011, expedido por la Corporación Autónoma de Cundinamarca – CAR. De su conservación depende el mantenimiento de la biodiversidad de fauna y flora del norte de Bogotá. Se tomaron varias muestras en diferentes drenajes superficiales durante la época seca y la época lluviosa en 2011. En cada muestreo se midieron 20 parámetros de calidad del agua y fueron interpretados usando análisis estadísticos multivariados. Los resultados muestran que la calidad del agua no alcanza los objetivos marcados por la CAR en el acuerdo número 43 del 17 de octubre de 2006 para la cuenca del río Bogotá. Las principales causas son la contaminación por mineralización y por materia orgánica.

Palabras clave: calidad de agua; Reserva Forestal del Borde Norte de Bogotá – Thomas Van der Hammen; drenajes superficiales.

Abstract

The status of water quality in the Reserva Forestal del Borde Norte de Bogotá: Thomas Van der Hammen was examined in this study. The regional forest reserve is a key area of connectivity between the eastern hills of northern Bogota and the river of the same name. This reserve was declared as such by the Agreement 11, 2011, issued by the Corporación Autónoma de Cundinamarca-CAR. Their conservation will ensure the maintenance of biodiversity of flora and fauna in northern Bogota. Several samples were taken at different surface drains during the dry season and the rainy season in 2011. During the surveys, 20 water quality parameters were measured and interpreted using multivariate statistical analysis. Results show that the water quality of the Regional Forest Reserve does not meet the objectives set by CAR (Agreement 43, October 17 of 2006) for the basin of Bogota River. The main causes of pollution are mineralization and organic matter.

Keywords: water quality; Reserva Forestal del Borde Norte de Bogotá “Thomas Van der Hammen”; surface drains.

1 Licenciada en Química MSc. Grupo de Investigación Sostenibilidad Ambiental. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. E-mail: lcabrera@udca.edu.co

2 Biología Marina. Ph.D. Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. Bogotá-Colombia. E-mail: angelamjl@yahoo.com

1. Introducción

La Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá D.C., “Thomas Van der Hammen” (RFRP), es una zona clave de conectividad entre los cerros orientales del norte de Bogotá y el río del mismo nombre. De su conservación depende en gran parte el mantenimiento de la biodiversidad de fauna y flora del norte de Bogotá. Esta Reserva, fue declarada como tal mediante el Acuerdo 11 de 2011, expedido por la Corporación Autónoma de Cundinamarca – CAR, organismo que en la actualidad se encuentra en la tarea de definir las directrices para su manejo, con base en la formulación de un Plan de Manejo Ambiental de esta área.

En cuanto al sistema hídrico, el norte de Bogotá cuenta con la presencia de dos humedales con áreas de drenaje que tributan al río Bogotá, el humedal de Torca Guaymaral y el de La Conejera, ambos sistemas recogen casi en su totalidad el drenaje de las aguas superficiales de la zona. De acuerdo con el proyecto “Corredor Bordo Norte de Bogotá” en el que participaron la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A., la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, el Instituto Agustín Codazzi y la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR (Cabrera, 2007), en la zona se pueden identificar tres ejes de conectividad hídrica superficial a saber: canal Torca-Guaymaral que drena sus aguas hacia el río Bogotá en sentido Sur-Norte, recogiendo las aguas de las quebradas Torca, la Floresta y Patiño, y los vallados de la vía los Arrayanes, la calle 222, la vía Guaymaral y los del separador de la Autopista Norte; un segundo eje conformado por los vallados paralelos a los costados de la vía Suba-Cota que parten del pie de monte del Cerro la Conejera y desembocan en las márgenes del Río Bogotá; y finalmente un tercer eje que corresponde a la quebrada la Salitrosa que nace en la parte sur del cerro la Conejera y drena sus aguas al humedal del mismo nombre y posteriormente al río Bogotá.

El drenaje de estas aguas superficiales hacia el río Bogotá tiene influencia directa sobre la calidad del agua del mismo y es importante destacar que no se tienen datos sobre la calidad del agua del sistema hídrico en las inmediaciones de la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá D.C., “Thomas Van der Hammen” (RFRP).

La Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR en su acuerdo número 43 del 17 de octubre de 2006, establece los objetivos de calidad del agua que se quieren lograr para el año 2020, en la cuenca del río Bogotá. Este acuerdo se basa en el estudio elaborado por la misma entidad, denominado “Propuesta de Metodología para la determinación de los objetivos de calidad de la cuenca del río Bogotá”, el cual recoge las evaluaciones cualitativas y cuantitativas de calidad disponibles respecto del recurso, y desarrolla una metodología para determinar los objetivos de calidad para el río Bogotá, el cual fue dividido en cinco tramos en razón de sus características físicas y de uso. Así mismo, por medio del acuerdo 11 de 2011, la CAR hace la declaratoria de la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá D.C., “Thomas Van der Hammen” (RFRP), adoptando determinantes ambientales para su manejo. El área de Reserva Forestal, donde se lleva a cabo estudio, está localizada dentro del tramo 2: Cuenca Alta-Inferior entre Tibitoc y la estación hidrometeorológica la Virgen. De acuerdo con el acuerdo 43 de 2006, en este tramo la calidad del río se ve afectada debido al desbordado crecimiento poblacional en los últimos años de los centros poblados y al crecimiento productivo del sector.

Este estudio busca analizar y caracterizar de manera global la calidad del agua en la Reserva Forestal del Bordo Norte de Bogotá – Thomas Van der Hammen, a través de la toma de muestras en diferentes cursos de agua, durante dos periodos climáticos (época seca y lluviosa) del año 2011 con el fin de aportar información que sirva de soporte para el manejo adecuado de dicho territorio, del cual existe muy poca información.

2. Métodos

Área de estudio y puntos de muestreo

El área comprendida por la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá, Thomas van der Hammen (RFRP) (Acuerdo 11 de 2011 de la CAR) muestra dos áreas de drenaje que corresponden a los humedales de Torca Guaymaral en el nororiente (Cuenca Torca) y la Conejera (subcuenca del mismo nombre) en el noroccidente, ambos tributan al Río Bogotá (Figura 1). El territorio que ocupa el humedal de Torca Guaymaral está fraccionado por la Autopista Norte y pertenece a dos localidades Suba y Usaquén. Se ha considerado que el sistema hídrico en la zona está conformado por una serie de drenajes (colectores) que fluyen de manera perpendicular al río Bogotá y el sistema sanitario está basado en el interceptor del río Bogotá que lleva sus aguas a la Planta de Tratamiento el Salitre (Acueducto de Bogotá, 2003).

La quebrada (canal) Torca, nace a la altura de la calle 134 en la localidad de Usaquén y corre en sentido sur-norte, contrario al río Bogotá, hasta desembocar en éste.

Por su parte, el humedal de Guaymaral, tiene una extensión de 49 hectáreas. Sus límites norte y occidente corresponden a la vía que conduce al aeropuerto de Guaymaral, el límite oriente es la Autopista Norte y al sur colinda con el centro recreacional Cafam. (Cardona & Hilera, 2002).

El estudio se realizó sobre algunos cuerpos de agua superficial (quebradas, canales, vallados, espejos de agua y reservorios) presentes en el área de la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá, Thomas van der Hammen (RFRP). Se seleccionaron ocho puntos de muestreo que se pueden observar marcados con puntos en la Figura 1, los cuales corresponden a la quebrada Torca (canal Torca) y su brazo denominado canal El Recuerdo, la quebrada La Salitrosa,



Figura 1. Área de estudio y puntos de muestreo

y la quebrada La Floresta, los demás drenajes corresponden a vallados cuyo papel más importante es el manejo de las aguas lluvias (Tabla 1).

De forma sistemática se coleccionó información documental y cartográfica de la zona, esta información se encontró en formatos análogo y digital. Las principales fuentes de información fueron: la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales – U.D.C.A, el Instituto de Estudios Urbanos-IEU, la Corporación Autónoma Regional – CAR, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC, la Empresa de Acueducto de Bogotá-EAAB y la Alcaldía de Suba. La cartografía existente se verificó en campo identificando los cuerpos de agua, los cuales una vez localizados, se georreferenciaron mediante un equipo de posicionamiento global (GPS).

Recolección y análisis de agua

El muestreo de aguas y la cadena de custodia de la muestra se realizó según la Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas del IDEAM (2004). Los métodos y técnicas de análisis de aguas, se ajustaron a las condiciones de laboratorio de los métodos y técnicas específicos normalizados (APHA-AWWA-WPCF, 2005). En cada uno de las ocho estaciones de muestreo se tomaron 6 muestras en época seca y 7 en época de lluvias.

Se determinaron *in situ* pH, temperatura, turbidez, oxígeno disuelto y conductividad. En el laboratorio las muestras fueron filtradas y se analizó dureza, alcalinidad, cloruros, sulfatos, fósforo, nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos, sólidos

Tabla 1. Localización y descripción de los puntos de muestreo

Punto de muestreo	Nombre	Coordenadas		Descripción del punto de muestreo
		X	Y	
P1	Margarita	104068,47	122316,79	Canal Torca: calle 222 al costado sur. Brazo que se origina en la proximidad de Jardines del Recuerdo y desemboca en el canal principal.
P2	Recuerdo	103985,68	121103,37	Aguas provenientes del vallado que corre en dirección este-oeste, y del lago del cementerio Jardines del Recuerdo, antes de verter sus aguas a la fracción occidental del Humedal Torca, en la vía Guaymaral, que a su vez genera el brazo muestreado en el punto 1.
P3	Cota	98194,57	121492,10	Vallado oriental de la vía Suba - Cota, justo antes de desembocar en el río Bogotá.
P4	Salitrosa	98415,20	117884,16	Desembocadura de la Quebrada la Salitrosa en el Humedal de la Conejera, por la vía que conduce a la Clínica Corpas.
P5	Torca	104345,90	122227,77	Canal de Torca: calle 222 al oriente da la autopista norte, calzada sur norte. Recibe aguas del canal Torca y del vallado que corre oriente occidente.
P6	Bima 1	104163,71	123592,72	Desembocadura de la Quebrada la Floresta en la Quebrada Torca, cuando se rehace el drenaje después de la zona de inundación, denominada Humedal de Guaymaral, vía Guaymaral frente al centro comercial BIMA.
P7	Bima 2	104143,47	123626,31	Confluencia de las Quebradas Torca y Floresta, en el puente frente a la Urbanización San Simón.
P8	Humedal	103377,08	123082,09	Desembocadura del manantial generado en el Bosque de las Lechuzas en el humedal de Guaymaral.

suspendidos totales, calcio, magnesio, hierro total, manganeso y una prueba para coliformes totales.

El tratamiento estadístico de los datos se hizo con ayuda del programa estadístico SPSS 19.0 para Windows (SPSS Inc.). Para las pruebas estadísticas multivariadas se tuvieron en cuenta todas las variables fisicoquímicas tomadas en todos los puntos de muestreo y en ambas estaciones climatológicas, con el fin de identificar las interacciones entre variables. Con el análisis factorial de componentes principales se buscó simplificar las relaciones complejas de las variables observadas, mediante la selección de factores comunes de tal manera que se pudieran extraer las variables que mayor influencia tienen en la calidad del agua.

3. Resultados y Discusión

Calidad del agua

En la tabla 2 se presentan los niveles mínimos, máximos y medios con su desviación estándar de los parámetros fisicoquímicos medidos en todos los cuerpos de agua del estudio tanto para la época de lluvias como para la seca.

Entre la época de lluvias y la época seca se encontraron diferencias en el oxígeno disuelto, conductividad, turbidez, nitratos, alcalinidad, dureza, SST, hierro total y fosfatos. La mayoría de estos parámetros alcanzaron concentraciones más altas en la época seca, excepto el hierro y los nitratos con concentraciones más altas en época de lluvias.

Tabla 2. Media, desviación estándar (s.d), mínimo y máximo de los parámetros fisicoquímicos medidos en época lluviosa y en época seca

Parámetros	Época Lluviosa					Época Seca				
	N	Media	± s.d.	Mínimo	Máximo	N	Media	± s.d.	Mínimo	Máximo
pH	54	6,8	± 0,1	5,8	7,6	48	7,0	± 0,4	6,1	7,7
T °C	54	17,5	± 0,1	16,8	19,0	48	17,2	± 1,7	13,1	20,8
Oxígeno Disuelto (mg/l)	54	2,6	± 0,2	0,68	5,3	48	3,8	± 1,6	0,9	6,6
Oxígeno disuelto (%)	54	27,4	± 1,7	7,2	55,4	48	49,3	± 24,5	3,8	90,0
Conductividad (µS/cm)	54	362,0	± 18,0	66	618,0	48	428,0	± 182,0	26,0	765,0
Turbidez (NTU)	54	28,2	± 2,4	3,7	103,0	48	179,8	± 238,3	5,2	959,0
Nitratos (mg N-NO ₃ /l)	54	0,6	± 0,1	0,01	3,5	48	0,1	± 0,05	0,01	0,2
Nitritos (mg N-NO ₂ /l)	54	0,6	± 0,1	0,01	1,3	48	0,5	± 0,3	0,01	1,3
Amonio (mg N-NH ₄ /l)	53	1,0	± 0,1	0,02	2,2			S.D	S.D	S.D
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /l)	54	0,7	± 0,1	0,1	2,1	48	138,9	± 70,2	44,7	325,3
Dureza (mg CaCO ₃ /l)	54	150,4	± 6,6	62,2	273,3	48	719,3	± 1165,9	108,3	5261,2
Calcio (mg Ca/l)	54	38,9	± 2,1	8,0	79,1	48	30,1	± 10,8	7,1	56,1
Magnesio (mg Mg/l)	54	12,9	± 0,9	2,2	30,3			S.D	S.D	S.D
SST (mg/l)	54	41,0	± 8,9	0,9	316,4	48	99,0	± 76,3	0,1	310,0
Cloruros (mg Cl/l)	54	72,3	± 7,5	17,7	348,6			S.D	S.D	S.D
Sulfatos (mg SO ₄ /l)	54	20,3	± 2,3	0,9	88,1	48	17,8	± 10,7	0,2	50,8
Fosfatos (mg PO ₄ /l)	54	0,1	± 0,01	0,01	0,4	48	0,4	± 0,4	0,01	1,9
Hierro Total (mg Fe/l)	54	32,9	± 6,1	0,05	195,7	48	8,8	± 10,3	0,02	36,3
Manganeso (mg Mn/l)	54	0,7	± 0,1	0,1	1,9			S.D	S.D	S.D
Coliformes (NMP/100ml)	12	4,1x10 ⁵	± 3,8 x10 ⁵	0,01	4,6 x10 ⁵			S.D	S.D	S.D

S.D: sin dato

Estas diferencias son notables en los valores de turbidez (28,2 en época de lluvias y 179,8 en época seca), nitratos (0,58 en época de lluvias y 0,06 en época seca), alcalinidad (0,7 en época de lluvias y 138,9 en época seca), dureza (150,5 en época de lluvias y 719,3 en época seca), SST (41,0 en época de lluvias y 99,0 en época seca), fosfatos (0,05 en época de lluvias y 0,4 en época seca) y finalmente hierro total (32,9 en época de lluvias y 8,8 en época seca).

Los valores de oxígeno disuelto y porcentaje de saturación del oxígeno son bajos lo cual es indicativo de contaminación orgánica que demanda cantidades considerables de oxígeno para sus procesos de oxidación, indicando que la calidad del agua no es buena, debido probablemente a un nivel de contaminación moderado por descomposición de materia orgánica.

En cuanto a la conductividad, ésta está asociada a la concentración de iones disueltos (Villegas, 1995), en este trabajo el valor medio osciló entre 362,0 y 428,0 lo que significa que el agua analizada tiene un contenido bajo de sales disueltas, en concordancia con las concentraciones de cloruros encontradas.

Según Espigares García y Fernández-Crehuet (1999) los niveles altos de turbidez son indicativos de contaminación debida a material coloidal, mineral u orgánico, por lo que podemos afirmar que los cursos de agua de este estudio estarían contaminados por este tipo de material, lo cual concuerda con valores relativamente altos de sólidos suspendidos totales.

La alcalinidad es baja en época lluviosa y aumenta considerablemente en época seca, lo cual concuerda con la fluctuación en el nivel del pH. A su vez se puede detectar una dureza alta (150,5 - 719,3 mg CaCO₃/l).

Los niveles medios de nitratos son bajos y en el caso de la época de lluvias las concentraciones fueron superadas por las de nitritos y amonio, en concordancia con valores bajos de oxígeno (por-

centaje de saturación por debajo del 50%) que indican una calidad de agua baja (Roldán y Ramírez, 2008). La presencia de nitritos y amonio en cantidades mayores a las concentraciones de nitrato son un claro indicativo de contaminación reciente por materia orgánica y especialmente por materia fecal, esto, unido a las bajas concentraciones de oxígeno disuelto, impide que ocurra un proceso natural de nitrificación (Harrison, R., 2001). Las concentraciones de fosfatos alcanzadas en época seca son relativamente altas.

Llaman la atención los valores elevados de hierro total (8,8 - 32,9 mg Fe/l) y manganeso (0,7 mg Mn/l) que independientemente de su abundancia en el medio natural podrían indicar una posible contaminación por vertidos de carácter industrial, principalmente en la quebrada la Salitrosa.

Finalmente en cuanto a la calidad bacteriológica de las aguas, ésta sólo fue medida en época de lluvias, encontrándose valores elevados de coliformes como indicativo de una mala calidad debido a contaminación fecal.

De acuerdo con los objetivos de calidad del agua para la cuenca del río Bogotá a lograr en el año 2020 (CAR, 2006), la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá D.C., "Thomas Van der Hammen" (RFRP) se encuentra en el área de influencia del tramo dos de la cuenca y sus parámetros de calidad corresponden a la Clase IV de usos del agua que hace referencia a valores de los usos agrícola con restricciones y pecuario. Esto significa que para el 2020 se busca alcanzar los siguientes niveles máximos: DBO₅ 50 mg O₂/l; Coliformes Totales, 20000 NMP/100 ml, nitritos, 10 mg/l; SST, 40 mg/l; hierro, 5 mg/l; manganeso, 0,2 mg/l; pH, 4,5 - 9,0. Por inconvenientes presupuestales en este estudio no se pudo medir DBO₅ ni DQO, pero según los demás parámetros medidos, en la actualidad los valores de coliformes, SST, hierro y manganeso estarían por encima de los valores máximos recomendados en la mayoría de los drenajes muestreados.

Tabla 3. Matriz de correlaciones entre parámetros para la época lluviosa

	pH	OD	OD%	Cond.	Turb.	N-NO ₃	N-NO ₂	N-NH ₄	Alc. CaCO ₃	Dur. CaCO ₃	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SST	Cl	SO ₄ ²⁻	PO ₄	Hierro Total	Mn ²⁺	Colif	
pH	1																			
OD	0,152	1																		
OD%	0,144	1,000	1																	
Cond.	-0,284*	-0,252	-0,253	1																
Turb.	0,194	-0,163	-0,166	0,271*	1															
N-NO ₃	0,334*	0,499	0,495	0,016*	-0,018	1														
N-NO ₂	-0,153	-0,242	-0,246	0,323	0,185	-0,047	1													
N-NH ₄	-0,165	-0,496	-0,494	0,245	0,357	-0,410	0,032	1												
Alc. (CaCO ₃)	0,091	-0,612	-0,614	0,297*	0,189	-0,190	0,139	0,264	1											
Dur. (CaCO ₃)	-0,228	-0,484	-0,486	0,687	0,346	-0,143	0,298*	0,173	0,482	1										
Ca ²⁺	-0,067	-0,587	-0,590	0,659	0,283	-0,147	0,293*	0,269	0,732	0,803	1									
Mg ²⁺	-0,294*	-0,045	-0,043	0,288*	0,208	-0,050	0,115	-0,059	-0,154	0,623	0,034	1								
SST	0,079	0,058	0,056	0,059	0,367	-0,039	0,067	0,036	-0,111	0,116	-0,030	0,235	1							
Cl	-0,043	-0,002	-0,004	0,435	0,098	0,278	0,115	-0,067	0,108	0,368	0,298	0,229	-0,034	1						
SO ₄ ²⁻	-0,517**	-0,106	-0,100	0,364	0,010	-0,249	-0,015	0,233	-0,081	0,365	0,218	0,330	-0,030	0,167	1					
PO ₄ -P	0,168	-0,212	-0,213	0,154	0,035	-0,028	0,194	-0,202	0,292	0,221	0,295	-0,015	-0,001	0,054	-0,114	1				
Hierro Total	-0,321*	-0,098	-0,096	0,171	0,308	-0,286	0,159	0,289*	-0,133	0,263	0,073	0,345	0,314*	0,021	0,352	-0,162	1			
Mn ²⁺	0,056	-0,249	-0,247	-0,068	0,023	-0,198	0,079	0,105	0,287	-0,050	0,152	-0,280	-0,091	-0,120	0,085	0,159	-0,061	1		
Colif.	0,063	-0,183	-0,185	-0,176	-0,106	-0,175	0,363	0,208	0,575	-0,327	-0,062	-0,408	-0,222	-0,206	-0,279	-0,241	-0,233	0,116	1	

** Los valores son significativos a P < 0,01

* Los valores son significativos a P < 0,05

Análisis factorial y correlación entre parámetros fisicoquímicos

Las tablas 3 y 4 presentan las matrices de correlación de los parámetros fisicoquímicos medidos en época de lluvias y en época seca. Estos coeficientes de correlación deben interpretarse con precaución ya que corresponden a los 8 sitios de muestreo.

En ambas épocas, la mayoría de correlaciones entre variables son muy débiles. La mejor correlación positiva se obtuvo entre los valores de conductividad y dureza ($r=0.687$), lo cual es lógico ya que la conductividad está relacionada con la cantidad de iones disueltos (Roldán y Pérez, 2008). Entre las relaciones negativas destaca la relación entre la alcalinidad con la concentración y porcentaje de saturación de oxígeno disuelto ($r=-0.612$ y -0.614), en época lluviosa. Así mismo, la alcalinidad y la dureza tuvieron correlaciones positivas relativamente altas con el ión calcio, pues

precisamente alcalinidad y dureza son parámetros que miden fundamentalmente la presencia de este ión.

Como se observa en la Tabla 4, en la época seca las correlaciones fueron también muy débiles, destacándose las mayores correlaciones positivas entre la alcalinidad y el pH ($r=0.690$); alcalinidad y fosfatos ($r=0.624$) y alcalinidad y calcio ($r=0.558$), lo cual es lógico ya que de acuerdo con Roldán y Pérez (2008), los carbonatos son en última instancia los que responden por la alcalinidad y capacidad *buffer* del agua.

Se realizó un análisis de componentes principales en cada época climatológica, con el objetivo de determinar un número reducido de factores que puedan representar a las variables originales mediante la selección de componentes que expliquen la mayor cantidad de varianza observada, reduciendo así el número de atributos sin perder información.

Tabla 4. Matriz de correlaciones entre parámetros para la época seca

	pH	T °C	OD	OD %	Cond.	Turb.	N-NO ₃	N-NO ₂	Alc. (CaCO ₃)	Dur. (CaCO ₃)	Ca ²⁺	SST	SO ₄ ²⁻	PO ₄ -P	Hierro Total
pH	1														
T °C	0,269	1													
OD	-0,062	0,172	1												
OD %	-0,020	0,326*	0,780**	1											
Cond.	0,307*	-0,226	-0,182	-0,369**	1										
Turb.	0,025	0,136	-0,321*	-0,291*	0,098	1									
N-NO ₃	0,293*	-0,172	0,298*	0,069	0,320*	-0,130	1								
N-NO ₂	0,110	0,001	-0,258	-0,226	0,296*	0,220	0,167	1							
Alc. (CaCO ₃)	0,690**	0,220	-0,356*	-0,334*	0,383**	0,212	0,002	0,298*	1						
Dur. (CaCO ₃)	0,235	0,026	-0,160	-0,249	0,204	0,447**	-0,146	0,068	0,228	1					
Ca ²⁺	0,495**	0,419**	-0,091	-0,180	0,468**	0,095	0,255	0,146	0,558**	0,047	1				
SST	0,113	0,099	0,023	-0,007	0,112	0,248	-0,052	0,126	0,223	0,166	0,225	1			
SO ₄ ²⁻	-0,295*	0,038	-0,168	-0,134	0,285*	0,139	-0,212	0,240	0,027	0,026	0,291*	0,154	1		
PO ₄ -P	0,341*	-0,055	-0,290*	-0,365**	0,245	0,404**	-0,021	0,056	0,624**	0,361*	0,238	0,221	0,014	1	
Hierro Total	-0,116	-0,139	-0,268	-0,297*	0,251	0,181	-0,050	0,500**	0,103	0,037	-0,119	-0,022	0,183	-0,042	1

** Los valores son significativos a $P < 0.01$

* Los valores son significativos a $P < 0.05$

Para comprobar la adecuación de los datos se realizó una prueba de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) y una prueba de esfericidad de Bartlett (Tabla 5).

Tabla 5. Pruebas de adecuación muestral y de esfericidad

	Época Lluviosa	Época Seca
Medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)	0,589	0,582
Prueba de esfericidad de Bartlett		
Chi-cuadrado aproximado	511,949	332,581
Gl.	120	120
Sig.	<0,001	<0,001

La medida de adecuación de KMO, que nos indica la proporción de la varianza que tienen en común las variables analizadas, está en el límite deseable, poniendo de manifiesto que, muy probablemente, el proceso de reducción de datos no

sea muy grande. El test de esfericidad de Bartlett, sin embargo, rechaza la hipótesis de diagonalidad de la matriz de correlación indicando que sí existen relaciones significativas entre las variables.

En la Tabla 6 se presentan los autovalores de los factores extraídos y el porcentaje de la varianza total explicada para cada factor. Estos factores son una representación de los 16 parámetros de calidad de agua, usados en el análisis. A partir de los autovalores mayores a 1, en época lluviosa se seleccionaron los primeros 4 factores los cuales explican el 71,66% del total de la varianza de la muestra y para el caso de la época seca se seleccionaron 6 que corresponde al 75,8 del total de la varianza.

Para facilitar la interpretación del análisis factorial, los componentes fueron rotados y de esta forma se mejoró la correlación entre los mismos (Tabla 7).

Tabla 6. Autovalores para cada factor extraído en el análisis factorial y porcentaje de las varianzas explicadas por cada factor para la época lluviosa y la época seca

Componente	Epoca Lluviosa			Epoca Seca		
	Autovalores	% de la varianza	% acumulado	Autovalores	% de la varianza	% acumulado
1	5,224	32,651	32,651	3,896	24,350	24,350
2	2,530	15,812	48,463	2,404	15,022	39,372
3	2,236	13,978	62,441	1,722	10,759	50,132
4	1,476	9,224	71,665	1,572	9,827	59,959
5	0,924	5,778	77,443	1,436	8,973	68,932
6	0,905	5,656	83,099	1,101	6,882	75,814
7	0,659	4,118	87,217	0,845	5,279	81,093
8	0,550	3,438	90,655	0,701	4,383	85,476
9	0,396	2,478	93,132	0,584	3,649	89,125
10	0,367	2,296	95,428	0,505	3,159	92,284
11	0,245	1,531	96,959	0,342	2,137	94,420
12	0,220	1,375	98,334	0,296	1,847	96,267
13	0,126	0,788	99,122	0,224	1,398	97,665
14	0,084	0,525	99,648	0,157	0,982	98,647
15	0,056	0,352	100,000	0,115	0,717	99,364
16	0,000	0,000	100,000	0,102	0,636	100,000

Tabla 7. Componentes principales rotados.

Parámetros	Epoca Lluviosa				Epoca Seca					
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6
pH	-0,197	0,246	0,701	-0,436	0,853	0,009	0,120	-0,047	-0,270	0,151
T °C	0,081	-0,560	-0,401	0,113	0,537	0,391	0,008	0,063	0,132	-0,642
Oxígeno Disuelto (mg/l)	-0,845	0,349	-0,034	0,309	-0,081	0,847	-0,158	-0,256	0,017	0,116
Sat. Oxígeno disuelto (%)	-0,846	0,336	-0,047	0,313	-0,044	0,795	-0,242	-0,219	0,002	-0,216
Conductividad (us/cm)	0,797	0,341	-0,089	0,377	0,319	-0,198	0,121	0,241	0,301	0,674
Turbidez (NTU)	0,258	0,618	0,000	-0,396	0,021	-0,051	0,802	0,285	0,068	-0,143
Nitratos (mg NO3/l)	-0,413	0,411	0,473	0,459	0,240	0,347	-0,151	0,090	-0,166	0,745
Nitritos (mg NO2/l)	0,350	0,528	-0,067	0,124	0,187	-0,065	0,061	0,806	0,136	0,121
Alcalinidad (mg CaCO3/l)	0,597	-0,078	0,498	-0,016	0,809	-0,356	0,237	0,108	0,013	0,017
Dureza (mg CaCO3/l)	0,730	0,422	0,026	0,303	0,076	-0,099	0,763	-0,012	-0,027	0,024
Calcio (mg Ca/l)	0,856	0,173	0,286	0,231	0,777	0,005	-0,008	0,016	0,416	0,149
SST (mg/l)	0,056	0,659	-0,334	-0,367	0,153	0,143	0,445	-0,087	0,501	0,033
Sulfatos (mg SO4/l)	0,536	-0,119	-0,522	0,361	-0,086	-0,170	-0,020	0,206	0,863	-0,035
Fosfatos (mg PO4/l)	0,396	-0,013	0,398	0,096	0,380	-0,390	0,572	-0,184	-0,013	0,135
Hierro Total (mg Fe/l)	0,087	0,506	-0,686	-0,252	-0,140	-0,190	0,038	0,827	0,002	0,045

En la época lluviosa, el componente uno explicó el mayor porcentaje de la varianza (32,6%). Este factor tuvo una importancia positiva alta para Ca^{+2} (0,85), conductividad (0,797) y dureza (0,73), mientras que la mayor importancia negativa estuvo relacionada con el oxígeno disuelto (-0,84) asociado a bajas concentraciones, indicando contaminación por materia orgánica y mineralización. El componente dos que explica un 15,8% de la varianza, está representado con una importancia positiva por sólidos suspendidos totales (0,659) y turbidez (0,618).

En época seca, el componente uno explicó el 24,35% de la varianza con una importancia positiva para pH (0,853), alcalinidad (0,809) y calcio (0,777), que al igual que en el caso anterior son indicativos de contaminación por mineralización. En el componente dos (15,02% de la varianza) se destaca el oxígeno disuelto (0,847) y en el tres (10,76% de la varianza), la turbidez (0,802) y la dureza (0,76).

4. Conclusiones

En el área de la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá, Thomas Van der Hammen se midió la calidad del agua a nivel global a partir de diferentes drenajes superficiales, en dos épocas climatológicas. Los resultados muestran que la calidad del agua no alcanza los objetivos marcados para la cuenca del río Bogotá para usos agrícola y pecuario, los valores de coliformes, SST, hierro y manganeso están por encima de los valores máximos recomendados en la mayoría de los drenajes muestreados.

En términos de contaminación por mineralización y sólidos suspendidos la época más crítica es la época seca, por el contrario en época lluviosa aumentan los nutrientes y disminuye el oxígeno disuelto haciendo más crítica la contaminación por materia orgánica.

Es necesario que se identifiquen los vertidos sobre los diferentes drenajes que no corresponden a

agua lluvia que abundan en la zona dadas las presiones de urbanización y actividades agropecuarias, esto con el fin de tomar las medidas correctivas necesarias para que se puedan alcanzar los objetivos de calidad propuestos para la reserva.

5. Referencias Bibliográficas

1. Acueducto de Bogotá. (2003). Boletín Proteja su Cuenca. Bogotá D.C.
2. Alcaldía de Bogotá. (2008). Calidad del Sistema Hídrico de Bogotá. Bogotá: Editorial Universidad Javeriana.
3. APHA-AWWA-WPCF. (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st ed. American Public Health Association, Washington D.C.
4. Cabrera, L. M. (2007). Diseño del Corredor Ecológico de Borde Norte de Bogotá. Estudio del Sistema Hídrico. Informe Final de Investigación, U.D.C.A. Bogotá.
5. CAR. (2006). Acuerdo 43. Por el cual se Establecen Objetivos de Calidad de Agua para la Cuenca del Río Bogotá para Alcanzar en 2020. Bogotá.
6. CAR. (2011). Acuerdo 11. Por Medio del Cual se Declara la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá D.C., "Thomas Van der Hammen", Se Adoptan unas Determinantes Ambientales para su Manejo y se Dictan otras Disposiciones. Bogotá.
7. CAR. (2006). Propuesta de Metodología para la Determinación de los Objetivos de Calidad de la Cuenca del Río Bogotá. Bogotá.
8. Cardona, C., & Hilera, R. (2002). Propuesta de Estudio Detallado a Nivel Diagnóstico del Humedal de Guaymaral. U.D.C.A. Documento inédito. Bogotá D.C.
9. Departamento Administrativo del Medio Ambiente DAMA (2005). Historia de Cinco Humedales de Bogotá. Recuperado el 2 de septiembre de 2005
10. Departamento Administrativo de Planeación Distrital. (2004). Recorriendo Suba. Diagnóstico Físico y Socioeconómico de las Localidades. Bogotá.
11. Espigares García M. y Fernández-Crehuet M. 1999. Calidad del Agua para Consumo Público: Caracteres Físico-Químicos. En Estudios sanitarios del agua. Pérez López, J. A. y Espigares García M. (eds). Editorial Universidad de Granada, Granada, pp. 85-114.
12. García, R. 1986. Estudio Básico de Sistemas Complejos. En E. Leff, Los Problemas de Conocimiento y la Perspectiva Ambiental del Desarrollo (págs. 59-60). Mexico: Siglo XXI Editores.
13. Harrison, R. (2001). Pollution Causes, Effects and Control. London: Royal Society of Chemistry.
14. Ideam. (2004). Guía para el Monitoreo de Vertimientos, Aguas Superficiales y Subterráneas. Bogotá.
15. Roldán, G.; Ramírez, J. 2008. Fundamentos de Limnología Neotropical. 2ª Edición. Editorial Universidad de Antioquia, Universidad Católica de Oriente, Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Medellín.
16. Secretaria Distrital De Ambiente. 2008. Calidad del Sistema Hídrico de Bogotá. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, SDA, EAAB, 1a Edición.
17. Van Der Hammnen, T. 2003. Propuesta y Recomendaciones para el Manejo de la Zona Norte de la Capital. En G. Ardila, Territorio y Sociedad. El Caso del Plan de Ordenamiento Territorial de la Ciudad de Bogotá (págs. 193 - 206). Bogotá: MAVDT - UN.
18. Villegas, F.A. (1995). Evaluación y Control de la Contaminación. EUN Editorial Universidad Nacional. 146p. Bogotá.