

ANÁLISIS DEL ESTADO DE ALTERACIÓN Y CONTAMINACION DEL HUMEDAL
JABOQUE

Jessica Acherman

Carrera de Ecología
Facultad de Estudios Ambientales y Rurales
Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá
Bogotá
2007

ANÁLISIS DEL ESTADO DE ALTERACIÓN Y CONTAMINACION DEL HUMEDAL
JABOQUE

Estudiante: Jessica Acherman
Director de Tesis: Armando Sarmiento

Carrera de Ecología
Facultad de Estudios Ambientales y Rurales
Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá
Bogotá
2007

Índice

	Página
Resumen	1
1. Introducción	2
1.1. Problema	4
2. Objetivos	5
2.1. Objetivo general	5
2.2. Objetivos específicos	5
3. Metodología	6
4. Marco conceptual	8
4.1. Los humedales y su importancia ecológica	8
4.2. Aspectos de la biología de la conservación	11
4.3. Contaminación con metales pesados e impactos sobre la biota y ecosistemas de humedales	16
4.4. Organismos de control y aspectos jurídicos para la regulación de la contaminación industrial en Colombia	23
4.5. Aspectos de la contaminación industrial y urbana en Colombia	29
4.5.1. Calidad del medio ambiente en Bogotá	33
4.5.1.1. Contaminación atmosférica	33
4.5.1.2. Contaminación por ruido	35
4.5.1.3. Residuos sólidos y peligrosos	36
4.5.1.4. Contaminación hídrica	36
4.5.1.4.1 Parámetros de calidad del recurso hídrico	39
4.5.2. Antecedentes: estudio realizado por el DANE acerca de la distribución espacial de las industrias en Colombia	41
4.5.2.1. Principales resultados	42
5. Área de estudio	42
5.1. Estado actual de la biota en Jaboque	45
5.2 Estado actual del agua en el Humedal Jaboque	48
5.3 Cuadro de los procesos de deterioro en el Humedal Jaboque	52
6. Resultados y discusión	53
6.1.1. Delimitación de la zona aferente del Humedal Jaboque a partir de la Red Pluvial	53
6.1.2. Localización de las industrias con datos de la Encuesta Anual Manufacturera – EAM – más verificación en campo y ubicaciones de los muestreos de los vertimientos realizados por la EAAB.	55
6.1.3. Zonificación de la zona aferente del humedal Jaboque, según la ubicación de las industrias y los puntos de confluencia de los muestreos de vertimientos	60
6.2. Análisis de los datos	61

7. Enfoque para la mitigación de la contaminación hídrica del Humedal Jaboque	72
8. Conclusiones	83
9. Recomendaciones	86
10. Bibliografía	88
11. Anexos	98

ANÁLISIS DEL ESTADO DE ALTERACIÓN Y CONTAMINACION DEL HUMEDAL JABOQUE

Jessica Acherman. Estudiante de Ecología. Director: Armando Sarmiento. Centro de Investigaciones en Geoinformática. Trabajo de grado. Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. Pontificia Universidad Javeriana.

Resumen

Las ciudades ejercen una fuerte presión sobre los ecosistemas circundantes a éstas, tal es el caso de los humedales de la ciudad de Bogotá DC. Éstos funcionan como sumideros de los desechos y las aguas residuales tanto domésticas como industriales. En este trabajo, se realizó la caracterización de las industrias presentes en la zona aferente del Humedal Jaboque, el cual pertenece a la localidad de Engativá y se utilizó los datos de vertimientos realizados por la EAAB. Esto con el fin de relacionar la ubicación de las industrias y la calidad de los vertimientos. A través de la literatura, se explican los posibles efectos que puede producir la contaminación por metales pesados sobre la biota de éste Humedal. Se observó que Jaboque es el más contaminado de los humedales de Bogotá D.C. Las posibles fuentes de vertimientos industriales con metales pesados en la zona aferente de Jaboque, son la industria de pintura, la industria de fabricación de productos metálicos para uso estructural y la industria básica de hierro y acero. Los principales efectos de los metales pesados, se evidencian en su bioacumulación en sedimentos, plantas y animales y su concentración en tejidos metabólicamente activos. A su vez, es posible que este escenario haya contribuido a la reducción de la biodiversidad en este humedal.

1. Introducción

Uno de los principales fenómenos del Siglo XX fue el surgimiento de la ciudad moderna. En 1900, solamente cuatro ciudades en la tierra contaban con más de dos millones de habitantes: Londres (6.5), Nueva York (4.2), París (3.3) y Berlín (2.7) (Tertius,1987). Pero ya para finales del siglo había miles de ciudades con poblaciones superiores a esta cifra (Tertius, 1987). De hecho, la mayoría de estos asentamientos se encuentran en el denominado tercer mundo. ¿Qué implica una concentración de seres humanos que superan los cinco, diez o hasta quince millones de habitantes, como Ciudad de México, Cairo o Bogotá? ¿Cuál es el consumo diario de agua potable? ¿Cuál es el consumo de energía eléctrica? Y más importante aún, ¿cuáles son los desechos producidos por cinco, diez o quince millones de habitantes? ¿Cuántas toneladas de contaminantes atmosféricos se arrojan al aire diariamente en una metrópoli como ciudad de México? ¿Cuántos metros cúbicos de aguas residuales produce una población de esa magnitud? Y, ¿qué sucede si la población cuenta con industrias que utilizan insumos como plásticos, ácidos y metales pesados? ¿A dónde van a parar estas sustancias?

El deterioro ambiental se debe en parte a la desmesurada extracción de recursos naturales y al crecimiento desmedido de las grandes urbes, las cuales requieren cada vez de mayores insumos de espacio y energía. Este deterioro se observa en la acelerada extinción de especies y la destrucción de hábitats (Bettini, 1998).

Cabe anotar que para mediados de 1950, Bogotá tenía 830.000 habitantes (DANE, 2006). Ya para el año 2005, contaba con más de siete millones de personas (DANE, 2005). Además del vertiginoso crecimiento de su población, Bogotá se ha constituido en uno de los principales centros manufactureros del país (DANE, 2003). Cuenta con talleres de metalmecánica, grandes procesadoras de plástico, industria química, siderurgia, fábricas de pilas y baterías, fabricación

de pinturas y barnices e industria papelera, entre otras (DANE, 2003). Es pertinente cuestionarse a dónde van a parar los desechos de estas actividades industriales. ¿Reciben un tratamiento adecuado antes de ser devueltos al ambiente?

Según Wolman (1965) “son innumerables los flujos de materia y energía que entran y salen de la ciudad, con tres *inputs* - agua, alimento y combustible. Y tres *outputs* – aguas residuales, residuos sólidos y contaminantes atmosféricos”.

Sabemos que la ciudad de Bogotá en su proceso de expansión, ha reducido el área de ecosistemas aledaños, causando su fragmentación. Tal es el caso de sus humedales, que hacen parte esencial de la red hídrica de la ciudad y se han convertido en una especie de sumidero, en el cual se acumulan sustancias tóxicas, producto de la actividad humana.

El presente trabajo se enfocará en apenas una faceta de la actual problemática de contaminación – la suerte del Humedal Jaboque en la ciudad de Bogotá.

El estado actual del Humedal Jaboque es el resultado de las transformaciones inducidas por el proceso de urbanización. Entre éstas se encuentran las descargas de aguas contaminadas por desechos orgánicos y químicos. Estas descargas conllevan efectos a largo plazo sobre la biota, en algunos casos desconocidos.

Dada la magnitud del problema actual, se hará énfasis en un solo aspecto de la contaminación: la causada por actividades económicas en áreas aledañas al humedal. Debido a las descargas de contaminantes, se ha alterado la calidad de sus aguas (EAAB, 2005) y posiblemente se ha visto afectada su biota. Por lo tanto, para iniciar procesos de gestión tendientes al mejoramiento de la calidad del agua, es importante identificar las industrias dentro de la zona aferente del

humedal Jaboque que vierten metales pesados y averiguar los posibles efectos sobre la biota.

1.1. Problema

El Humedal Jaboque pertenece a la localidad de Engativá. Por encontrarse dentro del área metropolitana de Bogotá, su acelerado crecimiento ha comprometido diversas funciones del ecosistema (Molina et al. 1997). Ha sido receptor de vertimientos de aguas residuales, tanto domésticas como industriales, sin ningún tratamiento previo (Garnés, 2004). La contaminación hídrico-química, generada por vertimientos industriales, se caracteriza por su contenido mineral, como metales pesados y sales vertidas directamente (DANE, 2003).

Jaboque ha perdido una porción significativa de su área original. Su estabilidad ecológica se ha visto afectada por la contaminación, la cual ha tenido un fuerte impacto en la flora y fauna de su ecosistema (DAMA, 2000). Los metales pesados también causan la disminución de las poblaciones silvestres, ya que aumentan la mortalidad y disminuyen la reproducción (Kalisivska et al. 2004). Se ha demostrado que los metales pesados se acumulan en tejidos metabólicamente activos como el hígado, riñón y branquias (Saha et al. 2006). Por otro lado, se ha evidenciado una inhibición en el crecimiento de plantas (macrófitas) debido a estos contaminantes. Todo lo anterior repercute en una reducción de la biodiversidad (Hallberg et al. 2005).

Adicionalmente, los metales pesados generan un fuerte impacto ambiental (Weiss et al. 2006). Los análisis de vertimientos en el Humedal Jaboque indican niveles que sobrepasan los límites admisibles de metales pesados como el cadmio, el níquel, el plomo, el cromo y el zinc, según el marco normativo de la Resolución 1074 de 1997 del DAMA (EAAB, 2005).

Este trabajo se centrará en el problema de los contaminantes industriales con presencia de metales pesados – aquellas sustancias que significan una mayor amenaza para el ecosistema (Lozano, 2005). El problema principal radica en el desconocimiento de la magnitud de contaminación con metales pesados en el humedal Jaboque, como también el origen de éstos contaminantes. Esto debido a que conociendo las fuentes de vertimientos, es posible trazar un enfoque para mitigar el problema de la contaminación.

2. Objetivos

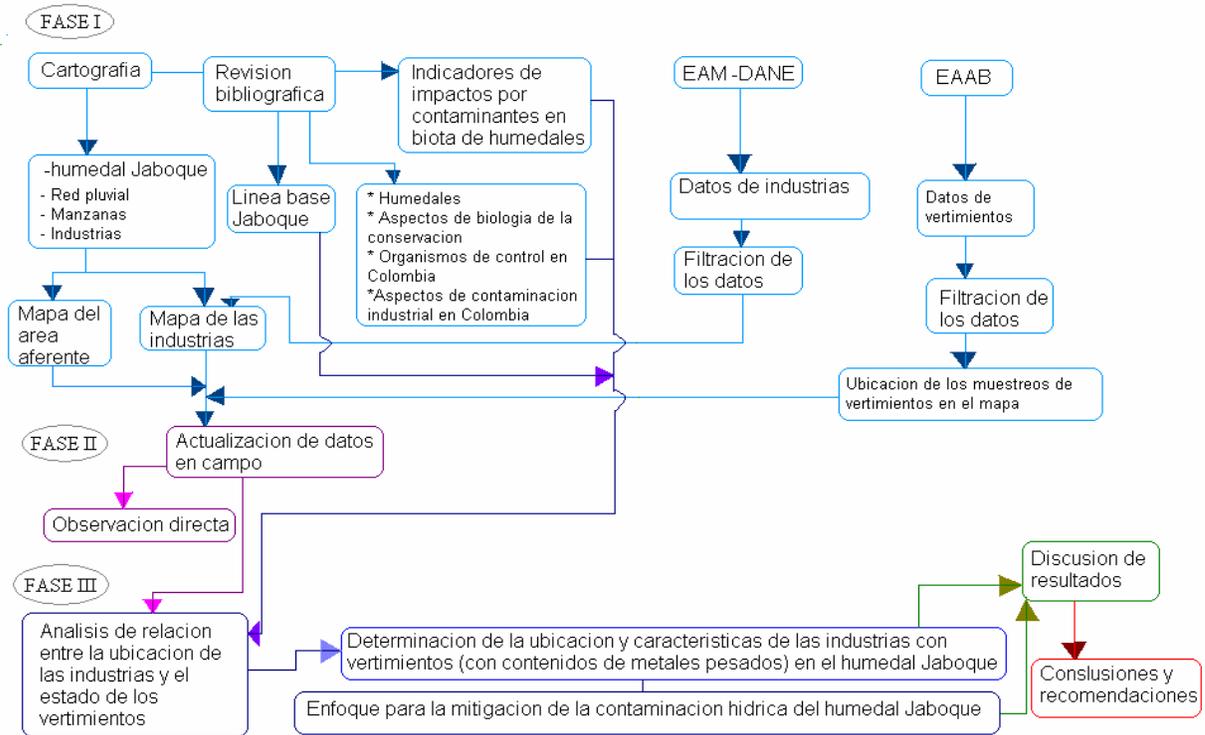
2.1. Objetivo general

1. Analizar el estado actual de la contaminación industrial en el humedal Jaboque.

2.2. Objetivos específicos

2. Determinar la ubicación de los posibles vertimientos industriales que descargan metales pesados en el humedal Jaboque.
3. Describir los posibles efectos de la contaminación por metales pesados en el humedal Jaboque, según la literatura.
4. Proponer un enfoque para mitigar los impactos negativos en el humedal Jaboque causados por los vertimientos que descargan metales pesados.

3. Metodología



Fase Uno

La fase uno consiste en primer lugar, en una revisión bibliográfica acerca del estado actual del humedal Jaboque. Para este propósito, se basó en los estudios realizados por el Convenio de Investigación Aplicada entre la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá y la Universidad Nacional de Colombia (2005), el trabajo investigativo de dos tesis de estudiantes de la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá y en los muestreos de calidad de los vertimientos del área afrente del humedal, realizados por la EAAB (2005).

En segundo lugar, se realizó una revisión bibliográfica de estudios científicos realizados en ecosistemas de humedal con condiciones similares de contaminación industrial con presencia de metales pesados y los efectos observados de esta contaminación sobre la biota de los mismos.

Por último, se realizó el trabajo cartográfico y la delimitación del área aferente del humedal a partir de la red pluvial, por medio del software de ArcGis. Luego de filtrar la información de la EAM y haciendo uso de los muestreos de calidad de los vertimientos realizados por la EAAB, se realizó el mapa de las industrias de la zona aferente del mismo.

Fase dos

En esta fase se realizó el trabajo el campo, el cual consistió en actualizar los datos de las industrias que aparecen registradas en la EAM del DANE, por medio de observación directa.

Fase tres

En la fase tres, se realiza el análisis de la relación entre la ubicación de las industrias y el estado de los vertimientos. A partir del cual, se determina la localización de las industrias que posiblemente están contribuyendo a generar una contaminación con presencia de metales pesados en los vertimientos muestreados por la EAAB. Y por ende, que están alterando la calidad hídrica del humedal Jaboque.

Posteriormente, se sugiere un enfoque para mitigar el problema de contaminación hídrica en el Humedal Jaboque, en base a diferentes métodos planteados en la literatura.

Por último, se procede a mostrar los resultados y se discuten. Luego se generan unas conclusiones y recomendaciones del documento.

4. Marco teórico y conceptual

4.1. Los humedales y su importancia ecológica

La importancia del agua radica en la poca cantidad de agua dulce disponible para el consumo humano y el resto de especies. Esto se debe a que menos del 3% del agua mundial es dulce; de ésta el 75% está congelada, y de la no congelada, el 98% se halla bajo tierra (FEN et al. 1998). Motivo por el cual, la Unión Mundial para la Naturaleza (UICN), ha enfatizado su gestión en la conservación del agua por medio de su Programa de Humedales. Esto debido a que la conservación de los humedales garantiza la calidad del agua (FEN et al. 1998).

El instrumento de mayor envergadura en la gestión de los humedales es la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como hábitat de aves acuáticas, también conocida como Convención Ramsar. Ésta define los ecosistemas de humedal como “extensiones de marismas, pantanos y turberas o superficies cubiertas de agua, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces o salobres, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda los seis metros”. En general los humedales son ecosistemas de transición – un ecotono entre el medio acuático y el terrestre - con porciones húmedas, semihúmedas y secas. Adicionalmente, figuran entre los ecosistemas más productivos del mundo (Ramsar, 1992).

Según este Convenio, el ecosistema de humedal cumple un importante papel como regulador del sistema hídrico. Controla las inundaciones, repone aguas subterráneas, estabiliza las costas, nos protege de tormentas, retiene y exporta sedimentos y nutrientes, mitiga el cambio climático y depura las aguas (Tavilo, 1997). Además, representan hábitats de gran importancia para especies de flora y

fauna como mamíferos, aves, reptiles, anfibios, peces, invertebrados y son fuente de abastecimientos de agua y energía (FEN et al. 1998).

La reducida heterogeneidad espacial - en el plano vertical - de los humedales neotropicales, da como resultado una riqueza de especies de aves relativamente baja. Sin embargo, muchas de las especies que conforman las comunidades aviarias de los humedales se caracterizan por poseer grandes poblaciones, debido a la elevada concentración de alimento para éstas (FEN et al. 1998).

En el caso del humedal Jaboque, por ejemplo, se encuentran el pato de pico azul (*Anas sp*), las garzas (*Bubulcus sp* y *Egretta sp*), las tinguas (*Gallinula sp* y *Rallus sp*), ciertos mamíferos como el curí (*Cavia sp*), murciélagos y ciertos reptiles (Equipo periodístico-Universidad Nacional, 2005). Igualmente, sirve de albergue temporal para aves migratorias como *Turannus savana*, *Coccyzus americanus*, *Progne tapera* y *Riparia riparia* (Convenio de investigación entre EAAB & CI, 2005. Investigadores: López & Otálora).

De las 50.000 hectáreas que solían cubrir los humedales de la Sabana de Bogotá a mediados del siglo pasado, hoy en día se encuentran reducidos a menos del 5% (DAMA, 2000). Motivo por el cual se consideran como uno de los ecosistemas mas amenazados a nivel nacional (Hernández et al. 1992). Uno de los trece humedales que aún sobreviven al acelerado crecimiento urbano, es el humedal Jaboque en la localidad de Engativá (DAMA, 2003).

Naranjo (1997) plantea la existencia de siete unidades paisajísticas de acuerdo a las características de los humedales:

Unidades paisajísticas	Características
Estuarios	Área de confluencia de los ríos en el mar, en el cual se genera un humedal con influencia de agua tanto salobre como dulce.
Costas abiertas	Humedal compuesto con influencia de agua únicamente salobre.
Llanuras inundables	Valles y sabanas que presentan inundaciones temporales a causa del desbordamiento de los ríos.
Pantanos de agua dulce	Acumulación de agua en depresiones del terreno, causados por los nacimientos superficiales, las aguas subterráneas y la escorrentía.
Lagos	Ecosistemas lénticos, que presentan menor dependencia e interacción con el medio terrestre.
Turberas	Pantanos ácidos y con escaso contenido de nutrientes. Se localizan en zonas de bajas temperaturas, en las cuales se acumula una gran cantidad de materia orgánica.
Bosques de inundación	Árboles que se encuentran adaptados a inundaciones periódicas, las cuales se producen por el desbordamiento de los ríos o por el incremento en las precipitaciones.

Según el marco de clasificación del Distrito Capital (2002), Jaboque es un humedal de tipo planicie. De acuerdo con el sistema de Clasificación de Ramsar, el Humedal Jaboque se encuentra en el sistema palustre, subsistema

permanente, clase emergente y subclase pantanos y ciénagas dulces permanentes (Convenio de Investigación entre EAAB & CI. 2005. Investigadores: Lázala & Rangel).

4.2. Aspectos de la Biología de la Conservación

El crecimiento de las ciudades durante el último siglo, ha conllevado a la aglomeración del 80% de la población mundial. Debido al crecimiento del ambiente urbano, el impacto ambiental de la ciudad se hace importante, puesto que éste se convierte en una amenaza para la conservación (Camargo, 2000).

Los humedales se encuentran entre los hábitats más amenazados en Colombia. Éstos han desaparecido o alterado a causa del deterioro de los procesos naturales como consecuencia de la urbanización, la agricultura, la ganadería y la contaminación, entre otros (FEN et al. 1998).

En 1997 el Congreso de Colombia aprobó la Convención Ramsar. Esta convención promueve abordar la conservación de los humedales en la ordenación territorial de los gobiernos que se hayan adherido en partes contratantes de la misma. Adicionalmente, deben fomentar la conservación de las aves acuáticas, especialmente las migratorias (FEN et al. 1998).

Colombia alberga 1750 especies de aves aproximadamente, las cuales representan un 60% de la avifauna suramericana y una sexta parte de la global. Por lo tanto, se establece como uno de los países con mayor biodiversidad (ABO, 2000). Es importante recalcar que una significativa porción de estas especies depende de los humedales para su supervivencia. A su vez, el 57% de las aves acuáticas de Suramérica habitan en Colombia y el 98% de las aves acuáticas migratorias de Norteamérica utilizan los humedales colombianos durante las épocas de invierno (Naranjo, 1997). Adicionalmente, un total de 103 especies de

aves acuáticas que pertenecen a 23 familias, habitan en los humedales colombianos de forma permanente. Motivo por el cual, Colombia representa una región de suma importancia para estos organismos (FEN et al. 1998).

Por otro lado, los humedales no sólo sustentan una gran diversidad biológica, sino que también constituyen extensas redes alimenticias. Igualmente, desempeñan importantes funciones en los ciclos hidrológicos y químicos, purificando el agua. Estos humedales pertenecen a la cuenca del río Bogotá, siendo ésta parte del sistema geográfico del altiplano cundiboyacense, el cual es un lugar estratégico para el paso de aves acuáticas migratorias. Por ende, los humedales funcionan como corredores biológicos, conectando los bosques nativos de los cerros con el río Bogotá (Moreno et al. 2000). Por tales motivos, constituyen ecosistemas importantes para la conservación del patrimonio natural de la ciudad (Moreno et al. 2000).

El deterioro ambiental ha sido en parte la consecuencia de la desmesurada extracción de recursos naturales y del desmedido crecimiento de las ciudades. Con el transcurso del tiempo, las grandes urbes exigen más espacio y energía para implementar su infraestructura. Este deterioro se observa en el notable aumento en la extinción de especies y destrucción de hábitats.

Mientras ciertas especies se extinguen, surgen otras nuevas. El balance entre la especiación y la extinción, ha resultado en una mayor diversidad viviente a través del tiempo (Groom et al. 2006). Sin embargo, una vasta evidencia sugiere que actualmente nos encontramos ante una nueva fase de extinción masiva de especies (Ehrlich & Ehrlich, 1981). De hecho, esta nueva fase podría superar los grandes episodios de extinción masiva que se vivieron en el pasado (Groom et al. 2006). En el caso actual, dicha extinción sería el resultado de la actividad humana (Groom et al. 2006).

El crecimiento demográfico ya ha causado la extinción de incontables especies. Además, amenaza la misma existencia de muchas otras (Groom et al. 2006). Lo anterior se debe a la sobreexplotación, introducción de especies exóticas, contaminación ambiental, alteración global de los paisajes y cambios en los patrones climáticos (Groom et al. 2006).

Según Groom (1994), el cambio del paisaje es una de las mayores amenazas para la biodiversidad y la sostenibilidad del desarrollo humano. Esto debido a que los paisajes se caracterizan por presentar relaciones espaciales entre los diferentes componentes (Turner, 1989).

A partir de 1930, el impacto promedio que ejerce cada individuo sobre el medio ambiente – uso de energía – se ha duplicado (Brussard & Ehrlich, 1992). Para predecir el número de especies que se extinguirán con el transcurso del tiempo, se combinan las tasas de pérdida de hábitat con el número de especies (derivados de la relación especies-área) (Groom et al. 2006).

Según estimaciones de Myers (1992), el ecosistema de bosque húmedo tropical está siendo destruido a una tasa de 150.000 km² por año. Además se está destruyendo un área similar a través de actividades como la tala y quema de bosques, con fines ganaderos y agrícolas (Groom et al. 2006).

Este preocupante escenario ha sembrado inquietudes frente a la necesidad de preservar los recursos, y las diferentes formas de lograr este propósito. Según Sarnoff (1971) se entiende por conservación, la preservación de organismos bióticos y abióticos. Por lo tanto, la conservación busca salvaguardar la biodiversidad y la preservación de los diferentes recursos y ecosistemas.

La conservación presenta tres enfoques distintos, según la relación hombre-naturaleza y la zona que se pretende desarrollar. El primer enfoque concibe la

conservación del ambiente, eliminando del todo el impacto del hombre (Sarnoff, 1971). El segundo enfoque, resalta los beneficios y servicios ambientales obtenidos a través de la extracción de recursos, sin preocuparse por su viabilidad. El tercer enfoque representa un término medio, ya que se busca la preservación de los recursos a largo plazo, a la vez que se usufructúe de los beneficios del medio ambiente (Sarnoff, 1971).

Los proyectos de conservación se deben orientar hacia zonas con un elevado grado de diversidad y hacia áreas con riesgo inminente de desaparecer (Groom et al. 2006). Muchas especies presentan rangos amplios de distribución. Sin embargo, muchas otras, presentan rangos de distribución muy limitados, y sus poblaciones enteras se encuentran confinadas a pocos kilómetros cuadrados (Gentry, 1990). Por lo tanto, son de mayor importancia las especies con rangos de distribución restringidos, altos requerimientos de hábitat y poblaciones reducidas (Primack et al. 2001).

El IUCN (1996) retomó y estableció cuantitativamente un sistema de categorización fundado en tres niveles de probabilidad de extinción. Aquellas especies que se encuentran *críticamente en peligro*, presentan un 50% de probabilidad de extinción dentro de tres generaciones. Las especies *en peligro*, son aquellas cuya probabilidad de extinción es de un 20% en las próximas 5 generaciones. Por último, las especies *vulnerables*, son aquellas que tienen un 10% de probabilidad de extinción en los próximos 100 años

Para minimizar la tasa de extinción en las reservas naturales, se deben tener en cuenta los siguientes principios (Diamond, 1975). En primer lugar, una reserva de gran tamaño puede albergar mayor cantidad de especies en equilibrio, en comparación con una pequeña. En segundo lugar, una reserva ubicada cerca de otras reservas, puede albergar más especies, a diferencia de las reservas

aisladas. Por último, una reserva de forma redonda albergará un mayor número de especies, que una elongada (Diamond, 1975).

Por ende, es preferible tener una sola reserva natural redonda y grande. En caso de que haya varias reservas de tamaño reducido, es preferible que se encuentren adyacentes y con algún tipo de conectividad. El peor escenario se presenta con una reserva aislada, de reducido tamaño, y de forma elongada (Spellerberg & Sawyer, 1999).

El humedal Jaboque hace parte de la red hídrica de la ciudad de Bogotá y es un ecosistema que alberga gran biodiversidad, en especial de avifauna acuática tanto local como migratoria. Adicionalmente, ha sido declarado como reserva natural ambiental por el Concejo de Santa Fe de Bogotá y debido al estado de calidad de sus aguas y a la expansión de la ciudad, su conservación se ha visto comprometida.

Teniendo en cuenta que los humedales se constituyen como zonas críticas para la alimentación de grandes poblaciones de aves residentes., que representan eslabones por ser áreas de paso e invernada para poblaciones de aves migratorias que han realizado estos recorridos durante millones de años y presentan una serie de especies que no se pueden habituar a otro ambiente (FEN et al. 1998). Por tales motivos, el Humedal Jaboque es un ecosistema de gran importancia desde el punto de vista de la conservación y es fundamental asegurar una calidad de vertimientos apropiada al cuerpo de agua del humedal, que no genere daños a largo plazo sobre la biota del mismo. Igualmente, para fines de conservación, es pertinente considerar la viabilidad de los humedales de la ciudad de Bogotá como conjunto y no como entes aislados.

4.3. Contaminación con metales pesados e impactos sobre la biota y ecosistemas de humedales

Es importante recalcar que la respuesta de una población ante un cambio ecológico no es instantánea (Moriarty, 1999). Igualmente es imposible comparar el efecto tóxico de un contaminante en determinada especie, con su efecto en otra especie (Moriarty, 1999).

Es claro que un aumento en la tasa de mortalidad reducirá la tasa de aumento (r) de determinada población. Sin embargo, otra forma efectiva de reducir la tasa de crecimiento es mediante una disminución en la tasa de nacimiento (Moriarty, 1999). Esta tasa será reducida por cualquier evento que reduzca la habilidad de los individuos de sobrevivir, disminuyendo así su longevidad (Moriarty, 1999). Otros efectos letales pueden ser el aumento del período de desarrollo, períodos reproductivos más cortos y la disminución de la fecundidad o fertilidad (Moriarty, 1999).

No es fácil explicar la razón por la cual una población presenta un tamaño determinado y fluctúa de una forma específica, ya que desconocemos todos los factores relevantes, como también las interacciones entre las diversas especies. De hecho, la determinación de los aspectos clave puede tardar años (Moriarty, 1999). En algunas ocasiones los efectos de un evento fortuito varían entre una especie y otra (Moriarty, 1999).

El medio ambiente se puede dividir en tres categorías – a saber, aire, agua y suelo. Cada categoría reacciona de manera específica, al ser expuesta a determinado contaminante. Los químicos son transportados y difundidos a mayor velocidad en estado gaseoso, seguido por el estado líquido y por último en los suelos (Moriarty, 1999). Por lo tanto, es de gran relevancia conocer la tasa de liberación del contaminante, y las vías que éste toma (Moriarty, 1999).

Debido a la complejidad de los ecosistemas, la forma más eficaz de predecir los efectos biológicos, es mediante la identificación del último evento que produjo una respuesta deletérea en un individuo (Moriarty, 1999).

Se sabe que la contaminación ambiental puede llevar a una reducción en la diversidad genética causada por los cuellos de botella (Matson et al. 2006). La exposición a contaminantes reduce la fecundidad, incrementa la mortalidad y disminuye el número de adultos viables para la reproducción (Semlitsch et al. 2000). A su vez, la exposición a tóxicos puede generar mutaciones en los organismos, afectando así la dinámica poblacional (Matson et al. 2006).

Un contaminante que mata a la mitad de los individuos de la población de una especie, puede ser de poca importancia ecológica. Por otro lado, un contaminante que no mata ningún organismo, pero que retarda su desarrollo, puede llegar a tener un alto impacto ecológico (Moriarty, 1999).

Mediante procesos de bioacumulación, ciertas especies del humedal pueden hacer las veces de indicadores del estado actual del ecosistema. Los organismos acuáticos tienen la capacidad de acumular contaminantes en sus tejidos, en concentraciones superiores a las de su medio acuático. Por lo tanto, esta biota es útil para propósitos de evaluación (Saha et al. 2006). El uso de organismos bioacumulantes para monitorear contaminantes es de gran utilidad porque éstos no siempre se detectan en una columna de agua, ni tampoco en los sedimentos (Saha et al. 2006).

Los metales pesados absorbidos provienen primordialmente del agua, de los alimentos y de los sedimentos. La tasa de ingestión de metales depende de las necesidades ecológicas y del metabolismo de los animales, como también del

gradiente de contaminación del agua, del alimento y de los sedimentos (Roesijadi et al. 1994).

Según estudios realizados en humedales con presencia de metales pesados, se conoce que estos elementos se acumulan en diferentes órganos de las especies (Kalisivska et al. 2004).

El problema principal de los metales pesados, radica en su imposibilidad de ser degradable química o biológicamente. Una vez emitidos al ambiente, los metales pueden permanecer en éste durante cientos de años.¹

Sabido es que los humedales proporcionan albergue a numerosas especies de aves, incluyendo las aves acuáticas, que realizan largas rutas migratorias (Kalisivska et al. 2004). Estudios realizados en otros humedales han demostrado que los metales pesados se acumulan en los órganos de las aves, según sus hábitos alimenticios. Se han detectado metales pesados (Cu, Zn, Mn, Cr, Ni, Cd) en el cerebro, músculos pectorales, riñones, hígado, páncreas y huesos del pato *Anas platyrhynchos*, el cual es cosmopolita y herbívoro. Este pato frecuenta los humedales del noroccidente de Polonia (Kalisivska et al. 2004).

En un estudio realizado en el Parque Nacional Doñana en España, afectado especialmente por vertimientos de minería, se pudo distinguir diferentes niveles de contaminación en las diversas especies de aves. Las aves que se alimentaban de peces presentaban mayores concentraciones de cadmio en el hígado, mientras que las aves herbívoras presentaban niveles menores. Pero en ambos casos, las concentraciones de este metal aumentaban con el tiempo de exposición al vertimiento y al tamaño del ave (Hernández, 1999).

¹ [<http://revista.consumer.es/web/es/20010301/medioambiente/>] [Visitado en línea en noviembre de 2006. Revista nº 42 marzo 2001]

Los metales pesados también merman las poblaciones, ya que aumentan la mortalidad y disminuyen la reproducción. Según estudios sobre la toxicidad del cadmio en el pato *Anas platyrhynchos*, se puede afirmar que este metal es una de las principales causas de la disminución en la anidación de esta especie (Kalisivska et al. 2004).

Los altos niveles de cadmio absorbidos por el pato *Anas platyrhynchos*, no solo causaron daños en los riñones sino que también atrofiaron los testículos y generaron desórdenes en su espermatogénesis (White et al. 1978).

En general, las aves silvestres son susceptibles a elementos tóxicos, especialmente aquellos no degradables (Hernández, 1999). La contaminación ambiental con metales pesados y arsénico es una amenaza para la supervivencia y reproducción de las aves (Ohlendorf et al, 1986). Se ha observado nefrosis - moderada a alta - en aves con niveles de zinc entre 320 y 530 $\mu\text{g/g}$ respectivamente (Hernández, 1999).

La ictiofauna se ve afectada directamente por la bioacumulación de estos elementos. La formación y depósito de partículas - tales como el hierro e hidróxidos de aluminio - pueden ocasionar estrés y muerte de poblaciones nativas. Esto repercute en una reducción de la biodiversidad (Hallberg et al. 2005). Según un estudio realizado en organismos acuáticos de diferentes hábitos, las concentraciones de metales pesados fueron siempre mayores en las branquias e hígado y menores en los músculos, debido a los roles fisiológicos del metabolismo del pez (Hallberg et al. 2005).

Se ha demostrado que los metales pesados se acumulan en tejidos metabólicamente activos como el hígado, riñón y branquias (Saha et al. 2006). Por otro lado, la digestión y absorción intracelular del alimento se realiza en las células digestivas del intestino, las cuales ya presentan altas concentraciones de

metales pesados. Según Mason et al. (1984) el hígado es un órgano acumulador de selenio en el *Salmo gairdneri*.

De igual forma, se ha evidenciado en los organismos del bentos una alta concentración de cadmio, generada primordialmente a través de los sedimentos (Kilgour, 1991).

Los anfibios también se han visto afectados por la ingestión de metales pesados, como es el caso de la población de ranas en Sumgayit. Se ha detectado una disminución en la diversidad genética, tanto aplopática como nucleótida (Matson et al. 2006). Los daños genéticos y la inestabilidad genómica en poblaciones de ranas en Sumgayit, indican que el aumento en las mutaciones se debe a su exposición a contaminantes como hidrocarburos aromáticos policíclicos y mercurio (Matson et al. 2006).

Las plantas (macrófitas) también se ven afectadas por estos contaminantes. Se evidenció una inhibición en el crecimiento - observado en una menor relación de clorofila A a clorofila B - en plantas irrigadas con altas concentraciones de metales (Manios et al. 2003). La acumulación de metales pesados reduce considerablemente la relación de clorofila A a clorofila B. Cuando las plantas están bajo estrés, la clorofila A exhibe una mayor tasa de hidrólisis que la clorofila B (Schoch et al. 1987)

Las aguas con vertimientos industriales aumentan la concentración de metales en las raíces y hojas de las plantas. Este fenómeno puede afectar su desarrollo y salud, ya que se disminuye la biomasa y la concentración de clorofila en las hojas y en el tallo (Burzynsky et al. 1989).

En general, los sedimentos son una herramienta útil para determinar los niveles de metales pesados en el ecosistema, como también el tiempo que llevan estos metales contaminando (Feng et al. 2004).

Los sedimentos cercanos al punto contaminante (o punto de escape de aguas residuales), guardan un registro fidedigno de los contaminantes de la fuente. Por lo tanto la concentración de metales pesados en los sedimentos reflejan el impacto de la urbanización (Feng et al. 2004).

Tanto el tamaño del grano como el tipo de suelo juegan un papel relativamente importante en la acumulación de estos elementos. Se han encontrado mayores concentraciones de metales pesados en granos finos que en arenas. Sin embargo, la diferencia entre los dos tamaños es menos significativa cuando el humedal se encuentra muy contaminado (Tam et al. 2000).

El tamaño de los granos y el tiempo transcurrido, determinan en 64% y 24% respectivamente la varianza de las concentraciones de metales (Feng et al. 2004). No obstante, el tamaño del grano no es igual de importante para todos los metales pesados. De hecho, el tamaño es un factor insignificante en el caso del cobre y plomo, y relativamente más importante en el caso de zinc (Kalisivska et al. 2004). Se ha demostrado que muchos metales pesados se unen a los granos más finos ($< 63 \mu\text{m}$) del sedimento. Esto se debe principalmente a la alta relación entre la superficie del grano y su volumen (Horowitz & Moore, 1987).

La presencia de metales pesados en los sedimentos se agrava por procesos de translocación y su posible contacto con aguas subterráneas. Un mayor elemento móvil agiliza el traslado de metales pesados hacia las capas más profundas del suelo (Kalbitz et al. 1998).

La movilización y el traslado se manifiestan tanto en metales de baja afinidad a materia orgánica disuelta (cadmio, zinc), como en aquellos de alta afinidad (cobre, cromo, mercurio). En sitios muy contaminados y con suelos arenosos y limosos, la concentración de elementos dañinos que se translocan al subsuelo y a las aguas subterráneas, puede alcanzar niveles peligrosos. De hecho, es posible un daño irreversible en los reservorios de aguas subterráneas (Kalbitz et al. 1998).

La concentración total de elementos y su movilidad dependen de diversos factores. Entre éstos está el pH, las características del suelo (potencial de adsorción de metales pesados) y las concentraciones de carbono orgánico disuelto. Es necesario conocer todos estos factores para poder cuantificar la movilización y traslado de metales pesados con alta afinidad a la materia orgánica disuelta, a medida que migran de la superficie a las capas más profundas, y por último a las aguas subterráneas (Kalbitz et al. 1998).

Se evidenció que los sedimentos del ecosistema de manglar presentan una gran capacidad de retención de metales pesados, los cuales son aportados por la marea, los ríos y las crecientes causadas por las tormentas. Es decir, los sedimentos del manglar hacen las veces de sumideros de metales pesados (Haribson, 1986; Lacerda, 1984; Tam & Tam, 1995). También se encontró que los metales pesados se adhieren más a los sedimentos de limos y arcillas que a las arenas. De hecho, las arcillas son el sustrato más importante para la fijación de metales (Tam et al. 2000).

Actualmente se desconocen las reacciones de las diferentes especies del humedal Jaboque a los cambios ecológicos en su ecosistema – en este caso, a los cambios en la calidad de agua. Sin embargo, de acuerdo a los resultados de los estudios mencionados, podría esperarse que el transporte y difusión de los químicos, por tratarse de un medio acuático, hayan sido rápidos. Igualmente, podría esperarse que los organismos acuáticos hayan acumulado metales

pesados en sus tejidos. Esto a su vez podría ocasionar estrés y hasta muerte en poblaciones nativas y migratorias. A largo plazo, también podría repercutir en una reducción de la biodiversidad.

Se carece de estudios que analicen los cambios – aumento o disminución – en las tasas de natalidad y mortalidad, las fluctuaciones en los periodos de desarrollo y reproducción de las especies. Como también, se desconoce la bioacumulación de metales pesados en los sedimentos cercanos a los puntos de escape de los vertimientos en Jaboque.

En general, solo se cuenta con los datos de muestreos puntuales – donde se puede observar los vertimientos de metales pesados en un día y hora determinados. No son muestreos periódicos que ayuden a vislumbrar el comportamiento de los aportes de contaminantes al humedal Jaboque durante un periodo prolongado.

Como se mencionó anteriormente, se han observado efectos adversos en aquellos individuos que han sido expuestos a estos contaminantes. Por ende, es de gran importancia realizar estudios en tejidos de órganos de diferentes especies que ayuden a vislumbrar el efecto de los metales pesados en la biota del humedal Jaboque.

4.4. Organismos de control y aspectos jurídicos para la regulación de la contaminación industrial en Colombia

Para controlar la contaminación industrial, el gobierno colombiano ha expedido varias normas. Entre éstas, cabe destacar el Código de Recursos Naturales Renovables (Ley 23 de 1973 y Decreto-Ley 2811 de 1974) y el Código Sanitario Nacional (Ley 09 de 1979) (Sánchez et al. 1994). No obstante, fue solo en 1991

que la Constitución Nacional estableció el marco jurídico para el control y regulación de la contaminación industrial (Sánchez et al. 1994).

Posteriormente, la Ley 99 de 1993 creó el Ministerio del Medio Ambiente y reorganizó el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente, los recursos renovables y el Sistema Nacional del Ambiente (Sánchez et al. 1994).

De igual forma, el Sistema Nacional Ambiental – SINA – es creado por la Ley 99 de 1993. Este se define como el conjunto de reglas, recursos, programas e instituciones, que autorizan la aplicación de los principios ambientales comprendidos en la Constitución Política de Colombia de 1991 y la Ley 99 de 1993.² El SINA está compuesto por el Ministerio del Medio Ambiente, las Corporaciones Autónomas Regionales, las Entidades Territoriales y los Institutos de Investigación adscritos y vinculados al Ministerio. La finalidad del Consejo Nacional Ambiental es coordinar entre los diferentes sectores del ámbito público, las políticas y programas concernientes al medio ambiente y al uso de los recursos naturales renovables.²

La Ley 99 de 1993 creó cuatro institutos de investigación vinculados al Ministerio del Medio Ambiente, como órganos de carácter técnico asesor para el SINA. A saber: El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM; El Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vive de Andreis – INVEMAR; El Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas – SINCHI y el Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico.³

^{2,3} [<http://www.humboldt.org.co/sina/c-sina.htm>] [Visitado en línea en enero 10 de 2007]

Dentro de este Ministerio se creó una dependencia específica para el tema de humedales. En 1996, se expidieron lineamientos políticos para diversos ecosistemas incluyendo los humedales. En 1997, con ayuda del Instituto Alexander Von Humboldt, se publicó "Humedales Interiores de Colombia, bases técnicas para su conservación y desarrollo sostenible". En 1999 el Ministerio identificó las prioridades de gestión ambiental de varios ecosistemas, entre ellos los humedales (República de Colombia et al. 2001).

En cuanto a los humedales, la gestión al interior del SINA consiste en los siguientes aspectos: (1) Integrar la conservación y el uso de los humedales a los planes regionales de desarrollo y a los planes de desarrollo municipal (2) Delimitación predial y deslinde de los humedales. (3) Otorgar las licencias ambientales para proyectos y obras que afecten los humedales. (4) Desarrollar protocolos y metodologías técnicas para la evaluación del impacto ambiental sobre los humedales y su biodiversidad. (5) Revisar los proyectos con licencia en curso. (6) Revisar el ciclo de los megaproyectos de infraestructura para integrar en todas sus fases la conservación, manejo y restauración de humedales. (7) Asegurar la multifuncionalidad de proyectos multipropósito. (8) Respecto a las cuencas reguladas: definir regímenes de manejo de ciclo hidrológico. (9) Revisar los distritos de riego y drenaje mayores de 10.000 hectáreas; y en coordinación con las CARs y CARDs, los menores de 10.000 hectáreas. (10) Concertar con el Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura – INPA - el control de la introducción de especies exóticas o transplantadas invasoras en los humedales. (11) Expedir un estatuto especial para los humedales forestales en el marco de la política de bosques. Y (12) Implementar incentivos económicos y no económicos dirigidos a la conservación y restauración de humedales.⁴

4

[<http://209.85.165.104/search?q=cache:VKffsuzOufoJ:www.humboldt.org.co/download/bol09.pdf+sina+y+humedales&hl=es&ct=clnk&cd=5&gl=co&client=firefox-a>] [Visitado en línea en enero 15 de 2007]

A nivel municipal, el Concejo de Santa Fe de Bogotá D.C., mediante el Acuerdo XIX del ocho de Diciembre de 1994, declara a los Humedales del Distrito Capital como reservas ambientales naturales.⁵

En su Artículo 1°: declara como reservas ambientales naturales de interés público y patrimonio ecológico de Santa Fe de Bogotá D.C., los Humedales de: La Conejera, Juan Amarillo, Torca, Guaymaral, Jaboque, Techo, El burro, La vaca, Córdoba, Santa María del Lago, Laguna de Tibanica, La Capellanía y El Meandro del Say.⁴ Expresando parágrafo seguido –que es área forestal protectora y ecosistema de importancia ambiental, el sistema de sustentación hidrográfica de los humedales y las áreas oferentes que conforman las cuencas de tributación de agua de los mismos, de conformidad con la Ley 99 de 1993.⁶

En su Artículo 2°: ordena al Alcalde Mayor del Distrito Capital, que en un término no mayor a ciento ochenta días, tome las medidas oportunas para la plena recuperación, preservación y mantenimiento de las respectivas áreas de los citados terrenos y cuerpos de agua, de acuerdo con las normas y procedimientos contenidos en la Constitución y en la Ley.⁷

En su Artículo 3°: ordena al Alcalde Mayor del Distrito Capital, que a través de la Secretaría de Hacienda Distrital, efectúe los traslados presupuestales que se soliciten para el acatamiento de lo ordenado en el presente Acuerdo.⁸

En su Artículo 4°: designa al DAMA como ente ejecutor y coordinador ante las diferentes Alcaldías Locales, entidades administrativas y de policía, para garantizar el cumplimiento del Acuerdo, encargando a la Veeduría Distrital y la Personería Distrital vigilar el cumplimiento del mismo.⁹

^{5,6,7,8,9} [<http://encolombia.com/medioambiente/hume-acuerdo1994.htm>] [Visitado en línea en febrero 7 de 2007]

En cuanto a las entidades encargadas del control de la contaminación industrial, puede decirse que las mismas se caracterizan por su poca claridad operacional. El motivo principal es la falta de recursos humanos especializados y también el bajo presupuesto con el que cuentan (Sánchez et al. 1994). Además, la financiación de programas de control de contaminación industrial, proviene del presupuesto nacional y en ciertos casos, de presupuestos de gobiernos municipales. Tal es el caso de la Secretaria de Salud de Bogotá (Sánchez et al. 1994).

Respecto a las normas y parámetros (pH, temperatura, grasas y aceites, sólidos suspendidos, DQO, sólidos sedimentables, arsénico, bario, berilio, boro, cadmio cobre, cromo, entre otros) de los vertimientos, éstos se encuentran estipulados en el Decreto 1954 de 1984 (Sánchez et al. 1994). (Véase anexos Tabla No. 1)

Las entidades controladoras nombradas en el presente aparte, se valen de dos herramientas esenciales: el régimen de uso de suelos (y por ende los permisos y licencias ambientales), y la declaración de efecto ambiental - previo estudio ecológico (Sánchez et al. 1994). Es apenas a partir de 1997, con la Resolución 055 del ocho de octubre de ese año, que la Empresa de Acueducto de Bogotá (EAAB) estipula las normas para el uso de servicios de alcantarillado en las áreas de jurisdicción de dicha empresa (DAMA et al. 2000).

De conformidad con el Artículo 27, CRN y Ley 99 de 1993, se ha impuesto la obligación legal de informar a las autoridades administrativas acerca de cualquier obra o proyecto que pueda producir deterioro ambiental (Sánchez et al. 1994). Toda obra o actividad que involucre el vertimiento de sustancias contaminantes a cuerpos de agua o sus lechos y cauces, debe presentar una declaración de efecto ambiental según el Artículo 8º, literales b), e), f), k), y o) del Decreto Extraordinario 2811 de 1974 (CRN) (Sánchez et al. 1994).

A su vez, el control de la contaminación hídrica industrial corresponde al título VI de la parte 2ª del Libro 2º del CRN y al Título IX del Decreto 1541 de 1978, del Código Sanitario Nacional, especialmente a las normas del Decreto 1541 de 1984 (Sánchez et al. 1994). En cuanto a los estándares establecidos para la ciudad de Bogotá D.C, éstos aparecen en la Resolución 1074 de 1997 del DAMA (DAMA, 1997). (Véase en anexos Tabla No. 1)

Es importante recalcar las falencias de la legislación colombiana en cuanto a normas establecidas para descargas. Se exige a los establecimientos industriales eliminar más del 50% de DBO, y más del 80% en caso de nuevas industrias (DAMA et al. 2000). Lo que es injusto, ya que al que contamina poco no se le puede exigir la misma reducción que al que contamina mucho. Por ejemplo, si los efluentes de determinada industria llegan a 5.000 ppm, ésta las debe reducir a 1000 ppm. Sin embargo, otra industria cuyos efluentes indican apenas 50 ppm, está obligada a reducirlas a 10 ppm (DAMA et al. 2000).

Por otro lado, se observa que respecto al cumplimiento de la norma de vertimientos de aguas residuales industriales, aún en áreas de jurisdicción de corporaciones como la CAR o la CVC, no se alcanza a intervenir ni siquiera el 50% de las industrias (Sánchez et al. 1994). Teniendo en cuenta la anterior afirmación, no es de extrañar que el 50% de las industrias restantes que no son intervenidas por el ente regulador, estén arrojando vertimientos con sustancias de orden sanitario, como metales pesados.

También es preciso destacar que el país no cuenta con los sistemas telemétricos de medición de contaminantes tóxicos en el agua y en general de residuos peligrosos. Lo anterior puede considerarse un gran inconveniente cuando se desea identificar los elementos tóxicos presentes en cuerpos de agua potable (Sánchez et al. 1994). A su vez, la carencia de mediciones confiables y oportunas de las emisiones y vertimientos contaminantes (generadas por el sector

industrial), imposibilita la identificación de las ramas industriales “contaminantes” en los países en desarrollo (Ortiz et al. 2005).

En general, en Colombia se presenta una tendencia creciente de las emisiones entre los años 1970 y 2000, tanto en los sectores más contaminantes como en el resto de sectores industriales (Ortiz et al. 2005).

En vista de las debilidades que presenta la normatividad e institucionalidad para la gestión ambiental en el país y la tendencia creciente de la contaminación industrial, no es de extrañar que ecosistemas como los humedales - declarados como reservas ambientales naturales - se vean afectados de forma negativa por los vertimientos de las industrias aledañas.

Resulta entonces importante analizar los aspectos normativos que deberían modificarse o replantearse, para lograr una mejor y más eficiente gestión ambiental. Además, sería conveniente preguntarse si los actuales parámetros de calidad del agua son apropiados para un área considerada reserva natural. Teniendo en cuenta que Jaboque ha presentado un fuerte impacto urbano e industrial, ¿qué tipo de indicadores se podrían implementar para una buena evaluación del estado de la biota en un área con fines de conservación?

4.5. Aspectos de la contaminación industrial y urbana en Colombia

La producción de bienes conlleva a transformaciones irreversibles de la materia y consumo de la energía. Esta transformación - de acuerdo a las leyes de la termodinámica - aumenta la entropía y la producción de residuos. Los ambientes acuáticos suelen ser los receptores finales de la mayoría de estos residuos (Betinni, 1998).

“Las ciudades modernas se han transformado en ecosistemas cada vez más artificiales y dependientes de la energía fósil y de las materias primas provenientes del exterior” (Betinni, 1998). Presentan una baja producción primaria autóctona y un elevado consumo interno, tanto por parte de los habitantes como por las actividades comerciales. Como resultado de estos procesos, se genera una gran acumulación de residuos sólidos, líquidos y gaseosos (Betinni, 1998).

Desde un punto de vista más global, la problemática generada por la contaminación industrial en las últimas dos décadas, es un aspecto de vital interés para los gobiernos de los países latinoamericanos (Ortiz et al. 2005).

A su vez, la evolución y el comportamiento de la contaminación industrial dependen de diversos factores, tales como las políticas económicas, la liberación comercial y la inversión extranjera (Ortiz et al. 2005).

Por otro lado, existen diferencias entre los distintos sectores industriales, a saber, el volumen, tipo y niveles de toxicidad de las emisiones que generan. Estas diferencias están asociadas a la eficiencia y a los costos de producción, los cuales a su vez dependen de las tecnologías utilizadas y su importancia dentro del PIB industrial y las exportaciones (Ortiz et al. 2005).

Es común que en América Latina se presenten falencias para acceder a datos periódicos y de buena calidad de las emisiones. Esto se debe principalmente al escaso desarrollo de las instituciones ambientales (Ortiz et al. 2005).

A su vez, la carencia de mediciones confiables y oportunas de las emisiones y vertimientos contaminantes (generadas por el sector industrial), imposibilita la identificación de las ramas industriales “contaminantes” en los países en desarrollo (Ortiz et al. 2005).

El Banco Mundial propone un método de estimación indirecta de emisiones por sector industrial, denominado IPPS² - Sistema de Proyección de Contaminación Industrial. Se trabaja bajo el supuesto de que la contaminación industrial se encuentra estrechamente ligada a la escala de actividad industrial. Claro está, la relación entre producción y contaminación debe ceñirse a los parámetros de cada actividad industrial - valor bruto de producción, valor agregado de la producción y número de empleados (Ortiz et al. 2005).

Con relación a los tóxicos totales, se observa que en países como México, Costa Rica, Colombia, Chile y Venezuela, se presenta un crecimiento de emisiones entre los años 1970 y 2000, tanto en los sectores más contaminantes como en el resto de sectores industriales (Ortiz et al. 2005).

En el caso específico de Colombia, las emisiones de las industrias más contaminantes presentan un crecimiento del 32%, frente al crecimiento de las menos contaminantes, que fue apenas del 19% (Ortiz et al. 2005).

Las emisiones de metales totales están asociadas a ciertos sectores industriales, como las refinerías de petróleo, la industria de hierro y acero, metales no ferrosos, la industria química, la producción de cueros, caucho y productos de metal (Ortiz et al. 2005). México, Chile, Colombia y Venezuela, presentan el mismo patrón de crecimiento de emisiones tóxicas en sus industrias “más contaminantes”, frente a los demás sectores (Ortiz et al. 2005).

Específicamente para Colombia, los niveles de contaminación ambiental de sus centros urbanos son mayores a aquellos de ciudades de países industrializados – inclusive cuando se trata de urbes más pobladas e industrialmente desarrolladas. Tal es el caso de ciudades como, Santafé de Bogotá, Cali, Medellín, Cartagena, Barrancabermeja y Sogamoso (Sánchez et al. 1994).

La degradación medioambiental en el país, ha sido causada por diferentes motivos. Entre éstos se destaca la poca inversión por parte del estado, al no haber implementado sistemas de tratamiento eficientes de aguas residuales domésticas, y de disposición de residuos sólidos. Por otro lado, el sector productivo actúa sin control efectivo y con tecnologías poco eficientes, que generan desequilibrios ecológicos y vertimientos residuales sin tratamiento previo (Sánchez et al. 1994).

En Colombia, la industria representa una de las principales fuentes de contaminación ambiental. Históricamente, la industria colombiana se ha caracterizado por su desarrollo proteccionista y el poco control estatal (Sánchez et al. 1994). Este esquema produjo la formación de mercados cautivos que permitieron establecer precios por encima de los estándares que primarían si hubiera mayor competencia. A su vez, la industria nacional, altamente protegida, obtuvo elevados márgenes de ganancia (Sánchez et al. 1994).

Este escenario no ofreció incentivos para lograr un desarrollo más dinámico – un desarrollo caracterizado por nuevas tecnologías, innovación industrial, técnica y gerencial. Por el contrario, fomentó el incremento acelerado de los vertimientos de aguas residuales sin tratamiento previo y las emisiones atmosféricas, entre otros contaminantes (Sánchez et al. 1994). A simple vista, pareciese que la industria nacional se ha apropiado del entorno natural para convertirlo en el receptor final de residuos a bajo costo (Sánchez et al. 1994).

Por otro lado, la apertura económica actual exige a las industrias transformar sus procesos con la finalidad de ser competitivos en los mercados internacionales. Existe una presión cada vez mayor para aplicar tecnologías menos contaminantes, instalar sistemas de tratamiento de aguas residuales y controlar las emisiones atmosféricas (Sánchez et al. 1994). Es factible suponer que estas presiones serán incrementadas con el convenio firmado del TLC.

4.5.1. Calidad del medio ambiente en Bogotá

Para analizar la calidad ambiental se toman en cuenta algunos indicadores, como la calidad del aire y del agua, niveles de contaminación por ruido y residuos sólidos y peligrosos. A continuación se procederá a explicar brevemente en qué consiste cada indicador, haciendo hincapié en la calidad del agua, por motivos de interés del presente estudio.

4.5.1.1. Contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica es producto de la incorporación de sustancias extrañas al aire del ambiente. Según la concentración y duración de las emisiones, se genera un mayor o menor deterioro ambiental, perjudicando la salud y el bienestar humano (Sánchez et al. 1994).

Estas emisiones al aire ambiente, se pueden clasificar como naturales y artificiales. Las naturales son propias de la actividad volcánica y los procesos biológicos, con la particularidad de que es imposible su control. En cuanto a las fuentes artificiales, provienen del desarrollo de las actividades antropogénicas, como la producción y el consumo. Las emisiones también se clasifican como fijas (chimeneas y hornos), móviles (vehículos) y de área (centros comerciales y quemadas abiertas) (Sánchez et al. 1994).

Las fuentes fijas aportan el 37%, mientras que las móviles el 60%. De acuerdo con los contaminantes emitidos, el monóxido de carbono contribuye con el 54.6%, las partículas suspendidas con el 18.4%, los óxidos de azufre con el 1.9%, los óxidos de nitrógeno con el 8.5% y los hidrocarburos con el 5.5% del total nacional (Sánchez et al. 1994).

Según el DAMA, la contaminación del aire en Bogotá, presenta una tendencia creciente. Este fenómeno se debe a cuatro factores primordialmente. A saber, la falta de aplicación de tecnologías limpias en la industria, al crecimiento urbano, el precario estado de las vías y a la reducción en la velocidad del tránsito. A su vez, el monitoreo de calidad del aire muestra que los sectores más críticos en este aspecto son el centro occidente y el noroccidente de la ciudad, en los cuales se supera la norma admisible.¹⁰

El parque automotor diario de Bogotá cuenta con 1.201.171 vehículos. El uso del transporte público equivale a 58,9%, de taxi es igual a 3,6%, de vehículo privado es 14,4%, motos es igual a 0,7%, bicicleta equivale al 2,2%, a pie es el 14,8% y otro modo equivale a 5,5% (DAMA & Alcaldía Mayor de Bogotá, 2006). Por su lado, el análisis económico refleja la posible asociación entre el crecimiento económico y el deterioro de la calidad del aire en Bogotá (DAMA & Alcaldía Mayor de Bogotá, 2006).

En cuanto a los valores de contaminación, el promedio de PM_{10} en Bogotá para el 2006, fue de 74. Nivel que sobrepasa la norma que es de 55 $\mu g/m^3$. La concentración de O_3 en periodos de 8 horas, para el 2006, se ha excedido en 38 ocasiones en cinco de las estaciones de muestreo. El comportamiento del monóxido de carbono -CO- para el 2006 fue de 20 ppm, nivel que se encuentra por debajo de la norma (35 ppm). En cuanto al bióxido de nitrógeno - NO_2 - este también se mantuvo en niveles por debajo de la norma (53 ppb) en toda la ciudad. El bióxido de azufre - SO_2 - igualmente se mantuvo en niveles bajos (DAMA & Alcaldía Mayor de Bogotá, 2006).

¹⁰ [<http://www.bogotacomovamos.org/bogotacv/scripts/ComoVa.php?men=5&con=20>] [Visitado en línea en enero 4 de 2007]

Según el DAMA y la Alcaldía Mayor de Bogotá (2006), los principales factores que contribuyen al problema son:

- La mala calidad del combustible, y la falta de control -como el contenido de azufre en diesel.
- Diseño y ajuste defectuoso de los equipos de combustión. Factor que produce combustión incompleta.
- Antigüedad del parque motor.
- Patrón de vientos predominantes en las horas de la mañana y de la tarde.

4.5.1.2. Contaminación por ruido

Se entiende por ruido un sonido no deseado, compuesto por varios tonos de distinta amplitud y frecuencia. En Colombia, los elevados niveles de ruido detectados en las ciudades, son producto de los vehículos de transporte, el comercio, la construcción y la industria manufacturera primordialmente (Sánchez et al. 1994). A su vez, las fuentes móviles como aeronaves y automóviles aportan en gran medida altos niveles de ruido registrados en los centros urbanos (Sánchez et al. 1994).

En la ciudad de Bogotá como en el resto del país, pocas industrias cuentan con sistemas de control del ruido para el interior y exterior de sus instalaciones. Viéndose esto reflejado en la hipoacusia – pérdida de la capacidad auditiva – como primera causa de enfermedad profesional (Sánchez et al. 1994).

Por otro lado, los niveles de ruido de las vías principales de la capital, exceden los 85 decibeles en las horas pico (Sánchez et al. 1994).

4.5.1.3. Residuos sólidos y peligrosos

La contaminación generada por residuos tóxicos es uno de los factores más graves del deterioro ambiental que enfrenta el país. Además de haber una gran carencia de recursos técnicos, humanos y monetarios para su regulación, también existe poco conocimiento de su producción, composición y efectos a mediano y largo plazo (Sánchez et al. 1994).

En el país se generan alrededor de 14.000 toneladas de residuos sólidos diariamente, siendo en su gran mayoría residuos de origen vegetal y animal (Sánchez et al. 1994). La generación de residuos sólidos industriales asciende a 6.310 toneladas diarias (Sánchez et al. 1994). De igual forma, la producción *per capita* de residuos es función del ingreso (Sánchez et al. 1994). Esto se ve reflejado en la diferencia de producción de basuras *per capita*, en zonas de altos ingresos de Cali, Bogotá y Medellín, en comparación con zonas rurales, de 1 Kg./día y 0.2 Kg./día respectivamente (Sánchez et al. 1994). Sin embargo, Bogotá es tal vez la única ciudad del país que cuenta con un relleno sanitario de seguridad (Sánchez et al. 1994).

En cuanto a la ciudad de Bogotá, esta cuenta con el relleno sanitario Doña Juana, el cual fue programado para servir a la capital. Actualmente, este recibe la totalidad de basuras tanto de Santafé de Bogotá como de algunos municipios vecinos (Sánchez et al. 1994).

4.5.1.4. Contaminación hídrica

Debido al desarrollo urbano desenfrenado y a la ineficiencia de programas de control y prevención de la contaminación hídrica, se han deteriorado los cuerpos de agua dulce y salobre del país (Sánchez et al. 1994).

En Colombia existen varias fuentes de contaminación hídrica, a saber, vertimientos industriales y domésticos, residuos provenientes de actividades agropecuarias, mineras y por procesos de lixiviación - resultado de la inapropiada disposición de los residuos sólidos (Sánchez et al. 1994).

A su vez, se registra una alta carga de patógenos, producto de los vertimientos domésticos, centros de salud, actividades pecuarias y la industria alimenticia, principalmente los mataderos (Sánchez et al. 1994).

Los sectores industrial, agropecuario y doméstico generan alrededor de 8.950 toneladas diarias de materia orgánica contaminante. De éstas, el 80% son aportadas por las industrias agrícola y pecuaria (Sánchez et al. 1994). También se vierten diariamente alrededor de 4 millones de metros cúbicos de aguas residuales a los cuerpos de agua continentales y marinos (Sánchez et al. 1994). La contaminación hídrica es un problema de gran envergadura, ya que las fuentes de agua contaminadas luego abastecen agua potable, irrigan cultivos y son fuentes de recreación (Sánchez et al. 1994).

Según reportes realizados por DNP-PNUD (1992) acerca de la contaminación industrial en Colombia, el volumen de aguas residuales arrojadas por la industria metalúrgica y siderúrgica colombiana, están en 1.200 m³/día, (36.000 m³ al mes) (DAMA et al. 2000).

De igual forma, las descargas de metales pesados (plomo, mercurio, cromo o cadmio), compuestos volátiles, grasas y aceites, eliminan la vida acuática y atentan contra la salud de los habitantes aledaños. Esto se debe al contacto con cuerpos de agua contaminados (Sánchez et al. 1994). Además, la descontrolada descarga de estos contaminantes, conlleva efectos irreversibles en la calidad y el uso del agua superficial y subterránea (Sánchez et al. 1994).

La industria química es responsable de verter a los cuerpos de agua, compuestos orgánicos volátiles y metales pesados, tales como el mercurio y el cadmio entre otros (Sánchez et al. 1994). De igual manera, la industria de curtiembres vierte a los ríos metales pesados tóxicos como el cromo (Sánchez et al. 1994).

Entre los residuos peligrosos se destacan los metales pesados, por su capacidad de depositarse en el lodo del lecho de los ríos. Luego, a través de procesos de desorción, continúan generando altas concentraciones de tóxicos en solución en los cuerpos de agua (Sánchez et al. 1994).

Por otro lado, los automotores aportan contaminantes de forma alarmante. Es de anotar que la mayor parte de los 650 mil barriles anuales de aceites lubricantes automotores, son vertidos por las alcantarillas a los cuerpos de agua, sin ningún tratamiento previo (Sánchez et al. 1994). Tal es el caso del Río Bogotá, que fue receptor de alrededor de 250.000 barriles de aceite motor en 1989 según estimaciones de la CAR (Sánchez et al. 1994).

La sostenibilidad urbana introduce el concepto de espacio ecológico. Este expresa la idea de que en un momento dado, existen límites concretos de stress ambiental, que los ecosistemas pueden absorber sin perjudicar su salud (Betinni, 1998).

En cuanto a la ciudad de Bogotá, es usual la percepción de que el río Bogotá es el más contaminado del mundo. En su paso por Bogotá presenta una alta carga de desechos biológicos e industriales, no poseen oxígeno en este trayecto y se le considera un río muerto, debido a que no posee vida macrobiótica alguna.¹¹

El este sistema fluvial de la ciudad debería recolectar sólo aguas lluvias. Este no es el caso, debido a que ciertas industrias utilizan los caños y el alcantarillado de aguas lluvias como botaderos de desechos sólidos.¹²

Aunque a finales de los años noventa se contrató una empresa francesa para la construcción de tres plantas de tratamiento de aguas residuales, el costo de la construcción y operación de éstas fue muy alto y su impacto relativamente bajo, por lo tanto, resulto ineficiente.¹³

4.5.1.4.1 Parámetros de calidad del recurso hídrico

La calidad del agua está definida por su composición química y por sus características físicas y biológicas, las cuales son el resultado de procesos tanto naturales como antropogénicos. La calidad del agua también depende de las diversas actividades socioeconómicas de los habitantes del área. Los cambios en la calidad del agua se miden por medio de parámetros fisicoquímicos y biológicos establecidos (DANE, 2003).

En general, las actividades humanas como la urbanización conducen a la fragmentación y contaminación del hábitat. A la larga, esto también afecta las abundancias y distribución de las diversas especies (Mehlman, 1997)

La contaminación del recurso hídrico se define como la alteración de su condición natural, por causas naturales o antrópicas, afectando parcial o totalmente su estructura y funcionalidad ecológica (DANE, 2003).

El recurso hídrico es degradado fundamentalmente por los vertimientos de aguas residuales, tanto domésticas como industriales. La intensidad de este efecto depende de factores como la densidad poblacional, el nivel de producción y la tecnología empleada.

^{11, 12, 13} [http://es.wikipedia.org/wiki/R%C3%ADo_Bogot%C3%A1] [Visitado en línea en marzo 1 de 2007]

La contaminación hídrica puede ser biológica o química. Esta última se genera por vertimientos industriales y aguas servidas. Los minerales vertidos se clasifican en sales y metales pesados. Por otro lado, están las sustancias orgánicas como detergentes, aceites, grasas y fenoles, entre otros (DANE, 2003). Para nuestro caso, nos fijaremos solo en los agentes antropogénicos de este deterioro.

Entre las variables a tomar en cuenta, está el volumen total de aguas vertidas y los indicadores de calidad del agua. Estos indicadores de las características físicas y químicas manifiestan el deterioro del recurso (DANE, 2003).

El volumen total de desechos se define como la cantidad total de efluentes vertidos a un cuerpo de agua, como productos secundarios de procesos industriales. Este volumen se expresa en metros cúbicos por tonelada de producción (DANE, 2003).

En cuanto a la calidad del agua, se analizan variables como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) - que mide la cantidad de oxígeno consumido en los procesos de depuración y transformación de la materia orgánica vertida. Esta se expresa en kilogramos por tonelada (DANE, 2003).

Otra variable, es la demanda química de oxígeno (DQO), la cual mide el oxígeno necesario para oxidar compuestos químicos presentes en el cuerpo de agua. Un alto nivel de DQO ($200\text{mg O}_2/\text{L}$), indica la presencia de contaminación por vertimientos y una baja capacidad de depuración. Un DQO hasta de $20\text{mg O}_2/\text{L}$ se traduce en aguas no contaminadas (DANE, 2003).

Otra fuente de contaminación son los sólidos suspendidos totales (SST), a saber, los compuestos que permanecen en estado sólido luego de la evaporación del agua. Por sus características físicas, estos residuos no son filtrables. Su concentración se expresa en kilogramos por tonelada (DANE, 2003).

4.5.2. Antecedentes: estudio realizado por el DANE acerca de la distribución espacial de las industrias en Colombia

La Encuesta Anual Manufacturera – EAM – determinó el tipo de industrias presentes en ciertas regiones, como también la distribución y concentración o dispersión geográfica de la actividad industrial (DANE, 2006). Se tuvo en cuenta los establecimientos manufactureros con diez o más personas ocupadas y/o que el valor de la producción fuera mayor a \$115,5 millones de pesos anuales en el 2005 (DANE, 2006).

Con el fin de analizar los principales vertimientos contaminantes realizados por parte del sector manufacturero, el DANE (2006) tomo en cuenta dos aspectos:

- Ubicación geográfica de ocho corredores industriales. Entre las que se encuentran: (1) Área metropolitana de Bogotá – Soacha; (2) Valle de Aburra; (3) Cali – Yumbo; (4) Cartagena – Mamonal; (5) Barranquilla – Soledad; (6) Pereira – Dos Quebradas; (7) Bucaramanga – Florida Blanca y (8) Manizales – Villa Maria.
- Las cuarenta y dos actividades económicas que presentan mayores niveles de contaminación en el país.

Las industrias se reagruparon bajo diez ramas para el cálculo de vertimientos. A saber, (311) fabricación de productos alimenticios; (312) elaboración de productos alimenticios; (313) Industrias de bebidas; (321) fabricación de textiles; (323) Industrias de cuero y productos de cuero y sucedáneos de cuero y pieles; (351) Fabricación de sustancias químicas e industriales; (352) Fabricación de otros productos químicos; (362) Fabricación de vidrio y productos de vidrio; (371) Industrias básicas de hierro y acero y (384) Construcción de material de transporte.

4.5.2.1. Principales resultados

Vertimientos por actividad económica

Actividad	Conversión toneladas	Volumen de desechos Kg/Tn	Total de desecho Tn	DBO Kg/Tn	Total DBO Tn	DQO Kg/Tn	Total DQO Tn	SST Kg/Tn	Total SST Tn
311	3.581.835	14,44	51.717	4,66	16.701	7,21	25.818	7,03	25.197
312	1.189.375	13,91	16.539	1,34	1.589	9,18	10.922	4,09	4.861
313	3.472.211	8,81	30.601	2,91	10.092	0,00	0	3,15	10.921
321	363.917	244,00	88.796	123,89	44.762	279,00	101.533	77,00	28.022
323	315.132	52,00	16.387	89,00	28.047	258,00	81.304	138,00	43.488
351	1.716.199	3,60	6.178	22,70	38.958	30,00	51.486	9,00	15.446
352	3.000.885	3,00	9.003	11,29	33.887	16,00	48.014	33,73	101.228
362	26.122	45,17	1.180	0,00	0	0,00	0	0,70	18
371	1.682.028	3,60	6.055	0,79	1.325	0,00	0	6,10	10.260
384	2.544.306	55,00	139.937	19,30	49.105	36,22	92.155	8,30	21.118

La industria que presenta el mayor volumen de desechos por kilogramo es la de fabricación de textiles (321) (DANE, 2003). Por otro lado, de acuerdo con los indicadores DBO, DQO y SST, se denota que las industrias más contaminantes son las textiles y cuero. Por los volúmenes de producción, las industrias de fabricación de productos químicos son igualmente altamente contaminantes (DANE, 2003). Igualmente, se observó que la mayor porción de los vertimientos generados por las industrias, se concentran en las áreas metropolitanas de Bogotá, Medellín y Cartagena (DANE, 2003). Por último, se concluye que la contaminación hídrica por vertimientos industriales es fácilmente localizable tanto geográficamente como a nivel de actividad industrial, lo que hace suponer que sea viable un buen control por parte del estado (DANE, 2003).

5. Área de estudio

El Humedal de Jaboque se encuentra en la localidad de Engativá, al occidente de la ciudad, contiguo a la cuenca del Río Juan Amarillo, entre el Aeropuerto

Internacional El Dorado y la Autopista Medellín (DAMA, 2000). Limita por el occidente con el río Bogotá, y al sur con los barrios Engativá, Bolivia, Las Mercedes, Puerto Amor, Villa del Mar y la carretera que une a Engativá con el parque la Florida. Al oriente, el humedal limita con los barrios Álamos Norte, Álamos Sur y Bosques de Mariana entre otros. Al norte, limita con los barrios Villas de Granada, Los Ángeles y áreas destinadas a cultivos y ganadería (DAMA, 2000). Comprende 57 hectáreas aproximadamente y presenta una forma alargada en dirección sur-oriente-noroccidente (EAAB & CI, 2003).

Red hídrica de la ciudad de Bogotá

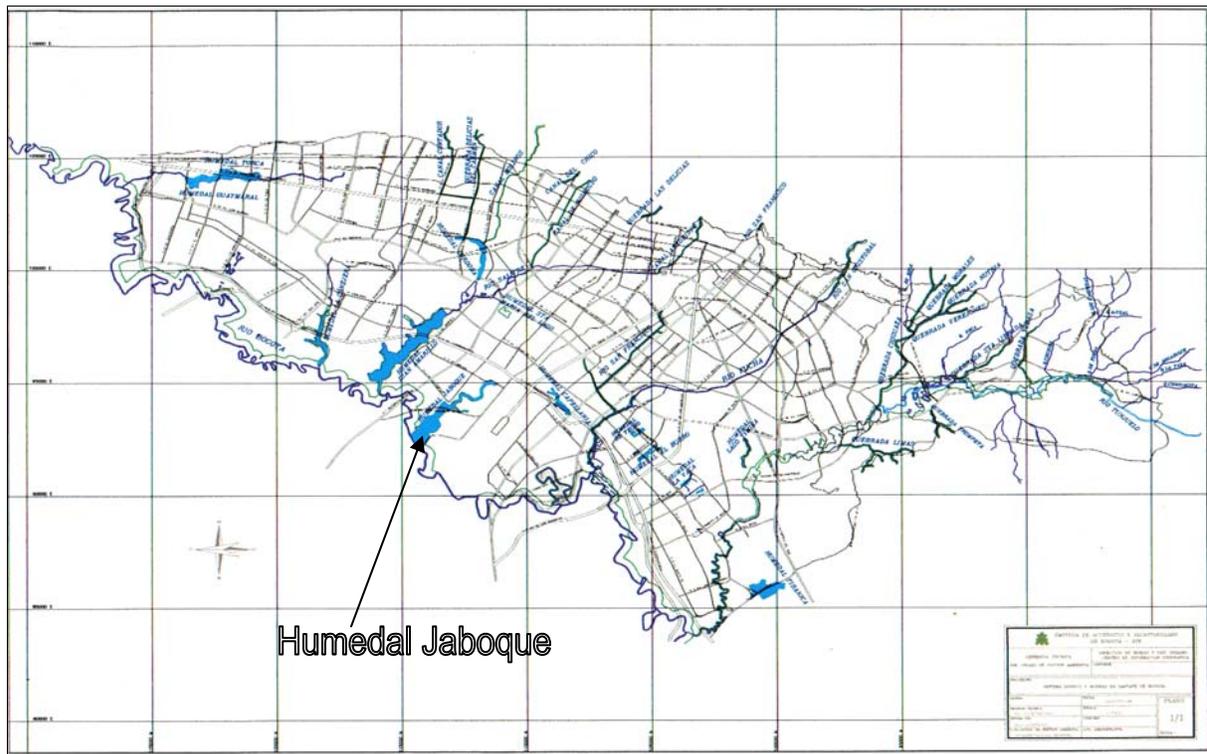
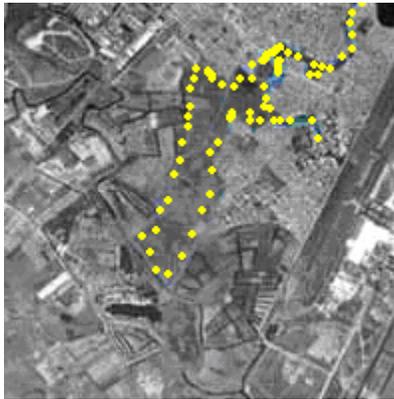


Figura 1. Mapa actual de los humedales de Santa Fe de Bogotá. Fuente: Plano “Sistema Hídrico y Rondas de Santafé de Bogotá”. EAAB, 1999.



1998

Figura 2. Fuente: <http://www.encolombia.com/medioambiente/hume-bogota-historia2.htm#Humedal%20de%20Jaboque>

El humedal Jaboque presenta una importante relación con el resto de humedales de Bogotá ya que todos forman parte de la gran red hídrica de la ciudad. La conectividad existente entre los humedales de montaña y los humedales de planicie en la sabana de Bogotá, es de gran importancia para el sistema de la cuenca (Herrera et al. 2004).

La distribución de los humedales de Bogotá presenta un amplio gradiente altitudinal. Es gracias a la conectividad existente en la estructura ecológica, que la dinámica hidrológica regional, el desplazamiento de la fauna en su migración altitudinal y la diversidad ecosistémica local, sean procesos que se puedan llevar a cabo (Herrera et al. 2004).

De acuerdo con lo anterior, la gestión de los humedales en términos de la conservación de la biodiversidad, se debe basar en la conectividad ecológica, la diversidad paisajística, la amortiguación hidráulica y la recarga de las aguas subterráneas de la Sabana (Van Der Hammen. 2003). A la vez, que se asegura un manejo adecuado de los vertimientos que son arrojados a sus cuerpos de agua.

Por otro lado, la administración de la ciudad durante los últimos años, abordó el tema de los humedales con la idea general de transformarlos en parques para la recreación deportiva. Se construyó una plaza extensa adoquinada en el humedal Juan Amarillo y se crearon ciclovías pobremente arborizadas en la ronda del humedal Jaboque.¹⁴

Estas intervenciones generaron un debate entre el gobierno distrital, los académicos y la ciudadanía, conscientes de la importancia de la conservación de los humedales. Por esta razón se atenuaron las intervenciones implementadas a éstos y se exploraron formas alternativas para detener el deterioro ambiental, buscando la recuperación y conservación de estos ecosistemas.¹⁵

5.1. Estado actual de la biota en Jaboque

El Humedal Jaboque ha sido estudiado por el Convenio de Investigación Aplicada entre la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – EAAB - y la Universidad Nacional de Colombia (2005).

Las perturbaciones al Humedal Jaboque incluyen cambios de “magnitud dos” en sus atributos físicos, químicos y biológicos. Es decir, el humedal sigue comportándose como tal a pesar de algunas alteraciones en ciertas funciones ambientales o valores sociales (Convenio de investigación EAAB & CI. 2005. Investigadores: López & Otálora)

^{14,15} [<http://bogowiki.org/humedales>] [Visitado en línea en enero 4 de 2007]

Entre los factores que puedan afectar un ecosistema, se destaca la introducción de especies invasoras (como en el caso de la acuicultura), la contaminación del agua (ya sea química o de descarga de sólidos), la urbanización, cambios en el uso del suelo, canalizaciones (que alteran los flujos de superficie), la remoción de sedimentos o de vegetación, la sobreexplotación de recursos biológicos y el represamiento o inundación permanente (Convenio de investigación EAAB & CI. 2005. Investigadores: López & Otálora).

En cuanto a la vegetación, de acuerdo con Garnés (2004), se encontró que el Humedal Jaboque está compuesto por tres estratos:

- Estrato alto (2m) compuesto fundamentalmente por *Typha latifolia* y *Schoenoplectus californicus*.
- Estrato medio (50cm a 1m) compuesto principalmente por especies herbáceas y gramíneas como el pasto “Kikuyo”.
- Estrato rasante (0-30cm) dominado por especies flotantes.

Para el caso de la herpetofauna, se registraron tres especies de serpientes en el humedal: *A. crassicaudatus*, *A. cf weneri*, y *L. epinephelus*. También se ha detectado una especie de anfibio: el *H. Labiales*, y otra especie identificada solo por medio de su canto, *C. subpunctatus*. Estos herpetos se encuentran principalmente entre las plantas macrófitas, gramíneas y en refugios como troncos, rocas, escombros y agua (Convenio de investigación EAAB & CI. 2005. Investigadores: Castaño & Ruiz).

Las especies observadas se limitan a anfibios y serpientes, lo cual nos indica que los lagartos se han extinguido en la zona. Su extinción posiblemente se deba a la falta de una ronda de vegetación arbustiva y arbórea (Convenio de investigación EAAB & CI. 2005. Investigadores: Castaño & Ruiz).

Según Lynch y Renjifo (2002), otra especie recientemente desaparecida es la *H. labialis*. Aunque muy tolerante a la actividad humana, los altos niveles de contaminación en los humedales de la ciudad la han extinguido casi del todo. Se afirma que sus huevos y renacuajos no pueden sobrevivir a elevadas cargas de contaminación (Convenio de investigación EAAB & CI, 2005. Investigadores: Castaño & Ruiz).

En cuanto a la avifauna, se registraron en Jaboque 55 especies de aves que pertenecen a 20 familias. Entre las cuales se destacan la familia Tyrannidae (mosqueteros y atrapamoscas) con un total de ocho especies, la familia Ardeidae (garzas) con siete especies, seguida por las familias Rallidae (tinguas) e Icteridae (chamones) con seis especies cada una (Convenio de investigación entre la EAAB & CI, 2005. Investigadores: López & Otalora).

Entre las especies más comunes sobresalen el copetón (*Zonotrichia capensis*), la golondrina (*Notiochelidon murina*), la torcaza (*Zenaida auriculata*), la garza africana (*Bubulcus ibis*) y la monjita (*Agelaius icterocephalus*), el curii (*Tyrannus melancholicus*) y el chamón (*Molothrus bonariensis*) (Convenio de investigación entre la EAAB & CI, 2005. Investigadores: López & Otalora). Entre las especies migratorias registradas se encuentran *Tyrannus savana*, *Coccyzus americanus* y las golondrinas *Progne tapera* y *Riparia riparia* (Convenio de investigación entre la EAAB & CI, 2005. Investigadores: López & Otalora). Para el caso de las especies endémicas, se destacan la tingua bogotana (*Rallus semiplumbeus*), el cucarachero de pantano (*Cistothorus apolinan*), la tingla (*Gallinula melanops*) y especies raras como las garzas *Egretta thula* y *Egretta caerulea* (Convenio de investigación entre la EAAB & CI, 2005. Investigadores: López & Otalora).

Estudios realizados por el DAMA (2003), reportaron la extinción global de cuatro especies endémicas de aves, de las cuales tres eran subespecies. Tal es el caso del zambullidor colombiano (*Podiceps andinus*), el pato pico de oro (*Anas*

geórgicas niceforoi), la cerceta castaña (*Anas cyanoptera borreroi*) y el tachuri acanelado bogotano (*Polystictus pectoralis bogotensis*). De igual forma, ciertas especies migratorias no se volvieron a observar, como el pato calvo (*Anas americana*), el pato rabudo (*Anas acuta*) y el chorlito dorado menor (*Pluvialis dominica*). A su vez, entre las especies residentes como la tingua (*Rallus semiplumbeus*), el cucarachero de pantano (*Cistothorus apolinari*) y la tingua moteada (*Gallinula melanops bogotensis*), se encuentran registradas actualmente en el Libro Rojo de la UICN (1997).

De acuerdo a estudios realizados por la EAAB y Conservación Internacional (CI) 2000, el registro de especies de aves en los humedales de Bogotá es el siguiente:

Numero de especies registradas	ATRIBUTOS ECOLÓGICOS						
	EXTINTAS REGIONALMENTE	EXTINTAS GLOBALMENTE	AMENAZADAS LOCALMENTE	MIGRATORIAS	ENDEMICAS	SUB-ESPECIES ENDEMICAS	INVASORAS O INTRODUCIDAS
143	43	3	10	56	4	9	19

5.2 Estado actual del agua en el Humedal Jaboque

La profundidad del humedal Jaboque oscila entre 17 centímetros y 1.60 metros. La concentración de oxígeno disuelto es generalmente muy baja. Por sus altas concentraciones de amonio, nitratos y fosfatos, el humedal pertenece al grupo de cuerpos de agua eutróficos (Convenio de investigación EAAB & CI. 2005. Investigador: Gonzáles). Lo anterior Indica que soporta altas cargas de nutrientes, las cuales crean biomasa y se sedimentan. De éstos, pocos son reciclados o lavados. Este escenario indica la acumulación de un proceso de contaminación

continúo durante décadas (Convenio de investigación EAAB & CI. 2005. Investigador: Gonzáles).

La poca profundidad de Jaboque (50cm) facilita la mezcla por turbulencia y continuo contacto con el aire. A su vez, dificulta el establecimiento de parámetros físico-químicos estables (Convenio de investigación EAAB & CI. 2005. Investigador: Gonzáles).

Los muestreos realizados por la EAAB (2005) de la calidad de los vertimientos de los humedales de Bogotá, indican que el humedal Jaboque presenta los más altos niveles de vertimientos de cadmio, aluminio total, zinc, cobre, cromo, níquel, plomo, DQO, SST y SS, en comparación con los demás humedales de la ciudad. No obstante, los niveles aceptados son excedidos solamente por cadmio, plomo, SST y SS, según el marco normativo de la Resolución 1074 de 1997 del DAMA.

A su vez, esto se relaciona con la presencia de una matriz mixta de tipo residencial, comercial e industrial. Especialmente, se destaca la presencia de industrias que generan aguas residuales con metales pesados en sus procesos de fabricación. Tal es el caso de la industria de pinturas y barnices, y la fabricación de hierros y aceros, entre otros. Otras industrias generan residuos metálicos en estado sólido – virutas – como es el caso de la industria metalmecánica. (Véase en Anexos las Tablas: 3 - 10)

En cuanto a los parámetros físico-químicos, se encontró que la concentración de oxígeno disuelto en el humedal, es muy baja, en ciertos casos imperceptible y oscila entre 0.2 y 2 mg/L (Convenio de investigación EAAB & CI. 2005. Investigador: Gonzáles). El potencial de oxidación-reducción presenta valores promedio que fluctúan entre 75 y 98 mV. Es menor en la parte superior de la columna de agua y aumenta gradualmente con la profundidad (Convenio de investigación EAAB & CI. 2005. Investigador: Gonzáles).

La conductividad oscila entre 100 μS y 300 μS , en el periodo comprendido entre enero y abril de 2005. La temperatura presenta valores promedio que oscilan entre 16 y 18 $^{\circ}\text{C}$ y el pH presenta valores estables que fluctúan cerca a 7 (Convenio de investigación EAAB & CI. 2005. Investigador: Gonzáles).

A su vez, los valores de la DQO oscilan entre 100 y 150 mg/L O_2 . Y los valores de la DBO fluctúan entre 15 y 20 mg/L O_2 (Convenio de investigación EAAB & CI. 2005. Investigador: Gonzáles).

Por otro lado, los parámetros biológicos en el humedal Jaboque, muestran las siguientes condiciones: una población algal homogénea a nivel de grandes grupos, con un total de 67 morfoespecies de algas. Entre las cuales se destacan las pertenecientes a las clases Bacillariophyceae (diatomeas), Euglenophyceae y Cryptophyceae (Convenio de investigación EAAB & CI. 2005. Investigador: Gonzáles).

Los organismos del zooplancton presentan una composición homogénea, gracias a la amplia oferta alimenticia. Existen 24 morfotipos, entre los cuales se destacan los organismos pertenecientes a las clases Actinopoda y Rotaria y las subclases Branchipoda, Copepoda y Ostracoda (Convenio de investigación EAAB & CI. 2005. Investigador: Gonzáles).

En general, las aguas del Humedal Jaboque contienen un alto número de coliformes totales. Por ende, no deben ser utilizadas para fines de consumo humano y doméstico, agrícola o recreativo (Ávila & Estupiñán, 2006).

De acuerdo con los análisis de calidad de agua realizado por la EAAB (2005), éstos indica altos niveles de cadmio (0.176 mg/L), plomo (4.411 mg/L), cobre (0.25 mg/L), zinc (29.79 mg/L), níquel (1.358 mg/L), Sólidos Suspendidos Totales

(14344 mg/L), Sólidos Sedimentables (106 mg/L), coliformes fecales ($5.1 \cdot 10^3$ NMP/100ml) y grasas y aceites (447 mg/L) según la Resolución 1074 del DAMA (EAAB, 2005). (Véase en Anexos Tabla 2)

Los humedales en el distrito capital muestran vertimientos diferentes de metales pesados, lo cual refleja distintos grados de contaminación antropogénica. Esta información es pertinente tanto para el manejo de los humedales, como para el desarrollo industrial y urbano.

Según la EAAB y CI (2003), los humedales son los receptores finales de las aguas residuales y las aguas lluvias de la ciudad. Por lo tanto es pertinente localizar las fuentes de contaminación y buscar su tratamiento en el sitio de origen, antes de que estas ingresen al Río Bogotá. Los elementos tóxicos que llegan al humedal pueden magnificarse o transformarse en sustancias más deletéreas para la biota que allí habita y a su vez implica un riesgo para la salud humana.

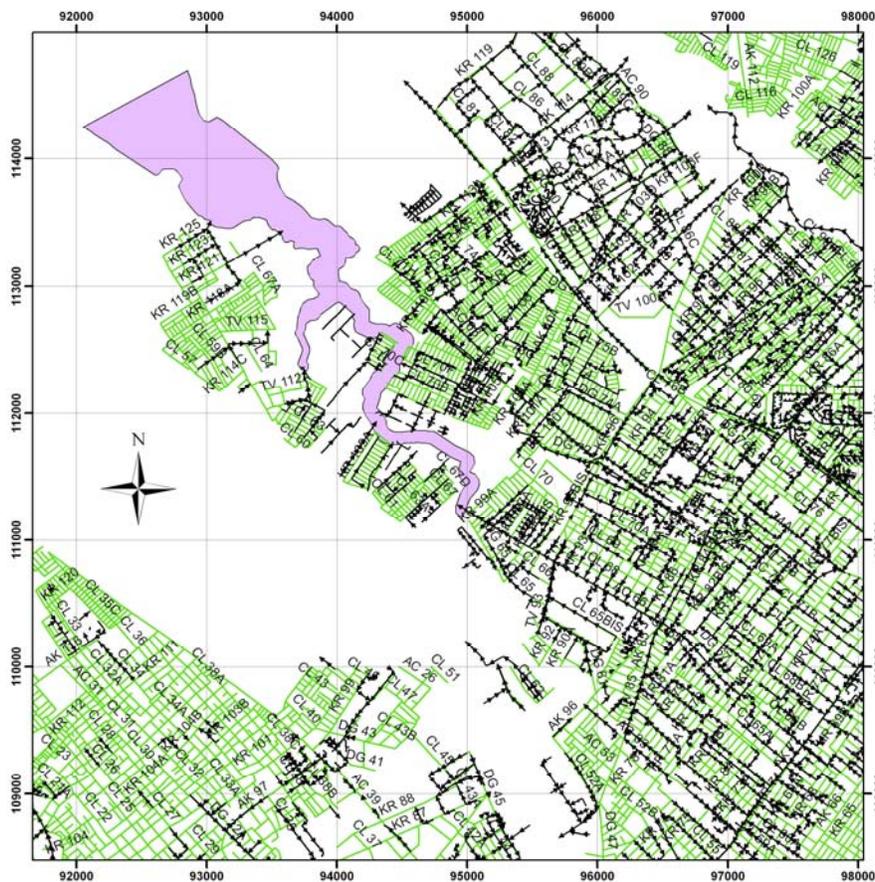
5.3 Cuadro de los procesos de deterioro en el Humedal Jaboque

6. Resultados y discusión

6.1.1. Delimitación de la zona aferente del Humedal Jaboque a partir de la Red Pluvial

Para este propósito, se trabajó en el software ArcGis. Se tuvo en cuenta la direccionalidad de la red pluvial – utilizando un mayor aumento de la imagen – para poder seleccionar la zona de confluencia de las redes pluviales que vierten sus aguas en el Humedal Jaboque. Se delimitó el área aferente a través de la creación de varios polígonos, que posteriormente fueron unificados, creando el área de estudio – la zona aferente del humedal.

Figura 3.



Identificación de la Zona Aferente del Humedal Jaboque a partir de la Red Pluvial

- Red pluvial
- Nomenclatura
- Humedal Jaboque

0 0,5 1 2 3
Kilómetros

Fuente: EAAB

Sistema de Coordenadas: Bogota DACD

Mayo de 2007

Jessica Acherman

6.1.2. Localización de las industrias con datos de la Encuesta Anual Manufacturera – EAM – más verificación en campo y ubicaciones de los muestreos de los vertimientos realizados por la EAAB.

A continuación se procede a ubicar en el mapa las industrias localizadas en el área aferente del Humedal Jaboque, de acuerdo a los registros de la EAM. Posteriormente, se alimenta este mapa con la información obtenida en el trabajo de campo. Por último, se ubican los puntos donde se realizaron los muestreos de los vertimientos (EAAB, 2005). (Véase en Anexos Tabla 2)

INDUSTRIAS ZONA AFERENTE HUMEDAL JABOQUE

Tabla 1. Industrias localizadas en la Zona Aferente del Humedal Jaboque – registradas en la EAM.

Id	Dirección	Actividad	
1	TR 93 # 65A-30	2529	Fabricación de artículos de plástico
2	CLL 64 # 90A-73	1530	Elaboración de productos lácteos
3	TR 93 # 63- 46 INT 8	2109	Fabricación de otros artículos de papel y cartón
4	CLL 64 # 88A - 06 INT 17	1810	Fabricación de prendas de vestir
5	CLL 62 No. 115-25	2811	Fabricación de productos metálicos para uso estructural
6	CLL. 64 N°92-29	1750	Fabricación de tejidos y artículos de punto y ganchillo
7	CLL 65 # 94 - 26	2813	Fabricación de generadores de vapor
8	CRA 88A # 62-74	1810	Fabricación de prendas de vestir
9	Transversal 112A # 62 - 55	2811	Fabricación de productos metálicos para uso estructural
10	TR 96 ^a # 70-35	2695	Fabricación de artículos de hormigón, cemento y yeso
11	TR 93 # 62-46 INT 14	1810	Fabricación de prendas de vestir
12	CLL 66 # 95 - 15	1810	Fabricación de prendas de vestir
13	CRA 90 B # 71A-33	1810	Fabricación de prendas de vestir
14	CLL 64 # 88 A-06 IN 7 Y 8	1810	Fabricación de prenda de vestir
15	CLL 64 # 92-39	3210	Fabricación de tubos y válvula eléctrica
16	Carrera 92 # 63 - 81	3120	Fabricación de aparatos de distribución y control de la energía eléctrica
17	CLL 59A # 76A-42 BODEGA 3	3611	Fabricación de muebles para el hogar
18	CLL 68A # 87-53	3430	Fabricación de partes, piezas y accesorios
19	CLL 62 # 115 A - 62	2424	Fabricación de jabones y detergentes
20	CLL. 74 A # 87-08	3611	Fabricación de muebles para el hogar
21	CALLE 65 BIS No. 90 A - 03	3430	Fabricación de partes, piezas y accesorios
22	CRA 90A # 68-36	3430	Fabricación de partes, piezas y accesorios
23	CRA 92 # 62 - 21	2109	Fabricación de otros artículos de
24	CLL 65 BIS # 90A - 36	1551	Elaboración de productos de panadería
25	CLL. 58 # 116 A- 35	2710	Industrias básica de hierro y acero
26	CLL 68 # 90A-47	2919	Fabricación de otros tipos de maquinaria
27	CLL 60 A # 78A-73 SUR	2812	Fabricación de tanques, depósitos y recipientes de metal

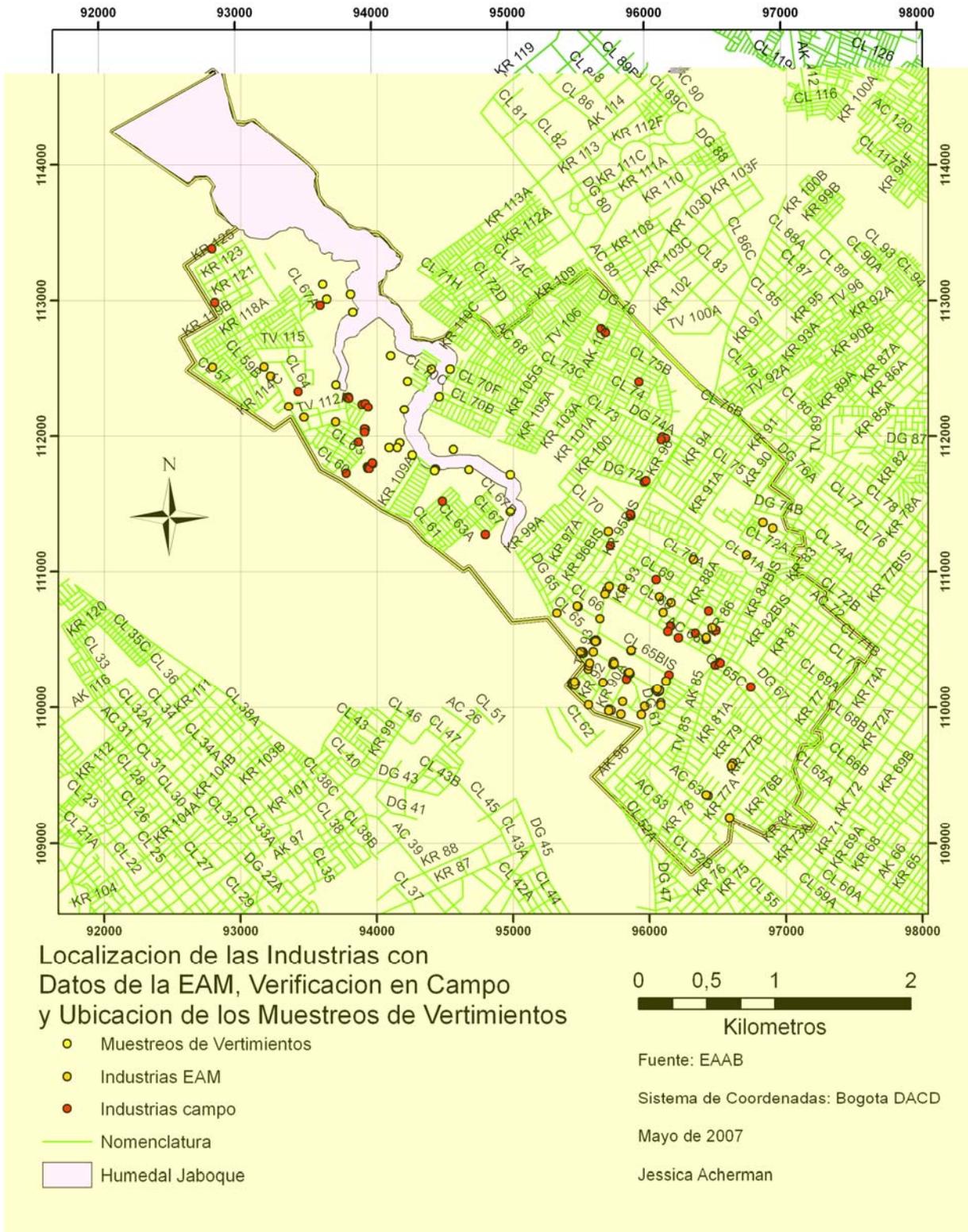
28	CRA 94 # 68-50	3613	Fabricación de muebles para comercio
29	CRA 78 # 62-37 SUR	2429	Fabricación de otros productos químicos
30	CRA 88A # 63-80	1750	Fabricación de tejidos
31	CRA 89A # 62-95	2102	Fabricación de papel y cartón
32	CLL 64 A # 94 - 70	2040	Fabricación de recipientes de madera
33	TR 93 # 62-70 BODEGA 9	1931	Fabricación de artículos de viaje, bolsos de mano y similares.
34	TR 93 # 64 - 24	1530	Elaboración de productos lácteos
35	CR 78 B BIS # 62 A 11 SUR	2914	Fabricación de hornos, hogares y quemadores industriales
36	CLL. 62 # 114-79	3611	Fabricación de muebles para el hogar
37	TR 93 # 62-64	3230	Fabricación de receptores de radio
38	TR 93 # 65 A 70.	2429	Fabricación de otros productos químicos
39	CLL 64-A # 94-27	2423	Fabricación de productos farmacéuticos
40	CLL 64 A # 94-35	2423	Fabricación de productos farmacéuticos
41	CLL 62 No 88 A - 69	1749	Fabricación de otros artículos textiles
42	CLL 66 # 95-27 B LOS ALAMOS	3120	Fabricación de aparatos de distribución
43	CLL 64 # 88 A-06 IN 14	2521	Fabricación de formas básicas de papel
44	TR 93 # 62-46 INT 12	1810	Fabricación de prendas de vestir
45	CLL 64 # 92-55	1932	Fabricación de artículos de viaje
46	CLL 68 # 87-28	3611	Fabricación de muebles para el hogar
47	CALLE 72 No 88-42	3612	Fabricación de muebles para oficina
48	TRANSV. 93 # 62-70 INT.54	2424	Fabricación de jabones y detergente
49	CRA 90 A # 62-38	1720	Tejedura de productos textiles
50	CRA. 90 A # 62 - 06 BODEGA	2411	Fabricación de sustancias químicas
51	CLL 66 N° 95-07	1810	Fabricación de prendas de vestir
52	CRA 91 # 67 A - 23	2422	Fabricación de pinturas y barnices
53	CRA 112 C # 67 A 21 INT 5 ENGA	2422	Fabricación de pinturas y barnices
54	CRA 89A# 62-05 ALAMOS Z.I	2521	Fabricación de formas básicas de papel
55	CLL 64 # 88A-30	2211	Edición de libros, folletos y partituras
56	CLL 64 A # 94-88	1511	Producción, transformación y conservación de carne y derivados cárnicos
57	TR 93 # 66-18	1750	Fabricación de tejidos y artículos
58	CLL 67 No 96A-18	2429	Fabricación de otros productos químicos
59	CRA 88 A # 63-66	1810	Fabricación de prendas de vestir
60	CLL 66 # 95-82	2919	Fabricación de otros tipos de maquinaria
61	TR 93 # 62-86	1922	Fabricación de calzado de cuero
62	CRR 88 # 74 A - 18	1551	Elaboración de productos de panadería
63	CRA 90A # 62-38	1720	Tejedura de productos textiles
64	CLL 64 # 88A-06 INT 16	2412	Fabricación de abonos y compuestos orgánicos
65	CLL. 60 A # 78 C- 37 SUR BOSA	3430	Fabricación de partes, piezas y accesorios
66	Transversal 93 # 63-46 Int.1	1750	Fabricación de tejidos y artículos
67	TRANSV. 93 # 66-27	1810	Fabricación de prendas de vestir
68	TR 93 # 62-46 IN 2	3110	Fabricación de motores

Tabla 2. Industrias localizadas en la zona aferente del Humedal Jaboque – Verificación en campo

Trabajo en Campo			
No.	Razón	Tamaño	Dirección
1	Madera	pequeño	Cr 105 – 75
2	Madera	pequeño	Cr 104 CII 75
3	Madera	pequeño	CII 74 Cr 100
4	Taller cambio aceite	pequeño	Cr 96 – 74
5	Fundición metales	pequeño	Cr 96 – 74
6	Taller cambio aceite	pequeño	Cr 96 - 74
7	Taller cambio aceite	mediano	Cr 96 - 72
8	Madera	pequeño	Cr 96 - 71
9	Madera	pequeño	Cr 96 - 71
10	Taller cambio aceite	pequeño	Cr 96 - 72
11	Madera	pequeño	Cr 96 - 69
12	Taller mecánica automotriz	mediano	CII 69 - 92
13	Taller mecánica automotriz	pequeño	Cr 90 - 61
14	Fundición metales	pequeño	CII 61 Cr 90
15	Taller mecánica automotriz	pequeño	Cr 90 - 67
16	Madera	pequeño	Cr 90 - 66
17	Madera	mediano	CII 66 - 89
18	Prensa metales	pequeño	Cr 87 CII 68
19	Prensa metales	pequeño	Cr 87 CII 68
20	Madera	mediano	Cr 88 - 68
21	Madera	mediano	Cr 88 - 69
22	Alimentos	mediano	Cr 86 A - 68
23	Madera	mediano	Cr 85 A - 66
24	Vidrios	pequeño	Trasv 85 - 67 A
25	Taller mecánica automotriz	pequeño	Trasv 85 - 67 A
26	Rectificadora de motos	pequeño	CII 66 - 81
27	Distribuidor telas	grande	Tranv 93 - 66
28	Panamericana	grande	CII 65 95- 09
29	Panamericana	grande	CII 65 A - Tranv 93
30	Panamericana	grande	CII 65 - 95
31	Alimentos	mediano	CII 65 A - Tranv 93
32	Iluminación	grande	CII 65 A - Tranv 93
33	Taller ornamentación	pequeño	CII 65 A -93
34	Maquinaria helados	grande	CII 64 C - 93
35	Ropa	mediano	Cr 92 - 64 C
36	Farmacéutica	grande	Cr 90- 64 C
37	Farmacéutica	grande	Cr 90- 64 C
38	Vidrios	grande	CII 64 - 90
39	Sumitex Ltda Centro Industrial Eldorado	grande	Cr 88 A - 64

40	Printex	grande	Cr 88 A – 65
41	Ropa	mediano	Cr 88 A – 64
42	Ropa	mediano	Cr 88 A – 64
43	Ropa	mediano	Cr 88 A – 64
44	Farmacéutica	mediano	Cr 88 A – 64
45	Central Comunicaciones	grande	CII 64 Cr 127
46	Madera	mediano	Cr 121 A 31
47	Fundición metales	mediano	Cr 121 – 30
48	Prensa metales	pequeño	Cr 121 – 61
49	Madera	pequeño	Cr 121 – 61
50	Madera	pequeño	CII 64 D 113 F
51	Pinturas	pequeño	Cr 115 D CII 70 A
52	Madera	pequeño	CII 69 Cr 113
53	Madera	pequeño	CII 69 Cr 113
54	Madera	pequeño	CII 69 Cr 113
55	Prensa metales	pequeño	CII 69 Cr 112 B
56	Madera	pequeño	CII 69 Cr 112 B
57	Prensa metales	pequeño	Cr 112 - 69 C
58	Prensa metales	pequeño	CII 69 Cr 111
59	Prensa metales	mediano	Cr 111 C - 67
60	Madera	pequeño	Cr 111 C - 67
61	Prensa metales	pequeño	Cr 111 C - 66
62	Carrocerías, flotas, buses	grande	Cr 111 C - 65 A
63	Madera	pequeño	Cr 111 B – 61
64	Fundición metales	pequeño	Cr 110 D - CII 64 A
65	Fundición metales	pequeño	Cr 110 D - CII 64 A
66	Madera	pequeño	Cr 110 D - CII 64 A
67	Madera	pequeño	Cr 110 – 64
68	Madera	pequeño	Cr 110 – 65
69	Prensa metales	pequeño	Cr 110 – 65
70	Fundición metales	pequeño	CII 66 A Cr 106
71	Fundición metales	pequeño	Cr 105 – 66

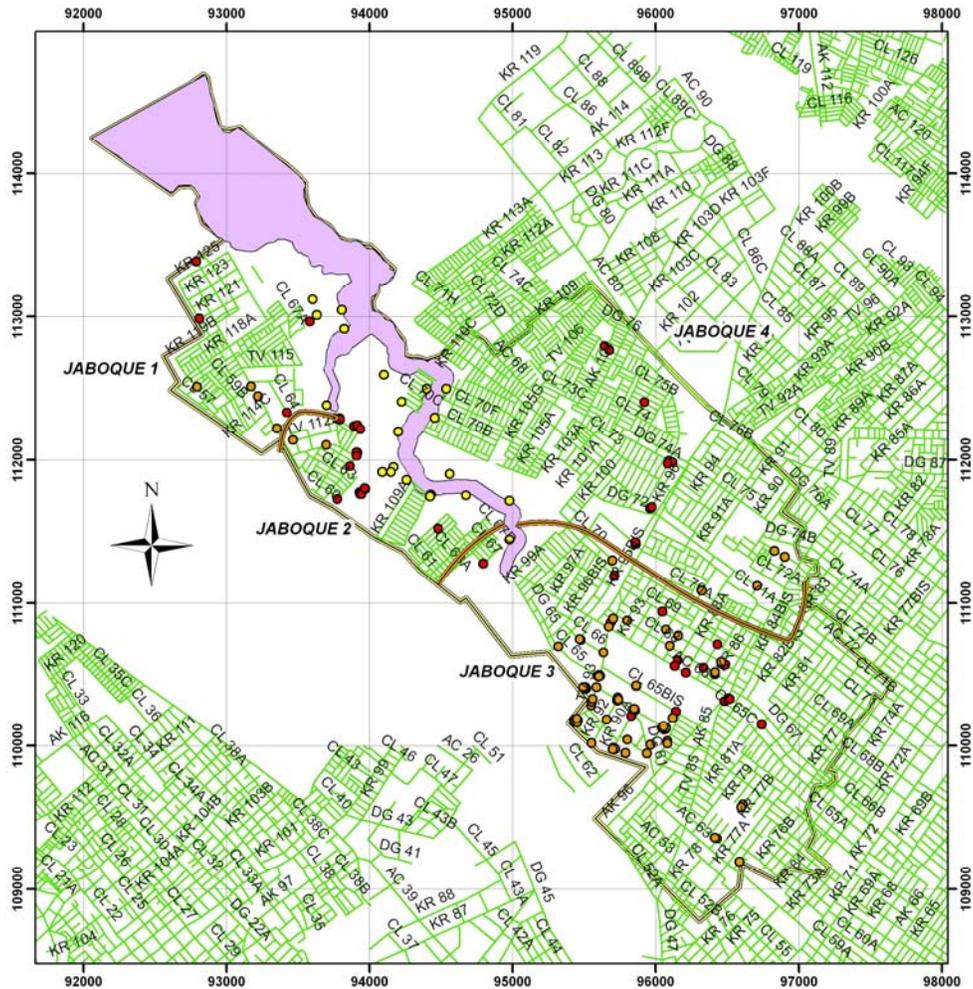
Figura 5.



6.1.3. Zonificación de la zona aferente del humedal Jaboque, según la ubicación de las industrias y los puntos de confluencia de los muestreos de vertimientos

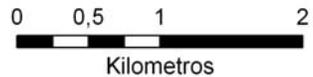
Esta zonificación se hizo con el fin de facilitar el análisis de la relación entre la ubicación de las industrias y el estado de la calidad de los vertimientos. Se zonifica la zona aferente en cuatro secciones que se muestran a continuación.

Figura 6.



Zonificación de las Industrias
Segun la Confluencia de la
Red Pluvial

- Muestras de Vertimientos
- Industrias EAM
- Industrias campo
- Nomenclatura
- Humedal Jaboque



Fuente: EAAB

Sistema de Coordenadas: Bogota DACD

Mayo de 2007

Jessica Acherman

6.2. Análisis de los datos

Según los muestreos de calidad de los vertimientos (EAAB, 2005) de los humedales de Bogotá D.C., Jaboque es el humedal más contaminado. Además, presenta los valores de vertimientos más elevados en cuanto a aluminio total, zinc, cobre, cromo, níquel, plomo, DQO, SST y SS, en comparación con los demás humedales. No obstante, los niveles aceptados son excedidos solamente por cadmio, plomo, SST y SS.

A su vez, se relacionó este fenómeno con el contexto espacial del mismo. Por ende, la matriz mixta (residencial e industrial) en la cual se ubica Jaboque, explica el estado de sus aguas. Igualmente, la calidad de los vertimientos de cada humedal obedece a su contexto espacial o tipo de matriz en el cual se localiza.

Se evidenció que el número de industrias en la zona aferente del Humedal Jaboque, debidamente registradas en la EAM, eran apenas la mitad del total de industrias encontradas, conjuntamente con el trabajo de campo (Véase Tablas 1 y 2). Habiendo ubicado las zonas de muestreos de vertimientos e identificado las industrias del área aferente del Humedal Jaboque, como también sus respectivas áreas de influencia, se obtuvieron los siguientes resultados:

Los muestreos de vertimientos 3, 18, 19 y 20 presentan los más altos niveles de metales pesados – cadmio, níquel, plomo, cobre y cromo total - sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, grasas y aceites y demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Estos cuatro puntos donde se muestrearon los vertimientos (EAAB, 2005), se encuentran en el área aferente de Jaboque, en las zonas: I (3, 19 y 20) y III (18).

Las industrias localizadas alrededor de estos colectores son las siguientes:

En la zona I se hallan:

- 1 central de comunicaciones.
- 1 fábrica de pintura.
- 2 talleres de carpintería.
- 1 taller de metalmecánica y 2 fabricantes de productos metálicos para uso estructural y 1 industria básica de hierro y acero.
- 1 fábrica de jabones y detergentes.
- 1 fábrica muebles para el hogar.

En la zona III se encuentran:

- 3 talleres de mecánica automotriz, 1 rectificadora de motos, 4 industrias que fabrican partes, piezas y accesorios para vehículos automotores, 1 fábrica de motores, generadores y transformadores eléctricos y 1 fábrica de tanques, depósitos y recipientes de metal.
- 4 industrias de metalmecánica.
- 4 talleres de carpintería y 1 taller que fabrica recipientes de madera.
- 5 industrias farmacéuticas, 4 industrias químicas
- 2 industrias de vidrio.
- 5 industrias de papel, cartón y derivados y una editorial de libros, folletos y partituras.
- 2 industrias de alimentos, 2 lecherías, 1 panadería, 1 industria de producción, transformación y conservación de carne y de derivados carnicol y 1 industria que fabrica abonos y compuestos inorgánicos nitrogenados.
- 1 industria que fabrica impresoras, 1 industria de iluminación, 1 industria que fabrica generadores de vapor, 2 industrias que fabrican otros tipos de maquinaria general, 2 industrias que fabrican aparatos de distribución y control de la energía eléctrica, 1 fábrica de hornos y quemadores industriales, 1 fábrica tubos y válvulas electrónicas y de otros componentes

electrónicos, 1 fábrica receptores de radio y 1 industria que fabrica maquinas de helados.

- 13 industrias que fabrican prendas de vestir, 4 industrias de tejidos y artículos, 2 fábricas de artículos de viaje, 2 industrias de productos textiles, 1 industria que fabrica otros artículos textiles y 1 fábrica de calzado de materiales textiles.
- 1 fábrica de muebles para el comercio y servicios y 2 fábricas de muebles para el hogar.
- 1 fábrica de pinturas, barnices y revestimientos similares, tintas para impresión y masillas.
- 2 fábricas de plástico y 1 fábrica de artículos de plásticos.
- 1 fábrica de jabones y detergentes.

En cuanto a la zona I, es de primordial importancia para este estudio, la industria de pinturas. Este tipo de industria aporta residuos líquidos con presencia de aceites, grasas y metales pesados – cromo, cianuro cúprico, plomo, mercurio, níquel, selenio y zinc – entre otros. (Véase en Anexo Tablas 3 - 10). De igual manera, la industria de productos metálicos para uso estructural y la industria básica de hierro y acero, aportan residuos líquidos con presencia de oxido de zinc, plomo, níquel y cromo. Estas sustancias se generan en los procesos de refinamiento de minerales, fundición de hierro, acero y vaciado (Véase en Anexos Tablas 3 - 10). Las emisiones de metales totales están asociadas con ciertos sectores industriales, como las refinerías de petróleo, la industria de hierro y acero, metales no ferrosos, la industria química, la producción de cueros, caucho y productos de metal (Ortiz et al. 2005).

En cuanto a la zona III son de especial interés los fabricantes de partes y accesorios para vehículos automotores. En ciertos casos, estos procesos comprenden el galvanizado, el cual genera residuos líquidos con presencia de metales pesados – plomo, plata, níquel, zinc, cobre, cromatos y dicromatos. En

especial, tales residuos se presentan en los procesos de brillado, cromado, anodizado, estañado (Véase en Anexos Tablas 3 - 10). En esta zona también se encuentra la industria de pinturas, barnices y revestimientos, tintas para impresión y masillas, las cuales aportan óxidos de mercurio, de plomo, de zinc, de cadmio, sulfuro de cadmio y sulfoselenuro de cadmio, entre otros, generados en procesos de lavado (Véase en Anexo Tablas 3 - 10).

Las zonas II y IV presentan una contaminación inferior a las zonas I y III. Las industrias que se encuentran alrededor de la zona II, son las siguientes:

- 9 talleres de carpintería
- 10 industrias de metalmecánica
- 1 fábrica de pinturas, barnices y revestimientos similares, tintas para impresión y masillas.

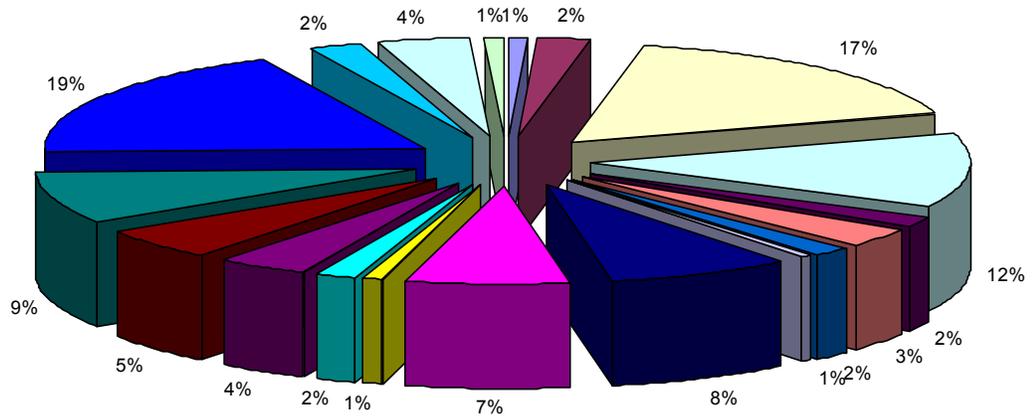
Las industrias que se hallan alrededor de la zona IV, son las siguientes:

- 7 talleres de carpintería
- 4 talleres de cambio de aceite
- 1 industria de metalmecánica
- 1 taller de mecánica automotriz
- 1 fábrica de muebles para el hogar 1 fábrica de muebles para oficina.
- 1 fábrica de ropa
- 1 fábrica de artículos de hormigón, cemento y yeso
- 1 panadería

Al igual que en el caso anterior, la industria de pinturas, barnices y similares de la zona II, es de especial interés sanitario por los residuos líquidos con alto contenido de metales pesados. En la zona IV, la industria de mayor interés es la de mecánica automotriz.

Gráfica 1. Abundancia de los diferentes tipos de industrias presentes en la zona aferente del Humedal Jaboque

Industrias de la Zona Aferente del Humedal Jaboque



- Central de comunicaciones.
- Fábrica de pinturas, barnices y revestimientos similares
- Talleres de carpintería
- Talleres de metalmecánica
- Fábricas de jabones y detergentes
- Fábricas de muebles
- Fabricantes de productos metálicos para uso estructural
- Industria básica de hierro y acero.
- Talleres alusivos a la industria automotriz
- Industrias farmacéuticas/químicas
- Industria que fabrica abonos y compuestos inorgánicos nitrogenados.
- Industrias de vidrio.
- Industrias de papel, cartón y derivados y una editorial de libros, folletos y partituras.
- Industrias de alimentos
- Industrias de producción de maquinas varias
- Industrias de ropa y similares
- Fábricas de plástico
- Talleres de mecánica automotriz
- Fábrica de artículos de hormigón, cemento y yeso

Se observa que las industrias de mayor interés por sus posibles vertimientos con sustancia de interés sanitario – metales pesados – entre las cuales se destacan las industrias: de pintura, de productos metálicos para uso estructural, la automotriz (suponiendo que utiliza el galvanizado en la fabricación de ciertas piezas) y la industria básica de hierro y acero, representan tan solo el 12,4% del total de industrias presentes en la zona aferente del Humedal Jaboque. Si no se

toma en cuenta a la industria automotriz como una de las industrias de interés, éstas se reducen al 4,7%. Este panorama permite observar que la calidad de los vertimientos se ha visto alterada por un bajo porcentaje de las industrias presentes en su área aferente.

Para vislumbrar los motivos por los cuales los humedales de Bogotá presentan esta problemática ambiental, es crucial remontarse a lo que podrían ser los fundamentos del problema. Esto implica un recuento de la historia del desarrollo económico del país.

Como se mostró en el documento, el desarrollo económico del país se ha caracterizado por su política proteccionista. Además, se evidencia un notable aumento en las emisiones industriales y altos niveles de contaminación en los centros urbanos.

Este escenario no proporcionó incentivos para lograr un desarrollo dinámico con tecnologías de punta e innovación. Por el contrario, se fomentó una contaminación acelerada por medio de aguas residuales sin tratamiento previo. Hecho por el cual la contaminación hídrica ha cobrado gran relevancia en el país.

El humedal Jaboque, siendo uno de los más grandes de la ciudad de Bogotá, es a su vez el más contaminado. Esto se debe a la mayor abundancia y diversidad de industrias en su zona aferente, en comparación con los demás humedales de la ciudad. En algunos casos, los vertimientos con presencia de metales pesados sobrepasan los niveles permitidos por las normas vigentes.

La respuesta de una población ante un cambio ecológico rara vez es instantánea (Moriarty, 1999). Igualmente, es imposible predecir con certeza el efecto tóxico de un contaminante sobre una especie, para explicar su toxicidad en otra especie

(Moriarty, 1999). Aún así, se basa en la literatura existente permite vislumbrar los posibles efectos de metales pesados en la biota y el ecosistema.

Se sabe que las sustancias químicas son transportadas y difundidas a mayor velocidad en estado líquido (Moriarty, 1999). Teniendo en cuenta que el humedal es un ecosistema acuático, es factible que tales químicos se hayan difundido con gran facilidad y rapidez a través del medio. Pero como se desconoce cuánto tiempo han permanecido estos químicos en el ecosistema, como tampoco su tasa de introducción, el escenario es uno de gran incertidumbre.

Aunque es mucho lo que se desconoce acerca de la permanencia de estos elementos tóxicos en el ecosistema, la literatura identifica a algunas especies como indicadoras del estado actual del humedal. Tales especies acumulan contaminantes en sus tejidos en concentraciones superiores a las del medio acuático, lo cual nos permite apreciar con mayor precisión el verdadero impacto de la contaminación.

De acuerdo con la literatura, es factible especular que los organismos del humedal hayan presentado una reducción de su diversidad genética por su exposición a estos contaminantes. También es posible que las poblaciones de ciertas especies hayan experimentado una menor fecundidad, un aumento en su mortalidad o una disminución del número de adultos viables para la reproducción, por su exposición a metales pesados. Igualmente, podrían haberse presentado mutaciones en algunos organismos, afectándose así su dinámica poblacional.

Según la literatura citada, también es factible que se hayan acumulado metales pesados en los órganos de diversas aves – especialmente en las acuáticas – que hacen escala en los humedales al realizar sus rutas migratorias. Tales metales se concentran en órganos como el cerebro, músculos pectorales, riñones, hígado, páncreas y los huesos. De igual manera, los elevados niveles de cadmio

encontrados en los humedales podrían estar causando una disminución en la anidación de ciertas especies, daños en los riñones o atrofia de los testículos.

También es posible que la contaminación con metales pesados haya contribuido a la extinción y/o disminución de las poblaciones de aves en el humedal Jaboque. De hecho, los estudios realizados en el Convenio de Investigación Aplicada entre la EAAB & CI (2003), apuntan hacia tal posibilidad. En estos estudios, se reportó la extinción global de cuatro especies endémicas de aves, de las cuales tres eran subespecies. Tal ha sido la suerte del zambullidor colombiano (*Podiceps andinus*), del pato pico de oro (*Anas geórgicas niceforoi*), de la cerceta castaña (*Anas cyanoptera borreroi*) y el tachuri acanelado bogotano (*Polystictus pectoralis bogotensis*). De igual forma, ciertas especies migratorias no se volvieron a observar, como el pato calvo (*Anas americana*), el pato rabudo (*Anas acuta*) y el chorlito dorado menor (*Pluvialis dominica*) DAMA (2003). A su vez, entre las especies residentes como la tingua (*Rallus semiplumbeus*), el cucarachero de pantano (*Cistothorus apolinari*) y la tingua moteada (*Gallinula melanops bogotensis*), se encuentran registradas actualmente en el Libro Rojo de la UICN (1997) DAMA (2003).

Según la literatura citada, también se ha evidenciado el efecto de estos tóxicos en la ictiofauna. Es factible que ésta se haya visto afectada directamente por la bioacumulación de metales pesados en branquias e hígado. También se especula sobre una posible reducción en su biodiversidad. Lo mismo podría estar ocurriendo con la herpetofauna, lo cual habrá contribuido a la pérdida de diversidad que se ha observado. De hecho, en ciertas áreas sólo se registran anfibios y serpientes, con ausencia de lagartos. También está el ejemplo de la reciente desaparición de *H.labia*. Aunque muy tolerante a la actividad humana, los altos niveles de contaminación en los humedales de la ciudad la han extinguido casi por completo.

En cuanto a los posibles trastornos que pueda estar presentando la biota del humedal Jaboque, sería pertinente realizar muestreos de los tejidos de diferentes especies para detectar procesos de bioacumulación de metales pesados en sus órganos, como también las consecuencias de tal acumulación.

Hasta el momento sólo se han abordado los posibles efectos de metales pesados sobre la biota. Sin embargo, también es importante tener en cuenta la movilidad de estos elementos y su posible traslado hacia los estratos más profundos del suelo. Inclusive, podrían llegar a comprometer la calidad de las aguas subterráneas.

A su vez, el deterioro de las condiciones del paisaje, al igual que la reducción y el aislamiento de los humedales, también habrán incidido en la reducción de la diversidad. Se supone que la ausencia de parches cercanos con características apropiadas (fuentes de recursos), habrá afectado la abundancia de ciertas especies. Tal habrá sido la suerte del presente caso – el Humedal Jaboque.

Con el fin de asegurar la biodiversidad y la salud de sus ecosistemas, los humedales están catalogados como áreas de protección. Sin embargo, la calidad del agua en sus vertimientos indica una preocupante contaminación con metales pesados.

Tal como se planteó anteriormente, la conservación busca salvaguardar la biodiversidad y los diferentes recursos y ecosistemas (Sarnoff, 1971). Según esta afirmación, y de acuerdo con los resultados de los muestreos de vertimientos en el humedal Jaboque, se debe cuestionar la factibilidad de lograr los objetivos planteados. ¿Se están logrando las metas, o continúa en riesgo la viabilidad de la biota de este humedal? En términos generales, el humedal Jaboque forma parte de la red hídrica de la ciudad. Aunque todavía presenta un elevado grado de

diversidad, corre el riesgo de desaparecer. Por lo tanto, es un área de importancia para la conservación.

Como los humedales no sobreviven aisladamente, es de vital importancia asegurar su conservación conjunta. Por lo tanto el humedal Jaboque se debe abordar de forma holística y no como un sistema aislado e independiente. Como todo humedal, el Jaboque tiene un sinnúmero de relaciones con el paisaje y se debe conservar la conectividad que presenta con los demás humedales de la ciudad. Entre todos, se genera una dinámica hidrológica regional. También inciden en el desplazamiento de la fauna y aseguran una mayor diversidad del ecosistema local. Por lo tanto, se debe asegurar la protección de todos los humedales y velar por una calidad apropiada de los vertimientos a sus cuerpos de agua.

Tal como se concluyó en el Foro Internacional de Humedales, estas áreas protegidas requieren para su viabilidad - dentro del contexto urbano - la eliminación o mitigación de ciertos disturbios estresantes. Entre éstos se destaca la calidad de los cuerpos de agua, los cuales son sensibles al vertimiento de aguas negras, a la separación de aguas lluvias (que sí deben alimentar el humedal), a los residuos tóxicos, a los metales pesados y también a los rellenos de tierra o escombros.¹⁶

¹⁶[http://72.14.209.104/search?q=cache:Toyb0y59c8gJ:www.conservation.org.co/ktml2/files/uploads/Eventos/CONCLUSIO NES_DEL_FORO__INTERNACIONAL_DE_HUMEDALES.pdf+Foro+Internacional+de+Humedales&hl=en&ct=clnk&cd=3&client=firefox-a] [Uribe Castaño C. Visitado en línea en abril 1 de 2007].

Tal como se discutió anteriormente, se han observado ciertas debilidades en la gestión de las diversas entidades institucionales encargadas del medio ambiente. Existe poca claridad operacional en el control de la contaminación industrial, por la falta de recursos humanos especializados y los bajos presupuestos. Por tanto, es imprescindible buscar la manera de fortalecer estas limitaciones, con el fin de obtener mejores resultados en los proyectos de conservación, como es el caso de los humedales de la ciudad de Bogotá D.C.

Aunque la legislación exige una declaración de efecto a quienes viertan sustancias contaminantes a cuerpos de agua o a sus lechos y cauces, existen dudas acerca del cumplimiento de esta norma. Aún en áreas de jurisdicción de corporaciones como la CAR o la CVC, no se alcanza a intervenir ni siquiera al 50% de las industrias (Sánchez et al. 1994).

Es importante generar normas pertinentes para cada tipo de industria. Esto a su vez implica una base de datos actualizada de toda actividad industrial. De hecho, el presente estudio evidenció que el número de industrias en la zona aferente de Jaboque, debidamente registradas en la EAM, eran apenas la mitad del total de industrias encontradas, conjuntamente con el trabajo de campo. Por otro lado, la ausencia de muestreos periódicos de la calidad y cantidad de vertimientos industriales, es un grave limitante para el adecuado control de la contaminación del agua en general, y en este caso especial, para el humedal Jaboque.

Por otro lado, cabe aclarar que por limitaciones de presupuesto, los registros de contaminación de los humedales sólo se han realizado esporádicamente. No se han hecho muestreos periódicos que demuestren el comportamiento oscilante de la contaminación durante un mes o en los últimos cinco años.

Lo anterior no es de extrañar, ya que en América Latina es muy usual que se presenten limitaciones en cuanto a datos periódicos y de buena calidad (Ortiz et

al. 2005). Además, el país no cuenta con los sistemas de medición de contaminantes tóxicos en el agua y en general, de residuos peligrosos. Esto constituye aún otro agravante para el control de la contaminación.

Para nuestro actual estudio, esta limitación puede implicar errores significativos en cuanto a los resultados de los datos y para lograr un cabal entendimiento del comportamiento de los vertimientos en Jaboque.

Ya que la contaminación hídrica por vertimientos industriales es fácilmente localizable, tanto geográficamente como por tipo de actividad industrial, se podría esperar un buen control por parte del estado (DANE, 2003). De hecho, tales estudios son de gran importancia para esclarecer este tipo de problema ambiental, cuyos efectos pueden ser devastadores de no controlarse a tiempo.

Por lo tanto, las nuevas exigencias y estándares de cumplimiento de normas ambientales constituyen un verdadero reto – especialmente a la luz de las mayores presiones generadas por la globalización y la apertura económica. Entre otras, estas presiones propenden por una producción mas limpia, productos ambientalmente amigables y alimentos orgánicos.

7. Enfoque para la mitigación de la contaminación hídrica del Humedal Jaboque

Por encontrarse dentro de una matriz urbana, con sus crecientes necesidades de espacio y energía, el humedal Jaboque se ha visto afectado de diversas formas. Más específicamente, se ha comprometido la calidad de sus aguas por el vertimiento de sustancias tóxicas con metales pesados. En algunos casos, la tasa de contaminación sobrepasa los niveles admisibles.

En su condición de reserva ambiental natural - declarado así por el Concejo de Santa Fe de Bogotá - el humedal Jaboque cuenta con cierta protección estatal. Pero también se encuentra justamente en medio de una ciudad en continua expansión y crecimiento poblacional. Esto introduce un problema en cuanto a su manejo. Ya que los humedales de la ciudad de Bogotá sostienen una gran diversidad biológica, forman parte de una red alimenticia y desempeñan un importante rol en los ciclos hidrológicos y químicos que purifican el agua. Los humedales también forman parte del sistema geográfico del Altiplano Cundiboyacense y son un punto estratégico para el paso de aves acuáticas migratorias (Moreno et al. 2000). Las intervenciones realizadas por las anteriores administraciones en pro de su conservación, no han sido las más apropiadas.

Los planes de mitigación en humedales deben incluir en primer lugar, medidas de prevención y minimización de los impactos causados por las obras, proyectos o políticas. En segundo lugar, se debe elegir un enfoque para mitigar los daños infringidos en el ecosistema. Existen tres enfoques para compensar los daños causados. A saber, mejora o aumento, restauración y creación (AASHTO, 1996).

La mejora o aumento se caracteriza por la manipulación de un humedal para mejorar ciertas funciones de éste y sólo se puede realizar con una vasta información y conocimiento de las condiciones del mismo. Adicionalmente, se debe tener en cuenta que estas mejoras no ocurrirían naturalmente en el tiempo como parte del proceso sucesional (AASHTO, 1996).

Entre las acciones de este enfoque se encuentran: (1) La plantación para incrementar la diversidad de la comunidad de vegetación. (2) Excavación de canales con el fin de fortalecer las conexiones hidrológicas. (3) Excavación de áreas más profundas para aumentar la diversidad de tipos de humedal y (4) Allanación de las pendientes para crear humedales emergentes (AASHTO, 1996).

La ventaja de este enfoque es que puede ser generado de forma simple y con bajo costo. La desventaja consiste en la dificultad de poner de acuerdo a las diferentes entidades.

La restauración es la inversión de un proceso previo de degradación o modificación del humedal. Éste generalmente incluye: (1) La restauración del régimen hidrológico. (2) La eliminación de plantas invasivas - por medio de quemas repetidas, uso de herbicidas, aumento del nivel del agua, sombra o excavación. (3) Remoción de rellenos antiguos de caminos o carreteras (4) Remoción de sedimentos y limpieza de materiales tóxicos (AASHTO, 1996). Las ventajas y desventajas de este enfoque son similares al enfoque anterior.

Por último, la creación implica el establecimiento de un nuevo humedal en una zona de mayor altitud (AASHTO, 1996). Este enfoque incluye: (1) La excavación de un área de mayor altitud, para crear un sitio de elevación idónea y con una provisión permanente de agua para el humedal. (2) Expansión de las fronteras de un humedal, a través de la excavación. Y (3) Represar agua en una zona de depresión río arriba.

El éxito de este enfoque se basa en la presencia de una predicción precisa del nivel del agua en las diferentes estaciones del año. A su vez, los componentes principales del alto costo de este enfoque, son los que corresponden a la excavación y a la introducción de suelos que provean una base idónea para el establecimiento de la vegetación de humedal. La creación de un humedal va a reemplazar los humedales impactados.

En este documento se propone tratar la problemática de calidad del recurso hídrico en el Humedal Jaboque a través del enfoque de restauración, más específicamente por medio de la fitoremediación. Esto debido a que este enfoque es el que mejor se adapta al contexto del Humedal Jaboque de acuerdo a los

criterios anteriormente discutidos y por su bajo costo monetario. Aunque la creación es un enfoque que podría ser muy beneficioso para mitigar el problema de contaminación hídrica por su alta eficiencia, el alto costo monetario que esto implicaría, podría convertirse en un gran inconveniente para este propósito.

El uso de plantas para el mejoramiento o recuperación ambiental, ha sido denominado remediación verde, fitoremediación o fitoextracción (Chaney et al. 2000). Fitoremediación, puede definirse como la eliminación de contaminantes principalmente a través de la fotosíntesis de las plantas. La limpieza se refiere a la destrucción, inactivación o inmovilización del factor contaminante, dejándolo en una forma inocua. De esta manera, se incluyen las plantas desarrolladas y las algas, como los principales agentes de fitoremediación (Horne, 2000).

El retiro de contaminantes del suelo, requiere de la supervisión de alguna entidad regulatoria. La estrategia comercial consiste en usar la fitoremediación como una opción de menor costo en comparación con los costosos métodos de ingeniería. Adicionalmente, nos ofrece una alternativa mediante la cual el factor contaminante sería retirado de los suelos y luego reciclado o desechado de una forma segura (Chaney et al. 2000).

A continuación se ilustran las semejanzas y diferencias entre la bioremediación convencional, la fitoremediación y la fitoremediación de humedales (Horne, 2000):

Contaminación	Bioremediación Convencional	Fitoremediación Terrestre	Fitoremediación en Humedales
Volumen de líquido desecho	Bajo	Bajo	Alto
Volumen de sólidos desechos	Alto	Moderado	Bajo
Fuente de energía	Añade carbón	In situ	In situ
Método de contención	Tanques, bombeadores	No necesita	Carillones
Remediación lejos del	Si y no	No	Si y No

sitio			
Desechos agrícolas	No	No	Si
Aguas lluvias urbanas	No	No	Si
Aguas negras domesticas	No	NO	Si
Aguas negras industriales	Si	Si	Si
Drenaje ácido de minas	No	No	Si
Metales pesados	No aplicable	Acumulación de metales	Inmovilización de Metales
Suelos contaminados	Si	Si	Rara vez
Agua contaminada bombeada del suelo	Si	No	Si
Metales	No	Si	Si
Tóxicos Orgánicos	Si	Potencial	Potencial
Nutrientes	No	No	Si
Patógenos	No	No	Tal vez

De acuerdo con Chaney et al. (2000), las estrategias generales para la fitoremediación de metales en el suelo son las siguientes:

- La fitoextracción de elementos del suelo a través de los retoños de plantas, para su posterior reciclaje o para su eliminación por medio de métodos menos costosos. Un enfoque diferente tiene que ver con aquellos cultivos cosechados para producir una cosecha comercial, lo cual ofrece la posibilidad de lucro.
- La fitovolatilización de elementos trazos en los suelos (por ejemplo, la generación de iones de mercurio, o el bimetilselenio que entran en la fase de vapor.
- La fitoestabilización de metales en los suelos hacia formas biológicamente no disponibles. Este tercer método se denomina generalmente

“remediación in situ”, por medio del cual, la incorporación de nutrientes en los suelos, son utilizados para transformar el plomo presente en una forma de menor biodisponibilidad.

Los humedales artificiales brindan una oportunidad ilimitada para la fitoremediación de contaminantes. Su ventaja exclusiva es el tratamiento completo de grandes cantidades de agua a bajo costo. Debido a la alta capacidad de estos humedales, son muy diferentes a los métodos de fitoremediación en terreno seco o los métodos convencionales físicos y químicos, los cuales tratan volúmenes relativamente pequeños de suelos y aguas contaminadas (Horne, 2000). Además no se requiere de ningún tratamiento posterior como la filtración en estos humedales, lo cual también los distingue de sistemas basados en tratamiento con algas (Horne, 2000).

Los humedales naturales son ineficientes en comparación con los artificiales, debido a que estos últimos, son diseñados para contaminantes específicos y pueden proporcionar un tratamiento confiable, e inclusive cumplir con límites estrictos de descarga (Horne, 2000). A la vez, el humedal artificial proporciona múltiples beneficios, desde el punto de vista estético, además de contribuir a una mayor biodiversidad y controlar la eutrofización (Horne, 2000). La remediación de contaminantes requiere de grandes cantidades de energía. Al igual que con otros tipos de fitoremediación, los humedales se vuelven competitivos con otros métodos de limpieza, al emplear energía solar gratuita (Horne, 2000).

Los mecanismos de detoxificación utilizados en la fitoremediación en humedales, son diferentes para cada tipo de contaminante. Por ejemplo el retiro de nitratos se hace en su forma gaseosa mediante la denitrificación, lo cual resalta el rol de las plantas como suministros de carbón para las bacterias. Por otra parte, el retiro de fosfatos en humedales se hace principalmente a través de su absorción en el material orgánico y en las células de algas (Horne, 2000). En el caso de metales

pesados como Cu y Pb, o metaloides como el Se, el énfasis está en la creación de condiciones para la inmovilización en su forma altamente reducida de sulfitos o metales. Por último, el retiro de bacterias, virus y quistes protozoicos, es una de las grandes ventajas de los humedales artificiales (Horne, 2000).

En humedales naturales los contaminantes se pueden acumular en cantidades tóxicas en semillas e insectos, resultando así en la muerte de aves. Esta es una de las razones por las cuales los humedales artificiales pueden ser tan útiles. Aunque muchas características de los grandes humedales no tienen control, el régimen hidráulico, los tipos de plantas, de animales, y los ciclos de secado de un humedal artificial, se pueden modificar con el fin de optimizar el tratamiento. Además, el retiro de contaminantes en masa, se incrementa dramáticamente cuando se incrementa la concentración de contaminantes (Horne, 2000).

El mecanismo para el retiro de metales en los humedales de tratamiento, se hace por medio de la inmovilización de los sulfatos de Cu, Fe, Mn, Zn y Cd. Por definición, los humedales son hábitats productivos con terrenos anóxicos totalmente saturados. Bajo estas condiciones, la descomposición de proteínas que contienen sulfatos y la reducción de sulfatos naturales en los sedimentos, producen sulfitos. De esta manera, la mayoría de la fitoremediación en humedales discrepa de la fitoremediación en terreno seco, donde las plantas se utilizan para extraer y concentrar metales de los suelos contaminados (Horne, 2000). Mediante el uso de radiotrazas, se puede demostrar que los humedales convierten metales solubles en precipitados en pocas horas. Los sulfitos de la mayoría de los metales son muy estables bajo condiciones saturadas anóxicas en aguas (Horne, 2000).

El desarrollo de plantas hiperacumuladoras representa una fuente potencial para la remediación de suelos contaminados por metales pesados (Baker et al. 1994). Se ha reportado ciertas especies hiperacumuladoras que crecieron en suelos contaminados, redujeron el contenido de Zn de 440 a $<300 \mu\text{g g}^{-1}$, (McGrath et al.

1993). Diferentes trabajos realizados en impacto ambiental por metales pesados y arsénico, producto de la minería, han identificado ciertas especies de plantas con la habilidad de desarrollar tolerancia a estos contaminantes: *Agrostis capillaris* (Watkins & Macnair, 1991), *Agrostis castellana*, *Agrostis deliculata* (De Koe & Jaques, 1993), *Agrostis truncatula* (García-Sánchez et al. 1996), *Cynodon dactylon*, *Amaranthus hybridus* (Jonnalagadda & Nenzou, 1997), *Bidens cynapiifolia* (Bech et al. 1997), *Dittrichia graveolens*, *Herniaria hirsuta*, *Verbascum blattaria* (Shallari et al. 1998) y *Pteris vittata* (Ma et al. 2001).

Las plantas hiperacumuladoras de níquel son aquellas que acumulan más de mil miligramos de níquel por kilogramo de materia seca en los tejidos por encima del nivel de suelo (Chaney et al. 1995). La acumulación inusual de elementos específicos, también permite que la ceniza de biomasa de las plantas sea reciclada como un mineral metálico. De esta manera, el valor de los metales en la biomasa orgánica podría utilizarse para contrarrestar parte del costo de la descontaminación del suelo y así respaldar la fitominería de algunos elementos, como una iniciativa comercial (Benemann et al. 1994).

Especies orgánicas hiperacumuladores de zn, se, cu, co, mn, lo hacen en una concentración superior al 1% de su peso seco, lo cual equivale a aproximadamente 100 veces más que los niveles tolerados por plantas normales (Chaney et al. 2000). En un estudio de fitoremediación con las especies *Scirpus validus*, *Spartina pectinata* y *Glyceria grandis*, se encontró éstas acumulan altas concentraciones de contaminantes en los tejidos subterráneos que en tejidos superficiales (Weiss et al 2006). Estas tres especies al ser comparadas con otros estudios, reveló que presentan una eficiente tasa de remoción de Cu, Pb y Zn y una tasa promedio de remoción de Cd (Weiss et al 2006).

Es necesario utilizar plantas características de estos ecosistemas en los humedales artificiales. Truong y Baker en (1998), demostraron que el *Vetiver* es

una planta ideal para dichos propósitos. Esto debido a que es muy tolerante a la toxicidad de metales pesados como el Al, Mn, As, Cd, Cr, Ni, Pb, Hg, Se y Zn. Es capaz de absorber Ni, P, Hg, Cd y Pb en aguas contaminadas (Roongtanakiat et al, 1999).

El Vetiver también se puede utilizar en la construcción de humedales artificiales (Sripen et al. 1996). Muchos países han utilizado *Vetiveria zizanioides* para remover contaminantes de lixiviados domésticos, agrícolas, industriales y de rellenos sanitarios (Troung & Baker, 1998). Este pasto es plantado en humedales para remover y atrapar contaminantes de lixiviados y efluentes, debido a sus características morfológicas y fisiológicas. Estas características servirán para la identificación de una especie nativa que se asemeje a las características y funcionalidad del vetiver, debido a que la introducción de especies exóticas, podría posteriormente causar otros daños ecológicos (Troung & Baker (1998) & Cull et al. (2000)).

El Vetiver presenta características únicas entre las cuales se destacan las siguientes: crece verticalmente y puede formar un arbusto denso en un lapso de tres a cuatro meses, resultando en la formación de un filtro efectivo para sedimentos, cuenta con un sistema de raíces subterráneas masivas y densas, que alcanzan verticalmente de 2 a 5 metros de profundidad según el tipo del suelo, las raíces son muy fuertes en comparación con otras especies de maderas duras, contando con una resistencia media de tensión de 75 mega pascales, o aproximadamente la sexta parte de acero blando o dulce. Otras características muy notorias, son su capacidad para sobrevivir en condiciones de fuerte sequía - incluyendo incendios forestales - su total inmersión en el agua en inundaciones, alta tolerancia a la acidez, alcalinidad, salinidad y concentraciones de sodio. Tolera temperaturas de -15°C a 55°C, aunque prospera mejor en regiones tropicales y sub-tropicales del mundo. Puede crecer rápidamente y se vuelve efectiva en 4 a 5 meses, frente a árboles o arbustos que demoran 3 años. Esto es

una gran ventaja, cuando es necesario emplear un método efectivo, rápido, económico y de bioingeniería verde (Troung & Baker, 1998; Cull et al. 2000).

Cabe resaltar que el problema de una cosecha económica y el desecho de grandes volúmenes de vegetación contaminada, aún queda por resolverse (Horne, 2000).

Estudios realizados en remediación de drenaje ácido minero, reportaron que los microorganismos nativos contribuyen en la remediación de estas aguas con $\text{pH} > 3$ (Hallberg et al. 2005). Las bacterias juegan un importante papel en la fitoremediación de metales pesados (Ven der Lelie et al. 2000). Las plantas estimulan el crecimiento de microorganismos debido a la secreción de moléculas orgánicas en las raíces. Esto conduce a mayores densidades de la población de bacterias en la rizósfera. Además, las bacterias endofíticas, colonizan el interior de los tejidos de la raíz y del tallo (Ven der Lelie et al. 2000).

Los sideróforos producidos por las rizobacterias, promueve el crecimiento en las plantas (PGPR). Además, los agentes de control biológico de bacterias, están asociados con un mayor crecimiento de las plantas, ya sea a través de un efecto directo en la planta o a través del control de organismos nocivos en el suelo. De acuerdo con O'Sullivan y O'Gara (1992), entre las PGPR se encuentran los géneros *Arthrobacteria*, *Alcaligenes*, *Serratia*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Agrobacteria* y *Bacilos*. Adicionalmente, estas bacterias rizosferas confieren a sus anfitriones protección contra la toxicidad de los metales pesados y pertenecen principalmente al género *Ralstonia* (Ven der Lelie et al. 2000)

La bacteria *A. Eutrophus*, es tolerante a metales, constituye un grupo bien adaptado a entornos contaminados por metales pesados y/o xenobióticos orgánicos. Entre las bacterias heterotróficas, la que presenta los más altos niveles

de resistencia a metales pesados - cobalto, níquel, cromo, mercurio y talio, cadmio y zinc - es la bacteria *A. Eutrofus* (Ven der Lelie et al. 2000).

Luego de identificar las fuentes de contaminación del humedal Jaboque, localizadas en su área aferente, se debe implementar políticas acordes a cada tipo de industria. En general, se plantea la adopción de tecnologías de producción más limpias y de fase final del tubo.

La producción más limpia, según el Plan Ambiental de las Naciones Unidas, se define como una tecnología que eleva la eficiencia de la producción, a la vez que reduce los riesgos humanos y ambientales. Para lograr este propósito, se aplican medidas integrales de descontaminación en todos los procesos, productos y servicios. Estas medidas incluyen el ahorro de recursos y energía, la optimización de la descarga y la recirculación de los recursos (DAMA et al. 2000).

Son varias las alternativas que buscan mejorar el desempeño de las empresas. En primera instancia, está la introducción de nuevos procesos de tipo “ahorro de energía y de recursos” de alta productividad y reducida carga ambiental (DAMA et al. 2000). En segundo lugar, se busca mejorar los procesos actuales por medio de la readecuación de ciertos procesos y equipos, la sustitución de materias primas y secundarias y el mejoramiento del método operacional (DAMA et al. 2000). Por último, se fomenta el reciclaje de los residuos sólidos resultantes de la producción (DAMA et al. 2000).

Según los resultados del presente estudio, entre las fuentes contaminantes se encuentra la industria de pinturas, la cual aporta residuos líquidos con presencia de aceites y grasas y metales pesados – cromo, cianuro cúprico, plomo, mercurio, níquel, selenio y zinc – entre otros. También es culpable la industria de fabricación de productos metálicos para uso estructural y la industria básica de hierro y acero,

que aportan residuos líquidos con presencia de óxido de zinc, plomo, níquel y cromo generados en el proceso de refinación, fundición de hierro, acero y vaciado.

De estas industrias son de especial interés aquellas que no cuentan con plantas de tratamiento, puesto que vierten elementos contaminantes en concentraciones muy elevadas (DAMA et al. 2000).

Aunque muchas empresas reconocen la necesidad de instalar un sistema de tratamiento para aguas residuales, no lo hacen por motivos económicos (DAMA et al. 2000). Como ejemplo, las cargas contaminantes de la industria galvánica, no cambiará mucho en el futuro cercano (DAMA et al. 2000).

8. Conclusiones

De acuerdo con los muestreos de vertimientos realizados por la EAAB (2005), Jaboque es el más contaminado de los humedales de Bogotá. Es probable que esto se deba a una mayor abundancia y diversidad de industrias en su zona aferente. En cuanto a la confiabilidad de los datos sobre los vertimientos, cabe anotar que sólo se contó con muestreos puntuales que registraron los niveles de contaminación para un día y hora específicos. Estos datos proporcionan una idea de lo que puede estar sucediendo en el humedal Jaboque.

También se evidenció que el número de industrias en la zona aferente de Jaboque, debidamente registradas en la EAM, eran apenas la mitad del total de industrias encontradas, conjuntamente con el trabajo de campo. Sería necesario tener registros más actualizados de la existencia y distribución espacial de las industrias en las áreas aferentes de los demás humedales de la ciudad de Bogotá.

Estos registros son útiles para fines de conservación, debido a que la localización geográfica de las actividades industriales facilita el control estatal de los vertimientos residuales de éstas.

En esta tesis se quiso partir del estudio realizado por el DANE - citado en los antecedentes. Este estudio se limitó a analizar los componentes biológicos y físicos de la contaminación hídrica industrial. Otros estudios muestran que la industria galvánica, la industria de pintura y barnices, la industria de fabricación de productos metálicos para uso estructural y la industria básica de hierro y acero, aportan residuos líquidos con presencia de metales pesados. Siendo las últimas tres, las posibles fuentes de vertimientos industriales con metales pesados en el área aferente de Jaboque.

Estas industrias se localizan en las zonas de Jaboque I y III y representan el tan solo el 4,7% del total de industrias presentes en la zona aferente. Cabe aclarar que en el presente documento, no se investigó el manejo de las aguas residuales que presenta cada industria. Por ende, no se conoce cuales presenten o no sistemas de tratamiento previo de sus aguas residuales antes de ser vertidas.

Prevalece una ausencia de sistemas telemétricos de medición de contaminantes tóxicos en el agua, como de mediciones confiables y periódicas de los vertimientos contaminantes, lo cual dificulta un adecuado control de áreas susceptibles como el Humedal Jaboque. Esto a su vez, obstaculiza una eficiente identificación de las ramas industriales “contaminantes” y posteriormente, a la aplicación de herramientas de control de sus vertimientos.

A pesar de contar con una legislación y normatividad ambiental en Colombia, los datos de los vertimientos demuestran que éstos no se están cumpliendo. Aún en áreas de jurisdicción de corporaciones como la CAR o la CVC, no se alcanza a intervenir ni siquiera al 50% de las industrias. Es por lo tanto pertinente buscar

estrategias para mitigar estas debilidades en la gestión de las distintas entidades institucionales encargadas del medio ambiente.

Se sabe que los metales pesados no se degradan. Por el contrario, se acumulan en los sedimentos, se fijan en las plantas y en los animales y se concentran en tejidos metabólicamente activos. Por lo tanto, se puede esperar una bioacumulación en la biota (Kilgour, 1991 ; Roesijadi et al. 1994; Hernández, 1999; Kalisivska et al. 2004; Hallberg et al. 2005; Saha et al. 2006) y en los sedimentos (Lacerda, 1984; Haribson, 1986; Horowitz & Moore, 1987; Tam & Tam, 1995; Kalbitz et al. 1998; Tam et al. 2000; Kalisivska et al. 2004; Feng et al. 2004) del ecosistema. A su vez, es factible que algunos organismos del humedal hayan sufrido una reducción de diversidad genética por su exposición a estos contaminantes. También es posible que las poblaciones de ciertas especies hayan experimentado reducciones de fecundidad, aumentos de mortalidad o disminuciones en el número de adultos viables reproductivamente. Igualmente, es posible que se hayan presentado mutaciones en algunos organismos, afectando su dinámica poblacional y reduciéndose así la biodiversidad (White et al. 1978; Schoch et al. 1987; Burzynsky et al. 1989; Moriarty, 1999; Semlitsch et al. 2000; Manios et al. 2003; Matson et al. 2006)

La situación actual compromete el propósito de conservación de los humedales de la ciudad de Bogotá – considerados reservas ambientales naturales – y en el caso específico de esta tesis, la conservación de Jaboque. Esto debido a que se puede ver perjudicada la viabilidad de su biota y su funcionalidad ecosistémica.

En cuanto a las industrias localizadas en la zona aferentes del humedal Jaboque, especialmente aquellas que representan posibles fuentes de vertimientos con metales pesados, se sugiere fomentar en sus políticas, la adopción de tecnologías de producción más limpias y de fase final del tubo. Políticas que tomen en cuenta el ahorro de energía y de recursos de alta productividad y reducida carga

ambiental; el reciclaje de los residuos sólidos resultantes de la producción y el mejoramiento de los procesos actuales por medio de la readecuación de ciertos procesos y equipos, la sustitución de materias primas y secundarias y el mejoramiento del método operacional.

En cuanto al enfoque de mitigación de la contaminación hídrica se propone la restauración debido a que se adapta al contexto de Jaboque y representa una alternativa de bajo costo monetario, lo cual es un factor crucial para la viabilidad de los proyectos de conservación. Adicionalmente, se plantea la fitoremediación en humedales como una excelente opción para la inmovilización de los metales pesados, el tratamiento completo de grandes cantidades de agua (lluvia, domésticas e industriales).

Por último, se propone el uso de una planta autóctona con las características hiperacumuladoras del Vetiver, esto con el fin de evitar la introducción de especies foráneas y el uso de bacterias de la rizósfera como el Rhizobium.

9. Recomendaciones

- Es necesario realizar estudios para determinar bioindicadores para monitorear la calidad de las aguas, puesto que no siempre se detectan en una columna de agua, ni tampoco en los sedimentos y es de menor costo.
- Realizar estudios de sedimentos, para analizar procesos de bioacumulación.
- Monitorear vertimientos por tipo de actividad.
- Realizar estudios en tejidos de diferentes especies, para detectar procesos de bioacumulación de metales pesados en sus órganos.
- Identificar el último evento que produjo una respuesta deletérea en un individuo, para poder predecir los efectos biológicos.

- Realizar una caracterización industrial en las zonas aferentes de los demás humedales de la ciudad de Bogotá, con el fin de identificar las industrias de interés y aplicar la normatividad y el control de los vertimientos pertinente.
- Fomentar el uso de tecnologías de producción más limpias y de fase final del tubo de las industrias a nivel nacional, como requisito de competitividad en el mercado.
- Fomentar el conocimiento de los ciudadanos acerca de la importancia de los humedales y de su adecuado manejo, para generar acciones de autorregulación dentro de la comunidad.
- Realizar pruebas de laboratorio que ayuden a encontrar una planta autóctona de los humedales colombianos que presente las características del pasto Vetiver, para evitar la introducción de especies foráneas.

10. Bibliografía

AASHTO - American Association of state Highway and Transportation Officials. 1996. Guide to Wetland Mitigation Issues for Transportation Designers. Washington, D.C. 80 pp.

Acueducto: agua y alcantarillado de Bogotá & Conservación Internacional-Colombia. 2003. Los humedales de Bogota y la Sabana. Panamericana formas e impresos. Colombia.

AMAT-GARCÍA G. & SÁNCHEZ-N D. 2005. Diversidad de la fauna de artrópodos terrestres en el Humedal Jaboque, Bogotá-Colombia. *Caldasia* v.27 n.2 Bogotá dez.

Asociación Bogotana de Ornitología (ABO). 2000. Aves de la Sabana de Bogotá: Guía de campo. ABO – CAR. Bogotá, Colombia.

Ávila S. & Estupiñán S. 2006. Calidad bacteriológica del agua del humedal de Jaboque, Bogotá, Colombia. *Caldasia* v. 28 n. 1. Bogotá.

Baker, A.J.M., McGrath, S.P., Sidoli, C.M.D. and Reeves, R.D., 1994. Possibility of in situ heavy metal decontamination of polluted soils using crops of metal-accumulating plants. *Resour. Conserv. Recycl.* 11, pp. 41–49.

Banco Mundial. 1998. Indicadores de Desarrollo Mundial. Washington D.C.

Bech, J., Poschenrieder, C., Llugany, M., Barceló, J., Tume, P., Tobias, F.J., Barranzuela, J.L. and Vásquez, E.R., 1997. Arsenic and heavy metal contamination of soil and vegetation around a copper mine in Northern Peru. *Sci. Total Environ.* 203, pp. 83–91.

Benemann J., Rabson R., Tavares J. & Levine R. 1994. Summary Report of a workshop on Phytoremediation Research Needs

Bettini Virginio. 1998. Elementos de Ecología Urbana. Editorial Trota. Madrid, España.

Brussard P. & Ehrlich P. 1992. The challenges of conservation biology. *Ecological applications*, vol. 2 No. 1. United States.

Burzynski, M. and Buczek, J., 1989. Interaction between cadmium and molybdenum affecting the chlorophyll content and accumulation of some heavy metals in the second leaf of *Cucumis sativus* L. *Acta Physiol. Plant.* 11, pp. 137–145.

Camargo Germán. 2000. La transformación en los ecosistemas urbanos. DAMA. <http://encolombia.com/medioambiente/hume-naturalezayciudad.htm>

Chaney R., Brown S., Li Y-M., Angle S., Homer F. & Green C. 1995. Potential use of hyperaccumulators. *Min Environ. Manage.* 3(3):9-11.

Chaney R., Li Y-M., Bown S., Homer F., Malik M., Angle S., Baker A., Reeves R. & Chin M. 2000. *Improving Metal Hyperaccumulator Wild Plants to Develop Commercial Phytoextraction Systems: Approacing and Progress.* Taylor & Francis. Estados Unidos.

Charlesworth S.M. & Lees J.A. 2001. The application of some mineral magnetic measurements and heavy metal analysis for characterising fine sediments in an urban catchment, Coventry, UK. *Journal of applied geophysics.* vol. 48, issue 2. pp. 113-125.

Congreso de la Republica, Ley 99 de 1993. Bogota, 1993.

Congreso de Colombia. 1997. Ley No 357 de enero 21 de 1997, por medio de la cual se aprueba la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Habita de Aves Acuáticas.

Convenio de Investigación aplicada entre la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá & Universidad Nacional de Colombia. 2005. Restauración ecológica de la herpetofauna en el humedal de Jaboque. Instituto de Ciencias Naturales de la Facultad de Ciencias. Investigadores: Castaño O.B. & Ruiz E.

Convenio de Investigación aplicada entre la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá & Universidad Nacional de Colombia. 2005. Determinación del efecto de la remoción de la capa superficial de material orgánica y macrófitas asociadas sobre la sucesión del plancton en limnocorales en el humedal de Jaboque. Instituto de Ciencias Naturales de la Facultad de Ciencias. Investigador: Gonzáles C.

Convenio de Investigación aplicada entre la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá & Universidad Nacional de Colombia. 2005. Sedimentación polínica reciente en el humedal de Jaboque y su relación con los grados de conservación. Instituto de Ciencias Naturales de la Facultad de Ciencias. Investigadores: Lazala-Silva Maybe & Rangel Orlando.

Convenio de Investigación aplicada entre la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá y la Universidad Nacional de Colombia. 2005. Evaluación de las amenazas para la fauna silvestre vertebrada presente en el humedal Jaboque y desarrollo de propuestas para su mitigación. Instituto de Ciencias Naturales de la Facultad de Ciencias. Investigadores: López H.F. & Otalora A.

Cordero J., Guevara M., Morales E. & Lodeiros C. 2005. Efecto de metales pesados en el crecimiento de la microalga tropical *Tetraselmis chuii* (Prasinophyceae). Tropical Biology. Vol. 53 (3-4). Venezuela.

DAMA. 1997. Resolución 1074 de 1997. Estándares ambientales en materia de vertimientos para la ciudad de Bogotá D.C..

DAMA. 2000. Historia de los humedales de bogota: con énfasis en cinco de ellos. Copyright DAMA. Bogota D.C.

DAMA. 2003. Humedales de Santafé de Bogotá D.C. Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente. Santafé de Bogotá. D. C. Informe. Técnico. 33 pp.

DAMA & Alcaldía Mayor de Bogota, D.C. 2002. Política de humedales del distrito capital. Colombia.

DAMA & Alcaldía Mayor de Bogotá. 2006. Diagnóstico de la calidad del aire en Bogotá D.C. <http://observatorio.dama.gov.co/>

DANE. 2003. Metodología de la Cuenta Satélite del Medio Ambiente. Dirección de síntesis y cuantías Nacionales Grupo de Cuentas Ambientales. Bogota, Colombia.

DANE. 2005. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. <http://www.dane.gov.co>

DANE. 2006. Censo general 2005 Republica de Colombia: resultados Bogota y municipios metropolitanos.

DANE. 2006. Ficha metodológica de la Encuesta Anual Manufacturera –EAM. Dirección de Metodología y Producción Estadística –DIMPE. Bogota, Colombia.

De Koe, T. and Jaques, N.M.M., 1993. Arsenate tolerance in *Agrostis castellana* and *Agrostis deticulata*. Plant Soil 151, pp. 185–191.

Departamento Técnico Administrativo Medio Ambiente, Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. & JICA – Agencia de Cooperación Internacional del Japón. 2000. Minimización de la contaminación industrial por la promoción de tecnologías de producción más limpias en Bogotá D.C.. Ediciones Versalles. Colombia.

Diamond J.M. 1975. The Island Dilemma: lessons of biogeographical studies for the design of natural reserves. Biological conservation, 7, 129.146.

Dunning J.B., Danielson B.J. & Pullian H.R. 1992. Ecological processes that affect populations in complex landscapes. Inst. Of Ecology and Dept of Zoology, University of Georgia, Athens.

Duedly L.M., McNeal BL. & Baham JE. 1986. Time de pendent changes in soluble organics, copper, nickel and zinc from sludge amended soils. Journal of Environ Qual.15, 188-192.

Dwivedi, S.N & Padmakumar, K.G., 1983. Ecology of mangrove swamp near Juhu Bech, Bomby with reference to sewage pollution. In: Teas, H.J. Editors. Biology and ecology of mangroves. Tasks for vegetation science series Vol. 8, Dr. W. Junk Publishers, Lancaster, pp 163-170.

EAAB. 2005. Localización del punto de vertimiento y características de los vertimientos. Bogotá, Colombia. Funcionario: Lozano W.

EAAB & C.I. ****. Síntesis del estado actual de los humedales bogotanos.

Ehrlich P.R. & Ehrlich A.H. 1981. Extinction: The causes and consequences of the disappearance of species. Random House, New York.

Equipo periodístico Unimedios. 2005. Jaboque: un pulmón en la urbe. UNP No. 78 Sección: ciudad. Universidad Nacional de Colombia.

Fondo FEN Colombia, Comité Colombiano de la UICN & UICN Oficina Regional para América del Sur. 1998. Una aproximación a los humedales en Colombia. Editora Guadalupe Ltda. Bogotá, Colombia.

García-Sanchez, A., Santa Regina, I. and Jimenez, O., 1996. Arsenic environmental impact on mining areas (Salamanca, Spain). Toxicol. Environ. Chem. 53, pp. 137–141.

Gentry A. H. 1990. Four Neotropical Rainforests. New Haven. Yale University Press. Conecticut. 627pp.

Granes A. 2004. Caracterización florística y fisonómica de la vegetación del humedal de Jaboque. Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de estudios ambientales y rurales. Bogota, Colombia.

Groom, M.J. 1994. Quantifying patterns of deforestation and losses due to deforestation. En: Principles of Conservation Biology (G.K. Meffe and R. Carroll, eds.). Sinauer, Sunderland, MA: 114-116, 121-122.

Groom, M.J., Meffe, G & Carroll, R. 2006. Principles of Conservation Biology. Third Edition. Sinauer Associates. U.S.A..

Groudev S.N. Bratacova S.G. & Komnitsas K. 1999. Treatment of waters polluted with radioactive elements and heavy metals by means of a laboratory passive system. Minerals engineering. vol. 12, no. 3. pp. 261-270.

HAGA/DAMA. 1999. estado actual de cinco humedales en Santa Fe de Bogotá. Hidrogeología y Geotecnia Ambiental Ltda./Departamento Técnico Administrativo del Medio. Santa Fe de Bogotá, D. C

Hallberg K.B. & Jonson D.B. 2005. Microbiology of a wetland ecosystem constructed to remediate mine drainage from a heavy metal mine. Science of the total environment. vol. 338, issues 1-2. pp. 53-66.

Harbison, P., 1986. Mangrove muds — a sink and a source for trace metals. *Marine Pollution Bulletin* 17, pp. 246–250.

Hernández L.M., Gomara B., Fernández M., Jiménez B., Gonzales M.J., Baos R., Hiraldo F., Ferrer M., Benito V., Suner M.A., Devesa V., Muñoz O. & Montoro R. 1999. Accumulation of heavy metals and As in wetland birds in the area around Donana National Park affected by the Aznalcollar toxic spill. The science of the total environment. 242, 293-308.

Hernández J., Ortiz ., Walschburger & Hurtado. 1992. Estado de la Biodiversidad en Colombia. Acta Zoológica Mexicana. Volumen especial: 41-43.

Herrera Martínez Yimy, Díaz Leguizamón Carlos Alfonso, Díaz Leguizamón Marta Cecilia, Vargas Barreiro Piedad Lucia & Rodas Monsalve Julio Cesar. 2004. Política de humedales del Distrito Capital de Bogotá: Plan estratégico para su restauración, conservación y manejo. Bogotá D.C.

Horne A. 2000. Phytoremediation by Constructed Wetlands. Taylor & Francis.

Horowitz, A.J. & Elrick, K.A. 198. The relation of stream sediment surface area, grain size and composition of trace element chemistry. Applied geochemistry 2, pp. 437-452.

Huan Feng, Xiaofei Han, Weiguo Zhang & Lizhong Yu. 2004. A preliminary study of heavy metal contamination in Yantze River intertidal zone due to urbanization. Marine pollution bulletin. vol 49, issues 11-12. pp. 910-915.

IUCN. 1996. *IUCN The Red List of Threatened Animals*. Gland, Suiza.

Jonnalagadda, S.B. and Nenzou, G., 1997. Studies on arsenic rich mine dumps. II. The heavy element uptake by vegetation. *J. Environ. Sci. Health A* 32 2, pp. 455–464.

Kalbitz K. & Wennrich R. 1998. Mobilization of heavy metals and arsenic in polluted wetland soils and its dependence on dissolved organic matter. *The science of the total environment*. 209, 27-39.

Kalisińska Elżbieta, Salicki Wiesław, Mysiek Piotr, Kavetska, Katarzyna M. and Jackowski Andrzej. 2004. Using the Mallard to biomonitor heavy metal contamination of wetlands in north-western Poland. *Science of the total environment*. vol. 320, issues 2-3. pp. 145-61.

Kilgour B.W. 1991. Cadmium uptake from cadmium-spiked sediments by four freshwater invertebrates. *Bull Environ Contam Toxicol* 47, pp. 70-75.

Lacerda, L.D. and Abrao, J.J., 1984. Heavy metal accumulation by mangrove and salt marsh intertidal sediments. *Review of Brazilian Botany* 7, pp. 49–52.

Lofvenhalft Katarina, Bjorn Cristina & Ihse Margareta. 2002. Patrones de biotopos en áreas urbanas: un modelo conceptual que integra cuestiones de biodiversidad en planeación espacial. *Landscape and Urban Planning*.

Ma L., Komar K., Tu C., Zhang W., Cai Y. & Kennelley E. 2001. A fern that hyperaccumulates arsenic. *Nature* 409, p. 579.

McGrath, S.P., Sidoli, C.M.D., Baker, A.J.M. and Reeves, R.D., 1993. The potential for the use of metal-accumulating plants for the in situ decontamination of metal-polluted soils. In: Eijssackers, H.J.P. and Hamers, T., Editors, 1993. *Integrated Soil and Sediment Research: A Basis for Proper Protection*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 673–676.

Manios T. Stentiford E. & Millner P. 2003. The effect of heavy metals accumulation on the chlorophyll concentration of *Typha latifolia* plants, growing in a substrate containing sewage sludge compost and watered with mateliferus water. *Ecological engineering*. 20(1), 65-74.

Mason et al., 1984 A.Z. Mason, K. Simkiss and K.P. Ryan, The Ultrastructural localization on metals in specimen *Littorina littorea* (L.) collected from clean polluted sites, *J Mar Biol Assoc UK* 64 (1984), pp. 669-704.

Matson C. et al. 2006. Evolutionary toxicology: population-level effects of chronic contaminant exposure on the marsh frogs (*Rana ridibunda*) of Azerbaijan. *Environmental health perspective*. 114, 547-552.

Mehlman, D.W. 1997. Change in avian abundance across the geographic range in response to environmental change. *Ecological Applications*. 7 (2): 614-624

Molina, P., Osorio O, uribe B. & DAMA. 1997. Cerros, Humedales y Áreas Rurales de Bogotá.

Moreno Vanesa, García Juan & Villalba Carlos. 2000. Descripción general de los humedales de Bogotá, D.C. Sociedad Geográfica de Colombia, Academia de Ciencias geográficas. <http://www.sogeocol.com.co/documentos/humed.pdf>

Moriarty F. 1999. *Ecotoxicology: The study of pollutants in ecosystems*. Academic Press. Third Edition. London.

Myers N. 1992. *The primary source: Tropical forests and our future*. W.W. Noron. New York.

Naranjo, L.G. 1997. Humedales de Colombia. Ecosistemas amenazados. En: sabanas, vegas y palmares. Corpes, Orinoquia.

Naranjo, L. G. 1997. Avifauna acuática residente y migratoria en Colombia. En: Corpes Orinoquia (ed.) Sabanas, vegas y palmares: Reflexiones sobre el uso sostenible del agua en la Orinoquia. p.85-95. Villavicencio, Colombia.

Ohlendorf HM, Lowe RW, Kelly PR, Harvey TE. 1986. Selenium and heavy metals in San Francisco Bay diving ducks. *J Wildl Mange*. 50:64-71.

Ortiz Laura, Gallopín Gilberto & Schuschny A. 2005. Evolución de las emisiones industriales potenciales en América Latina, 1970-2000. CEPAL, Serie Medio Ambiente y Desarrollo No. 97. Naciones Unidas. Santiago de Chile.

O'Sullivan D. & O'Gara F. 1992. Traits of fluorescent *Pseudomonas* spp. Involved in suppression of plant root pathogens. *Microbiol. Rev*. 56, 662-676.

Pickett, S.T.A. & P.S. White (Eds). 1985. *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics*. Academic Press. 472 pp. USA.

Pinthong J., Impithuksa S., Udomchoke M., & Ramlee A. 1998. La capacidad de los arbustos de Vetiver para descontaminar residuos químicos. *Proc. ICV-1*, pp. 91-98. ORDPB, Bangkok.

Primack R., Massardo F., Rozzi R. & Dirzo R. 2001. *Principles of Conservation Biology*. Tercera Edición. Estados Unidos.

Ramsar. 1992. La Convención Ramsar. Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional, especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas. Oficina de la Convención Ramsar, UICN, Gland, Suiza, 22 pp.

República de Colombia, Ministerio del Medio Ambiente & Consejo Nacional Ambiental. 2001. Política nacional para humedales interiores de Colombia: Estrategias para su conservación y uso racional. Bogotá. http://www.ramsar.org/wurc/wurc_policy_colombia_inland.htm

Rodríguez-Becerra & Espinoza. 2002. Gestión ambiental en América latina y el Caribe, evolución, tendencias y principales practicas. Banco Interamericano de desarrollo. NY, USA.

Roesijadi & Robinson, 1994 Metals regulation in aquatic animals; mechanisms of uptake, accumulation and release. In: D.C. Malins and G.K. Ostrander, editors, Aquatic toxicology (molecular, biochemical and cellular perspectives), Lewis publishers, London. 539 pp.

Roongtanakiat, N. et al. 1999. Absorción de metales pesados por pastos de Vetiver y su impacto en las características de crecimiento. Universidad Kasetsart, Bangkok.

Samper M. 2004. Estrategias para la disminución de las transformaciones ecosistémicas primarias en los humedales. Caso de estudio: humedal Guali-Tres esquinas, Municipios de Funza y Mosquera. Pontificia Universidad Javeriana: Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. Bogota, Colombia.

Saha M., Sarkar S.K. & Bhattacharya B. 2006. Interspecific variation in heavy metal body concentrations in biota of Sunderban mangrove wetland, northeast India. *Environment International*. vol. 32, issue 2. pp. 203-207.

Sánchez T. Ernesto & Uribe B. Eduardo. 1994. Contaminación Industrial en Colombia. Tercer mundo Editores. Departamento Nacional de Planeación (DNP) y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

Sarnoff, P. 1971. The New York Times. Encyclopedic dictionary of the environment. Quadrangle book. USA.

Schoch, S. and Brown, J., 1987. The action of chlorophyllase on chlorophyll-protein complexes. *J. Plant Physiol.* 129, pp. 242-249.

Shallari, S., Schwartz, C., Hasko, A. and Morel, J.L., 1998. Heavy metals in soils and plants of serpentine and industrial sites of Albania. *Sci. Total Environ.* 209, pp. 133-142.

Seguinot Barbosa José. 2002. Concentración de metales en el área de manglar de Mar Negro, Reserva Nacional de Investigación Estuarina (Guayama-Salinas). Puerto Rico.

Semlitsch RD, Bridges CM & Welch AM. 2000. Genetic variation ad fitness tradeoff in the tolerance of gray treefrog (*Hyla versicolori*) tadpoles to the nsecticide carbaryl. *Decologia*125:19-185.

Spellerberg I.F. & Sawyer J.W.D. 1999. An introduction to applied biogeography. Cambridge University Press. United States. 243 pp.

Sripen, S., Komkris T., Techapinyawat S., Chantawat S., Masuthon S. & Rungsuk M. 1996. Potencial de Crecimiento de Pasto Vetiver, con respecto a nutrientes en aguas residuales en Changwat Phetchaburi. Bangkok. pp 45.

Tam, N.F.Y. and Wong, Y.S., 1995. Retention and distribution of heavy metals in mangrove soils receiving wastewater. *Environmental Pollution* 94, pp. 283–291.

Tam, N.F.Y. and Yao, M.W.Y., 1998. Normalization and heavy metal contamination in mangrove sediments. *The Science of the Total Environment* 216, pp. 33–39.

Tam N.F.Y. & Wong Y.S.. 2000. Spatial variation of heavy metals in surface sediments of Hong Kong mangrove swamps. *Environmental pollution*. vol. 110, issue 2. pp. 195-205.

Tavilo-V. E. 1997. El beneficio de los humedales en América central. El potencial de los humedales para el desarrollo. Programa regional de manejo en vida silvestre para Mesoamérica y el Caribe. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica y el WWF oficina regional para Centroamérica. 48 pt.

Tertius Chandler. 1987. 1000-1900 from, Four Thousand Years of Urban Growth: an Historical Census. Edwin Mellen Press. NY

Truong, P., y Baker, D. 1998, Sistemas de Pastos Vetiver en la Protección Ambiental. PRVN Tecnología. Bull. No. 1998/1. ORDPB, Bangkok.

Turner M.G. 1989. Landscape ecology: the effect of the pattern on process. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 20:171-197.

Van Der Hammen T., 2003. Los humedales de la Sabana: origen, evolución, degradación y restauración. Pags 18 - 51. En EAAB, CI Colombia & Banco Mundial (Eds). Los humedales de Bogotá y la Sabana. Tomo 1. 264 p

Van der Leile D., Corbisier P., Diles L., Gills A., Lodewyckx C., Mergeay M., Taghavi S., Spelmans N. & Vangronsveld J. 2000. The Role of Bacteria in the Phytoremediation os Heavy Metals. Taylor & Frnacis.

Watkins, A.J. and Macnair, M.R., 1991. Genetics of arsenic tolerance in *Agrostis capillaris* L. *Heredity* 66, pp. 47–54.

Weiss J., Hondo M., Biesboer D. & Semmens M. 2006. Laboratory study of heavy metal phytoremediation by three wetland macrophytes. *International Journal of phytoremediation*. 8, 245-259.

White, D.H., Finley M.T. & Ferrell J.F. 1978. Histopathologic effects dietary cadmium on kidneys and testes of mallard ducks. *Journal Toxicol Environ Health* 4, pp. 551-558.

Wolman A. 1994. The metabolism of cities. *Scientific American* CCXIII/3, 178-190.

Xia. H.P. 1998. Vetiver y la limpieza de botaderos de escombros. *Vetiver Newsl.* 19: 39-40.

11. ANEXOS

Tabla 1. Análisis de calidad de agua en el Humedal Jaboque Lozano W. de EAAB. (2005) coordenadas: 4.42475 74.07582

PARAMETRO	UNIDAD	NORMA	VALOR	PARAMETRO	UNIDAD	NORMA	VALOR
GRASAS Y ACEITES	GyA(mg/L)	100	47	NKT	N(mg/L)		4.8
ALUMINIO	Al(mg/L)		48.85	PLOMO	Pb(mg/L)	0.1	1.746

TOTAL							
CADMIO	Cd(mg/L)	0.003	0.181	TENSOACTIVOS	SAAM(mg/L)	20	0.284
CIANURO	Cn(mg/L)	1	ND	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	SST(mg/L)	800	497
COBRE	Cu(mg/L)	0.25	0.009	SULFATOS	SO ₄ (mg/L)		19
CROMO HEXAVALENTE	(mg/L)	0.5	ND	CINC	Zn(mg/L)	5	0.462
CROMO TOTAL	Cr(mg/L)	1	ND	pH	Unidades	5 - 9	6.39
DBO5	(mg/L)	1000	82	SÓLIDOS SEDIMENTABLES	S.S.(mg/L)	2	4
DQO	(mg/L)	2000	117	TEMPERATURA	°C	30	17.2
COMPUESTOS FENOLICOS	(mg/L)	0.2	0.05	CONDUCTIVIDAD	µS/cm		308
FÓSFORO TOTAL	P(mg/L)		1.11	COLIFORMES TOTALES	NMP/100ml		118.4*103
NÍQUEL	Ni(mg/L)	0.2	0.804	COLIFORMES FECALES	NMP/100ml		1.0*103
NITRATOS	N(mg/L)		7.1	CAUDAL	L/S		--

Concepto de calidad: la muestra recolectada en este punto incumple con respecto a (cadmio, níquel y plomo) y los Sólidos Sedimentables, según la Resolución 1074 de 1997 del DAMA – que establece los estándares ambientales en materia de vertimientos para la ciudad de Bogotá D.C..

Observaciones de campo: agua apoda o estancada del vallado, no se pudo aforar el caudal.

Tabla 2. Muestreos de Vertimientos en el Humedal Jaboque

ID	Dirección	Tipo de estructura	Tipo de vertimiento	Diámetro/ ancho (m)	Concepto de calidad
1	Cll 71 con Cr 115	canal	combinado	0.3	Incumple con Cadmio (0.181mg/L), Plomo (1.746mg/L) y Níquel (0.804mg/L) según la Resolución 1074 de 1997 del DAMA
2	Cll 71 Cr 116	canal		0.47	La muestra tomada en el vallado que drena aguas de riego de cultivos de fresas presenta incumplimiento de la Resolución 1074 de 1997 del DAMA con respecto al Cadmio (0.176 mg/L) y Plomo (1.714 mg/L).

3	CII 70 D Cr 116 B	canal	agua residual domestica	0.4	La muestra evaluada presenta incumplimiento de Cadmio (0.229 mg/L), Cobre (0.824), Níquel (1.358 mg/L), Plomo (2.348 mg/L), Sólidos Suspendedos Totales (3770 mg/L) y Sólidos Sedimentables (90 mg/L) con respecto a la Resolución 1074 de 1997 del DAMA
4	CII 67 BIS Cr 110	colector	combinado	0.8	La muestra evaluada presenta incumplimiento con respecto al Cadmio (0.023 mg/L) y Plomo (0.188 mg/L) frente a la Resolución 1074 de 1997 del DAMA.
5	CII 67 BIS con Cr 110 BIS	colector	combinado	0.9	En el vertimiento evaluado, se detecto la presencia de Cianuro (1.906 mg/L), Cadmio (0.026 mg/L) y Plomo (0.192 mg/L) que superan el valor límite de la Resolución 1074 de 1997 del DAMA.
6	CII 67 A Cr 108 A	colector	combinado	0.9	El vertimiento de tipo combinado incumple en Cadmio (0.018 mg/L) y Sólidos Sedimentables (7 mg/L) con respecto a la Resolución 1074 de 1997 del DAMA.
7	CII 67 Cr 110	colector	combinado	0.9	El vertimiento de tipo combinado incumple en Cadmio (0.01 mg/L) con respecto a la Resolución 1074 de 1997 del DAMA.
8	CI 67 BIS Cr 111	colector	combinado	0.9	En el vertimiento evaluado se observa incumplimiento de Cadmio (0.01 mg/L) que superan el valor limite de la Resolución 1074 de 1997 del DAMA
9	CII 68 A Cr 111 A	colector	combinado	0.3	La presencia de Cadmio (0.016 mg/L) es alta en el vertimiento de tipo combinado, superando el valor limite de la Resolución 1074 de 1997 del DAMA
10	CII 70 C Cr 113	colector	combinado	0.45	En el vertimiento incumple en cuanto a Cadmio (0.019 mg/L) con respecto la Resolución 1074 de 1997 del DAMA
11	CII 70 B Cr 110	colector	combinado	0.6	En el vertimiento combinado, se incumple con respecto al Cadmio (0.019 mg/L) superando el valor limite de la Resolución 1074 de 1997 del DAMA, en cuanto a la presencia de Coliformes Totales (27.2*103NMP/100ml) y Fecales (5.1*103 NMP/100ml) son de tendencia alta en la

					descarga evaluada.
12	CII 71 A Cr 110	colector		0.8	La concentración de Cadmio (0.021 mg/L) supera el límite admisible en la Resolución 1074 de 1997 del DAMA
13	CII 70 G Cr 111 C	colector	combinado	0.3	Presencia de un alto contenido de Cadmio (0.024 mg/L) y Plomo (0.121 mg/L) que superan el valor límite de la Resolución 1074 de 1997 del DAMA
	CII 68 Cr 107 B	colector	combinado	0.7	El Cadmio (0.013 mg/L) y Níquel (0.303 mg/L) presentaron valores que superan el límite establecido en la Resolución 1074 de 1997 del DAMA
15	CII 67 G Cr 106 A	colector	combinado	1	En el vertimiento evaluado, se detecto altos niveles de Cadmio (0.014 mg/L) y Níquel (0.263 mg/L) que superan el valor límite de la Resolución 1074 de 1997 del DAMA
16	CII 67 Cr 108	colector	combinado	0.6	Las concentraciones de Cadmio (0.014 mg/L) y Níquel (0.249 mg/L) sobrepasan el límite de la Resolución 1074 de 1997 del DAMA
17	Cr 111 C	colector	combinado	0.45	En el vertimiento evaluado, se detecto la alta nivel de Cadmio (0.007 mg/L) que supera el valor límite de la Resolución 1074 de 1997 del DAMA
18	CI 67 I Cr 105	canal	combinado	3.6	No cumple con Grasas y Aceites (447 mg/L), Cadmio (0.019 mg/L), Fenoles (0.24 mg/L), Plomo (0.318 mg/L), Sólidos Suspendidos Totales (14344 mg/L), Sólidos Sedimentables (106 ml/L) y Zinc (5.586 mg/L) con respecto a los límites de la Resolución 1074 de 1997 del DAMA
19	CII 66 C Cr 114 B	box coulvert	combinado	2.5	Incumple con Cadmio (0.114 mg/L), Cromo Total (10.886 mg/L), DQO (11030 mg/L), Níquel (0.724 mg/L), Plomo (4.411 mg/L), Sólidos Suspendidos Totales (30450 mg/L), Zinc (29.79 mg/L) y Sólidos Sedimentables (80 ml/L), con respecto a la Resolución 1074 de 1997 del DAMA

20	Diagonal 71 con Tranv 115 D	colector	combinado	1.5	La muestra de agua en este punto cumple con los requerimientos de la Resolución 1074 de 1997 del DAMA
21	CII 68 A Cr 106	canal	combinado	4.2	Las concentración de Grasas y Aceites (362mg/L) y de Cadmio (0.006 mg/L) superan el límite admisible en la Resolución 1074 de 1997 del DAMA

Sustancias contaminantes de ciertas industrias

Tabla 3. Industria de laminación, extrusión y estiraje de cobre y sus aleaciones

Sustancia	Fuente	Tipo de emisiones	Método de estimación
Arsénico	Laminación, extrusión, estiraje y limpieza	Agua residual	Datos históricos de muestreo en fuente
Cadmio			
Cromo			
Cobalto			
Plomo			
Níquel			
Zinc			
Cobre		Residuos sólidos	
Tricloroetileno	Limpieza	Vapores	Factores de emisión
Percloroetileno			
Cloruro de metileno		Agua residual	Balance de materiales
Bióxido de carbono	Calentamiento	Gases de combustión	Factores de emisión y datos históricos de muestreo en fuente
Monóxido de carbono			
Óxidos de azufre			
Óxidos de nitrógeno			

Fuente: <http://www.presenciaciudadana.org.mx/tabla19industrias.html> [Visitado en línea en enero 10]

Tabla 4. Industria de fabricación de fertilizantes

Sustancia	Fuente	Tipo de emisiones
------------------	---------------	--------------------------

Bióxido de carbono	Reactor	Gases sin reaccionar
Fenol		Residuos líquidos
Bióxido de carbono		
Monóxido de carbono		
Óxidos de azufre		
Óxidos de nitrógeno		

Fuente: [\[http://www.presenciaciudadana.org.mx/tabla19industrias.html\]](http://www.presenciaciudadana.org.mx/tabla19industrias.html) [Visitado en línea en enero 10]

Tabla 5. Industria de la fundición primaria de hierro, fabricación de ferroatleaciones, fabricación de acero y fundición de piezas de hierro y acero

Sustancia	Fuente	Tipo de emisiones	Método de estimación
Antraceno, Benceno, Bifenil, Fenantreno, Fenol, Naftaleno, Piridina	Producción de coque y sintetización	Vapores y Agua residual	Datos históricos de muestreo en fuente
Óxidos de zinc, plomo, níquel y cromo	Preparación de minerales, fundición de hierro, fundición de acero y vaciado	Polvos Aguas residuales Residuos sólidos	Balance de materiales
Tricloroetileno	Limpieza	Vapores	Factores de emisión
Percloroetileno y Cloruro de metileno		Residuos líquidos	Balance de materiales
Sales de cromo, plomo, níquel zinc y cianuros	Sales de cromo, plomo, níquel zinc y cianuros	Decoste en baños salinos, moldura en frío, limpieza y revestimiento en caliente	Agua residual
			Residuos sólidos

Monóxido de carbono, Bióxido de carbono, Óxidos de azufre	Producción de coque, sinterización, fundición de hierro y fundición de acero	Gases de combustión < de combustión	
Óxidos de nitrógeno			

Fuente: <http://www.presenciaciudadana.org.mx/tabla19industrias.html> [Visitado en línea en enero 10]

Tabla 6. Industria de la galvanoplastia en piezas metálicas

Sustancia	Fuente	Tipo de emisiones	Método de estimación
Percloroetileno	Desengrase	Vapores	Balance de materiales
Plomo, Plata, Níquel, Zinc, Cobre	Abrillantado	Aguas residuales	Datos históricos de muestreo en fuente
Cromatos, Dicromatos, Cianuros	Cromado	Residuos líquidos	
	Adonizado	Sedimentos	
	Estañado	Electrodos	
	Galvanizado		
Bióxido de carbono	Calderas	Gases y partículas de combustión	Factores de emisión y datos históricos de muestreo en fuente
Monóxido de carbono			
Óxido de azufre			
Óxidos nitrosos			

Fuente: <http://www.presenciaciudadana.org.mx/tabla19industrias.html> [Visitado en línea en enero 10]

Tabla 7. Industria de fundición y/o refinación de metales no ferrosos

Sustancia	Fuente	Tipo de emisiones
Óxidos de nitrógeno	Sinterizado, fundición y refinación	Gas de SO ₂ de desulfuración
Óxidos de azufre		Partículas de plomo
Monóxido de carbono		Partículas de zinc, cadmio, cromo y cobre
Bióxido de carbono		Gases de combustión
Arsénico	Equipos de recolección de polvos	Polvos
Plomo		
Zinc	Fundición y refinación por proceso pirometalúrgico	

Níquel		
Cadmio	Refinación de zinc por proceso hidrometalúrgico	Lodos, licor electrolítico, lixiviados, aguas residuales de lavado de electrodos
Cromo		
Cobre		
Mercurio	Enfriamiento directo de lingotes y piezas de fundición	Aguas residuales de proceso con metales como arsénico, níquel, plomo, zinc, cadmio, cromo y cobre
Plata	Equipos anticontaminantes de lavado de gases	Aguas residuales de lavado
Plata		
Selenio		

Fuente: <http://www.presenciaciudadana.org.mx/tabla19industrias.html> [Visitado en línea en enero 10]

Tabla 8. Industrias de fabricación de celulosa y papel

Sustancia	Fuente	Tipo de emisiones
Benceno	Blanqueo	Agua residual
		Emisiones al aire (emisiones fugitivas)
Óxidos de azufre	Digestión	Emisiones al aire
	Horno de fundido	
Bióxido de carbono	Horno de fundido	
Óxidos de azufre	Horno de cal	
Monóxido de carbono	Calderas de generación de vapor	Gases de combustión
Óxidos de nitrógeno Óxidos de nitrógeno		
Cloroformo	Blanqueo	Emisiones de vapores al aire

Fuente: <http://www.presenciaciudadana.org.mx/tabla19industrias.html> [Visitado en línea en enero 10]

Tabla 9. Industria de fabricación de pinturas, barnices, lacas y similares

Sustancia	Fuente	Tipo de emisiones	Método de estimación
Naftenato de cobalto	Descarga de los	Emisiones de	Balance de

Naftenato de plomo	materiales, mezclado, molienda y agitación	vapores de VOCs Emisiones controladas de polvos de pigmentos y cargas	materiales Cálculos de ingeniería
Alcanoato de zinc			
Alcanoato de cobalto			
Alcanoato de plomo			
Neodecanato de cobalto			
Neodecanato de plomo			
Octoato de cobalto			
Octoato de plomo			
Cromato de plomo			
Molibdato de plomo			
Sulfato de plomo			
Óxidos de mercurio	Operaciones de lavado Datos históricos de muestreo en fuente		
Óxidos de plomo			
Óxidos de zinc			
Óxidos de cadmio			
Sulfuro de cadmio			
Sulfoseleniuro de cadmio			
Fenol formaldehído			
Formaldehído			
Etanol	Calderas	Gases de combustión	Factores de emisión y datos históricos de muestreo en fuente
Metacrilato de metilo			
Óxidos de azufre			
Óxidos de nitrógeno			
Monóxido de carbono			
Bióxido de carbono			

Fuente: <http://www.presenciaciudadana.org.mx/tabla19industrias.html> [Visitado en línea en enero 10]

Tabla 10. Caracterización promedio de afluentes de la industria de pinturas

Parámetro (mg/l)	Promedio
DBO	11000
SST	25000
Aceites y grasas	12000
Titanio	19000
Cromo	3500
Cianuro cúprico	75
Plomo	6000
Mercurio	4000
Níquel	1700
Selenio	200
Zinc	95000
Benceno	1200
Fenol	500
Tolueno	6200

Fuente: <http://aqualimpia.com/Pinturas.htm> [Visitado en línea en enero 10]

