

Contaminación en la cuenca alta del río Bogotá: diagnóstico y ensayo

Ricardo Campos Segura*

Fecha de envío: 27 de octubre de 2010
Fecha de aceptación: 10 de diciembre de 2010

RESUMEN

Para la elaboración de este documento se realizó una revisión de los registros de literatura importantes desde 1968 acerca de la evaluación de la contaminación de la cuenca alta del río Bogotá; asimismo, una serie de propuestas para implementar conductas y planes de manejo tendientes a la solución de problemas y mejoramiento ambientales. Se diseñó y ejecutó un experimento con cultivos de arveja, haba y pasto raigrás, con el propósito de comprobar cómo el agua de riego proveniente del río podría influir en la presencia de elementos tóxicos en el producto final. Se encontró que el problema es grave para el ambiente en general, pues afecta

a los individuos a lo largo de las cadenas tróficas. Las propuestas sobre recomendaciones de conducta, planes de manejo local y planes regionales ya han sido publicadas y son viables. Además de la disposición y voluntad de los habitantes de la región, serían muy importantes los apoyos y políticas estatales. Con el experimento realizado se comprobó la presencia de plomo (Pb) y cromo (Cr) en los cultivos citados, lo que sugiere que los productos de la zona representan riesgos evidentes para la salud humana y animal.

Palabras clave: contaminación, metales pesados, arveja, haba, raigrás.

* Ingeniero, MSc. Profesor, Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad de La Salle. Correo electrónico: rcampos@gmail.com.

POLLUTION AT THE HIGH BASIN OF THE BOGOTA RIVER: DIAGNOSIS AND TESTING

ABSTRACT

Performed a review of important literature records from the year 1968, on the assessment of pollution in the high basin of the Bogotá river and elaboration of proposals for implementing behaviors and tendencies management plans the solution of problems and environmental improvement. Design and run an experiment with crops: pea, bean, and ray-grass, in order to see how the water from the river irrigation could influence the presence of toxic elements in the final product. We found that the problem is severe friendly in general, because they affect individuals in trophic chains. The proposals on: recommendations

for the conduct, local management plans, and regional plans have already been published and are viable. Apart from wanting to inhabitants of the region, would be very important support and state policies. With the accomplished experiment found the presence of lead (Pb) and chromium (Cr) in these crops, suggesting that products area, are obvious risks to animal and human health.

Keywords: pollution, heavy metals, pea, bean, ray-grass.

INTRODUCCIÓN

Un estudio realizado para clasificación de suelos utilizados para fines agrícolas (Carrera, 1968), describe detalladamente las condiciones físicas, geográficas y ambientales resaltando los impactos negativos que las prácticas agrícolas inadecuadas han generado sobre el suelo. La Empresa de Acueductos y Alcantarillado de Bogotá (1974) realizó mejoras en el área del río Bogotá, tendientes a implementar control de inundaciones, aprovechamiento de recursos hídricos y disposición de aguas negras, manejando la problemática de contaminación y los impactos que ha tenido el vertimiento de aguas negras sobre el río. Otro registro importante es, la Zonificación Ambiental para Especies Multipropósito en la Cuenca Alta del Río Bogotá (Rodríguez, 2003), en el cual se resaltan los problemas generados por el uso inadecuado de los suelos, como su uso constante en actividades de pastoreo y cultivos de flores que afectan el ambiente del municipio; así mismo, se evaluaron los impactos generados por las industrias de curtiembres.

Vargas (1995) realizó una evaluación de la contaminación por mercurio y plomo en cultivos de hortalizas de un sector de la cuenca alta del río Bogotá, donde se describe la incidencia de contaminación en cultivos, ocasionado por el riego con aguas del río Bogotá, encontrando concentraciones significativas (Pb 150 ppm, Hg 13ppm, Cd 3ppm y Cr 45 ppm) que se presentan disueltas en la solución del suelo, en fracción de arcilla o ligados a compuestos orgánicos; también, revela los contaminantes y las concentraciones de estos metales en las hortalizas cultivadas. Otra referencia que aborda la descripción y diagnóstico de la cuenca alta del río Bogotá, es la de la Sociedad geográfica de Colombia (1998), que realizó una descripción física y geográfica de la cuenca y analizó los componentes ambientales más impactados por la explotación de los recursos de la zona; este diagnóstico evidencia la sobreexplotación de los recursos, y

resalta el inadecuado desarrollo de prácticas agrícolas que generan impactos sobre el suelo ocasionando su contaminación, deterioro y degradación.

Por su parte, Ruiz (1999) hizo un diagnóstico en la cuenca alta del río Bogotá y propuso recomendaciones sobre proyectos arquitectónicos, urbanísticos y paisajísticos, realizando una caracterización del agua para determinar los metales procedentes de la industria de curtiembre contaminantes, para lo cual se muestrearon 2 puntos obteniendo resultados que demuestran contaminación. Bocanegra (2002) realizó un estudio sobre los efectos de la contaminación del río Bogotá y la calidad de vida, realizando un recuento de las condiciones de contaminación generados por las curtiembres, advirtiendo como estas disminuyen la calidad del agua. En la misma dirección, se encontraron resultados en un estudio sobre diagnóstico de la cuenca ejecutado por Beltrán en el año 2005. Por su parte, Ojeda en 2004, elaboró un diagnóstico ambiental de los vertimientos de curtiembres del río Bogotá en el corredor industrial Villapinzón-Chocontá, donde se evidenció la contaminación generada por curtiembres encontradas durante la realización del estudio y concluye que estos vertimientos disminuyen la calidad del agua y advierte que los metales pesados se acumulan en el subsuelo afectando la vegetación.

Posteriormente, García (2006), llevó a cabo un estudio en el cual analiza la presencia de metales pesados tóxicos, abordando temas sobre la normatividad actual y técnica y, resalta las implicaciones, que sobre la salud pueden acarrear la acumulación y exposición a metales, entre ellas las afecciones causadas por: plomo, mercurio, cromo y cadmio. El plomo tiene efectos nocivos sobre el crecimiento vegetal. Si bien al principio de una aplicación el crecimiento se intensifica, a partir de los 5 ppm se produce un retraso del crecimiento considerable acompañada de decoloración y anomalías morfológicas (Rama y Ligy,

2005). También la fotosíntesis, la respiración y otros procesos de intercambio metabólico se ven perturbados.

Finalmente, el plomo inhibe la asimilación de nutrientes esenciales. El cadmio tiene relaciones importantes con el cromo y el plomo. En las plantas, el Cd interfiere en la entrada, transporte y utilización de elementos esenciales (Ca, Mg, P y K) y del agua, provocando desequilibrios nutricionales e hídricos en la planta (Poschenrieder et ál. 1989; Sandalio et ál. 2001; Singh y Tewari 2003). Igualmente, reduce la absorción de nitratos y el transporte de los mismos de la raíz al tallo además, inhibe la actividad nitrato reductasa en tallos (Gouia et ál. 2000). Uno de los síntomas más extendidos de la toxicidad por cadmio es la clorosis producida por una deficiencia en hierro (Benavides et ál. 2005), fosfatos o, por la reducción del transporte de Mn (Goldbol y Hutterman, 1985). Por otra parte, el uso de abonos fosfatados aumenta el ingreso de Cr al suelo (Zayed y Terry, 2003) y se incrementa con niveles de cadmio en el suelo.

Los metales pesados presentes en el suelo pueden afectar directamente algunas de sus propiedades físicas y químicas tales como las propiedades de las arcillas, la materia orgánica, la cual reacciona con los metales formando complejos de cambio y quelatos. Una vez formados los quelatos o complejos pueden migran con mayor facilidad a lo largo del perfil. La materia orgánica puede adsorber tan fuertemente a algunos metales, como el Cu, que pueden quedar en posición no disponible por las plantas. Algunas plantas que crecen en suelos con contenidos orgánicos altos, presentan carencia de ciertos elementos como el Cu, Pb y Zn, que forman quelatos solubles muy estables (Wong et ál., 2002).

Cuanto mayor sea la capacidad de intercambio catiónico, mayor será la capacidad del suelo de fijar metales. El poder de adsorción de metales pesados depende de su valencia y del radio iónico hidratado;

a mayor tamaño y menor valencia, quedan menos fuertemente retenidos (Rodríguez et ál., 2008).

DIAGNÓSTICO DE CONTAMINANTES

Se establecieron los contaminantes que afectan a los suelos del área de estudio y a partir de estos se escogieron los metales pesados, sobre los cuales se enfatizó: plomo y cromo.

ZONA DE ESTUDIO

El Municipio de Chocontá, Cundinamarca (Colombia), ubicado en la provincia del Almeida, se encuentra a 75 km de Bogotá cuenta con una temperatura promedio de 13 °C y una población de 17974 habitantes. La cabecera municipal está situada a los 5° 09´ de Latitud Norte y 73° 42´ de Longitud Oeste, sobre una altura sobre el nivel del mar 2,655 m y temperatura media 13 °C. Chocontá cuenta con una extensión territorial de 301,1 km², de los cuales 1,44 km² (0,48%) corresponden al área urbana y 299,66 km² (99,52%) al sector rural. Los objetivos propuestos consistieron en:

- Recopilar y analizar información, sobre la contaminación y características en la zona de influencia de la cuenca alta del río Bogotá.
- Diagnosticar sobre problemas de contaminación.
- Desarrollar una prueba sobre cultivos de arveja, haba y pasto raygrás, midiendo variables como: área foliar, altura, peso seco, peso fresco y concentración de contaminantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

El muestreo se realizó siguiendo la metodología propuesta por la EPA (1991). De cada grupo de submuestra y muestra se tomaron 500 g que fueron los analizados en el laboratorio para la determinación de

los metales de estudio. A partir del análisis, basados en los suelos que contenían una mayor concentración de metales se determina un punto de muestreo como representativo por presentar altas concentraciones de plomo y cromo y óptimas condiciones para la siembra de las especies vegetativas por cultivar para realizar el experimento. Las muestras se tomaron a una profundidad de 20 cm, así: inicialmente se tomaron cuatro muestras y posteriormente 20 submuestras (20 cm x 20 cm c/u); la profundidad de toma fue de 20 cm.

Los cultivos escogidos para la prueba fueron: arveja, *Pisum sativum*; haba, *Vicia faba* y, pasto raygrás, *Lolium*

multiflorum. Se realizó un diseño completamente al azar, estableciendo tres replicaciones por planta (arveja, haba y pasto raygrás) determinando área foliar, altura, peso seco, peso fresco, y concentración de contaminantes. Se efectuó un riego diario correspondiente a 100 ml, monitoreando temperatura diurna (14-18 °C) y nocturna (5-8 °C) durante 45 días.

Para la determinación de metales pesados las muestras fueron llevadas a la Universidad Nacional de Colombia, para determinar trazas del orden de 0,01-0,05 ppm para los metales pesados en solución. La concentración absorbida por la planta se determinó por absorción atómica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DE LAS PRUEBAS

Se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados obtenidos en laboratorio

Muestra	pH	CIC	CICE	AI	MO	CO	N
		meq/100g			%		
1	5,7	21,3	26,9	0,00	5,9	3,45	0,30
2	5,2	22,6	18,3	0,37	5,2	3,05	0,26
3	5,0	29,4	18,1	0,81	8,13	4,72	0,41
4	6,7	16,0	20,5	0,00	3,06	1,79	0,15

CIC: capacidad de intercambio catiónico; CICE: capacidad de intercambio catiónico efectiva; N: nitrógeno total; MO: porcentaje de materia orgánica (CO*1,724); CO: carbono orgánico oxidable; AI: acidez intercambiable.

Muestra 1: No presentó problemas de acidez, la cantidad de nitrógeno se encontró en un rango medio alto, y el contenido de materia orgánica fue considerado como medio. Corresponde a la CIC efectiva más alta de las muestras, aunque el Aluminio es nulo.

Muestra 2: El contenido de materia orgánica fue medio, mientras que el de nitrógeno se encontró en un rango bajo medio.

Muestra 3: La cantidad de materia orgánica de esta muestra fue de 8,13% porcentaje, más alto que las demás muestras; Sin embargo, su pH es muy ácido y presenta alta concentración de aluminio intercambiable.

Muestra 4: Presentó bajo contenido de materia orgánica con respecto a las otras muestras (3,06%); la capacidad de intercambio fue de nivel medio.

ANÁLISIS DE CONTAMINANTES

Se realizó un análisis para determinar la muestra de suelo con mayor concentración de los metales (plomo, cadmio, cromo) por utilizar en la prueba piloto (tabla 2).

De acuerdo con lo anterior, el suelo escogido para desarrollar la prueba piloto, fue la muestra 4, por presentar mayor acumulación de metales respecto a las demás muestras. Los resultados indican que las concentraciones determinadas para cada muestra no superan las normas de la EPA.

Tabla 2. Concentración de los metales

Número de muestras	Cromo	Plomo
1	3,7	2,5
2	2,4	1,2
3	6,2	3,7
4	11,0	3,7

ENSAYO

El análisis químico se basó en el método 3050 de la EPA (medición de metales pesados). Las variables determinadas fueron: área foliar y altura para el cromo, peso seco parte aérea y peso seco raíz en el caso del Pb (tabla 3).

Tabla 3. Concentración de los metales en el cultivo de arveja

Cultivo	Réplicas	Metal	Medición (ppm)	Parámetros físicos	Unidades
Arveja	1	Cromo	1,47	Altura de planta (cm)	41,50
				Área foliar (cm ²)	211,85
		Plomo	3,015	Peso seco parte aérea (g)	0,59
				Peso seco raíz (g)	0,53
	2	Cromo	3,276	Altura de planta (cm)	46,00
				Área foliar (cm ²)	202,01
		Plomo	3,761	Peso seco parte aérea (g)	0,14
				Peso seco raíz (g)	0,21
	3	Cromo	1,649	Altura de planta (cm)	53,5
				Área foliar (cm ²)	108,46
		Plomo	3,523	Peso seco parte aérea (g)	0,62
				Peso seco raíz (g)	0,47

La arveja presentó concentraciones elevadas de plomo y cromo. Se puede concluir que este cultivo, que presentó mayor susceptibilidad a los metales pesados presentes en el suelo (tabla 4) y que es de con-

sumo masivo, representa riesgos para los consumidores. En cuanto al cromo, no es posible observar correlaciones entre concentración y variables.

Tabla 4. Concentración de los metales en el cultivo de haba

Cultivo	Réplicas	Metal	Medición (ppm)	Parámetros físicos	Unidades
Haba	1	Cromo	2,219	Altura de planta (cm)	42,00
				Área foliar (cm ²)	208,25
		Plomo	1,332	Peso seco parte aérea (g)	0,55
				Peso seco raíz (g)	1,19
	2	Cromo	2,195	Altura de planta (cm)	38,00
				Área foliar (cm ²)	156,15
		Plomo	0,649	Peso seco parte aérea (g)	0,48
				Peso seco raíz (g)	0,92
	3	Cromo	1,815	Altura de planta (cm)	39,00
				Área foliar (cm ²)	191,27
		Plomo	2,014	Peso seco parte aérea (g)	0,59
				Peso seco raíz (g)	1,11

El haba en algunos casos presentó concentraciones de plomo y cromo más bajas que las encontradas en arveja; sin embargo, también se deben tener precauciones con su consumo, teniendo en cuenta estos valores. Con relación al plomo, con valores de concentración baja (0,649) se obtienen mediciones similares a las encontradas en dos y tres veces más altas. Esto podría plantear que existe un rango de concentración por encima de la cual no se dan efectos

sobre las variables estudiadas. En estos casos, cuando la estimación del metal contenido en los suelos indica grados de contaminación, el origen y la diferencia entre la contribución natural y antrópica debía ser considerada (Marijia and Davor, 2003). El pasto registró menores concentraciones de plomo y cromo que la arveja y el haba, aunque se sugieren otros estudios para confirmar efectos de su utilización (tabla 5).

Tabla 5. Concentración de los metales en el cultivo de pasto

Cultivo	Réplicas	Metal	Medición (ppm)	Parámetros físicos	Unidades
Pasto raigrás	1	Cromo	1,44	Altura de planta (cm)	12,50
				Plomo	0,968
		Peso seco raíz (g)	0,88		
	2	Cromo	1,174	Altura de planta (cm)	12,00
				Plomo	1,449
		Peso seco raíz (g)	1,10		
	3	Cromo	1,525	Altura de planta (cm)	11,00
				Plomo	1,275
		Peso seco raíz (g)	0,94		

De acuerdo con la EPA (1991), el suelo no posee un grado de contaminación o este es muy bajo (< 150 mg/Kg), por lo tanto la concentración detectada del plomo corresponde a la cantidad que tiende a acumularse con fuerza en las arcillas muy fina y suelos con alta cantidad de materia orgánica, en los primeros 2 a 5 cm de profundidad en el suelo.

Por otra parte, el plomo del suelo en el área de estudio proviene de las tintas utilizadas en el proceso de curtido del cuero en las curtiembres río arriba de la zona muestreada, razón por la cual estas tintas son vertidas en los cuerpos de agua que alimentan al río Bogotá, el cual a su vez, es usado para riego

de cultivos, provocando una acumulación en la capa superior del suelo; allí se adhiere fuertemente a partículas del suelo y permanece en la capa superior sin mucha movilidad; de esta forma el suelo resulta ser una especie de capsula para el plomo en el ambiente. Las variaciones en la acumulación de contaminantes pueden ser debidas a factores incontrolables dentro de la metodología de muestreo, sin embargo es posible determinar que existe bioacumulación de los contaminantes plomo y cromo en cantidades similares para las especies trabajadas. Se realizó el análisis de las variables de cada planta en relación con los contaminantes analizados (tabla 6).

Tabla 6. Análisis estadístico de resultados

Planta	Cromo		Plomo	
	Promedio (ppm)	Desviación estándar	Promedio (ppm)	Desviación estándar
Arveja	2,13	0,99	3,43	0,38
Haba	2,08	0,23	1,33	0,68
Pasto raigrás	1,38	0,18	1,23	0,24

Estas mediciones se realizaron con base en las nueve replicaciones y se puede observar que existe alta correlación entre la altura, el área foliar de la planta y la concentración de contaminantes (cromo). Sin

embargo, la relación es inversa para las raíces y la bioacumulación de contaminantes se refleja más significativamente en hojas y tallos (tabla 7).

Tabla 7. Correlación de las variables

		Altura	Área foliar	Peso seco parte área	Peso seco raíz
1	Correlación de Pearson	0,552	0,614	-0,532	-0,458
2	Sig. (bilateral)	0,123	0,079	0,141	0,215
N	N	9	9	9	9

Se observa que la relación entre plomo la altura y área foliar es directamente proporcional, y que se presenta un relación inversa con el peso seco de la raíz. Se puede concluir que el cromo se acumula en mayor concentración en hojas y tallos. El cromo afecta de forma similar los tres tipos de plantas. La movilidad del cromo en el suelo solamente puede evaluarse si se consideran la capacidad de adsorción y reducción de los suelos y de los sedimentos. Los hidróxidos de cromo (III), una vez sedimentados y fijados en el sedimento acuático, difícilmente vuelven a movili-

zarse, dado que la oxidación de los compuestos de cromo (III) para formar compuestos de cromo (VI) prácticamente no ocurre de forma natural. El cromo (III), es la forma más estable de cromo en el suelo. Los compuestos de hidrógeno (III), realizan su precipitación completa a un pH de 5.5, cercano al de la muestra en estudio. En general, las especies presentaron una tendencia a acumular más cromo a medida que tenían mayor desarrollo. Para evaluar si el plomo se bioacumula de forma similar en los tres tipos de plantas se realizó la prueba de Tukey (tablas 8 y 9).

Tabla 8. Análisis de varianza

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Intergrupos	9,277	2	4,638	20,760	0,002
Intragrupos	1,341	6	0,223		
Total	10,617	8			

Tabla 9. Análisis de varianza y prueba de Tukey

Planta	Planta	Diferencia de medias	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
1	2	2,101566	0,385945	0,004	0,91738	3,28575
	3	2,202276	0,385945	0,003	1,01809	3,38646
2	1	-2,101566	0,385945	0,004	-3,28575	-0,91738
	3	0,10071	0,385945	0,963	-1,08347	1,28489
3	1	-2,202276	0,385945	0,003	-3,38646	-1,01809
	2	-0,10071	0,385945	0,963	-1,28489	1,08347

COMPARACIONES MÚLTIPLES (TUKEY)

El plomo se bioacumula de forma diferente en los tres tipos de plantas, como es evidente en el nivel de significancia que muestra un valor de 0,002. Se

puede concluir que el plomo evidentemente afecta de manera distinta a cada una de las especies sembradas. Como se observa en la tabla 10, el plomo se acumula de manera más significativa en el cultivo de arveja.

Tabla 10. Resultados de la medición con la Prueba de Tukey

Planta	N	Subconjunto para alfa = 0,05	
		1	2
3	3	1,23068	
2	3	1,33139	
1	3		3,43295
Sig.		0,96300	1,00000

Al igual que el cromo, el plomo no presentó diferencias significativas de acumulación entre las especies de plantas, sin embargo se observa mayor absorción en las plantas de arveja (*Pisum*), salvo las más desarrolladas, confirmando que una planta con mayor biomasa favorece la absorción de un contaminante.

PROPUESTAS DE SANEAMIENTO AMBIENTAL

Gran parte de la contaminación del suelo presente en el municipio proviene del manejo inadecuado de residuos, su uso indiscriminado y el vertimiento de aguas residuales de las industrias y al río Bogotá que se utiliza como fuente de abastecimiento para muchos cultivos en la zona. La problemática de los vertimientos se agudiza con las curtiembres cuyos residuos líquidos y sólidos afectan la calidad del agua del río Bogotá afectando la vida acuática, generando problemas de salud pública y aumentando la contaminación de suelos y bioacumulación de las especies cultivadas en esta zona. Lo anterior puede acarrear a futuro impactos negativos sobre el medio ambiente y la salud que no podrían ser contrarrestados, si se descuidan.

Las soluciones de saneamiento ambiental que han propuesto diversos autores desde el año 1968, se deben implementar en los municipios de Villapinzón y Chocontá principales contaminadores del río. Las propuestas para el municipio de Villapinzón están enfocadas hacia un uso eficiente de los recursos, y un manejo responsable de los residuos generados en la industria de las curtiembres.

Asimismo, se requiere implementar otras medidas como: capacitación al personal en cuanto al uso de los productos químicos utilizados y adecuada disposición y el tratamiento previo de las aguas residuales generadas en el proceso a fin de disminuir las concentraciones contaminantes. Es necesario que las industrias de la zona realicen un manejo adecuado de vertimientos evitando la disposición final de los mismos en el río o en el alcantarillado del municipio. La recuperación del río podría ser llevada a cabo si los dos municipios encaminan sus acciones hacia este objetivo ya que estos son los que mayor contaminación aportan actualmente.

Por otra parte, se debe instruir a los cultivadores acerca del manejo adecuado de los residuos provenientes del uso de agroquímicos concientizándolos de los riegos de mala disposición de los mismos en los cuerpos de agua. Otro punto es manejar adecuadamente la dosis a utilizar en los cultivos para evitar el desequilibrio ambiental. Se debe fomentar por parte de los organismos pertinentes la rotación de cultivos en la zona con el fin de evitar la pérdida del suelo y de hacer eficiente el consumo de agua; también se puede incentivar el cultivo de especies que aporten requerimientos nutricionales al suelo, y aumenten la materia orgánica del mismo, como las leguminosas (aporte de nitrógeno). Por último, las áreas más impactadas deben ser reforestadas empezando en las rondas de los ríos utilizando especies adecuadas recomendadas por la CAR.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amézquita Hurtado, O. (1983). *Caracterización del calcio en algunos suelos de la cuenca alta del río Bogotá*. Trabajo de Grado (Químico), Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias, Departamento de Química, Bogotá.
- Beltrán García, G.A. (2005). *Diagnóstico ambiental e inventario del recurso hídrico de la cuenca Bogotá*. Trabajo de grado (Ingeniero Ambiental y Sanitario), Universidad de La Salle, Facultad de Ingeniería, Bogotá.
- Benavides, M.P.; Gallego, S.M. y Tomaro, M. (2005). Cadmium toxicity in plants. En: *Brazilian Journal of Plant Physiology* 17:21-34.
- Bocanegra Jiménez, J. (2002). *Análisis de los efectos de la contaminación del río Bogotá en la calidad de vida en el recurso hídrico en Bogotá*. Bogotá: Biblioteca Universidad de Los Andes.
- Carrera, E. (1968). *Estudio general de clasificación de suelos de la cuenca alta del río Bogotá para fines agrícolas*. Bogotá: IGAC.
- Colmenares, A. (1997). *Impacto en la distribución del ingreso del esquema de financiamiento del proyecto del río Bogotá*. Bogotá: Universidad de Los Andes.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (2010). *Plan de gestión social para compra de áreas y derechos adquiridos sobre los terrenos que requiere el proyecto de adecuación hidráulica y recuperación ambiental del río Bogotá, Colombia*.
- EPA (1991). *Descripción y muestreo de suelos contaminados*. Informe EPA/625/12-91/002. Centro para la Información de Investigación Ambiental, Cincinnati, Ohio.
- García Nariño, C. (2006). Metales pesados toxicológicos. En *Diagnóstico clínico de las intoxicaciones por plomo, mercurio, cromo y cadmio*. Colombia, pp. 24-37. (Biblioteca Universidad Javeriana).
- Goldbol, D.L. & Hutterman, A. 1985. Effect of zinc, cadmium and mercury on root elongation on *Picea abies* (Karst.) seedlings and the significance of these metals to forest die-back. En: *Environmental Pollution* 38:375-381.
- Gouia, H.; Ghorbal, M.H. & Meyer, C. (2000). Effects of cadmium on activity of nitrate reductase and on other enzymes of nitrate assimilation pathway in bean. En: *Plant Physiology and Biochemistry* 38:629-638.
- McLaughlin, M.J. & Singh, B.R. (1999). *Cadmium in Soils and Plants*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands.
- Ojeda Cruz, D. (2004). *Diagnóstico ambiental por vertimientos de residuos de curtiembres al río Bogotá en el corredor industrial Villapinzón-Chocontá*, p. 114. Trabajo de grado (geógrafo), Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Humanas, Departamento de Geografía, Bogotá.
- Poschenrieder, C.; Gunsé, B. & Barceló, J. (1989). Influence of cadmium on water relations, stomatal resistance, and abscisic acid content in expanding bean leaves. En: *Plant Physiology* 90:1365-1371.
- Rama, K. & Ligy, P. (2005). Bioremediation of Cr (VI) in contaminated soils. *J. Hazard. Mater.* B121, 109–117.
- Rodríguez Mojica, F. (2003). *Zonificación forestal para especies multipropósito en la cuenca alta del río Bogotá*. 134 (Biblioteca Luis Ángel Arango, Bogotá).

- Rodríguez-Serrano, M. et ál. (2008). Toxicidad del cadmio en plantas. En: *Ecosistemas* 17(3):139-146.
- Ruiz Solano, P.A. (1999). *Diagnóstico y recomendaciones de proyectos arquitectónicos, urbanísticos y paisajísticos de la cuenca alta del río Bogotá*, pp. 10-77 (Biblioteca Luis Ángel Arango, Bogotá).
- Sandalio, L.M. et ál. (2001). Cadmium-induced changes in the growth and oxidative metabolism of pea plants. En: *Journal of Experimental Botany* 52:2115-2126.
- Singh, P.K. & Tewari, R.K. (2003). Cadmium toxicity induced changes in plant water relations and oxidative metabolism of *Brassica juncea* L. plants. En: *Journal of Environmental Biology* 24:107-112.
- Sociedad Geográfica de Colombia (1998). *Plan de ordenamiento territorial de la cuenca alta del río Bogotá*, pp. 60-136 (Biblioteca Universidad de Los Andes, Bogotá).
- Sociedad Geográfica de Colombia (2000). *Plan de ordenamiento territorial de la cuenca alta del río Bogotá*, pp. 60-136 (Biblioteca Universidad de Los Andes, Bogotá).
- Vargas Zarate, O. (1995). *Evaluación del grado de contaminación por mercurio y plomo en suelos de un sector de la cuenca alta del río Bogotá y su incidencia en el cultivo de hortalizas*, pp. 122. Trabajo de Magíster (Suelos) Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, Posgrado en suelos, Bogotá.
- Wong, S.C. et ál. (2002). Heavy metals in agricultural soils of the Pearl River Delta, South China. En: *Environmental Pollution*, 119, 33-44.
- Zayed, A.M. and Terry, N. (2003). Chromium in the environment: Factors affecting biological remediation. *Plant Soil*. 249:139-156.