

**UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA**



**ANÁLISIS DE LA MITIGACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL EN EL LAGO DEL
PARQUE LA FLORIDA, POR FITORREMEDIACIÓN USANDO BUCHÓN DE AGUA**

Helena Gómez Sierra
Bióloga

Gina Paola Pinzón Castañeda
Ingeniera Química

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS
ESPECIALIZACIÓN EN PLANEACIÓN AMBIENTAL
Y MANEJO INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES
BOGOTÁ, D.C.
2012**

**UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA**



**ANÁLISIS DE LA MITIGACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL EN EL LAGO DEL
PARQUE LA FLORIDA, POR FITORREMEDIACIÓN USANDO BUCHÓN DE AGUA**

Helena Gómez Sierra
Bióloga

Gina Paola Pinzón Castañeda
Ingeniera Química

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título
Especialista en Planeación Ambiental y Manejo Integral de Los Recursos Naturales

DIRECTOR

Oscar Eugenio Sierra Ospina, Biólogo, M. Sc.
Docente Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Universidad del Rosario.

ASESOR METODOLÓGICO Y CODIRECTOR

Álvaro Chávez Porras, Ingeniero Industrial, Ph. D.
Docente y Director del Programa de Ingeniería Industrial
Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, D.C., Colombia

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS
ESPECIALIZACIÓN EN PLANEACIÓN AMBIENTAL
Y MANEJO INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES
BOGOTÁ, D.C.
2012**

CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	8
INTRODUCCIÓN	9
1. OBJETIVOS	11
1.1 OBJETIVO GENERAL	11
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
3. MARCO TEÓRICO	13
3.1 UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO	13
3.2 MARCO LEGAL	14
3.3 BIORREMEDIACIÓN	15
3.3.1 Fitorremediación	15
3.3.2 Criterios de selección y especie utilizada	15
3.4 ELIMINACIÓN DE METALES PESADOS	16
4. METODOLOGÍA	17
4.1 FASE DE CAMPO	17
4.2 FASE DE LABORATORIO	17
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
5.1 ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICOS	19

5.1.1 pH	19
5.1.2 SDT	20
5.1.3 SST	21
5.1.4 OD	21
5.1.5 P	22
5.1.6 Compuestos nitrogenados	22
5.1.6.1 Nitrógeno total	22
5.1.6.2 Nitrógeno amoniacal	23
5.1.6.3 Nitratos y nitritos	24
5.1.7 Grasas y Aceites	24
5.1.8 Tensoactivos	25
5.2 METALES PESADOS	26
5.2.1 Pb	26
5.2.2 Cr	26
6. CONCLUSIONES	28
7. RECOMENDACIONES	29
BIBLIOGRAFÍA	30
ANEXOS	34

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Localización del Parque La Florida	13
Figura 2. Valores de pH	20
Figura 3. SDT	20
Figura 4. SST	21
Figura 5. OD	22
Figura 6. P	22
Figura 7. Nitrógeno total	23
Figura 8. Nitrógeno amoniacal	23
Figura 9. Nitratos	24
Figura 10. Nitritos	24
Figura 11. Grasas y Aceites	25
Figura 12. Tensoactivos	25
Figura 13. Pb	26
Figura 14. Cr	27

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Número de muestras con sus respectivas fechas	19

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A Cuadro comparativo de parámetros del Lago del Parque La Florida Vs parámetros del río Bogotá	34

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en el lago del Parque La Florida, ubicado en el municipio de Funza (Cundinamarca, Colombia), que es un cuerpo de agua cuyas condiciones físico-químicas pueden variar con los cambios climáticos siendo afectado por el vertimiento de diversas sustancias.

Para el desarrollo de este trabajo se utilizó el buchón de agua (*Eichornia crassipes*), una macrófita que ha sido ampliamente utilizada para tratamientos secundarios y terciarios en la depuración de aguas contaminadas, basado en las propiedades de esta planta para absorber nutrientes, la capacidad que tienen de reproducirse rápidamente, la asimilación de una variedad de contaminantes, la facilidad de recolección, su tolerancia a altas concentraciones de sustancias tóxicas. Con el objeto de evaluar la efectividad de la biorremediación mediante el uso de esta planta en las aguas del lago, se instaló un filtro natural en el punto de desborde del canal que aporta aguas del río Bogotá. Se realizaron muestreos durante dos años (2009 a 2011) en las aguas del lago y se compararon estos resultados con los reportados por el Laboratorio de la Corporación Autónoma Regional – CAR, durante este mismo período de tiempo en el punto de muestreo El Cortijo, sobre el río Bogotá.

Como resultado se obtuvo la reducción de los Sólidos Suspendedos Totales (SST), una concentración alta de Oxígeno Disuelto (OD), una remoción altamente eficiente de elementos como Fósforo (P) y Nitrógeno (N). En cuanto a los metales pesados, Plomo (Pb) y Cromo (Cr), el porcentaje de remoción que presentaron estos metales fue mayor al 95%. Sin embargo, el efecto remediador del buchón no se reflejó en los Tensoactivos, el pH, las Grasas y Aceites.

Palabras clave: Macrófita, biorremediación, buchón de agua, parámetros físico-químicos, metales pesados.

INTRODUCCIÓN

El ecosistema es la unidad básica en ecología, puesto que incluye a los organismos y al medio abiótico, cada uno de los cuales influye sobre las propiedades del otro y que en conjunto son necesarios para el mantenimiento de la vida (Odum, 1986). El agua, componente abiótico fundamental de los ecosistemas, dada su estructura molecular tiene la capacidad de incorporar normalmente muchas sustancias, disolviéndolas, suspendiéndolas o dispersándolas, sin embargo la contaminación debida al vertimiento de desechos en los cuerpos de agua, aumenta notoriamente la concentración de dichas sustancias y altera el equilibrio de los elementos presentes en ella.

El lago del Parque Regional La Florida, ubicado en la vereda La Florida, municipio de Funza, en el departamento de Cundinamarca (Colombia), es un hábitat de diferentes especies de aves endémicas y migratorias, además de brindar con calidad, un espacio para la recreación pasiva y contemplativa de los usuarios. De acuerdo con los cambios climáticos, las condiciones del cuerpo de agua varían generando impactos ambientales que podrían poner en riesgo la salud de los usuarios y la supervivencia del ecosistema. Es así que dentro de las políticas públicas de gobierno sobre la sostenibilidad de parques, se adelantan tareas de monitoreo de calidad del agua. Con el fin de dar cumplimiento al Decreto 1594 de 1984, del Ministerio de Agricultura, se diseñan y ejecutan actividades de operación para el mantenimiento preventivo y correctivo, y de mitigación del impacto ambiental ocasionado por eventos de contaminación.

En cada una de las épocas de lluvia o de sequía, las aguas del río Bogotá pueden ingresar al lago del parque la Florida, alterando sus condiciones físico-químicas y microbiológicas. Por esta razón, basados en estudios preliminares, se decidió implementar un plan de contingencia, consistente en un filtro natural compuesto de una macrófita acuática llamada jacinto o buchón de agua (*Eichornia crassipes*)¹, en el sitio de la corriente de entrada, aprovechando algunas de sus características como son su rápido crecimiento, su alta productividad, eficiencia en la remoción de metales pesados y acumulación de materia orgánica y contaminantes (bioacumulación), sumado a la capacidad de sobrevivir a condiciones adversas.

Sin embargo, por su rápido crecimiento se ha llegado a catalogar como una plaga debido a que invaden cuerpos de agua ocasionando la eutroficación y desoxigenación por cubrimiento superficial. Para evidenciar la efectividad de esta medida, se analizaron muestras de agua antes, durante y después del vertimiento de las aguas del río Bogotá al lago, monitoreando los parámetros exigidos por la norma y otros adicionales, que son potencialmente perjudiciales para la estabilidad del ecosistema y para la salud humana.

¹ Esta planta también es llamada lirio de agua, camalote, taruya, lila de agua, violeta del agua, lechuga de agua.

En el presente trabajo se analiza la variación de la calidad del cuerpo de agua en eventos de contaminación con aguas provenientes del río Bogotá durante seis meses de temporada de lluvias y seis meses de temporada seca, frente a la acción remediadora del buchón de agua como medida de mitigación.

Finalmente se busca demostrar que la fitorremediación mediante el uso de buchón de agua, bajo condiciones controladas en el lago del Parque La Florida, es una herramienta de gestión para la prevención, contención y mitigación del influjo de metales pesados y otros contaminantes, aplicable a otros cuerpos de agua que han sido deteriorados por vertimientos similares, en virtud a que es un tratamiento de bajo costo, natural y de fácil reproducibilidad.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la efectividad del buchón de agua (*Eichornia crassipes*) como herramienta para mitigar la contaminación por metales pesados y otros contaminantes en las aguas del lago del parque La Florida.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar si durante la fitorremediación con buchón de agua; hubo absorción de sólidos suspendidos totales (SST).
2. Verificar si al instalar el filtro de buchón, la concentración de Oxígeno Disuelto (OD) aumenta o disminuye.
3. Comparar las concentraciones del Fósforo (P) y Nitrógeno (N) en el lago del parque La Florida, antes y después de la fitorremediación con buchón.
4. Verificar presencia de metales pesados en el agua del lago del Parque La Florida y en el agua del río Bogotá y comparar su comportamiento antes y después de la fitorremediación con buchón de agua.
5. Analizar si existe una relación directa de la fitorremediación con las concentraciones de Tensoactivos, pH y Grasas y Aceites en el lago del Parque La Florida.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

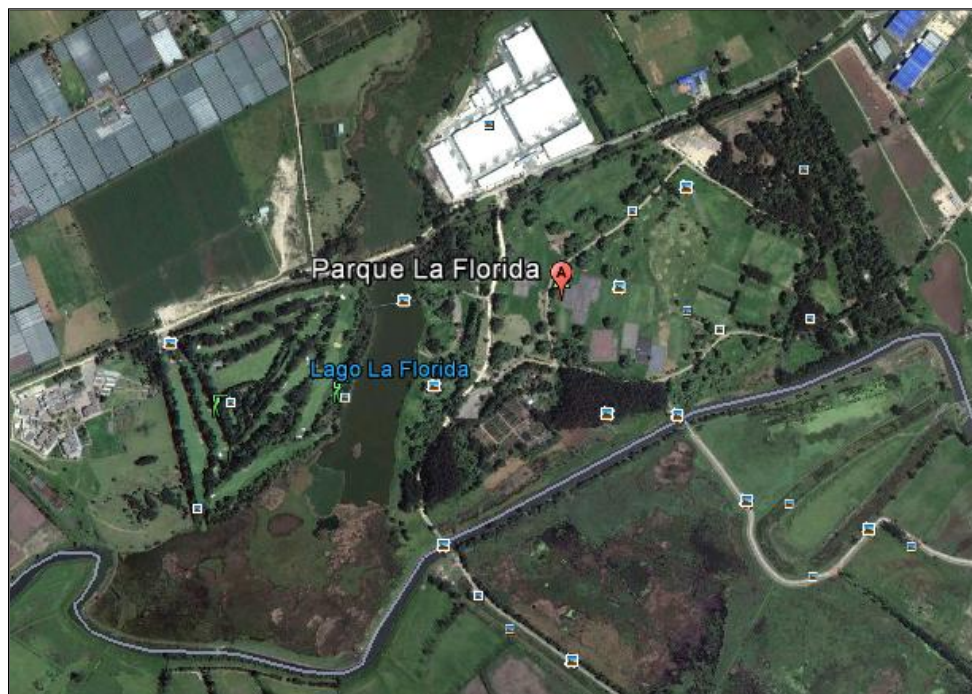
Debido a los cambios climáticos, el lago del Parque La Florida enfrenta problemas de contaminación con aguas provenientes del río Bogotá, situación que se ha venido controlando mediante el uso de buchón de agua. Sin embargo, no había una herramienta de gestión que permitiera analizar la efectividad de este plan de contingencia.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Parque La Florida, se encuentra ubicado en el km 3 vía Engativá – Cota, en el departamento de Cundinamarca, es el parque más importante del noroccidente de Bogotá, el cual cuenta con 267 hectáreas dotadas con instalaciones deportivas, vivero pedagógico y arborización que incluye pinos pátula, cipreses, acacias, palmas de cera del Quindío y robles.² En la Figura 1 se puede observar la ubicación del Parque. Dentro de las instalaciones de este, se encuentra el lago, con una extensión de 16 ha, es un ecosistema de humedal, con características típicas de este hábitat. Cuenta con islotes construidos especialmente para recrear el hábitat de las especies de aves endémicas, nativas y migratorias con la vegetación acuática a distancias de la orilla, que garantizan refugio aislado de los disturbios y el impacto ambiental generado por la presencia humana.³

Figura 1. Localización del Parque La Florida.



(Fuente: Google earth, 2011)

² http://www.idrd.gov.co/htms/seccion-parques-de-escala-regional_137.html

³ http://www.bogotaturismo.gov.co/sites/default/files/rutas/PORTAFOLIO_LA_FLORIDA.pdf

3.2 MARCO LEGAL

Para el desarrollo del presente trabajo se tuvo en cuenta la legislación colombiana vigente que rige sobre el manejo de los lagos, se fundamenta en el Decreto 3930 de 2010, del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, en el cual con respecto al uso del lago se establece:

“Artículo 15: *Uso recreativo.* Se entiende por uso del agua para fines recreativos, su utilización, cuando se produce:

1. Contacto primario, como en la natación, buceo y baños medicinales.
2. Contacto secundario, como en los deportes náuticos y la pesca.”

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, el lago del parque la Florida está clasificado como agua de uso recreativo de contacto secundario, por lo tanto, para el análisis de los parámetros físico – químicos se tuvo en cuenta el Decreto 1594 de 1984, del Ministerio de Agricultura, por el cual se reglamenta el uso del agua y los residuos líquidos:

“Artículo 42: establece los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para fines recreativos mediante contacto primario.

Parágrafo 1. No se aceptará en el recurso película visible de grasas y aceites flotantes, presencia de material flotante proveniente de actividad humana; sustancias tóxicas o irritantes cuya acción por contacto, ingestión o inhalación, produzcan reacciones adversas sobre la salud humana.

Parágrafo 2. El nitrógeno y el fósforo deberán estar en proporción que no ocasionen eutrofización.

Artículo 43: los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para fines recreativos mediante contacto secundario, serán los siguientes:

Referencia	Expresado como	Valor
Coliformes totales	NMP	5.000 microorganismos/100 ml.
Oxígeno disuelto		70% concentración de saturación
pH	Unidades	5.0 - 9.0 unidades
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	0.5

Parágrafo. Además de los criterios del presente artículo se tendrán en cuenta los establecidos en los párrafos 1 y 2 del artículo anterior”.

3.3 BIORREMEDIACIÓN

Por biorremediación se entiende la utilización de organismos vivos, de cualquier reino, para depurar ambientes contaminados (Barbaro, 2007).

3.3.1 Fitorremediación. De acuerdo con Benítez (2008), es el uso de plantas, y de su microbiota asociada para reparar suelos o aguas subterráneas contaminadas. Las técnicas de fitorremediación incluyen la utilización de enmiendas de suelo y técnicas agrónomas para trasladar, contener o convertir los contaminantes del medio en una forma química que disminuya su disponibilidad química o biológica.

Las plantas acuáticas asimilan nutrientes y crean condiciones favorables para la descomposición microbiana de la materia orgánica, por esta razón son conocidas como autodepuradoras de ambientes acuáticos y son utilizadas en el tratamiento de aguas servidas (Iturbide, 2008). La utilización de plantas acuáticas ha sido desarrollada como un tratamiento secundario o terciario alternativo de aguas residuales, y ha demostrado ser eficiente en la remoción de una amplia gama de sustancias, orgánicas así como nutrientes y metales pesados (Morales, 2007).

Al competir con las algas del fitoplancton y con el zooplancton por los nutrientes y debido a que las macrófitas limitan la cantidad de luz para el proceso fotosintético de las algas, pueden controlar la población de estos organismos, disminuyendo los sólidos en suspensión y así mismo, la turbidez.

3.3.2 Criterios de selección y especie utilizada. La elección del tipo de planta depende de su adaptabilidad al clima de la región, de su capacidad de transporte de oxígeno de la superficie a la rizosfera, de su tolerancia a altas concentraciones de contaminantes así como de su capacidad para asimilarlo, de su alta presencia en la zona donde se va a instalar el sistema, de la facilidad para recolectarlas y posterior transporte y su fácil autogeneración (Ansola, 2003, citado por Arroyo, 2004).

El buchón de agua es una planta originaria de las regiones tropicales y subtropicales de Sudamérica que se destaca por su capacidad de crecimiento, y por lo tanto, de acumular nutrientes (contaminantes) en su propia biomasa. Es capaz de metabolizar incluso tóxicos como los fenoles (Barbaro, 2007). El buchón puede ser utilizado como fertilizante en los sistemas agrarios, como comida animal, para producir biogás, para producir papel e incluso como material de construcción (Bustamante, 2010).

El crecimiento del jacinto de agua es favorecido por el agua rica en nutrientes, en especial por el nitrógeno, el fósforo y el potasio. Además de estos elementos, toma calcio, magnesio, azufre, hierro, manganeso, el aluminio, el boro, cobre, molibdeno y zinc. La habilidad del jacinto de agua de extraer los nutrientes y los metales pesados

puede ser explotada para tratar los efluentes de alcantarillados pasándolos a través de canales que contienen la planta (Harley, 1996).

3.4 ELIMINACIÓN DE METALES PESADOS

Por metales pesados se entiende a cualquier elemento químico metálico que tenga una relativa alta densidad y sea tóxico o venenoso en concentraciones bajas, y que no se pueden degradar por medios naturales, además que son peligrosos porque tienden a bioacumularse en el organismo (Morales, 2007).

El buchón de agua se ha convertido en un elemento de importancia desde el punto de vista de la biorremediación porque posee potencial para capturar metales pesados, tales como arsénico, cadmio, cromo y mercurio, entre otros, en fuentes hídricas contaminadas (Hurtado *et al.*, 2010). De acuerdo con Roldán y Álvarez (2002, citado por Arroyave 2004) en canales sembrados con el buchón de agua, se ha comprobado una eficiencia de remoción de los diferentes contaminantes que alcanza más de 97% en los metales pesados y hasta el 98% en sólidos suspendidos.

Fuentes antropogénicas de Plomo (Pb): se utiliza principalmente en la producción de acumuladores y baterías, pigmentos, insecticidas, explosivos reactivos químicos, soldaduras, aditivos antidetonantes para gasolina, alfarería decorativa vidriada en hoja metálica y barro, cubiertas para proteger de los rayos X, tuberías, etc. El contenido de plomo en casi todas las aguas varía entre 0,001 y 0,01 μ /ml, cantidad que es muy inferior al límite establecido por la Organización Mundial de la Salud, OMS, el cual es de 0,1 μ /ml (Badillo, 2008).

Fuentes antropogénicas de Cromo (Cr): extracción de compuestos de cromo a partir de la cromita, la industria química, colorantes, pigmentos, plaguicidas, el cromado electrolítico o galvanoplastia y el curtido de pieles y cueros, el uso de compuestos del cromo como mordientes en teñido de telas y otros usos menores como conservación de la madera, cerámica metálica, fotograbado, fabricación de cerillo, explosivos, linóleo, etc. (Figueroa, 2008)

4. METODOLOGÍA

4.1 FASE DE CAMPO

Dentro de las actividades de mantenimiento del lago se ha implementado la conservación del buchón de agua (*Eichornia crassipes*), como especie utilizada para la fitorremediación, colectada de las aguas del mismo lago en el cual se tiene un reservorio de la planta, para utilizarlo como herramienta de contención de aguas contaminadas en los diferentes lagos que administra el Instituto Distrital para la Recreación y el Deporte - IDR. Para efectos de controlar el crecimiento de las plantas, usualmente las amarran en grupos, para evitar su dispersión por el lago y para que permanezcan en el punto de desborde del canal aportante. Una vez las plantas cambian de color, se procede a retirarlas y cambiarlas para continuar con el tratamiento de fitorremediación.

4.2 FASE DE LABORATORIO

El mantenimiento preventivo y correctivo del lago incluye el monitoreo de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, así como de algunos metales pesados, a través de laboratorios certificados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Estos datos fueron obtenidos a partir de los informes presentados a la Subdirección Técnica de Parques del IDR y se consideraron durante los años 2009 a 2011 (dos años), tiempo en que se realizó el tratamiento.

Los resultados fueron confrontados con los parámetros normativos que rigen para este tipo de aguas, Decreto 1594 de 1984, Artículos 42 y 43, define los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para fines recreativos mediante contacto primario y secundario.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Anexo A, se encuentran relacionados los resultados de los análisis de laboratorio entregados en los informes de gestión del IDR, que corresponden a los periodos de 2009 a 2011 respectivamente y que representan la calidad del agua del lago, comparados con los resultados de los análisis realizados por la Oficina del Laboratorio Ambiental de la Corporación Autónoma Regional - CAR, que corresponden al punto de muestreo No. 46 del río Bogotá (El Cortijo), cuya cercanía al lago del parque La Florida, dan cuenta de la calidad del agua que potencialmente puede contaminar este cuerpo de agua. Finalmente, se presenta el promedio de concentración de cada parámetro y el porcentaje de remoción, que es el cálculo de restar a la concentración inicial de los parámetros los valores después de la fitorremediación; en los parámetros donde no se evidenciaron cambios favorables, no se reportaron valores de porcentaje de remoción.

Con el fin de realizar el análisis cuantitativo y cualitativo de cada uno de los resultados se asignó un número a cada período en el que se realizaron determinaciones. En la Tabla 1 se presenta la relación entre el número de la muestra y la fecha de análisis.

Es importante resaltar que a partir de la muestra No. 6, es decir, desde el mes de Septiembre del 2009, se evidenció la entrada de aguas del río Bogotá al lago del Parque La Florida y por lo tanto la fecha en la que se inició la fitorremediación.

Los resultados de los análisis de laboratorio de las muestras reportadas por el IDR fueron comparados con los resultados de las muestras analizadas por el laboratorio de la CAR. De igual forma, se compararon con el Artículo 43 del Decreto 1594 de 1984, que clasifica el agua del lago del parque La Florida de acuerdo a su uso como agua de uso recreativo de contacto secundario y establece los valores admisibles para algunos de los parámetros que se analizaron.

Se encontró una limitante en el momento de desarrollar el comparativo; dado que se observa discontinuidad en los registros de algunos parámetros aportados por el IDR, y así mismo por los obtenidos del laboratorio de la CAR.

Tabla 1. Número de muestras con sus respectivas fechas.

Número de muestra	Periodo
1	DICIEMBRE 2008
2	MARZO 2009
3	JUNIO 2009
4	JULIO 2009
5	AGOSTO 2009
6	SEPTIEMBRE 2009
7	OCTUBRE 2009
8	DICIEMBRE 2009
9	MARZO 2010
10	SEPTIEMBRE 2010
11	OCTUBRE 2010
12	NOVIEMBRE 2010
13	DICIEMBRE 2010
14	ENERO 2011
15	FEBRERO 2011
16	JULIO 2011
17	AGOSTO 2011
18	SEPTIEMBRE 2011
19	OCTUBRE 2011
20	NOVIEMBRE 2011
21	ENERO 2012
22	FEBRERO 2012

(Fuente: CAR y Laboratorios, Procesado: Las autoras)

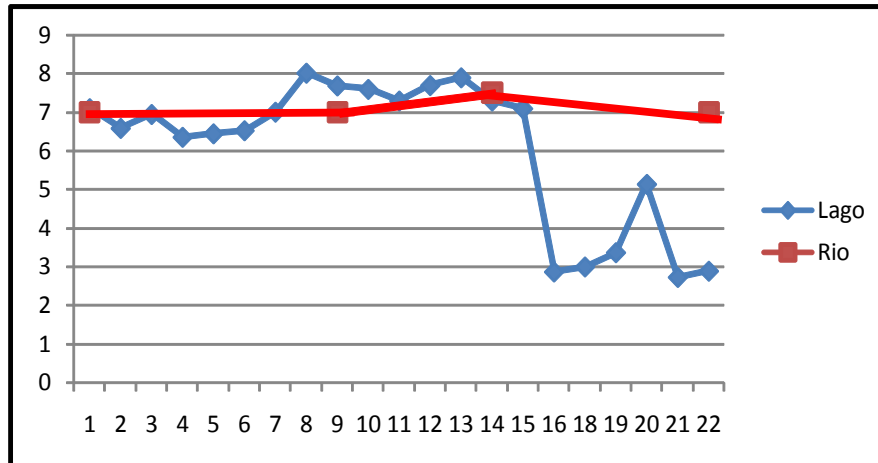
5.1 ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICOS

A continuación se relaciona el comportamiento de parámetros físicos y químicos del lago del Parque La Florida, comparados con los del río Bogotá en el punto de muestreo el Cortijo. Las Figuras de la 2 a la 12, fueron procesadas por las autoras tomando como fuente los resultados entregados por el IDRD y por el Laboratorio de la CAR.

5.1.1 pH. De acuerdo con el Decreto 1594 de 1984 en su Artículo 43 el valor admisible de pH es de 5 a 9; a partir de julio de 2011, el pH en el lago descendió niveles considerables por debajo de la norma, como se observa en la Figura 2. Estos valores no coinciden con los reportados por el laboratorio de la CAR. Teniendo en cuenta que las aguas del río son el único aporte al lago del Parque La Florida, se puede concluir que algunos de sus componentes están desencadenando procesos de acidificación en el lago, haciendo que el pH disminuya. Debido a este ambiente

ácido se ha notado un decrecimiento en el buchón y un efecto directo e indirecto en varios parámetros que en adelante se describirán.

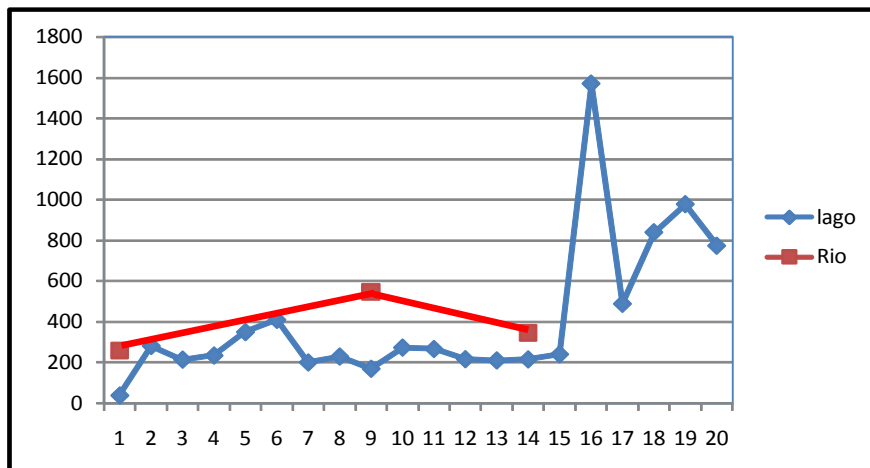
Figura 2. Valores de pH



(Fuente: CAR y Laboratorios, Procesado: Las autoras)

5.1.2 SDT. Los datos reportados por el laboratorio de la CAR, siempre estuvieron por encima de los valores reportados del lago, por lo que se concluye que el filtro tiene un efecto positivo sobre este parámetro. El aumento de los SDT en el lago se debe a que en un medio de pH ácido la velocidad de precipitación de los sólidos sedimentables totales disminuye por lo que la mayoría de los sólidos se encuentran en zona superficial del espejo de agua. Este comportamiento coincide con el momento en que inició el descenso de los valores de pH, de acuerdo con la Figura 3 (muestra No.15).

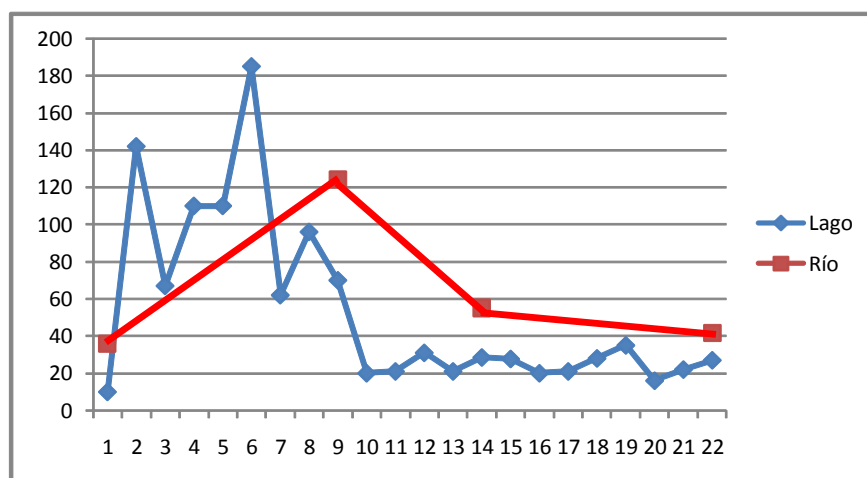
Figura 3. SDT



(Fuente: CAR y Laboratorios, Procesado: Las autoras)

5.1.3 SST. En la Figura 4, se aprecia que la concentración de este parámetro, disminuyó desde el momento en que se estableció el tratamiento con buchón (muestra No. 6); comportamiento que coincide con los resultados esperados en el momento de instalar el filtro. También se observa, que al relacionar los valores de SST del lago con respecto a los del río, estos siempre son menores de acuerdo a los registros reportados. Finalmente, de acuerdo con la literatura dentro de las propiedades del buchón se encuentran la absorción de SST, comportamiento que se puede apreciar con los resultados analizados.

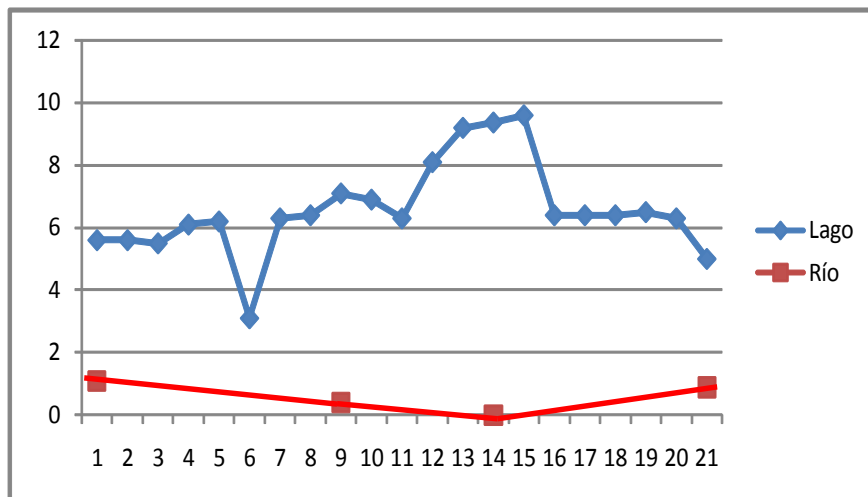
Figura 4. SST



(Fuente: CAR y Laboratorios, Procesado: Las autoras)

5.1.4 OD. En lo que concierne a este parámetro, aunque el valor admisible según el Decreto 1594 de 1984 es entre 6,5 – 9 mg/L; se considera que en un ambiente acuático valores por encima de 4 mg/L son aceptables para el entorno (Figura 5). El promedio de OD es de 6,6 mg/L (Anexo A), valor que favorece la recuperación del lago y que está por encima de los valores del río de 0,6 mg/L en promedio (Anexo A). De lo anterior se puede concluir que en condiciones controladas, es decir evitando que el buchón invada el espejo de agua, se puede evitar el principal limitante a la hora de utilizar esta planta.

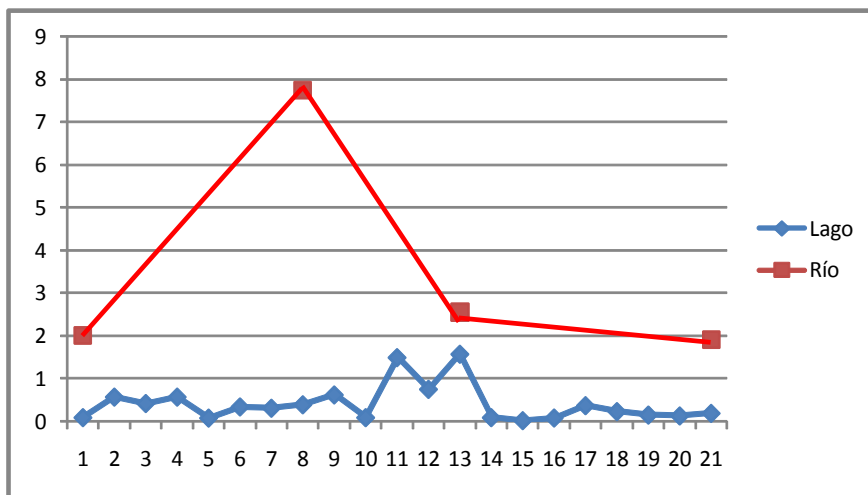
Figura 5. OD



(Fuente: CAR y Laboratorios, Procesado: Las autoras)

5.1.5 P. Según el Decreto 1594 de 1984, el valor admisible de P es entre 0,01 – 3,0 mg/L, el promedio reportado del río Bogotá es de 3,6 mg/L (Anexo A). La retención del filtro se puede evidenciar ya que la concentración promedio en el lago es de 0,417 mg/L cerca del 88% del valor del agua de entrada (Anexo A).

Figura 6. P



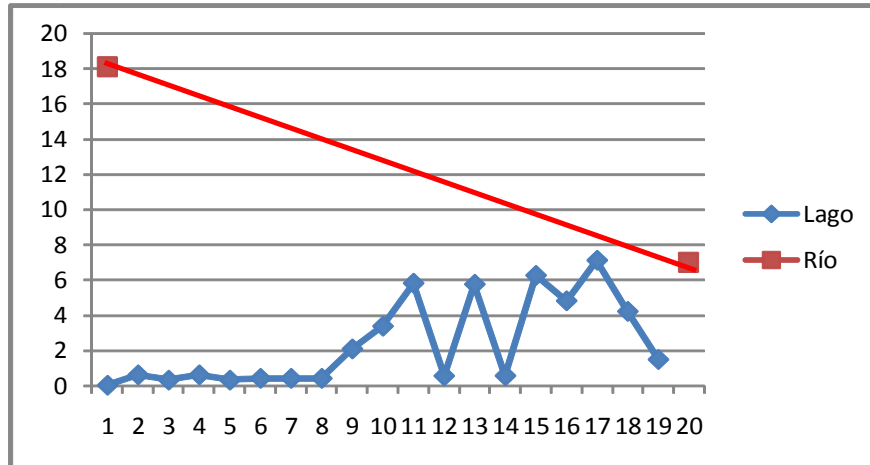
(Fuente: CAR y Laboratorios, Procesado: Las autoras)

5.1.6 Compuestos nitrogenados

5.1.6.1 Nitrógeno total. El promedio del valor reportado en el río Bogotá es de 12,6 mg/L muy por encima del valor máximo admisible de acuerdo al Decreto 1594 de 1984 que es de 0,3 mg/L; el valor promedio en el lago es de 2,36 mg/L (Anexo A).

Aunque la remoción de nitrógeno fue de 81% (Anexo A) aproximadamente, este comportamiento no fue constante, como se observa en la Figura 7.

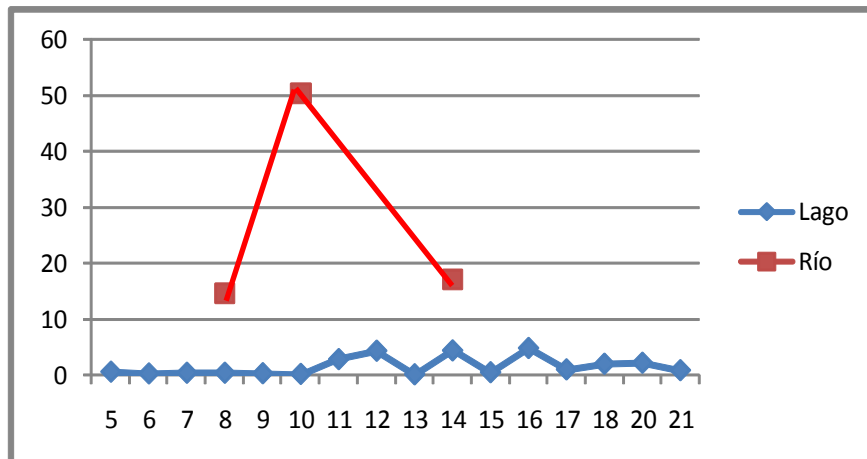
Figura 7. Nitrógeno total



(Fuente: CAR y Laboratorios, Procesado: Las autoras)

5.1.6.2 Nitrógeno amoniacal. Como se observa en la Figura 8, el promedio de los datos reportados del lago es de 1,56 mg/L valor que está dentro del intervalo admisible por el Decreto 1594 de 1984, 0,01 – 5,0 mg/L y que demuestra un porcentaje de remoción de 94% aproximadamente (Anexo A).

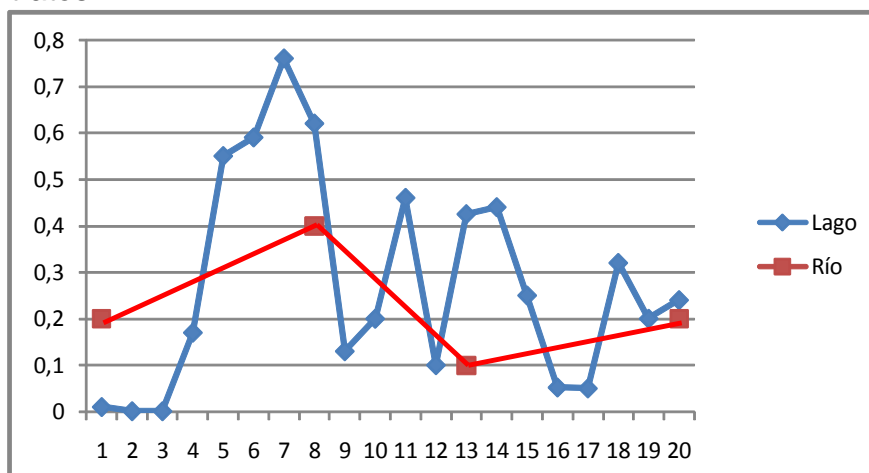
Figura 8. Nitrógeno amoniacal



(Fuente: CAR y Laboratorios, Procesado: Las autoras)

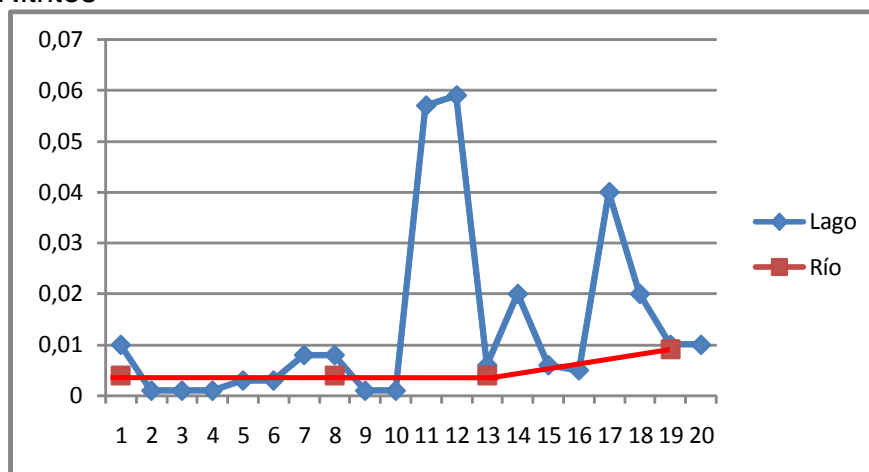
5.1.6.3 Nitratos y nitritos. Las Figuras 9 y 10 muestran un comportamiento similar, las concentraciones del lago por encima del río. Sin embargo, las dos concentraciones cumplen con los parámetros establecidos en el Decreto 1594 de 1984. Con respecto a los valores del lago no muestran un comportamiento regular ya que las concentraciones varían considerablemente de un punto al otro, por lo que no se puede establecer una relación directa entre estos parámetros y la recuperación con buchón.

Figura 9. Nitratos



(Fuente: CAR y Laboratorios, Procesado: Las autoras)

Figura 10. Nitritos

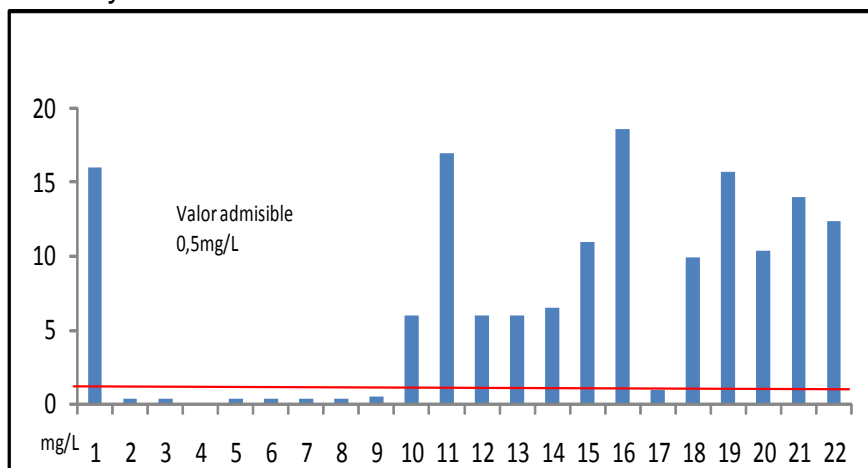


(Fuente: CAR y Laboratorios, Procesado: Las autoras)

5.1.7 Grasas y Aceites. De acuerdo con los parámetros reportados por la CAR, este parámetro no fue determinado, por lo cual el análisis se realizó únicamente con el comportamiento que mostró al interior del lago y de acuerdo al Decreto 1594 de

1984, como puede observarse en la Figura 11. Para este parámetro, las concentraciones tienen una tendencia a aumentar sobrepasando el valor permitido por la norma, por lo que se puede establecer que la remediación con el buchón sobre el agua no tiene efecto en cuanto a las Grasas y Aceites se refiere.

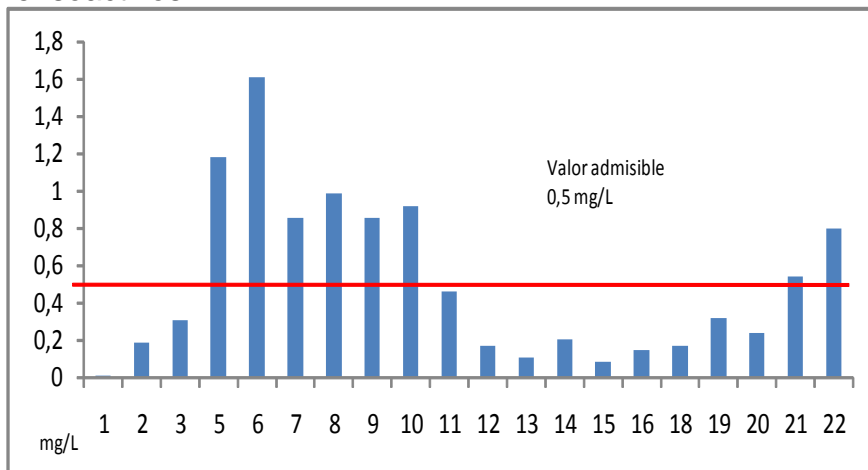
Figura 11. Grasas y Aceites



(Fuente: CAR y Laboratorios, Procesado: Las autoras)

5.1.8 Tensoactivos. El valor admisible de Tensoactivos es de 0,5 mg/L según el Decreto 1594 de 1984; desde el inicio del ingreso de aguas contaminadas al lago este valor aumentó de manera acelerada, comportamiento que era de esperarse ya que se observó presencia de espumas en el agua contaminada, a partir de ese momento se observó una mejora que se mantiene constante, como se observa en la Figura 12.

Figura 12. Tensoactivos



(Fuente: CAR y Laboratorios, Procesado: Las autoras)

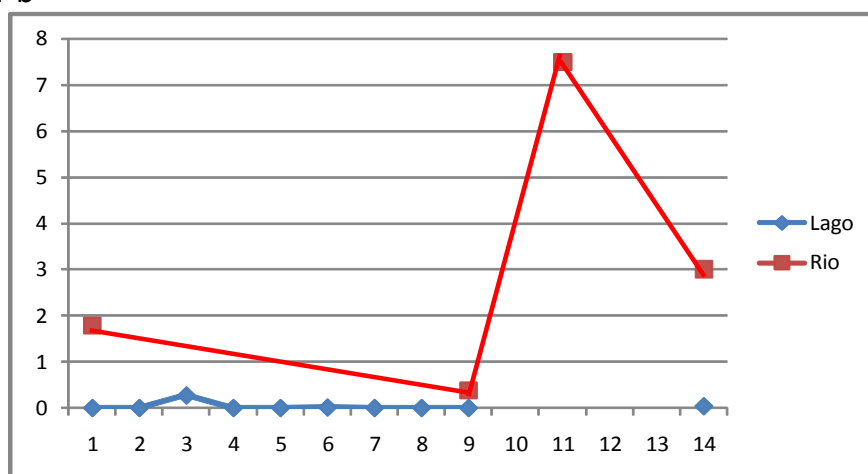
5.2 METALES PESADOS

La capacidad de absorción del buchón es reconocida principalmente en los metales pesados, a continuación se establece el comportamiento que se presentó en el lago del Parque La Florida a través de la fitorremediación con buchón de agua concerniente al Pb y Cr. Las Figuras 13 y 14, fueron procesadas por las autoras tomando como fuente los resultados entregados por el IDRDR y por el Laboratorio de la CAR.

5.2.1 Pb. La muestra No. 3 es la concentración más alta que se presenta en el histórico de Pb en el lago, este aumento se presentó por un equipo de transporte que fue removido del fondo del lago que contenía baterías y pinturas. Cuando ingresó agua contaminada por primera vez al lago, la concentración fue de 0,02 mg/L (Muestra No. 6), que aunque se encontraba dentro del valor admisible que es 0,05 mg/L, aumentó con relación a los demás valores. A partir de la instalación del filtro, las concentraciones se mantienen estables y aún dentro de la norma, como se observa en la Figura 13.

Con respecto a los datos reportados del río, el promedio es de 3,17 mg/L (Anexo A), alcanzando valores de 7,50 mg/L valores que sobrepasan más de 60 veces las concentraciones permitidas por la norma. Con la instalación del filtro de buchón se observó una remoción de cerca del 99% (Anexo A).

Figura 13. Pb



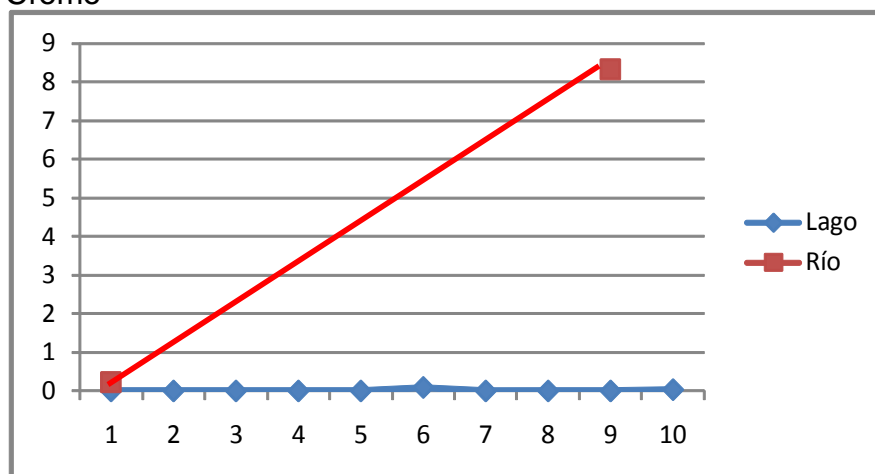
(Fuente: CAR y Laboratorios, Procesado: Las autoras)

5.2.2 Cr. La concentración de este parámetro en el lago desde el día del ingreso de las aguas del río Bogotá, fue de 0,1 mg/L por encima del valor admisible según el Decreto 1594 de 1984 que corresponde a 0,05mg/L. Sin embargo, desde la

instalación del buchón, la concentración volvió a valores admisibles y a pesar de que el vertimiento de aguas es constante, se mantiene el comportamiento, como se aprecia en la Figura 14.

A pesar de que solo se reportan dos datos de Cr en el río, se observa una tendencia al aumento de la concentración presentando un valor máximo de 8,330 mg/L y un mínimo de 0,229 mg/L. De acuerdo a este comportamiento, la absorción de este metal por parte del buchón fue un promedio aproximado de 100% (Anexo A).

Figura 14. Cromo



(Fuente: CAR y Laboratorios, Procesado: Las autoras)

6. CONCLUSIONES

La remoción de SST en el lago fue aproximadamente de 57% con respecto a los valores reportados en el río, confirmándose el comportamiento esperado consistente en la alta tasa de absorción de SST por parte del buchón de agua.

Se reportó un valor promedio de 6,6 mg/L de OD en el lago del Parque La Florida, por lo que se pudo establecer que en condiciones controladas, es decir evitando que el buchón invada el espejo de agua, se impide la desoxigenación y el consecuente deterioro de la calidad del agua.

El filtro de buchón presentó un alto efecto depurador sobre el P y el N (amoniaco y total) por lo que se pudo establecer que en condiciones controladas el buchón disminuye las concentraciones de los nutrientes que conducen a la eutroficación.

El Pb fue el metal pesado con mayor concentración en el agua que contaminó el lago. A pesar de esto, el porcentaje de remoción fue aproximadamente de 99%. El Cr, que fue el otro metal pesado analizado en este trabajo, presentó una disminución aproximada de 100% con respecto al agua del río siendo estos parámetros en los que más se reflejó la mitigación del impacto ambiental en las aguas del lago del parque La Florida. Estos resultados ratifican la capacidad de absorción de metales pesados por parte del buchón.

El efecto de la fitorremediación realizada en el lago del Parque La Florida, no se evidenció directamente sobre los Tensoactivos, el pH, las Grasas y Aceites.

7. RECOMENDACIONES

En el lago del Parque La Florida se debe realizar un tratamiento alterno para controlar el aumento en la concentración de Grasas y Aceites, ya que no se evidenció efecto de fitorremediación con buchón sobre este parámetro.

Cuando el buchón del filtro se descompone, se remueve y se instala a las orillas del lago. Este procedimiento hace que los contaminantes después de un tiempo y en menores concentraciones vuelvan al agua. Se debe estudiar una manera de aprovechar este buchón en otras actividades.

Es necesario realizar análisis en laboratorio a las partes de las plantas de buchón que están en el filtro; con el fin de determinar el grado de absorción de contaminantes del agua y los efectos metabólicos sobre ellos.

Realizar pruebas de fitorremediación con buchón en aguas que presenten otros tipos de contaminación y que permitan identificar el comportamiento de esta planta en diferentes entornos.

BIBLIOGRAFIA

ARCOS RAMOS, Raúl; DÍAZ DOMÍNGUEZ, Gerardo y DOMÍNGUEZ ROSAS, Alejandra. Macrófitas acuáticas: ¿contaminantes o soluciones de la contaminación por metales pesados? En: 28 Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y ambiental (27 - 31, octubre: Cancún, México) [en línea]. Memorias. 2002. p. 1 - 8. Disponible en: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/ii-007.pdf> > [Consultada 15 de noviembre de 2011].

ANSOLA, G. Utilización de humedales artificiales en la depuración de aguas residuales. En: El agua, un bien para todos. Conservación, recuperación y usos. 6^{as} Jornadas Ambientales. Salamanca: 2003. Ed. P. Ramos, S.A., p. 145-170. Citado por ARROYO HERNÁNDEZ, Paula. La biorremediación como medida correctora en los impactos ambientales de agua contaminada con metales pesados. En: II Jornadas Técnicas de Ciencias Ambientales (10 – 19, noviembre: Madrid) [en línea]. 2004. p. 1 – 9.

Disponible en:

<<http://www.fundacionglobalnature.org/macrophytes/documentacion/Conferencias%20y%20P%F3sters/C-27%20Arroyo%20P.pdf>> [Consultado: 23 de enero de 2012]

BADILLO GERMAN, J. Francisco. Plomo. En: ALBERT, Lilia A. Curso básico de toxicología ambiental. 2 ed. México, D. F.: Limusa, 2008. p. 105 -121.

BARBARO, Giovanna. Una técnica sencilla y natural para depurar aguas residuales. En: QEJ. Bricojardinería y Paisajismo: Revista profesional de distribución en horticultura ornamental y jardinería. [en línea] 2007. no. 154. p. 20 – 25.

Disponible en: <<http://www.krfr-1.com/K/articulos/A/fitodep.pdf>>

[Consultada: 20 de marzo de 2012]

BENÍTEZ PACHECO, Ingrid Lorena. Evaluación de la distribución de metales pesados en las plantas acuáticas Jacinto de agua (*Eichornia crassipes*) y tul (*Thypha* spp) utilizadas en la planta de tratamiento de aguas residuales La Cerra, Villa Canales por medio de fluorescencia de rayos X. Trabajo de grado Maestría en ciencia y tecnología del medio ambiente. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2008. 104 p.

Disponible en el catálogo en línea de la Biblioteca de la Universidad de San Carlos de Guatemala: <http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_8534.pdf>

[Consultada: 5 de noviembre de 2011]

BUSTAMANTE SANINT, Santiago. Modelado de especies invasoras, caso de estudio: pérdida del espejo de agua en la laguna de Fúquene por invasión del buchón (*Eichornia crassipes*). Trabajo de Grado Magister en Hidrosistemas. Bogotá, D. C.: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería, 2010. 62 p.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA. Decreto 1594 (26, junio, 1984). Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III - Libro I - del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. Bogotá, D. C.: 44 p.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto 3930 (25, Octubre, 2010). Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. Bogotá, D. C.: El Ministerio, 2010. 29 p.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA – CAR. Subdirección de Desarrollo Ambiental Sostenible República de Colombia. Boletín de calidad de las cuencas de la Jurisdicción CAR. 2007 – 2009. Bogotá, D. C. 2010. 240 p.

FIGUEROA NAVARRETE, Adela. Cromo. En: ALBERT, Lilia A. Curso básico de toxicología ambiental. 2 ed. México, D. F.: Limusa, 2008. p. 171 - 183.

HARLEY, K .L .S. Malezas acuáticas. *Eichornia crassipes* (Martius) Solms - Laubach. En: LABRADA, Ricardo; CASELEY, John y PARKER, Chris. Manejo de Malezas para Países en Desarrollo. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal – 120 [en línea]. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1996.

Disponible en: <<http://www.fao.org/docrep/T1147S/T1147S00.htm>>
[Consultado: 16 de marzo de 2012]

HURTADO C., Ana; TORRES G., Celina y PEÑA S. Enrique. Identificación de procesos de bioacumulación de cromo en la laguna de Sonso. En: Revista EIDENAR [en línea]. Enero – diciembre, 2010. Ejemplar 9.

Disponible en: <<http://eidenar.univalle.edu.co/revista/ejemplares/9/j.htm>>
[Consultada 11 de noviembre de 2011]

ITURBIDE DORMON, Kathya. Caracterización de los efluentes de dos sistemas de producción de tilapia y el posible uso de plantas como agentes de biorremediación. Trabajo de grado Maestría en ciencia y tecnología del medio ambiente. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2008. 74 p. Disponible en el catálogo en línea de la Biblioteca de la Universidad de San Carlos de Guatemala: <http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_8686.pdf> [Consultada: 3 de noviembre de 2011]

MORALES, Claudia Johana. Estudio para la remoción de metales pesados en los lixiviados de rellenos sanitarios. Trabajo de Grado Especialización en Ingeniería Ambiental con énfasis en Ingeniería Sanitaria. Manizales: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, 2007. 96 p.

ODUM, Eugene. Fundamentos de ecología. México D. F.: Nueva Editorial Interamericana, 1986. 422 p.

PÁGINA OFICIAL DEL INSTITUTO DISTRITAL DE RECREACIÓN Y DEPORTE.

Disponible en:

<http://www.idrd.gov.co/htms/seccion-parques-de-escala-regional_137.html>

[Consultado: 15 de noviembre de 2011]

RAMOS ESPINOSA, María Guadalupe; RODRÍGUEZ SÁNCHEZ, Luis Manuel y MARTÍNEZ CRUZ, Patricia. Uso de macrófitas acuáticas en el tratamiento de aguas para el cultivo de maíz y sorgo. En: Hidrobiológica [en línea]. Abril, 2007. vol. 17, Suplemento 1, p. 7 – 15.

Disponible en: <<http://redalyc.uaemex.mx/pdf/578/57809904.pdf>>

[Consultado: 26 de febrero de 2012]

REPORTE DE RESULTADOS. CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA – CAR. Oficina Laboratorio Ambiental. 22 p. Mayo de 2012.

ROLDÁN, Gabriel y ÁLVAREZ, L. F. Aplicación del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) para el tratamiento de aguas residuales y opciones de reuso de la biomasa producida. En: Revista Universidad Católica de Oriente. 2002. no. 15. p. 56 - 71. Citado por ARROYAVE, María del Pilar. La lenteja de agua (*Lemna minor L.*): una planta acuática promisoría. En: Revista EIA [en línea]. Febrero, 2004. no. 1. p. 33 – 38. Disponible en: <<http://revista.eia.edu.co/articulos1/3.pdf>>

[Consultado: 19 de octubre de 2011]

RUTA PARQUE LA FLORIDA – BOGOTÁ TURISMO

Disponible en:

<http://www.bogotaturismo.gov.co/sites/default/files/rutas/PORTAFOLIO_LA_FLORIDA.pdf> [Consultado: 1 de noviembre de 2011]

SIERRA OSPINA, Oscar Eugenio. Información sobre calidad de agua. Proyecto para el mantenimiento integral preventivo y correctivo de los lagos ubicados en los parques Central Simón Bolívar (Unidad Deportiva El Salitre - UDS), Timiza y La Florida. Bogotá: 2009. 7 p.

VÁSQUEZ BERNAL, Clara Inés. Tratamiento de los residuos líquidos del área de tinturados en flores de exportación con *Eichornia crassipes* (buchón de agua). En: Revista Lasallista de Investigación [en línea]. 2004. vol. 1 no. 002, p. 23 -27.

Disponible en: <<http://redalyc.uaemex.mx/pdf/695/69510204.pdf>>

[Consultado: 1 de noviembre de 2011]

ANEXOS

Anexo A. Cuadro comparativo de parámetros del Lago del Parque La Florida Vs parámetros del río Bogotá

Parámetro		Nitritos		Nitratos		N. Amoniacal		pH		SDT		SST	
Número de Muestra	Fecha	Lago	Rio Bogotá	Lago	Rio Bogotá	Lago	Rio Bogotá	Lago	Rio Bogotá	Lago	Rio Bogotá	Lago	Rio Bogotá
1	Dic-08	0,01	0,0039	0,01	0,200	0,58		7,1	7	39	260,0	10	36,0
2	Mar-09	0,001		0,001		0,26		6,59		282		142	
3	Jun-09	0,001		0,001		0,39		6,95		215		67	
5	Ago-09	0,001		0,17		0,3		6,45		350		110	
6	Sep-09	0,003		0,55		0,18	50,35	6,53		410		185	
7	Oct-09	0,003		0,59		2,82		7,01		201		62	
8	Dic-09	0,008		0,76		4,32		8,02		230		96	
9	Mar-10	0,008	0,0039	0,62	0,400	0,11		7,69	7	170	547,0	70	124,0
10	Sep-10	0,001		0,13		4,38	17,09	7,6		274		20	
11	Oct-10	0,001		0,2		0,48		7,3		267		21	
12	Nov-10	0,057		0,46		4,81		7,7		217		31	
13	Dic-10	0,059		0,1		0,99		7,9		211		21	
15	Feb-11	0,006	0,0039	0,44				7,1		241		27,7	
16	Jul-11	0,02		0,25		2,174		2,87		1570		20	
17	Ago-11	0,006		0,052		0,845		3		489		21	
18	Sep-11	0,005		0,05		1,5637	27,35	3,37		840		28	
19	Oct-11	0,04		0,32				5,14		978		35	
20	Nov-11	0,02		0,2				2,73		774		16	
21	Ene-12	0,01	0,0090	0,24	0,200			2,89	7			22	
22	Feb-12	0,01		0,26								27	41,7
Promedio		0,0135	0,0052	0,2776	0,225	1,5637	27,347	6,0762	7,125	410,45	384,33	53,191	64,175
% Remoción		0		0		94		15		0		17	

ANEXO A. (Continuación)

Anexo A. Cuadro comparativo de parámetros del Lago del Parque La Florida Vs parámetros del río Bogotá

Parámetro		Plomo		Cromo		N. total		Saam		Fósforo		Grasas		OD	
Número de Muestra	Fecha	Lago	Rio Bogotá	Lago	Rio Bogotá	Lago	Rio Bogotá	Lago	Rio Bogotá	Lago	Rio Bogotá	Lago	Rio Bogotá	Lago	Rio Bogotá
1	Dic-08	0,009	1,79	0,01	0,229	0,009	18,1	0,01		0,1	2,0	16		5,6	1,1
2	Mar-09	0,009		0,01		0,6		0,19		0,58		0,4		5,6	
3	Jun-09	0,28		0,01		0,3		0,31		0,43		0,4		5,5	
5	Ago-09	0,009		0,01		0,6		1,18		0,58		0,4		6,2	
6	Sep-09	0,02		0,1		0,3		1,61		0,09		0,4		3,1	
7	Oct-09	0,009		0,01		0,4		0,86		0,35		0,4		6,3	
8	Dic-09	0,009		0,01		0,4		0,99		0,32		0,4		6,4	
9	Mar-10	0,009	0,39	0,01	8,330	0,4		0,86		0,4	7,7	0,5		7,1	0,4
10	Sep-10					2,07		0,92		0,63		6		6,9	
11	Oct-10					3,36		0,46		0,1		17		6,3	
12	Nov-10					5,8		0,17		1,5		6		8,1	
13	Dic-10					0,54		0,11		0,76		6		9,2	
15	Feb-11					0,55		0,083		0,1		11		9,6	
16	Jul-11					6,244		0,15		0,03		18,6		6,4	
17	Ago-11	0,048	3,01	0,043						0,092		0,93			
18	Sep-11					4,8		0,17		0,38		9,9		6,4	
19	Oct-11			0,022	4,280	7,1		0,32		0,24		15,7		6,4	
20	Nov-11			0		4,2		0,24		0,16		10,4		6,5	
21	Ene-12					1,47		0,54		0,14		14		6,3	
22	Feb-12	0,016	3,17				7,0	0,8		0,2	1,9	12,4		5	0,9
Promedio		0,039	3,173	0,02	5,085	2,36	12,55	0,509		0,417	3,553	7,301		6,6	0,6
% Remoción		99		100		81				88				91	