



**Determinación de los niveles de
contaminación por metales pesados tóxicos
en los principales sub-sistemas de producción
de la planicie aluvial baja del Rio Bogotá**

EQUIPO DE TRABAJO :

I.A. EDGARDO JOSÉ GARCÍA BARROS
I.A. M.Sc. OMAR MONTENEGRO RAMOS
M.V.Z. M. Sc. JORGE ALBERTO RUBIANO CALDERÓN
Agrólogo M. Sc. RICARDO ALFARO RODRÍGUEZ
I.A. M. Sc. ANTONIO MARÍA CAICEDO
I. Forestal AUGUSTO OCAMPO OSORIO
I.A. . M.Sc. ROBERTO SIMONDS
I.A. M. Sc. JUAN JOSÉ RIVERA VARÓN
Ec. Hogar LILY FIGUEROA
Ing. Sistemas CONSUELO ARCE

RESUMEN

Las aguas del río Bogotá son la única fuente utilizada para riego en la planicie aluvial baja del mismo en cultivos de pastos, arroz y plátano, principalmente. Existen múltiples referencias acerca de la carga contaminante que aporta el río a los suelos desde la parte alta de su cuenca ; en los sistemas de producción agropecuaria el mayor riesgo es la presencia de elementos tóxicos correspondientes a metales pesados, acumulados en el suelo, de donde se translocan a los diferentes estructuras de las plantas cultivadas.

Aparte de la contaminación orgánica, el río Bogotá vierte diariamente en la desembocadura en el Magdalena : 79 kg de Cromo, 5 t de detergente, 79 kg de plomo, 22 t de hierro y 1.473 t de sólidos en suspensión.

Existen múltiples estudios sobre la calidad de las aguas del río Bogotá que demuestran los niveles tóxicos de los elementos mercurio, plomo, arsénico y cadmio ; pero se desconocen la dinámica de su acumulación en el suelo y los procesos de absorción por parte de las plantas y su concentración en los tejidos, permitiendo suponer que este proceso de translocación y acumulación se realiza a las cosechas y posteriormente a los animales y al hombre, basándose en los hallazgos de tales elementos en las partes comestibles de hortalizas cultivadas en suelos de la sabana y regados con aguas del río Bogotá.

La ciencia médica, por su parte, ha demostrado que estos elementos tóxicos causan graves alteraciones en la salud humana y animal, como :

- El Plomo causa anemia, al retardar la maduración normal de los glóbulos rojos.
- El mercurio afecta el sistema nervioso central e induce a malformaciones genéticas.
- El Arsénico es extremadamente venenoso y persistente en el organismo causando múltiples reacciones en el metabolismo enzimático. Produce disfunción renal con daño irreversible del glomérulo y es inductor de cáncer en la piel.
- El Cadmio es la principal causa de los denominados bebés azules; al combinarse con la con los grupos SH del Hígado produce la Metalotioenina, siete veces más tóxica que el Cadmio solo. También se considera un inductor de cáncer prostático y testicular.

OBJETIVO GENERAL

Identificar y cuantificar el grado de contaminación producida por metales pesados tóxicos (Hg, Pb, As y Cd) en los principales subsistemas de producción agrícola (arroz, pastos y plátano) y pecuario (bovinos) en la planicie aluvial baja del río Bogotá.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la presencia de mercurio, plomo, cadmio y arsénico en aguas del río Bogotá, utilizadas para riego en el área de estudio.
- Cuantificar e interpretar los niveles de los elementos metálicos pesados tóxicos en estudio en los suelos dedicados a las explotaciones agropecuarias del área.
- Determinar y cuantificar la existencia de los elementos metálicos pesados tóxicos en tejido vegetal. (arroz, pastos y plátano).
- Determinar la presencia de los metales pesados tóxicos en los tejidos: músculo , riñón y leche de los bovinos explotados en el área de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del área de estudio:

La planicie aluvial baja del río Bogotá se encuentra ubicada en el valle cálido del alto Magdalena, región limitada por los municipios: Tocaima, Agua de Dios, Ricaurte y Girardot.

Según Holdrighs, el área corresponde a la denominada Bosque Seco Tropical (BST), cuya altura oscila entre los 290 y 450 msnm, con temperatura media de 28°C y precipitación de 1.250 mm/año.

En la planicie existen 14.000 hectáreas en pastos, de las cuales el 28 % (4.000 ha), regado con las aguas del río Bogotá, sostiene cerca de 6.000 cabezas de ganado bovino, en su mayoría para producción de carne y leche.

En la zona se cultivan 2.000 ha/año de arroz, con una producción promedio de 6 t/ha, para un volumen de 12.000 t de paddy, equivalentes a 8.000 t de arroz blanco destinadas al consumo humano, con un valor cercano a 600 millones de pesos.

En sus vegas se cultivan 300 ha de plátano, con una producción aproximada de 30 t/ha comercializables en los mercados locales.

Desde el punto de vista social, los pequeños productores se dedican en un 90 % a la producción de plátano y otras especies y constituyen el 80 % de la mano de obra de las grandes empresas agropecuarias de la región.

MATERIALES Y MÉTODOS:

Tanto para las especies agrícolas (arroz, plátano y pastos) como para la pecuaria (bovina) se realizaron muestreos estratificados, en la fase exploratoria. En la fase dinámica del subsistema pecuario se estableció un experimento utilizando un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. El experimento tuvo una duración de 204 días. Tablas 1 y 2.

Tabla 1. Muestreos subsistema agrícola.

Especie	Entrada Agua	Salida Agua	Suelo	Hoja total	Grano o Fruto
Arroz	3	3	6	6	6
Plátano	3	3	6	6	6
Pastos	7	6	12	12	
Total	13	12	24	24	12

Tabla 2. Muestreos subsistema pecuario.

Especie	Orina	Hece	Leche
Bovinos	25	25	10

Los análisis y determinaciones en agua, suelo y en los tejidos vegetales, se realizaron en el laboratorio Química de Santafé de Bogotá, con metodologías específicas para cada muestreo.

En el análisis del agua, se tuvieron en cuenta las determinaciones tanto en la entrada como en la salida de los predios regados.

En la determinación de los metales tóxicos tanto para las partes agrícola y pecuaria se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica con horno de grafito y generador de hidruros para el mercurio. En los procesos de digestión y mineralización de las muestras se utilizó las técnicas recomendadas por Igor M. Skurikhin del Instituto de nutrición de la URSS (1989).

Para suelo, se determinó el contenido de Hg, Pb, Cd y As, bajo dos condiciones: la primera, la de someter la muestra a digestión fuerte, que se realiza con agua regia (3 vol de HCl y 1 vol de HNO₃) en caliente; puede considerarse que este extracto contiene la fracción pseudototal de los elementos del suelo, quedando únicamente en la fracción residual los metales

fuertemente ligados en las redes cristalinas de los minerales que no son atacados por los ácidos usados ; la segunda fue una extracción débil (HCl 1 N) que incluye los elementos del suelo considerados movilizables o fácilmente extractables, es decir, la fracción activa, que a su vez es denominada potencialmente biodisponible o lixiviable. Con estas dos determinaciones puede calcularse el factor de movilidad (FM). Tabla 3.

Tabla 3. Interpretación del Factor de Movilidad (FM)

VALOR	CALIFICACIÓN
1 - 3	(bajo)
3 - 6	(medio)
> 6	(alto)

Los muestreos de leche fueron tomados en forma aleatoria en 10 explotaciones. De cada muestra se enviaron 250 ml tomados al momento del ordeño. Tanto de músculo como de riñón se enviaron 400 g.

La información desde el punto de vista estadístico se manejó estableciendo una hipótesis nula, referida a valores conocidos como límite normal superior o máximo en el contenido de elementos metálicos pesados tóxicos y una hipótesis alterna que rechaza la hipótesis nula asegurando que las medias de la población muestreada son superiores a los valores máximos críticos descritos. Para esto se utilizó la prueba de T, de una sola cola.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Subsistema Agrícola.

La tabla 4 contiene los resultados de los cuatro metales hallados en agua. Obsérvese como el metaloide Arsénico fue positivo para el 100 % de las muestras. El Cadmio ocupó el segundo lugar con un 72 % de las muestras. El Plomo resulto positivo para un 24 % de ellas. El mercurio fue negativo. Es importante resaltar que el 33 % de las muestras positivas a Cadmio superan el nivel permisible determinado por la EPA (Environmental Protection Agency).

Tabla 4. Niveles de metales pesados en aguas del río Bogotá, destinadas al riego de los sistemas de producción en la planicie aluvial baja.

ITEM	ELEMENTOS (mg/l)			
	Pb	Cr	Cd	As
No. de muestras analizadas	25	25	25	25
Muestras positivas (%)	0	24	72	100
Intervalo de concentración para las pruebas positivas	-	0-9	0-64	20-53
Promedio de las muestras positivas	-	6.5	8.13	37.7
Límite máximo permisible EPA	1.0	10	5	50
% positivos que superan el límite permisible	-	-	33	12

Los niveles de Cadmio hallados en la entrada de agua en los lotes fue cinco veces superiores que los hallados en la salida (Drenaje). Con respecto a los niveles tanto de Arsénico como de Plomo su relación es menor. En los tres casos se observa un proceso de acumulación activo en los suelos estudiados.

Los resultados de los metales hallados en el suelo se encuentran en la tabla 5. El 100% de las muestras resultaron positivas para todos los metales. El 78 % de las positivas para cadmio resultaron superiores al límite máximo permisible. Un 43 % de las muestras positivas para arsénico fueron superiores al máximo permisible. El 26 % de las muestras positivas para mercurio resultaron superiores a los límites máximos.

De 2.440 mcg hallados en el suelo de Arroz, 1.170 mcg o sea el 49 % corresponde a la fracción disponible o potencialmente absorbible. Del total de la fracción disponible 866.7 (74 %) se hallaron en el tejido foliar y 537 (46 %) en el grano.

Tabla 5. Niveles de metales pesados en suelos del río Bogotá, destinados al riego de los sistemas de producción en la planicie aluvial bajao

ITEM	ELEMENTOS (mg/l)			
	Pb	Cr	Cd	As
No. de muestras analizadas	23	23	23	23
Muestras positivas (%)	100	100	100	100
Intervalo de concentración para las pruebas positivas	33-345	14-29	1.8-6.8	2.5-14.5
Promedio de las muestras positivas	98	25	4.5	7.8
Límite máximo permisible EPA	100	28	3	8.4
% positivos que superan el límite permisible	26	5	78	43

Así mismo se presentan los resultados para Plátano y Pastos. En este último de la fracción disponible se encontró un 42 % (1.275 mcg) en tejido foliar.

De la fracción disponible o potencialmente absorbible de Arsénico (4.670) en arroz, el tejido foliar absorbe el 25 %; el grano lo hace en un 9 %. El tejido foliar y el fruto del plátano absorben respectivamente el (25 y 21 %) del Arsénico disponible. El pasto recoge el (24 %) de la fracción disponible del metal. El Plomo prácticamente se queda en el suelo y difícilmente es absorbido y translocado por la planta.

Los factores de movilidad para los elementos cadmio, arsénico y plomo se encuentran en la tabla 6, donde se relacionan los contenidos seudototales con las fracciones potencialmente absorbibles por las plantas encontrándose un factor de movilidad del elemento dentro del perfil del suelo al igual que un remanente correspondiente al metal que se encuentra atrapado en las redes cristalinas de la matriz del suelo.

Tabla 6. Factores de movilidad para Pb, As y Cd en los suelos analizados.

Metal (ppm)	Especie	EP	ED	B	FM	FD (%)
Pb	Arroz	38	23.3	14.7	2.58	61.3
	Plátano	23.3	16.3	7	3.33	69.9
	Pastos	24.58	15.5	9.08	2.07	63.05
As	Arroz	7.37	4.67	2.7	2.73	63.36
	Plátano	8.4	2.73	5.67	1.48	32.5
	Pastos	8.6	3.25	5.35	1.6	37.79
Cd	Arroz	2.4	1.17	1.23	1.95	48.75
	Plátano	6.33	4.37	1.96	3.22	69.03
	Pastos	4.7	3.03	1.67	2.81	64.47

Subsistema pecuario

En la tabla 7 correspondiente a la fase exploratoria, se encuentran los niveles de arsénico, cadmio, mercurio y plomo en el tejido muscular analizado. El 100% de las muestras resultaron positivas a plomo, el 76% a mercurio, el 80% a cadmio y el 52% a arsénico. El total de las muestras positivas al Metaloide Arsénico superan el límite máximo permisible. El cadmio, el mercurio y el plomo también superaron los límites permisibles en cantidad de 90%, 95% y 96% respectivamente.

Tabla 7. Niveles de metales pesados en bovinos (base húmeda). Resultados de la fase exploratoria.

METALES ANALIZADOS	TEJIDO	As	Cd	Hg	Pb
Muestras analizadas (Nº)	Músculo	25	25	25	25
	Riñón	25	25	25	25
	Leche	10	10	10	10
Muestras positivas (%)	Músculo	52	80	76	100
	Riñón	100	88	72	92
	Leche	30	90	60	100
Intv. de concentración muestras positivas (ug/kg)	Músculo	140-485	39-373	45-812.6	359-25158
	Riñón	291-1596	110-2839	647.2-1	562-6513
	Leche	120-133	1.8-6.9	17.3	5-805
Promedio de muestras positivas	Músculo	250.6	118.8	241.8	3679.4
	Riñón	660.9	635.5	276.2	1871.8
	Leche	127.7	3.1	6.3	325.9
Límite máximo permisible (LM) en ug de metal/kg (L) alimento	Músculo	120	50	48	500
	Riñón	1000	100	160	600
	Leche	50	20	2	50
Muestras positivas que superan el nivel permisible (%)	Músculo	100	90	95	96
	Riñón	20	100	72	91
	Leche	100	0	100	90

Los resultados de plomo, cadmio, mercurio y arsénico en leche resultaron positivas en 100 %, 90 %, 60 % y 30 % respectivamente. El 100 % de las muestras positivas tanto de arsénico como de mercurio superan los límites permisibles. El 90 % de las muestras positivas a plomo superaron el límite máximo. El 90 % de las muestras de leche positivas a cadmio no superaron los límites máximos permisibles. El 100% de las muestras de riñón analizadas, resultaron positivas a arsénico, el 88 % a cadmio, el 72% a mercurio y el 92% a plomo.

El 100 % de las muestras de riñón positivas a cadmio superaron el nivel permisible. El plomo, el mercurio y el arsénico lo hicieron en un 91%, 72% y 20% respectivamente.

En la fase dinámica (confirmación de los resultados obtenidos en la fase exploratoria con 204 días de experimentación) se observa cómo los contenidos de arsénico hallados por el laboratorio en las muestras de músculo, del grupo de terneros expuestos, fue de 325.0 Pp/ kg, mientras que en los animales testigos o no expuestos fue de 218.17, que corresponde a una diferencia del 33%. Es necesario resaltar que pese a que el resultado en el grupo testigo fue inferior al nivel hallado en el grupo expuesto, ambos se encuentran superando los límites permisibles; esto significa que el problema es mucho más grave de lo que inicialmente se concibió.

Similar situación sucede con el Metal Arsénico en las muestras de riñón. La diferencia entre las cantidades halladas en el grupo expuesto superan en

72 % a las cantidades del grupo testigo. Como en el anterior caso ambas concentraciones superan los límites máximos permisibles. Los niveles de cadmio hallados en las muestras de músculo del grupo expuesto superan en 10 % a los no expuestos. Las medias de sus contenidos corresponden al 80 % del límite permisible.

Los contenidos de cadmio en las muestras de riñón del grupo expuesto también superaron los hallazgos del grupo no expuesto en 158%. La media del nivel hallado en el grupo expuesto superó en 30 veces el límite máximo permisible, mientras que en el grupo no expuesto fue de 13 veces.

Conclusiones y recomendaciones

- La fuente de contaminación de suelos y cultivos en la planicie aluvial del río Bogotá, ha sido el riego suplementario. A pesar que los niveles en las aguas no son elevados, sí ha tenido un efecto acumulativo a través del tiempo.
- Los elementos cadmio y arsénico se encuentran en niveles tóxicos en los suelos, cultivos y bovinos, lo que constituye una amenaza para la salud de los animales y hombres que consuman estos alimentos contaminados.
- Las cantidades halladas de mercurio y plomo en el agua de riego, revisten especial importancia para las explotaciones pecuarias, puesto que los animales, en este caso los bovinos, ingieren el agua directamente, siendo esta la causa de los niveles encontrados en músculo, que es el tejido más consumido por la población.
- El elemento plomo no se encuentra aún en niveles tóxicos en la mayoría de suelos y cultivos, pero es urgente frenar el creciente proceso, debido a que es un elemento acumulable a través del tiempo, siendo muy difícil la eliminación por parte del organismo.
- Se recomienda establecer investigaciones tendientes a mitigar el impacto ambiental, al que está sometida la población de la cuenca baja del río Bogotá, al ingerir estos alimentos contaminados. Los resultados obtenidos podrán ser utilizados para resolver problemáticas similares en otras cuencas.
- Debido a la amplia repercusión de esta problemática en la salud pública, corresponde al Gobierno Nacional y municipal, trazar una política clara y acorde con la magnitud del problema.

BIBLIOGRAFÍA

- Barceló, J ; Poschenrieder Ch. 1990. Plant water relations as affected by heavy metal Stress : a review. *Journal of plant nutrition*, 13(1) : 1-37.
- Berthelin, J. 1989. Interactions entre microorganismes du sol et éléments métalliques en traces. P. 157-181 En : *Qualité et conservation des Soils*. Juillet.
- Brummer, G ; Gerth, J ; Herms., U- 1986. Heavy metal Species mobility and availability in soils. *Bodenk.* 149 : 382 - 398.
- Cruz - Montalvo, A ; Tomariz, V ; Valera M. 1994. Sequential extraction of metals in contaminated agricultural soils of papalotla, México. P. 192 - 163. En : *World Congress of soil Science (15th: 1994 Acapulco)*. Transactions. Vol 3^a México : ISSS.
- Duque, J ; Orozco, V ; 1976. Estudio sobre la contaminación y toxicidad de las aguas del río Bogotá. Tesis de pregrado Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- González, S y Mejía L. 1994. Contaminación por Cadmio y Arsénico en suelos y hortalizas de un sector de la cuenca del río Bogotá. *Memorias VII Congresos Colombiano de la ciencia del suelo. El componente biogénico del suelo*. S.C.C.S. Bucaramanga.
- Hacin de F y Zwerman, P. 1976. Pollution of soil. F 192-271. En : Bolt, D y M, Bruggenwert. *Soil Chemistry. Basic elements*. Amsterdam : Elsevier Scientific.
- Ingeseries Ltda. 1991. Informe final del programa de aforo y muestreo en los ríos Bogotá. Ubaté, Suárez y sus afluentes ; muestreo en embalses, lagos y lagunas ; preservación y transporte de muestras. CAR. Santafé de Bogotá.
- INGETEC. 1970. Estudio sobre disposición de las aguas negras en Bogotá. Informe preliminar N° 411 ; Archivo HE/BIV. Bogotá.
- Karen A ; Wolnik ; Fred ; Stephen. 1983. Elements in major raw agricultural Crops in the United States. 1. Cadmium and Lead in Lettuce, peanuts, potatoes, Soybeans, Sweet corn and Wheat. *J. Agric. Food Chem.* 31 :1240-1244.
- Laboratorio Química de Monitoreo Ambiental. 1997. Informe final subsistema pecuario, análisis de laboratorio. Santafé de Bogotá.
- Mengel, K and Kirkby, E. 1982. *Principles of plant nutrition* International Potash Institute. Bern, Switzerland.
- OMS. 1977. *Environmental Health Criteria*, 3. Lead Geneva.

- O.M.S. 1972. Serie de informes técnicos. N° 505. Evaluación de diversos aditivos alimentarios y de los contaminantes : Mercurio, Plomo y Cadmio 16ª informe del comité mixto FAO/OMS de Expertos en aditivos alimentarios.
- Química y Consultoría Colombiana. 1997. Contenido de metales en suelos y cultivos irrigados con aguas del río Bogotá ; en la cuenca baja. Informe presentado CORPOICA. Santafé de Bogotá.
- Ruiz, J ; Cedeño, C ; Espinoza, A. 1991. Estudio de la contaminación del río Magdalena por metales traza, su relación con parámetros hidrológicos y físico-químicos y su incidencia en la salud humana. Bogotá. HIMAT - INGEOMINAS.
- Sergeev. EA. 1961. Methods of mercurimetric Investigations. Inst. Geol. Rev. 3 : 93 - 99.
- Siebe, C. 1994. Heavy metal contamination of soils irrigated with untreated Sewage effluent in central México. P. 398 - 399. En : World congress of soil science (15 th : 1994 Acapulco). Transactions. Vol. 3b México : ISSS.
- Vega. G.S. 1988. Aspectos específicos de la toxicología de algunos contaminantes. In. Evaluación epidemiológica de riesgos causados por agentes químicos ambientales. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, OPS/OMS. Editorial Limusa. Pp 223-420.
- Zamani, B ; Knezec and manganese in soil. Jour of environm. Quality. 13 : 269 - 273.