

**TRATAMIENTO DE SUELOS PRODUCTIVOS DE LA SABANA AFECTADOS POR
INUNDACIONES DEL RÍO BOGOTÁ. ESTUDIO DE CASO CHÍA
(CUNDINAMARCA)**

LADY NATHALY RAMÍREZ QUIROGA Cód. 064072007

ESTEFANNY BENAVIDES CONTRERAS Cód. 064072027

UNIVERSIDAD LIBRE

FACULTAD DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AMBIENTAL

BOGOTÁ

2013

**TRATAMIENTO DE SUELOS PRODUCTIVOS DE LA SABANA AFECTADOS POR
INUNDACIONES DEL RIO BOGOTÁ. ESTUDIO DE CASO CHÍA (CUNDINAMARCA)**

LADY NATHALY RAMÍREZ QUIROGA Cód. 064072007

ESTEFANNY BENAVIDES CONTRERAS Cód. 064072027

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Ambiental

Director: Ing. Ingrid Alexandra Rivera

Asesor: Ing. Andrés Felipe López

BOGOTÁ

UNIVERSIDAD LIBRE

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

2013

Texto de la dedicatoria

A Dios, por estar con nosotras en cada paso que damos, por iluminar nuestras mentes y por haber puesto en nuestro camino a aquellas personas que fueron nuestro soporte y compañía durante este periodo de estudio.

A nuestros padres, porque con su esfuerzo nos ayudaron a salir adelante, gracias a ustedes hoy podemos ver alcanzada nuestra meta, por sus ejemplos dignos de superación, entrega y por creer en nuestra capacidad para la realización de esta nueva meta en nuestras vidas.

Texto de agradecimiento

Agradecemos a Dios por habernos permitido llegar al final de la carrera, por su bendición y así mismo los obstáculos que se nos presentaron porque aprendimos de ellos y nos hicieron crecer como personas.

A los docentes que nos brindaron siempre su orientación para la adquisición de nuevos conocimientos, que nos acompañaron durante todo este tiempo, a nuestra directora Ingeniera Ingrid Alexandra Rivera y nuestro asesor el Ingeniero Andrés Felipe López Vásquez que nos orientaron en todo momento en el desarrollo del mismo.

Gracias a las personas que invirtieron su tiempo, conocimientos y que participaron en la realización del proyecto ya que nos ayudaron a convertirlo en una realidad.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	12
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
3. JUSTIFICACIÓN	14
4. OBJETIVOS.....	15
4.1. OBJETIVO GENERAL	15
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
5. MARCO TEÓRICO.....	16
5.1. EL SUELO Y EFECTOS NEGATIVOS DE LOS CONTAMINANTES GENERADOS POR UNA INUNDACIÓN.	16
5.2. SUELOS CONTAMINADOS POR METALES PESADOS.	17
5.3. TÉCNICAS DE RECUPERACIÓN DE SUELO AFECTADO POR INUNDACIONES	20
5.3.1. Fitorremediación.....	21
5.3.2. Fotocatálisis para recuperación de suelos.....	24
5.3.3. Adecuación de la estructura del suelo con el uso de arena.	25
6. METODOLOGÍA.....	26
6.1. DIAGNÓSTICO DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO.	26
6.1.1. Recolección de la muestra.	27
6.1.2. Caracterización física.....	28
6.1.3. Caracterización química.....	29
6.1.4. Caracterización biológica.	30
6.2. METODOS DE RECUPERACIÓN DE SUELOS AFECTADOS POR INUNDACIÓN ¡Error! Marcador no definido.	
6.2.1. Método químico.	30
6.2.2. Método biológico.	30
6.2.3 Método físico.....	31
6.3. FORMULACION DE LA ESTRATEGIA DE RECUPERACIÓN DEL SUELO.	32
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
7.1. DIAGNÓSTICO DEL SUELO AFECTADO POR INUNDACIONES DEL RIO BOGOTÁ ..	33
7.1.1. Caracterización física.....	33
7.1.2. Caracterización química.	38

7.1.3. Caracterización biológica.	48
7.2. MÉTODOS DE RECUPERACIÓN DE SUELOS AFECTADOS POR INUNDACIÓN.	51
7.2.1. Remediación química. Fotocatálisis para remoción de cromo (VI).	51
7.2.2. Remediación biológica. (Fitorremediación con pasto <i>Rye grass</i>).	54
7.2.3. Remediación física (arena y <i>Rye grass</i>).	62
8. ESTRATEGIA DE RECUPERACIÓN MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE FICHAS DE MANEJO.....	70
9. CONCLUSIONES.....	71
10. RECOMENDACIONES.....	74
11. ANEXOS.....	75

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Coordenadas de los puntos de muestreo de suelo Chía – Cundinamarca.	28
Tabla 2. Determinación de parámetros para la caracterización física del suelo.	28
Tabla 3. Determinación de parámetros para la caracterización química del suelo.	29
Tabla 4. Determinación de parámetros para la caracterización biológica del suelo.	30
Tabla 5. Resultados de textura del suelo.	35

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Procesos implicados en la fitorremediación de suelos contaminados.	22
Figura 2. Zona de influencia del río. Áreas afectadas por las inundaciones del río Bogotá (zona Chía-muestreo). Residuos procedentes de la industria de curtiembre (Villapinzón).	26
Figura 3. Técnica de zig-zag para toma representativa de muestras de suelo.	27
Figura 4. Aspecto inicial de la fitorremediación de suelos sembrados con <i>Rye grass</i> .	31
Figura 5. Aspecto inicial de la remediación física de suelos sembrados con <i>Rye grass</i> .	32
Figura 6. Porcentaje de humedad en los suelos afectados por inundación.	33
Figura 7. Conductividad eléctrica en los suelos afectados por inundación. Chía – Cundinamarca.	34
Figura 8. Densidad aparente y real en los suelos afectados por inundación. Chía – Cundinamarca.	36
Figura 9. Límite líquido y límite plástico en los suelos afectados por inundación. Chía – Cundinamarca.	37
Figura 10. Índice de plasticidad en los suelos afectados por inundación. Chía – Cundinamarca.	38
Figura 11. Carbón orgánico y materia orgánica en los suelos afectados por inundación. Chía – Cundinamarca.	38
Figura 12. Nitrógeno total en los suelos afectados por inundación. Chía – Cundinamarca.	40
Figura 13. Fósforo disponible en los suelos afectados por inundación. Chía – Cundinamarca.	41
Figura 14. pH en los suelos afectados por inundación. Chía Cundinamarca.	42
Figura 15. Capacidad de catiónica en suelos afectados por inundación. Chía Cundinamarca.	43
Figura 16. Bases intercambiables en los suelos afectados por inundación. Chía – Cundinamarca.	44
Figura 17. Cromo total y cromo hexavalente en los suelos afectados por inundación. Chía – Cundinamarca.	46

Figura 18. Elementos menores presentes en los suelos afectados por inundación. Chía – Cundinamarca.	47
Figura 19. Conteo de hongos totales en los suelos afectados por inundación. Chía – Cundinamarca.	48
Figura 20. Hongos totales en los suelos afectados por inundación. Chía – Cundinamarca.	49
Figura 21. Conteo de bacterias totales en los suelos afectados por inundación. Chía – Cundinamarca.	50
Figura 22. Bacterias totales en los suelos afectados por inundación. Chía – Cundinamarca.	50
Figura 23. Influencia de la concentración de contaminante en la disminución fotocatalítica de Cr (VI) en suelo afectado por inundación.	51
Figura 24. Efecto de la carga del catalizador en la reducción en la disminución fotocatalítica de Cr(VI) en suelo afectado por inundación.	52
Figura 25. Influencia de la alcalinidad en la disminución fotocatalítica de Cr(VI) en suelo afectado por inundación	53
Figura 26. Reducción fotocatalítica de Cr(VI) en el suelo afectado por inundación a diferentes profundidades.	54
Figura 27. Tratamiento biológico de suelo contaminado con cromo mediante fito-remediación con <i>Rye grass</i>).	55
Figura 28. Crecimiento del pasto <i>Rye grass</i> al primer y tercer mes. Tratamiento biológico.	56
Figura 29. Tratamiento biológico del pasto contaminado con cromo mediante remediación con <i>Rye grass</i> en el tercer mes.	57
Figura 30. Concentración del cromo total (Cr) después del tratamiento biológico en el suelo de Chía – Cundinamarca.	57
Figura 31. Concentración del zinc (Zn) después del tratamiento biológico en el suelo de Chía – Cundinamarca.	58
Figura 32. Concentración del hierro (Fe) después del tratamiento biológico en el suelo de Chía – Cundinamarca.	59
Figura 33. Concentración del manganeso (Mn) después del tratamiento biológico en el suelo de Chía – Cundinamarca.	60

Figura 34. Concentración del cobre (Cu) después del tratamiento biológico en el suelo de Chía – Cundinamarca.	61
Figura 35. pH después del tratamiento biológico. Fitorremediación.	62
Figura 36. Tratamiento físico de suelo contaminado con cromo mediante fitorremediación con arena y <i>Rye grass</i> .	63
Figura 37. Crecimiento del pasto <i>Rye grass</i> al primer y tercer mes. Tratamiento físico.	64
Figura 38. Tratamiento físico. Crecimiento de la raíz.	64
Figura 39. Concentración de cromo total (Cr) después del tratamiento físico en el suelo de Chía – Cundinamarca.	65
Figura 40. Concentración de zinc total (Zn) después del tratamiento físico en el suelo de Chía – Cundinamarca.	66
Figura 41. Concentración de hierro (Fe) después del tratamiento físico en el Suelo de Chía – Cundinamarca.	67
Figura 42. Concentración de manganeso (Mn) después del tratamiento físico en el suelo de Chía – Cundinamarca.	67
Figura 43. Concentración de cobre (Cu) después del tratamiento físico en el suelo de Chía – Cundinamarca.	68
Figura 44. pH después del tratamiento físico	69

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Niveles genéricos de referencia para metales y otros elementos en suelos para la protección de la salud humana.	75
Anexo 2. Niveles genéricos de referencia para protección de la salud humana de metales pesados y otros elementos traza en suelos de la Comunidad de Madrid, obtenidos mediante aplicación de los criterios establecidos en el Anexo VII del Real Decreto 9/2005, de 14 de enero.	76
Anexo 3. Concentraciones de referencia totales por tipo de uso de suelo.	76
Anexo 4. Ficha de manejo ambiental.	77

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo del tiempo, se han visto cambios en la temperatura global que han generado variaciones en fenómenos como el Niño y la Niña. Éste último produjo altos niveles de precipitación que repercutieron en incrementos de los niveles de los ríos y provocaron inundaciones en las partes bajas que causaron enormes desastres ambientales. Uno de estos desastres presentados ocurrió en la sabana de Bogotá, donde el río Bogotá rebasó sus cotas de inundación afectando sectores productivos como cultivos de flores, ganadería y pastoreo de ganado en el sector del municipio de Chía. Como resultado de tales afectaciones, se presentaron impactos negativos en la economía campesina, ya que se perdieron las cosechas y el uso del suelo para pastoreo disminuyó debido a los niveles de anegación en la zona.

Esta problemática incentivó la ejecución de programas de manejo ambiental por parte de las autoridades ambientales como la CAR y el IDEAM, quienes identificaron el daño provocado y desarrollaron acciones temporales como el impedimento del desbordamiento del río mediante la construcción de jarillones e inundaciones controladas de zonas fértiles, con el fin de no provocar daños a otros sectores productivos. Sin embargo, en el momento de iniciar esta investigación estos programas no incluían estudios de impacto sobre el recurso suelo luego de la inundación y por tanto se desconoce las características y condiciones del mismo una vez finalizó el fenómeno.

Con base en lo anterior, y debido al desconocimiento de la afectación del recurso, es fundamental hacer un diagnóstico de las condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos afectados por inundaciones con el fin de implementar medidas correctivas que mitiguen los impactos ambientales generados en el sector productivo y ganadero por medio de diferentes estrategias que permitan promover su recuperación.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El incremento de la temperatura global provoca cambios en los regímenes de precipitación (periodicidad de las lluvias) y en la frecuencia e intensidad de los eventos climáticos extremos, como el fenómeno de El Niño y La Niña¹. Este último, se refleja en un aumento en las precipitaciones, elevando significativamente los niveles de los ríos y con ello, la probabilidad de crecientes súbitas y deslizamientos (en las zonas de alta pendiente) e inundaciones en las partes bajas (en especial en las zonas ribereñas de los ríos), causando desastres ambientales. Un ejemplo de tal situación fue la presentada en la Sabana donde el río Bogotá exactamente en el tramo aguas arriba de Chía (cuyo grado de contaminación tiene alto nivel de sólidos suspendidos, coliformes fecales, nitrógeno, fósforo, hierro, coliformes totales y genera impactos negativos en la zonas aledañas a su cauce)²rebasó las cotas de inundación afectando considerablemente los sectores de producción como el pastoreo de ganado, los cultivos permanentes de flores y semipermanentes (frutales), la ganadería lechera y la producción pecuaria que realiza manejo especial de galpones avícolas y granjas². De esta forma, se generaron impactos negativos en la economía campesina con repercusiones en la productividad nacional.

Por tal motivo una de las problemáticas ambientales del recurso suelo se presentó cuando éstos se vieron afectados por inundaciones durante días o meses. Este fenómeno redujo la actividad biológica por causa de la disminución del oxígeno disponible para plantas y microorganismos. Además, el agua en estas condiciones sirvió de medio para que se lavaran los nutrientes presentes en el suelo o bien, para transferir del medio acuoso a la tierra los contaminantes tales como metales pesados. Estas alteraciones físicas, químicas y biológicas, restringieron el crecimiento de las plantas y alteraron en gran medida las propiedades del suelo. Todas estas modificaciones produjeron pérdidas de fertilidad que se vieron manifestadas en la problemática descrita anteriormente³.

¹ Ministerio De Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). Plan de atención, control y mitigación de riesgos sanitarios. {21 de marzo de 2012}. Disponible en: http://www.colombiahumanitaria.gov.co/FNC/Documents/2011/presentaciones/m_valle.pdf

²MONTICO, Sergio. Manejo de suelos después de la inundación. {21 Abril de 2012}. Disponible en: www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/11/6AM11.htm).

3. JUSTIFICACIÓN

La problemática generada por los procesos de inundación, el aumento de los niveles de humedad en los suelos y la sanidad vegetal, ha incentivado el desarrollo de programas de manejo ambiental, que buscan identificar el daño provocado y demás factores de afectación por el fenómeno. Los estudios de rehabilitación de la capacidad productiva de los suelos afectados por inundaciones del río Bogotá, no se han realizado por ser una problemática generada desde el primer periodo del año 2011.

Dentro de las entidades involucradas para hallar la solución a esta situación se encuentran la CAR (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca), el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), los cuales se han enfocado sólo en acciones temporales o de corto plazo, como el impedimento del desbordamiento del río mediante la construcción de jarillones. Otra alternativa ha sido la inundación controlada de zonas fértiles con el fin de conservar su cauce natural y así no perjudicar otros sectores productivos por dicho fenómeno. Luego de ocurrida la anegación de los terrenos, se ha notado una reducción de la actividad productiva que se ve reflejada en la disminución de forraje y en algunos casos la desertización de la misma.

En el momento de iniciar esta investigación estos programas no incluían estudios de impacto sobre el recurso suelo luego de la inundación y por tanto se desconoce las características y condiciones del mismo una vez finalizó el fenómeno. El IGAC inició estudios concernientes a la determinación de los factores más influyentes en dicha problemática pero no se tienen conocimientos del impacto generado ni las estrategias de recuperación de los mismos.

Por tal motivo este proyecto busca realizar un diagnóstico de las condiciones del suelo que ha sido afectado por una inundación, identificando las características físicas, químicas y biológicas del mismo, con el fin de implementar medidas correctivas que sirvan para reducir tal impacto mediante la evaluación de diferentes estrategias de recuperación, para continuar con sus procesos de producción y evitar posibles problemas en la economía campesina y nacional.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el grado de recuperación del suelo afectado por una inundación mediante la implementación de tratamientos físicos, químicos y biológicos.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Elaborar un diagnóstico de las propiedades del suelo afectado por una inundación.

Evaluar diferentes métodos de recuperación de suelos afectados por contaminación física, química y/o biológica.

Formular una estrategia de recuperación para los suelos afectados por inundación.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. EL SUELO Y EFECTOS NEGATIVOS DE LOS CONTAMINANTES GENERADOS POR UNA INUNDACIÓN.

El suelo contiene varios elementos químicos y la concentración de cada uno de ellos define su presencia como positiva (micro o macronutriente) o por el contrario negativa, cuando por su concentración se constituye en un contaminante que afecta las propiedades del mismo. A pesar de constituirse en uno de los recursos más productivos de muchas regiones, la falta de seguimiento en el manejo de las cuencas, ha provocado que el suelo se haya visto afectado significativamente por las inundaciones.

Los principales cambios que se presentan en los suelos inundados por el efecto del agua son modificaciones en los procesos de erosión, lavado de nutrientes y densificación o compactación. Tales alteraciones generan impactos negativos en la productividad de forma temporal o permanente. En las áreas inundadas, se puede notar fenómenos tales como escurrimientos desde los sectores más altos, encharcamientos temporales y anegamiento de sectores deprimidos. Ésta situación provoca erosión de los suelos, en pendientes y sedimentación en los sectores bajos del relieve, causando una degradación del suelo más intensa y pocas posibilidades de remediación³. De la misma manera, en los suelos inundados por largos periodos de tiempo, se genera una reducción de aire debido a la escasez de oxígeno lo que provoca afectaciones en la actividad biológica. Las pérdidas de fertilidad se ven afectadas por los niveles de salinización, que pueden restringir el crecimiento de las plantas modificando las propiedades del suelo⁴.

Cada suelo de acuerdo a sus características, reacciona de manera diversa cuando se depositan sobre él una gran cantidad de contaminantes presentes en el agua, como en el caso de las inundaciones. El contacto prolongado con ésta provoca alteraciones del

³Casas R. Roberto. Estrategias de recuperación post-emergencia de los suelos afectados por las inundaciones en la Región Pampeana. {En línea}. {30 de agosto de 2012}. Disponible en: <http://agrolluvia.com/wp-content/uploads/2011/06/Informes-Estrategias-de-recuperaci%C3%B3n-post-emergencia-de-los-suelos-afectados-por-las-inundaciones-en-la-Regi.pdf>

⁴Casas R. Roberto. Estrategias de recuperación post-emergencia de los suelos afectados por las inundaciones en la Región Pampeana. {En línea}. {30 de agosto de 2012}. Disponible en: <http://agrolluvia.com/wp-content/uploads/2011/06/Informes-Estrategias-de-recuperaci%C3%B3n-post-emergencia-de-los-suelos-afectados-por-las-inundaciones-en-la-Regi.pdf>

recurso que en algunos casos son reversibles pero en otros no. Los principales efectos negativos que dejan los contaminantes en el suelo, son la alteración en su resiliencia, el ciclo biogeoquímico y la alteración en las actividades que desarrollan los microorganismos para las plantas. Lo anterior afecta la cantidad y su clase, aumentando así la degradación y disminución de cultivos debido a posibles cambios en la composición de los productos, generando riesgo en la salud de los consumidores⁵.

Debido a que los ríos se han constituido en receptor universal de aguas residuales generadas en la actividad industrial, ubicada en las riberas de los ríos y también se disponen aguas residuales municipales sin ningún tipo de tratamiento, el cuerpo de agua presenta elevados niveles de contaminación que incluye significativas cargas de DBO, sólidos suspendidos totales, *Escherichiacoli*, metales pesados entre otros, que son transferidos al suelo en el momento de la inundación. Para el caso específico de la actividad industrial de curtido de cueros, se puede generar contaminación por presencia de cromo, puesto que por los elevados niveles de éste metal en el río, son fuente de contaminación por la deposición del mismo en el suelo².

5.2. SUELOS CONTAMINADOS POR METALES PESADOS.

La contaminación del suelo es un fenómeno que aparece cuando una sustancia o elemento se encuentra en concentraciones (mg/kg) superiores a los límites permisibles, pasando de ser un nutriente esencial para el recurso suelo a ser un contaminante de mayor importancia, que afecta en gran medida las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo.

En gran parte se debe por presencia de metales pesados, su disponibilidad y su cantidad, está en función del pH, el contenido de arcillas, contenido de materia orgánica, la

⁵Tosse L. Oscar Darío. LEGISLACION AMBIENTAL RELACIONADA CON CONTAMINACIÓN DEL RECURSO SUELO EN COLOMBIA. {12 de septiembre de 2012}. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/documentos/suelo_normas_y_contaminacion.pdf

² MONTICO, Sergio. Manejo de suelos después de la inundación. {21 Abril de 2012}. Disponible en: www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/11/6AM11.htm.

capacidad de intercambio catiónico y otros parámetros que los hacen únicos en términos de contaminación⁶.

Algunos de los metales pesados que son micronutrientes esenciales son el arsénico, cobre, cromo, hierro, manganeso, selenio, zinc en bajas concentraciones (mg/kg). Los metales pesados que no son esenciales son el berilio, cadmio, mercurio, plomo, estaño, níquel, titanio⁷. Altas concentraciones de estos contaminantes generan consecuencias negativas en las propiedades físicas, químicas y biológicas como por ejemplo la reducción del contenido de materia orgánica, disminución de nutrimentos, variación del pH. Éste último provoca suelos ácidos mientras que grandes cambios en la temperatura genera efectos adversos en el número, diversidad y actividad en los microorganismos. De la misma manera, la dificultad en el crecimiento de una cubierta que es protectora de la erosión del suelo, genera aumento de vulnerabilidad de la planta al ataque por insectos, plagas y enfermedades, causando una afectación en su desarrollo. Algunos factores que participan en la movilización de metales pesados en suelos son el potencial redox, la presencia de carbonatos, materia orgánica, textura, variación en la temperatura, humedad y la capacidad de intercambio catiónico⁶.

La movilidad de un metal en el suelo es un aspecto muy importante a analizar, ya que ésta depende de una serie de parámetros tales como el pH, materia orgánica, textura y composición. La materia orgánica adsorbe metales como el cobre y los transforman en forma no disponible para las plantas. Es común que las plantas que crecen bajo estas condiciones presenten carencia de elementos como plomo o zinc. En cuanto a la textura, los suelos arenosos tienen poca capacidad de fijación, lo que hace que exista contaminación freática, lo contrario de los suelos arcillosos ya que estos retienen más metales por adsorción, los óxidos e hidróxidos de hierro y manganeso presentan un papel importante en la retención de metales pesados y su inmovilidad. Cuando el metal se encuentra precipitado, no tendrá el mismo comportamiento si está como carbonato,

⁶SUIERRA VILLAGRANA, R. Fitorremediación de un Suelo Contaminado con Plomo por actividad Industrial. Buenavista, México: Universidad Autónoma Agraria. Departamento de ciencias del suelo. Ingeniería agrícola y ambiental, 2006. 4,5 15, 16 y 17 p.

⁷E.GALAN HUERTOS, A. ROMERO BAENA, "Contaminación de Suelos por Metales pesados", Revista de la Sociedad Española de Mineralogía, pp 50 - 56

sulfato o fosfato y tampoco será lo mismo si el metal se encuentra formando parte de un sulfuro o un silicato, ya que el primero es relativamente oxidable, solubilizable y el segundo es resistente a todos los medios. En general, los metales pesados tienen baja movilidad puesto que en la mayoría de los casos quedan acumulados en los primeros centímetros del suelo. Posteriormente son lixiviados a niveles inferiores en pequeñas concentraciones. Por lo anterior se explica que exista gran cantidad de metal en el horizonte superior decreciendo este en profundidad, cuando la contaminación es antrópica.

Los parámetros geoedáficos son esenciales para valorar la sensibilidad de los suelos a la agresión de los contaminantes, por ejemplo a pH ácido los metales tienden a estar más disponibles ya que son menos absorbidos excepto el cromo, selenio, molibdeno que son más móviles a un pH alcalino⁷.

La concentración de metales pesados difieren de unos suelos a otros, debido a su composición mineralógica, geogénica por ejemplo su movilidad, por tal motivo se ha propuesto que los niveles en los que se realiza intervención no sean universales ni impuestos por un solo lugar, al contrario, que cada zona determine los suyos en función de sus características y usos de suelo, más específicamente en función de un análisis de riesgo específico para cada caso. Los niveles genéricos de referencia son la concentración de una determinada sustancia contaminante en el suelo, pero que no lleva a un riesgo superior máximo aceptable para la salud humana, entonces, estos niveles muestran concentraciones de contaminantes por debajo de las cuales no hay riesgo, pero por encima de estos datos es necesario hacer una valoración de riesgo⁸. En el Anexo 1 se muestran los niveles genéricos de referencia para metales y otros elementos en suelos para la protección de la salud humana propuestos por el Congreso Nacional del Medio Ambiente (CONAMA)⁸.

⁷E.GALAN HUERTOS, A. ROMERO BAENA, "Contaminación de Suelos por Metales pesados", Revista de la Sociedad Española de Mineralogía, pp. 49. 2008.

⁸CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE. Cumbre del Desarrollo Sostenible. Suelos Contaminados pp. 8, 58.

En el Anexo 2 se establecen los niveles genéricos de referencia para protección de la salud humana de metales pesados y otros elementos traza en suelos de la Comunidad de Madrid, obtenidos mediante aplicación de los criterios establecidos en el Anexo VII del Real Decreto 9/2005, de 14 de enero⁹.

La NORMA Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio¹⁰. Cuando el suelo que se presume contaminado tiene una superficie menor o igual a 1000 m², el responsable procederá a remediar a las concentraciones de referencia totales (CRT) señaladas en el Anexo 3. Esta norma es utilizada para la interpretación de los resultados, específicamente para cromo hexavalente, el cual es determinado para el tratamiento fotocatalítico y en Colombia no se establecen normas de referencia para suelo afectado por este metal.

5.3. TÉCNICAS DE RECUPERACIÓN DE SUELO AFECTADO POR INUNDACIONES

La recuperación de suelos contaminados puede realizarse "*in situ*" (tratando el suelo en su lugar) o "*ex situ*" (tratamiento tras transporte del suelo). Las técnicas biológicas, o biorremediación, tienen el objetivo de realizar procesos naturales y desarrollar técnicas para acelerar estos procesos en la recuperación de suelos y sedimentos contaminados. Dentro de las técnicas biológicas o ecológicas, el uso de las plantas se considera como una de las mejores soluciones *in situ*, con un gasto económico y tecnológico relativamente

⁹CONSEJERIA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO. Niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos contaminados de la Comunidad de Madrid.

¹⁰SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES. NORMA Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio. 2007. p.41.

bajo. Además, una cobertura “verde” es más agradable estéticamente y hoy en día, más aceptable para el público siendo más “ecológico”¹¹.

5.3.1. Fitorremediación. Este proceso de remediación consiste en la capacidad de algunas plantas para tolerar, absorber, acumular y degradar compuestos contaminantes, como por ejemplo los metales pesados. Se utiliza vegetación para el tratamiento *in situ* de suelos y también puede ser utilizado en sedimentos y aguas contaminadas. La fitorremediación detoxifica sustratos sólidos, sustratos líquidos y sustratos gaseosos, dentro de sus ventajas está en que sus procesos degradativos ocurren de manera más rápida, que con microorganismos, tiene la capacidad de descontaminar áreas o superficies grandes, dentro de sus limitaciones se encuentra, que el proceso se limita a la profundidad que las raíces alcancen en la profundidad del suelo, los tiempos de proceso pueden durar de tres meses en adelante. Dentro de sus procesos básicos está en contribuir a la recuperación de suelos, sedimentos y aguas contaminadas en cuanto a extracción, estabilización, volatilización, degradación e inmovilización (ver Fig. 1). De acuerdo a la estrategia de recuperación, estos procesos darán lugar a la contención o a la eliminación de los contaminantes del suelo. La fitoestabilización y la fitoinmovilización corresponden a la primera, es decir, a la contención o retención e inmovilización del contaminante, mientras que la fitoextracción, fitodegradación, fitovolatilización y rizofiltración representan procesos de eliminación¹².

¹¹M.P. Bernal, R. Clemente, S. Vazquez, D.J. Walker. Application of phytoremediation to heavy metal contaminated soils. Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente. Vol. 16.No 2. 2012

¹²MENTABERRY, Alejandro. Fitorremediación. Buenos Aires. Universidad de Buenos Aires. Departamento de Fisiología, Biología Molecular y Celular. 2011. 9, 10, 13, 14, 15, 27, 28 y 33 p. Disponible en: http://www.fbmc.fcen.uba.ar/materias/agbt/teoricos/2011_17%20Fitorremediacion.pdf

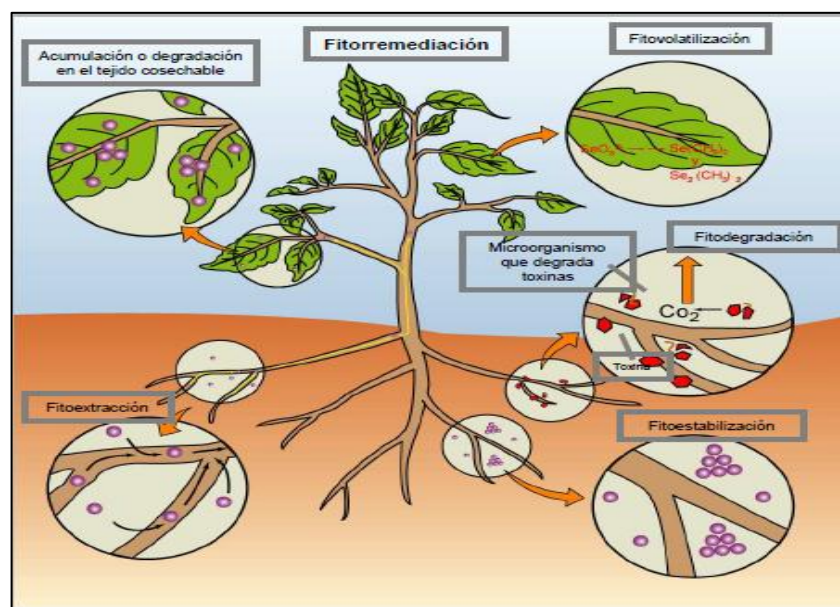


Figura 1. Procesos implicados en la fitorremediación de suelos contaminados¹².

Dentro de los tipos de Fitorremediación se encuentra la fitoextracción, donde las plantas son usadas para concentrar los metales en las partes cosechables es decir la parte aérea, la fitoestimulación donde se usan los exudados radiculares, con el objetivo de generar el desarrollo de microorganismos degradativos como son las bacterias y los hongos, la rizofiltración donde son usadas las raíces de las plantas para adsorber y concentrar metales pesados, provenientes de efluentes líquidos contaminados, la fitoestabilización donde se usan plantas tolerables a metales, con el objetivo de reducir la movilidad de estos y así evitar el paso a napas subterráneas o al aire, la fitotransformación en este existen dos subgrupos, el primero es la fitodegradación, donde se hace uso de plantas acuáticas y terrestres que tienen la capacidad de captar, almacenar y degradar compuestos orgánicos y el otro subgrupo llamado fitovolatilización donde se hace uso de plantas que tienen la capacidad de captar y modificar compuestos orgánicos o metales pesados, los cuales son liberados a la atmosfera mediante el proceso de transpiración¹².

¹²MENTABERRY, Alejandro. Fitorremediación. Buenos Aires. Universidad de Buenos Aires. Departamento de Fisiología, Biología Molecular y Celular. 2011. 9, 10, 13, 14, 15, 27, 28 y 33 p. Disponible en: http://www.fbmc.fcen.uba.ar/materias/agbt/teoricos/2011_17%20Fitorremediacion.pdf

En todo caso la eficiencia de disminución o eliminación del contaminante por fitorremediación depende de la concentración del compuesto en el suelo, la eficiencia de captura de la planta que obedece a las propiedades del compuesto sean físicas y químicas, las propiedades de la especie vegetal que se use para el tratamiento, en el caso de la fitotransformación, se tiene en cuenta la tasa de transpiración que obedece a la temperatura, a los nutrientes, el viento, la humedad del suelo y el tipo de planta¹².

Las plantas tienen la capacidad de absorber gran variedad de metales del suelo, pero la mayoría de estas plantas absorben solamente las que son fundamentales para su desarrollo y para su supervivencia. Solo un pequeño grupo de plantas tiene la capacidad de tolerar y absorber altos niveles de concentración de algunos metales, plantas hiperacumuladoras, nombre con el que se le conocen. Si una planta contiene más de 0.1% de Ni, Co, Cu, Cr y Pb o 1% del Zn en sus hojas sobre una base del peso seco, ésta puede ser llamada así, independientemente de la concentración del metal que se tenga presente en el suelo⁶.

El pasto *Rye grass* es una de las opciones que se tiene en cuenta para la remediación de algunos metales pesados como el plomo o el arsénico. Éste es útil en gran manera para extraer metales pesados como el plomo, y se puede aplicar en suelos salino – sódicos, contaminados por altas concentraciones del metal. De acuerdo al metal, este pasto se puede ver considerablemente afectado en su desarrollo, sin embargo, a pesar de que esto se presente, la absorción que realiza del metal es considerablemente alta. El *Rye grass* es importante tanto para los pastos (césped), y para el pastoreo y heno para el ganado, al ser un material de alimentación altamente nutritivo. También es utilizado en los programas de control de la erosión del suelo. La disminución en la concentración de los metales pesados encontrados en el suelo puede ocurrir por la continua extracción por parte del pasto, a medida que estos elementos se hacían disponibles y éste tiene la capacidad de absorber mayor cantidad de elementos traza que otros cultivos¹³.

⁶SUIERRA VILLAGRANA, R. Fitorremediación de un Suelo Contaminado con Plomo por actividad Industrial. Buenavista, México: Universidad Autónoma Agraria. Departamento de ciencias del suelo. Ingeniería agrícola y ambiental, 2006. 4, 5, 15, 16 y 17 p.

¹³ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL. Evaluación del riesgo sanitario causado por el uso de biosólidos en el cultivo de pasto *Rye grass* {8 de mayo de 2013}. Disponible en: <http://www.acodal.org.co/acodiario3/revACO224.pdf>

El *Rye grass* se utilizó para remover arsénico y los resultados de las pruebas de extracción secuencial indicaron que hubo reducción del 10-37%¹⁴.

5.3.2. Fotocatálisis para recuperación de suelos. Este proceso de remediación radica en la aceleración de una fotorreacción mediante un catalizador. La oxidación fotocatalítica consiste en la eliminación de los contaminantes mediante el empleo de radiación solar ultravioleta y catalizadores, con el objeto de formar radicales hidroxilo, los cuales posteriormente tendrán un efecto oxidante sobre los contaminantes químicos. En este proceso la oxidación tiene lugar directamente en la superficie de la partícula que se utiliza como catalizador o semiconductor¹⁵. Son importantes los parámetros como el pH (pzc~7,0), el cual debe estar por encima o por debajo de este valor, la carga de catalizador y la concentración del contaminante. La reacción fotocatalítica utilizando TiO₂/UV puede tratar simultáneamente compuestos orgánicos y metales pesados, así como transformar compuestos no degradables a compuestos orgánicos biodegradables¹⁶.

Un ejemplo de degradación fotocatalítica de contaminante presente en suelo, fue la remoción de Diuron en condiciones de laboratorio para evaluar el uso potencial de esta tecnología para remediar *in situ*. Los resultados mostraron que con 1% de catalizadores suficiente para alcanzar rendimientos superiores al 99% de la degradación y la combinación de TiO₂ con luz solar pudo destruir el Diuron presente en el suelo¹⁷. La adición de pequeñas cantidades de TiO₂ (0.1% 0.5%, 1% y 2%) fue suficiente para fotodegradar las superficies del suelo significativamente¹⁸.

¹⁴VISHNU PRIYA. A. Effects of amended compost on mobility and uptake of arsenic by *Rye grass* in contaminated soil. En: ScienceDirect. Julio, 2008. Vol. 72. p 56-61.

¹⁵GARCES, Luis Fernando. MEJIA, Edwin. Santamaria, Jorge. La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. {4 de Octubre de 2012}. Disponible en: <http://www.lasallista.edu.co/fxcu/media/pdf/Revista/Vol1n1/0832%20La%20fotocat%C3%A1lisis%20como%20alternativa%20para%20el%20tratamiento.pdf>

¹⁶A.F. Lopez-Vasquez, J.A. Colina-Marquez, F. Machuca-Martinez "Multivariable analysis of 2,4-D herbicide photocatalytic degradation," *Dyna* 78 (168), 119-125, Oct 2011.

¹⁷M.M Higarashi, W.F. Jardim, "Remediation of pesticide contaminated soil using TiO₂ mediated by solar light," *Catalysis Today*, pp.201–207, 2002.

¹⁸D. Dong, P. Li, X. Li, Q. Zhao, Y. Zhang, C. Jia, P. Li, "Investigation on the photocatalytic degradation of pyrene on soil surfaces using nanometer anatase TiO₂ under UV irradiation," *Journal of Hazardous Materials*, pp. 859–863, Oct 2010.

Las aguas residuales que depositan las industrias de curtiembre son muy peligrosas para el medio ambiente, puesto que tienen grandes concentraciones de cromo hexavalente que puede ser transferido a los seres vivos que la utilizan convirtiéndose en un riesgo de salud pública. La fotocatalisis, ha sido empleada para la reducción de la especie metálica cromo. Específicamente se ha probado para la transformación de Cromo (VI) a Cromo (III) (especie menos tóxica)¹⁹.

5.3.3. Adecuación de la estructura del suelo con el uso de arena.

Las características perfectas o correctas, que un suelo debería tener para el buen cultivo de plantas son fundamentadas en su estructura. Lo ideal es un suelo esponjoso, aireado, que tenga buena capacidad de retención de agua y al tiempo buen drenaje. Debe ser rico en materia orgánica, nutrientes y minerales. El pH debe encontrarse dentro del rango 5.5 – 8.0 y no debe ser salino. También es recomendable, que no se encuentre afectado por hongos, gusanos o plagas que perjudiquen su fertilidad. Lo anterior, se puede lograr con una buena estructura que en muchos casos puede ser obtenida mediante mezclas de suelo con arena. Esta aplicación es útil en los suelos arcillosos para evitar su compactación, propiedad que afecta la aireación del suelo y el crecimiento de especie vegetal. Los suelos arcillosos son difíciles de trabajar, porque se convierten en una masa densa y en estado seco que toma aspecto de piedra. Estos suelos tienden a encharcarse provocando que las raíces de las plantas mueran, lo ideal es aportar al suelo 2 o 3 metros cúbicos por cada 100 metros cuadrados de superficie, entre más arena, es mejor²⁰.

¹⁹C.A. Pereira, J. Tavares, G.G. Cavalcante, F.F.Vieira, "Aplicação de radiação UV artificial e solar no tratamento fotocatalítico de efluentes de curtumbre," *Quim. Nova*, Vol. 30, No. 5, pp. 1082-1087, Jul. 2007

²⁰INFOJARDIN. Suelos Ideales para las Plantas. {27 de Julio de 2013}. Disponible en: <http://articulos.infojardin.com/articulos/suelos-ideales-plantas.htm>

6. METODOLOGÍA

El municipio de Chía se encuentra en una zona vulnerable a inundaciones por el desbordamiento del río Bogotá el cual a su paso por este territorio, lleva consigo la carga contaminante (materia orgánica y metales) generada aguas arriba principalmente en las curtiembres ubicadas en el municipio de Villapinzón y las descargas de aguas residuales de los municipios Chocontá, Suesca, Gachancipá, Tocancipá y la Central Termoeléctrica de Termozipá. La elección de esta zona de estudio obedeció a que la información obtenida puede ser un indicativo de la afectación del suelo por dicho fenómeno natural.

El análisis de la afectación se realizó mediante la comparación entre suelos anegados y aquellos que no sufrieron afectación por el fenómeno y para tal fin se recolectaron muestras representativas en diferentes zonas del sector (ver Figura 2).

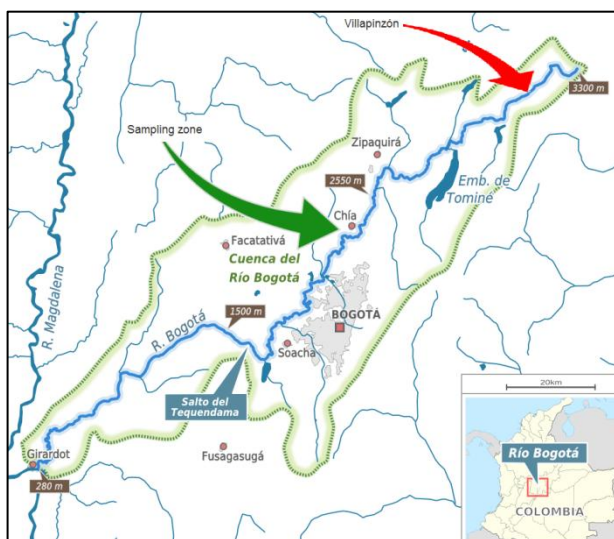


Figura 2. Zona de influencia del río. Áreas afectadas por las inundaciones del río Bogotá (zona Chía-muestreo). Residuos procedentes de la industria de curtiembre (Villapinzón)²¹.

6.1. DIAGNÓSTICO DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO.

Para realizar el diagnóstico del suelo afectado (S.A) y no afectado (N.A) por inundaciones del río Bogotá, se realizó la caracterización física, química y biológica de cada uno de ellos.

²¹AF Lopez-Vasquez, L.N Ramirez Q, E. Benavides-Contreras, R. López-Vásquez "In-situ Photocatalytic Reduction of Hexavalent Chromium in Contaminated Soil", IAENG, Jul 2013.

El diagnóstico se realizó contrastando algunos resultados del análisis químico y físico, contra la guía de interpretación de análisis químicos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi²², la guía básica de plantación forestal²³ y la guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo²⁴.

6.1.1. Recolección de la muestra. La recolección de la muestra representativa del tipo de suelo (S.A y N.A) se llevó a cabo mediante la técnica de zig-zag. Una vez seleccionada la zona de muestreo se tomaron 3 puntos al azar. En cada uno de ellos se tomaron 5 submuestras que se homogenizaron para obtener una muestra compuesta (ver figura 3).

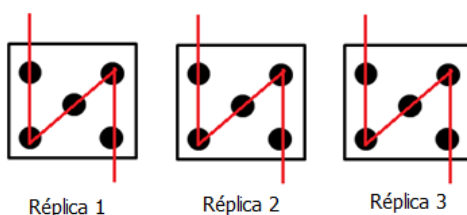


Figura 3. Técnica de zig-zag para toma representativa de muestras de suelo (3 réplicas).

Las cantidades de muestra tomadas y el nivel de inclinación de cada punto de muestreo fueron similares con el fin de considerar la posible distribución de contaminantes. Cabe notar que para el suelo N.A se tomó un solo punto de muestreo. La distribución espacial de los puntos de muestreo se observa en la Tabla 1.

²²INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Laboratorios de suelos. Agrólogo: Daniel Ortega Rey. {23 de abril de 2013}. Disponible en. www.state.gov/documents/organization/57159.xls

²³GUIA BÁSICA DE LA PLANTACIÓN FORESTAL. Rango de algunos elementos minerales del suelo. Capítulo III. {23 de abril de 2013}. Disponible en: http://elsemillero.net/nuevo/semillas/guia_basica4.html

²⁴GUIA PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y SALUD DEL SUELO. Departamento de agricultura. Densidad aparente y textura. Agosto 1999. {23 de abril de 2013}. Disponible en: <http://soils.usda.gov/sqi/assessment/files/KitSpanish.pdf>

Tabla 1. Coordenadas de los puntos de muestreo de suelo Chía – Cundinamarca.

Tipo de suelo	Punto de muestreo	Réplicas	Coordenadas	Coordenadas planas
S.A	Vía Suba – Cota (SC)	1	N 4° 47' 57" W 74° 5' 44"	X 4,799175 Y -74,095603
		2		
		3		
	Hato Grande (HG)	1	N 4° 55' 18" W 74° 0' 21"	X 4,921667 Y -74,005833
		2		
		3		
	Hacienda la Chávella (LC)	1	N 4° 51' 14" W 74° 1' 58"	X 4,853889 Y -74,032778
		2		
		3		
N.A	Vía Chía – Cajicá (NA)	1	N 4° 54' 53" W 74° 0' 58"	X 4,914722 Y -74,016111
		2		
		3		

Fuente: Los autores.

6.1.2. Caracterización física. Los parámetros físicos evaluados fueron el porcentaje de humedad, conductividad eléctrica, textura, densidad aparente/real e índice de plasticidad. La Tabla 2 muestra las técnicas empleadas que se utilizaron para los análisis.

Tabla 2. Determinación de parámetros para la caracterización física del suelo²⁵.

Especie	Técnica/método
Porcentaje de humedad	Gravimetría.
Conductividad eléctrica	Conductimetría.
Textura y color	Método organoléptico ²⁶ y Tablas Munsell
Densidad aparente	Terrón parafinado.
Densidad real	Picnómetro.
Índice de plasticidad	Límites de Atterberg ²⁷

Fuente: Los autores.

²⁵INSTITUTO GEOGRÀFICO AGUSTÌN CODAZZI. Métodos Analíticos de Laboratorio de Suelos. Bogotá D.C. Imprenta Nacional De Colombia, 2006.

²⁶UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERA. DEPARTAMENTO DE INGENIERA AGRICOLA. Prácticas de laboratorio de fundamentos del suelo, practica No 3 determinación de textura al tacto. Perú. 2010

²⁷UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. FACULTAD DE AGRONOMIA. Prácticas de laboratorio, métodos de análisis de suelos. 2010. 36 a 41p

6.1.3. Caracterización química. En esta etapa se determinó el contenido de carbono orgánico (medida indirecta del valor de materia orgánica), materia orgánica, nitrógeno total, fósforo disponible, metales pesados (cadmio, mercurio, cromo y plomo), capacidad de intercambio catiónico (bases intercambiables potasio, sodio, calcio y magnesio), pH y elementos menores (hierro, manganeso, zinc y cobre). La Tabla 3 muestra las técnicas empleadas para la determinación de los parámetros mencionados anteriormente.

Tabla 3. Determinación de parámetros para la caracterización química del suelo²⁵

Especie		Técnica/método
Carbón orgánico		Digestión vía húmeda (Walkley- Black)
Materia orgánica		$\%MO = \%CO * 1 / (0,58)^*$
Nitrógeno total		Kjeldahl modificado**
Fósforo disponible		Bray – II modificado
Metales pesados (Cr, Hg, Cd, Pb)		Espectrofotometría de absorción y emisión atómica.
pH		Potenciométrico en relación suelo- agua y saturación.
Capacidad de intercambio catiónico		Acetato de amonio 1N, pH 7,0.
Bases intercambiables		Espectrofotometría de absorción y emisión atómica.
Elementos	Zn y Cu	Espectrofotometría de absorción y emisión atómica.
menores	Fe y Mn	Espectrofotometría U.V-Visible

Fuente: Los autores.

* Se multiplica el porcentaje de carbono por el factor 1/0,58 el cual indica que esta contiene un 58% del mismo carbón orgánico.

**Se determinaron dos resultados de nitrógeno total. El primero se desarrolló por medio del método Kjeldahl modificado. El segundo a partir de la materia orgánica, por medio de la siguiente ecuación: $\%N\ Total = (\%Materia\ Orgánica) / 20$

²⁵INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Métodos Analíticos de Laboratorio de Suelos. Bogotá D.C. Imprenta Nacional De Colombia, 2006.

6.1.4. Caracterización biológica. Los microorganismos identificados fueron las bacterias y hongos totales mediante inoculación de medios de cultivo.

Tabla 4. Determinación de parámetros para la caracterización biológica del suelo²⁸

ESPECIE	TÉCNICA de conteo en placa
Bacterias totales	Agar nutritivo de crecimiento
Hongos totales	Agar papa dextrosa (PDA) con adición de antibiótico (500 gramos de cloranfenicol en 10 ml de etanol) y gentamicina (156,3 µl).

Fuente: Los autores.

Con base en los resultados obtenidos en la fase de diagnóstico, se definieron los siguientes métodos de recuperación.

6.2.1. Método químico. Con base en la concentración de cromo en el suelo, la cual sobrepasó los límites permisibles (280 mg/kg), dispuestos en la Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, se decidió realizar pruebas de disminución fotocatalítica de la especie cromo (VI). Dichos estudios se llevaron *in-situ* a escala laboratorio, con el fin de evaluar el uso alternativo de esta tecnología para la remediación de este tipo de suelo. Las muestras de suelo con catalizador fueron expuestas a 20 W de irradiación UV artificial mediante iluminación con lámparas negras durante 88 horas de exposición. En este estudio se determinó el efecto de la carga de catalizador (cargas de 0.1 y 2.0 % w/w), y diferentes tipos de suelo contaminados con cargas de (651.0, 308.0 y 112.0 mg kg⁻¹ Cr VI), pH y profundidad del suelo (2, 4 y 6 cm).

6.2.2. Método biológico. La remediación biológica de suelo contaminado que se evaluó, fue la fitorremediación con la gramínea *Rye grass* para la remoción de cromo de los suelos afectados por inundación. Como experimento control, también se sembró suelo no afectado con la misma especie. Con base en el número de puntos y a las réplicas en los puntos de muestreo, se utilizaron bandejas de aluminio de 30 cm × 50 cm × 10 cm en las

²⁸INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO. Manual de Técnicas de Análisis de Suelos. Análisis Microbiológicos. {10 de Abril de 2013}. Disponible en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/509/analisis2.pdf>

que se colocaron 7.5 kg de suelo y 1.0 g de pasto (~310 semillas) cada una, de acuerdo a las réplicas de cada punto de muestreo. Durante los ensayos, se realizó riego manual con agua destilada cada tercer día, durante todo el ciclo del cultivo. Con esta estrategia se evitó el exceso de humedad. No se presentaron plagas, por lo que no se hizo necesario la adición de insecticidas. Se realizó medición del crecimiento del pasto. Esta consistió en la medición de la longitud incluida la raíz. El aspecto de las bandejas al inicio del experimento se muestra en la figura 4.

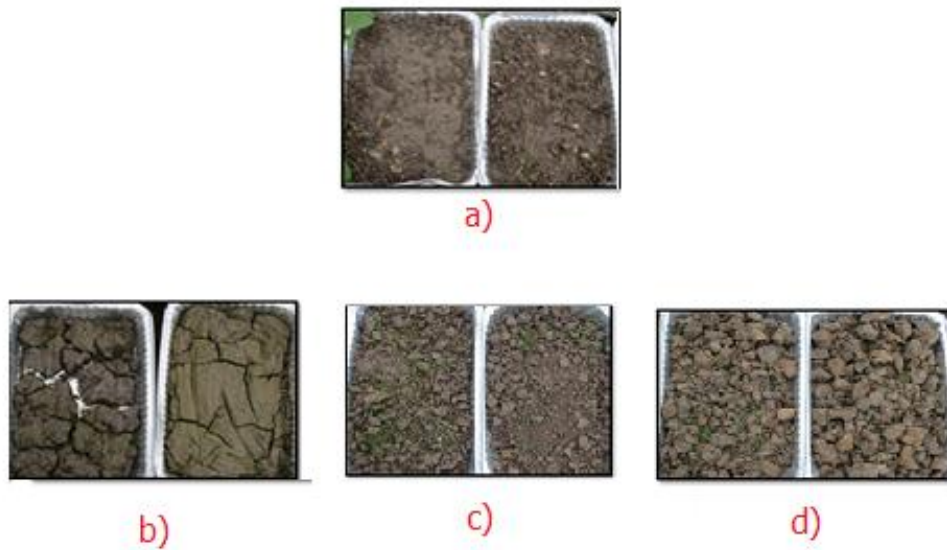


Figura 4. Aspecto inicial de la fitorremediación de suelos sembrados con *Rye grass*. a) Suelo N.A (vía Chía Cajicá) b) S.A (vía Suba –Cota) c) S.A (La Chávela) d) S.A (Hato Grande).

6.2.3 Método físico. Con el fin de mejorar la estructura del suelo en todos los puntos de muestreo en cuanto a porosidad y compactación, se realizó una adecuación del mismo mediante la utilización de arena en una proporción 30:70. Con este procedimiento se formó una muestra compuesta para cada replica de cada punto de muestreo y se evaluó además la remoción de cromo. La metodología empleada fue la misma descrita en el ítem anterior. Las dimensiones de las bandejas utilizadas para el estudio fueron de 20 cm × 30 cm × 6 cm en las que se colocaron 2.3 kg. El aspecto del montaje experimental propuesto al inicio del tratamiento modificando las características físicas del suelo afectado por inundación se muestra en la figura 5.

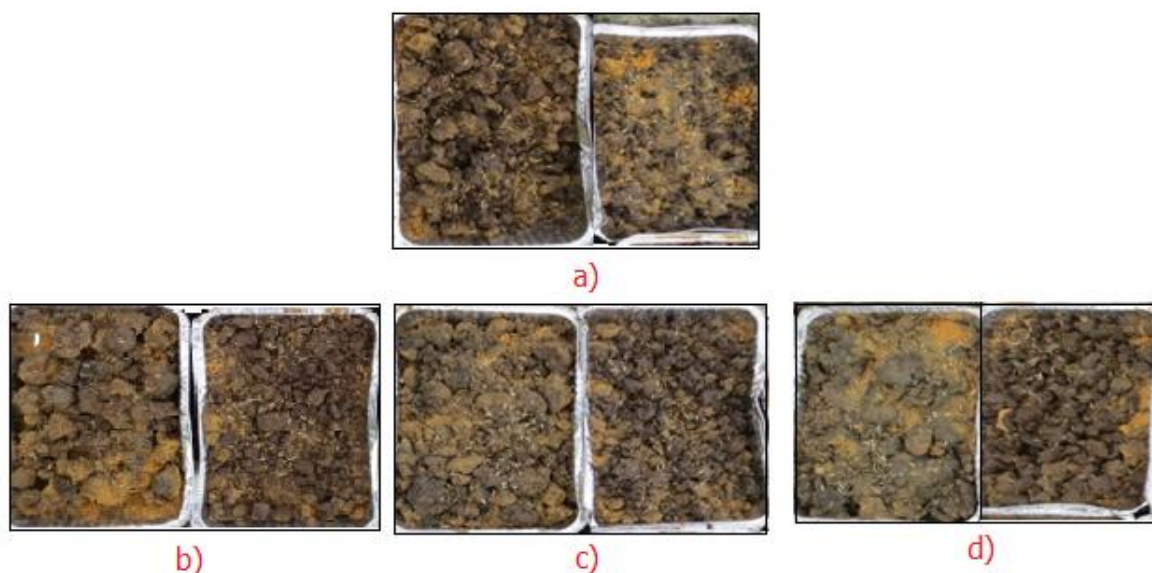


Figura 5. Aspecto inicial de la remediación física de suelos sembrados con *Rye grass*. a) Suelo N.A (vía Chía Cajicá) b) S.A (vía Suba -Cota) c) S.A (La Chávela) d) S.A (Hato Grande).

6.3. FORMULACION DE LA ESTRATEGIA DE RECUPERACIÓN DEL SUELO.

Con base en los resultados obtenidos en el tratamiento químico, biológico y físico se planteó una estrategia de recuperación del suelo afectado, consistente en la elaboración de una ficha de manejo ambiental para la mitigación o restauración del suelo contaminado por cromo.

Durante el desarrollo del documento se utilizará la siguiente abreviatura:

SC: Vía Suba – Cota

HG: Hato grande

LC: La Chávela

NA: No Afectado (Vía Chía - Cajicá)

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. DIAGNÓSTICO DEL SUELO AFECTADO POR INUNDACIONES DEL RÍO BOGOTÁ

7.1.1. Caracterización física. A continuación se muestran los resultados del diagnóstico del suelo afectado por inundación.

La figura 6, muestra el contenido de humedad de los suelos estudiados.

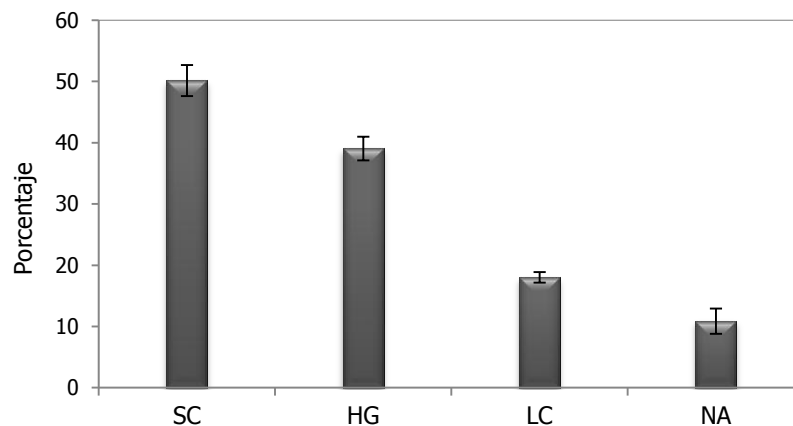


Figura 6. Porcentaje de humedad en los suelos afectados por inundación.

El suelo afectado por inundaciones SC tiene un valor aceptable que indica que aglutina con presión. El suelo HG tiene un grado medio de humedad que indica que es un suelo que se aglutina pero con facilidad a desmoronarse mientras que el suelo LC es muy seco que no se aglutina. De la misma manera, y con base en el contenido de humedad, el suelo N.A. tampoco tiene la capacidad de aglutinarse.

La figura 7 muestra la conductividad eléctrica de los suelos. Tanto los suelos afectados por inundación (SC, HG y LC) como el no afectado (N.A, Chía-Cajicá) muestran similares valores en la conductividad que indican la baja salinidad en los mismos. Esta condición favorece la germinación de las semillas y la absorción de agua por parte de las mismas²⁹.

²⁹UNIVERSIDAD DE CHILE. Modernización e Integración Transversal de la Enseñanza de Pregrado en Ciencias de la Tierra. Determinación del pH y conductividad Eléctrica del suelo. {28 de Abril de 2013}. Disponible en: http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/medio_mod1.pdf

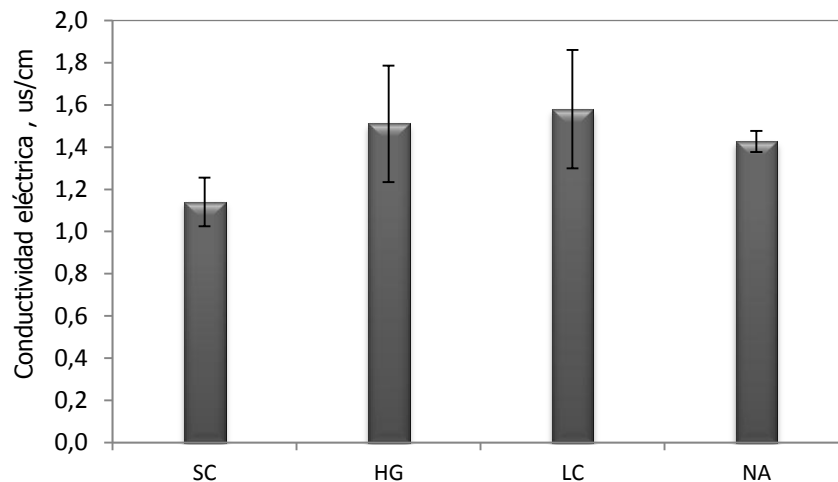


Figura 7. Conductividad eléctrica en los suelos afectados por inundación. Chía – Cundinamarca.

La Tabla 5 indica el tipo de textura y el color de cada uno de los suelos. El suelo afectado por inundaciones SC indica presencia del fenómeno de tixotropía es decir, cuando un suelo húmedo se toma para ablandarlo, se manipula hasta alcanzar un estado fluido viscoso y después de un tiempo de reposo este puede recuperar sus propiedades de resistencia y rigidez, siempre y cuando la humedad no se le modifique. El suelo con esta textura tiene una alta fertilidad química, capacidad de intercambio catiónico alto, tiene permeabilidad baja, tienen una energía de retención de humedad alta, y se muestra problema para la penetración de las raíces. Su color Dark Grayish Brown determina un alto contenido de materia orgánica³⁰. El suelo HG tiene una textura arcilloso limoso, lo cual indica que tiene un % de humedad medio, es decir tiene una mediana plasticidad, además de presentar una buena porosidad y una actividad biológica moderada³¹. El suelo LC tiene una textura franco arcilloso limoso, lo cual indica que el % de materia orgánica contenida en el suelo es alto³¹. Por último el suelo N.A indica una fertilidad deficiente, velocidad de infiltración

³⁰ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS. Departamento de edafología. Tablas y gráficos de interpretación de las propiedades del suelo. {24 de abril de 2013}. Disponible en: <http://www.blueberrieschile.cl/paper/paper19.pdf>

³¹CONSISTENCIA DEL SUELO. {28 de Abril de 2013}. Disponible en: ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s08.htm

baja, erosionabilidad alta, almacenamiento de nutrientes medio, permeabilidad de media a baja según su textura³⁰.

Tabla 5. Resultados de textura del suelo.

Suelo	Punto de muestreo	Réplicas	Tipos de suelo	Color
S.A	Vía Suba - Cota	1	Arcilloso	10 YR 4/2 Dark Grayish Brown
		2	Arcilloso (fenómeno de tixotropía)	10 YR 4/3 Brown
		3	Arcilloso	10 YR 4/2 Dark Grayish Brown
	Hato Grande	1	Arcilloso limoso	7.5 YR 4/2 Brown
		2	Arcilloso limoso	7.5 YR 4/2 Brown
	Hacienda la Chávela	1	Franco arcilloso limoso (alto % de arcillas)	7.5 YR 3/2 Dark Brown
2		Franco arcilloso (fenómeno de tixotropía)	10 YR 3/2 Very Dark Grayish Brown	
N.A	Vía chía- Cajicá	1	Franco limoso	7.5 YR 5/2 Brown Seco
		2	Franco limoso	7.5 YR 5/2 Brown Seco
		3	Franco arcilloso limoso	7.5 YR 5/2 Brown Seco

Fuente: Los autores.

La figura 8 muestra la densidad aparente y real en los suelos afectados. El suelo afectado por inundaciones SC muestra un valor aceptable que indica un buen crecimiento radicular de las plantas. El suelo HG y LC tienen valores que indican afectación al crecimiento de las plantas, mientras que el suelo NA muestra un valor ideal que no indica efectos negativos.

³⁰ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS. Departamento de edafología. Tablas y gráficos de interpretación de las propiedades del suelo. {24 de abril de 2013}. Disponible en: <http://www.blueberrieschile.cl/paper/paper19.pdf>

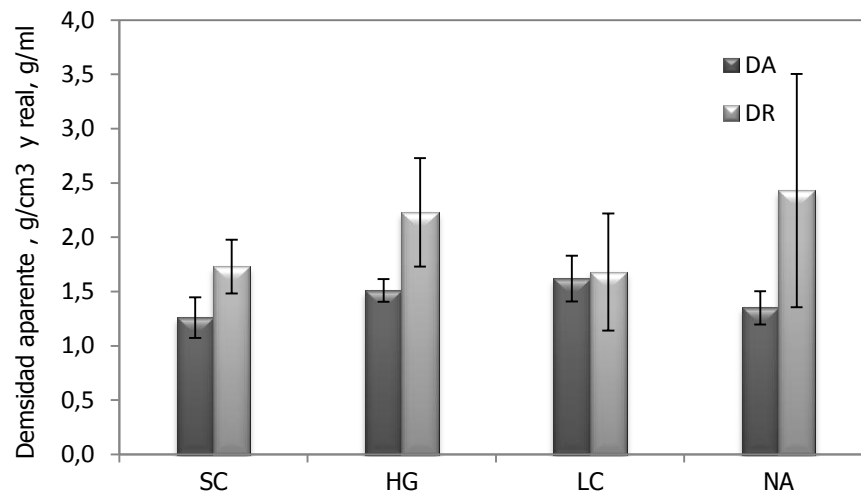


Figura 8. Densidad aparente y real en los suelos afectados por inundación. Chía – Cundinamarca.

El suelo SC, HG, LC y NA indican densidad real baja, lo que se ve directamente relacionado con la materia orgánica, si los suelos presentan un alto contenido de materia orgánica la densidad real disminuye³².

El límite plástico es muy afectado por el contenido orgánico del suelo ya que eleva su valor sin aumentar simultáneamente el límite líquido. Por tal razón los suelos con alto contenido orgánico tienen bajo índice plástico y límites líquidos altos³³, como se muestra en la figura 9 donde el límite líquido es alto para SC, HG y LC que son suelos que tiene gran porcentaje de materia orgánica debido a la inundación del río Bogotá.

³²THOMPSON, L. M. y TROEH, F.R. Los suelos y su fertilidad. España, 2002. {2 de Mayo de 2013}. Disponible en:

<http://books.google.com.co/books?id=AegjDhEIVAQC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q=densidad%20real&f=false>

³³CRESPO VILLALAZ, Carlos. Mecánica de suelos y cimentaciones. Plasticidad de los suelos. {2 de Mayo de 2013}. Disponible en:

<http://books.google.com.co/books?id=Db2SQbBHVPQC&pg=PA69&lpg=PA69&dq=rango+de+indice+de+plasticidad&source=bl&ots=ajRSmQsQ2o&sig=skJX-09ympSdhY9BVAy01WKleo0&hl=es-419&sa=X&ei=68GCUeeFCcfc0QGF8YDYBQ&ved=0CEkQ6AEwBA#v=onepage&q=rango%20de%20indice%20de%20plasticidad&f=false>

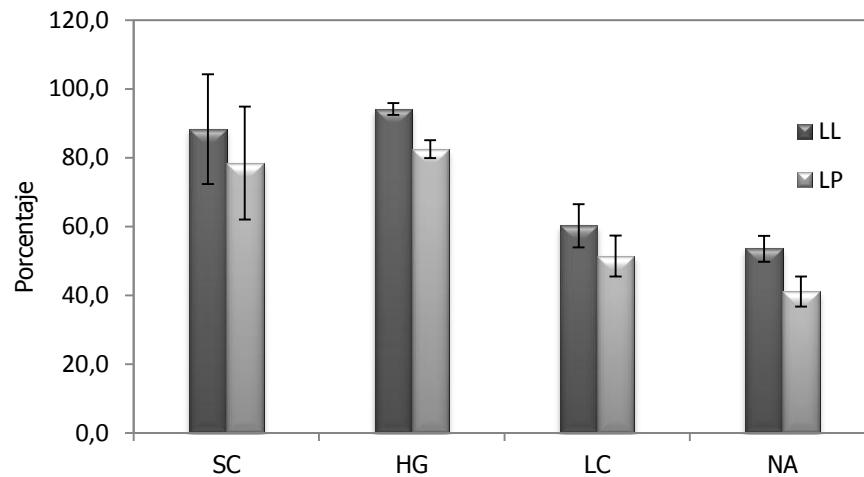


Figura 9. Límite líquido y límite plástico en los suelos afectados por inundación. Chía – Cundinamarca.

Según Atterberg cuando el índice plástico es menor de 7 el suelo presenta baja plasticidad; cuando el índice plástico está comprendido entre 7 y 17 se dice que el suelo es medianamente plástico y cuando es mayor a 17 se dice que es altamente plástico³³. Lo cual indica que el suelo SC, HG, LC y el suelo NA el índice de plasticidad es medianamente plástico como lo muestra la figura 10.

³³CRESPO VILLALAZ, Carlos. Mecánica de suelos y cimentaciones. Plasticidad de los suelos. {2 de Mayo de 2013}. Disponible en: <http://books.google.com.co/books?id=Db2SQbBHVPQC&pg=PA69&lpg=PA69&dq=rango+de+indice+de+plasticidad&source=bl&ots=ajRSmQsQ2o&sig=skJX-09ympSdhY9BVAy01WKleo0&hl=es-419&sa=X&ei=68GCUeeFCcfc0QGF8YDYBQ&ved=0CEkQ6AEwBA#v=onepage&q=rango%20de%20indice%20de%20plasticidad&f=false>

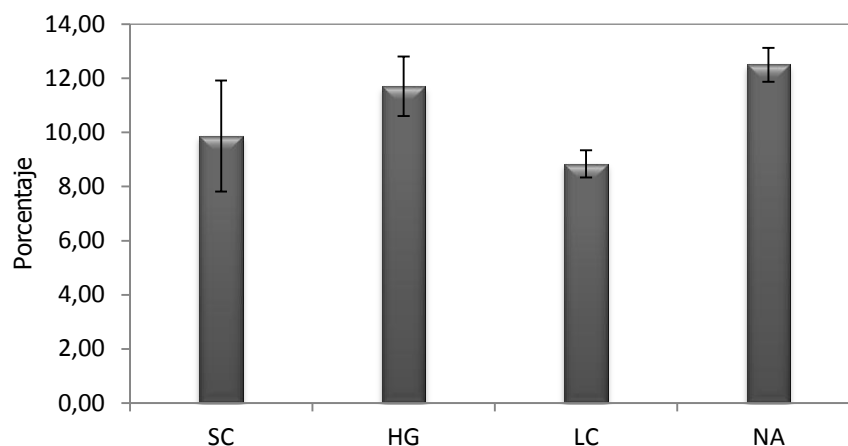


Figura 10. Índice de plasticidad en los suelos afectados por inundación. Chía – Cundinamarca.

7.1.2. Caracterización química.

La figura 11, muestra el contenido carbón orgánico y materia orgánica de los suelos estudiados.

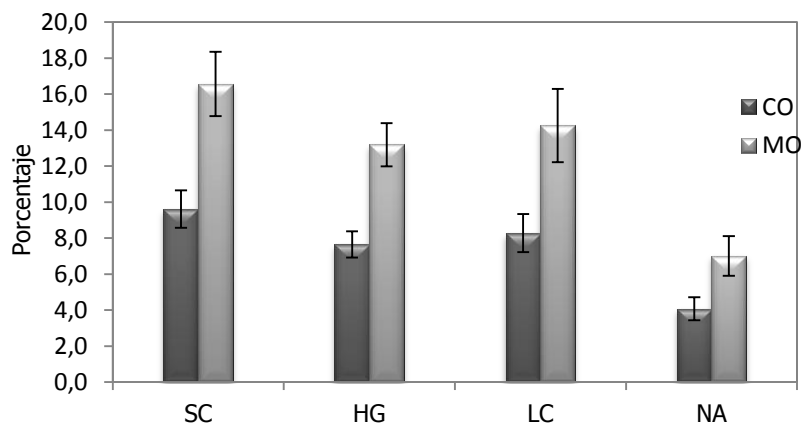


Figura 11. Carbón orgánico y materia orgánica en los suelos afectados por inundación. Chía – Cundinamarca.

El suelo afectado por inundaciones SC y LC muestran valores que indican alto porcentaje de carbón orgánico mientras que el suelo HG y NA, indican un porcentaje de carbón orgánico medio²².

²² INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Laboratorios de suelos. Agrólogo: Daniel Ortega Rey. {23 de abril de 2013}. Disponible en. www.state.gov/documents/organization/57159.xls

Para los suelos SC, HG y LC se muestran valores que indican alto porcentaje de materia orgánica. Caso contrario el del suelo NA que muestra un valor medio para este parámetro. Analizando los resultados anteriores, se puede decir que la inundación que presentó el río Bogotá en el municipio de Chía – Cundinamarca durante el primer periodo del año 2011 fue positivo en cuanto al % de materia orgánica ya que se ve un incremento de la misma a comparación del suelo que no fue afectado por el río. El contenido de materia orgánica aumenta con la humedad y disminución de temperatura. Es una afectación positiva ya que ayuda con el crecimiento de plantas por los nutrientes que se le proveen a las mismas³⁴. El gran porcentaje de materia orgánica promueve la actividad y metabolismo de microorganismos mejorando su actividad biológica lo cual se verá más adelante con los demás resultados de la caracterización.

Tanto los suelos afectados por inundación (SC, HG y LC) como el no afectado (N.A, Chía-Cajicá) muestran similares valores en el contenido de nitrógeno total determinado por el método de Kjeldahl, esto indica un valor muy bajo de porcentaje de nitrógeno total. La cantidad de nitrógeno total del suelo varía generalmente entre 0,06 y 0,5% en la capa superficial y está estrechamente relacionado a la cantidad de materia orgánica, de la cual el nitrógeno constituye alrededor del 5%. Por tal motivo se determinó este mismo en relación con la materia orgánica³⁵.

La figura 12 muestra el contenido de nitrógeno total determinado por el método de Kjeldahl y a partir de la materia orgánica.

³⁴TALLER DE ABONOS ORGANICOS. Beneficios de la materia orgánica. 2003 {23 de abril de 2013}. Disponible en: <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria%20Taller%20Abonos%20Org%C3%A1nicos.pdf>

³⁵. UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA. Facultad de agronomía. Composición del suelo. 2004. {23 de abril de 2013}. Disponible en: <http://www.fagro.edu.uy/~edafologia/curso/Material%20de%20lectura/COMPOSICION/composicion.pdf>

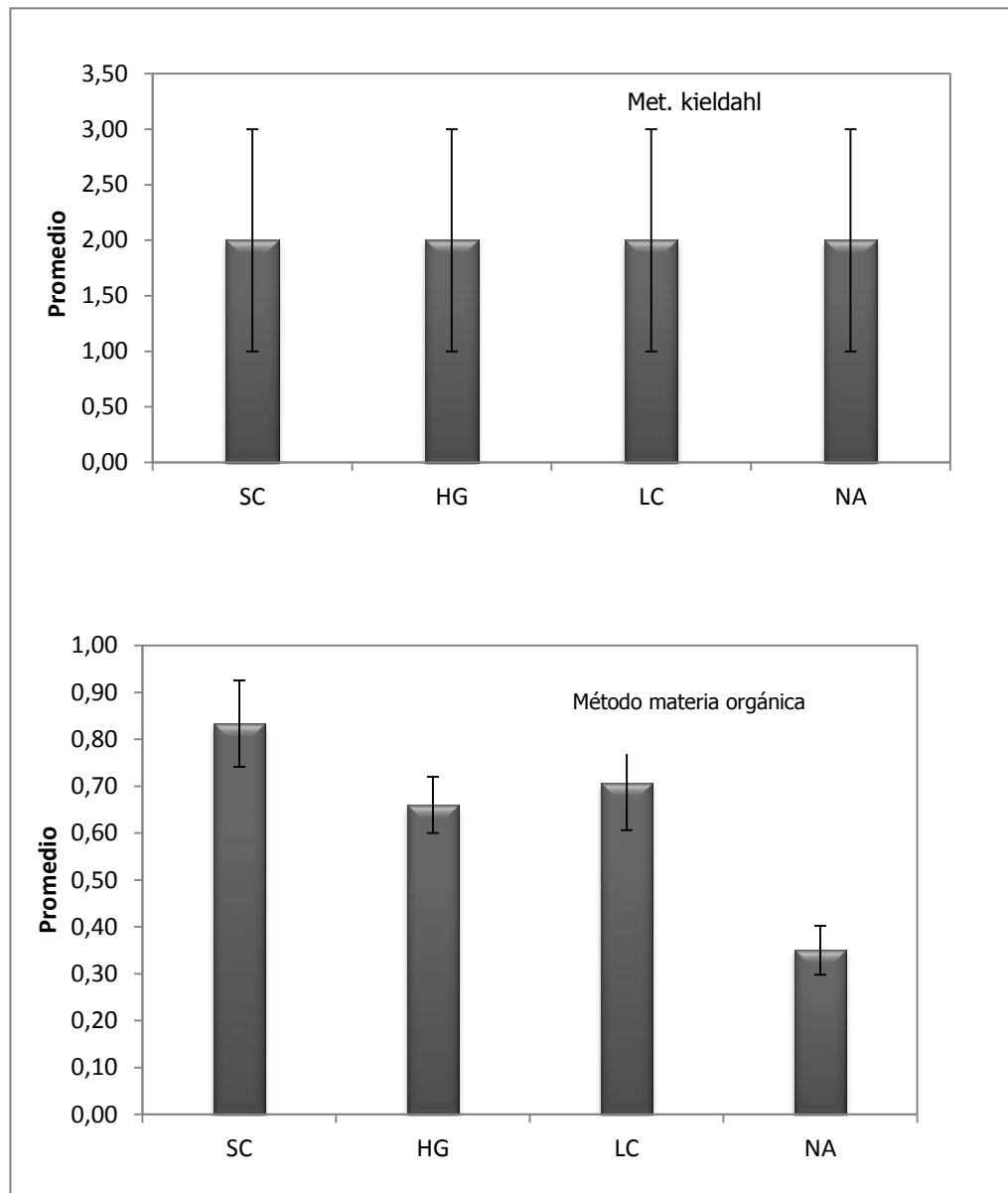


Figura 12. Nitrógeno total en los suelos afectados por inundación. Chía – Cundinamarca.

Como se puede observar en la figura 12, todos los suelos presentan un porcentaje alto de nitrógeno total a partir de la materia orgánica, lo que indica que existe un exceso que retarda la maduración, debilita la planta, baja la calidad del cultivo y provoca menor resistencia a enfermedades³⁶, para el suelo NA se mostró un porcentaje medio siendo el

³⁶AREVALO, Gloria y CASTELLANOS, Moisés. Interpretación de los resultados de un análisis de suelo. {28 de Abril de 2013}. Disponible en: <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r49205.PDF>

resultado más bajo por ser suelo no afectado por la inundación del río, revelando un porcentaje de nitrógeno adecuado para los cultivos³⁷.

La figura 13 muestra la concentración de fósforo disponible en los suelos afectados por el río Bogotá, se puede ver que los resultados para el suelo SC, HG y LC indican alta concentración de este parámetro, mientras que para el suelo NA la concentración es media.

A mayor cantidad de materia orgánica, mayor es el contenido de fósforo. El exceso de fósforo como sucede en los suelos afectados, interviene en su mayor parte con la absorción de otros elementos como el hierro, el manganeso y el zinc. Esto ayuda al crecimiento de las plantas. La coloración púrpura oscura de las hojas más viejas, ayuda al crecimiento de las raíces y el florecimiento.

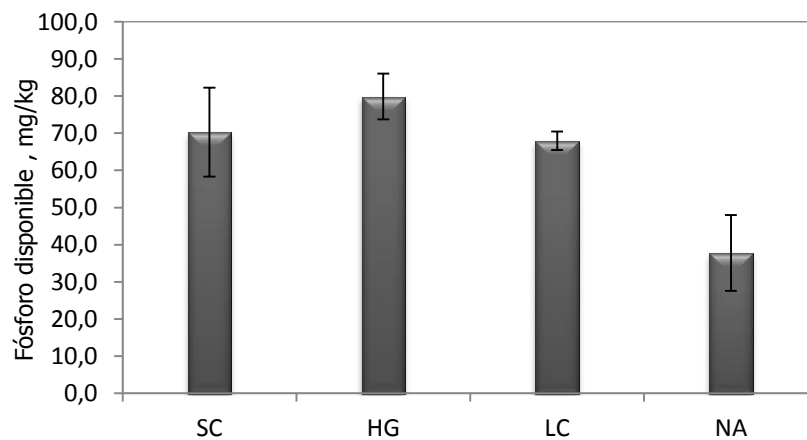


Figura 13. Fósforo disponible en los suelos afectados por inundación. Chía – Cundinamarca.

Los niveles de pH determinados en la figura 14 muestran diferentes condiciones según el tipo de suelo.

³⁷ NUTRIENTES DEL SUELO. Diapositivas de la 6 a la 8. {28 de Abril de 2013}. Disponible en: <http://edafologia.fcien.e0del%20suelo.pdf> du.uy/archivos/Nutrientes%2

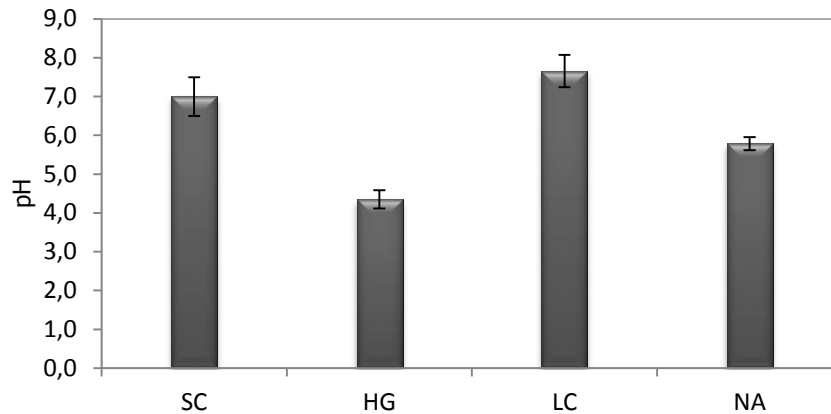


Figura 14. pH en los suelos afectados por la inundación. Chía Cundinamarca.

Los suelos inundados SC y LC son neutros (valor ideal para el crecimiento de las plantas). El suelo HG es extremadamente ácido lo que dificulta la retención de nutrientes (deficiencias de calcio, magnesio y boro,) y puede provocar posible toxicidad por manganeso, zinc, hierro y níquel, que sobrepasen los límites permisibles por el Congreso Nacional de Medio Ambiente (CONAMA)³⁸. El suelo LC, aunque fue afectado por la inundación, es un suelo ligeramente alcalino que puede indicar contenido de sodio. Este tipo de suelo tiene la capacidad de almacenar muchos nutrientes minerales y es adecuado para algunos cultivos³⁸. El suelo N.A indica que es medianamente ácido y puede presentar deficiencias de nutrientes esenciales como potasio, nitrógeno, magnesio y azufre sin embargo, es un intervalo adecuado para la mayoría de los cultivos, ya que los nutrientes de las plantas en general presentan su máxima solubilidad en este intervalo³⁹.

Las concentraciones de capacidad de intercambio catiónico determinados en la figura 15 muestran similares condiciones según el tipo de suelo.

³⁸INFLUENCIA DEL pH EN LAS PROPIEDADES DEL SUELO. Diapositivas de la 3 a la 20. {28 de Abril de 2013}. Disponible en: https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCsQFjAA&url=http%3A%2F%2Faf2.wikispaces.com%2Ffile%2Fview%2FINFLUENCIA_DEL_pH_EN_LAS_PROPIEDADES_DEL_SUELO%2Bfinal.ppt&ei=YXF9UenSC8rh0wGMq4DACQ&usg=AFQjCNF18BbH84lh5EnC2QZgN0Csoh1aHg&bvm=bv.45645796,d.dmQ

³⁹UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE NATIONAL SOIL SURVEY CENTER. Soil survey laboratory methods manual. {28 de Abril de 2013}. Disponible en: ftp://ftp-fc.sc.egov.usda.gov/NSSC/Lab_Methods_Manual/ssir42.pdf

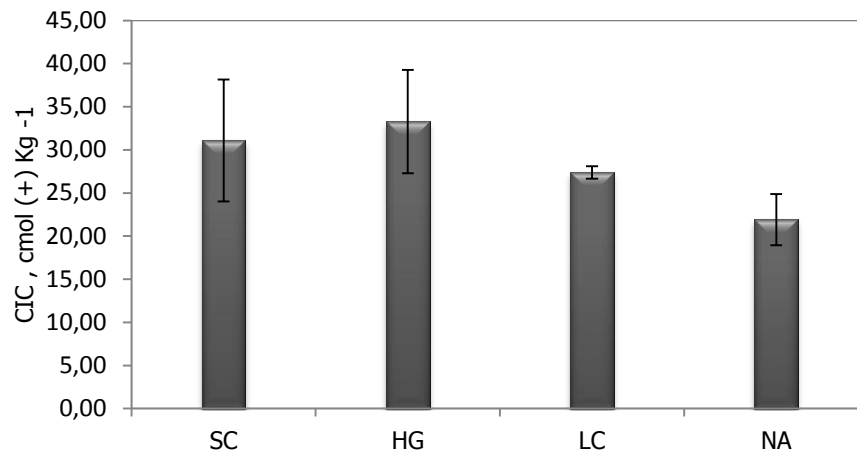


Figura 15. Capacidad de intercambio catiónico en suelo afectados por inundación. Chía Cundinamarca.

Los suelos SC, HG y LC indican un nivel alto, esto no debe entenderse necesariamente como una problemática porque a mayor capacidad de intercambio catiónico mayor es la fertilidad del suelo, ya que existe una mayor capacidad para retener y aportar nutrientes a las plantas elevando su nivel nutricional. A mayor porcentaje de materia orgánica, se muestra un incremento en la capacidad de intercambio catiónico.

Para el suelo NA se indicó alta capacidad de intercambio catiónico, igual que los anteriores resultados pero en este punto representativo de suelo no inundado el valor fue cercano a un nivel medio, donde claramente se puede notar la diferencia que marca un suelo (S.A) y (N.A), debido al porcentaje de materia orgánica.

La figura 16 muestra las concentraciones de potasio, magnesio, calcio y sodio en los diferentes tipos de suelo con cambios significativos entre ellos.

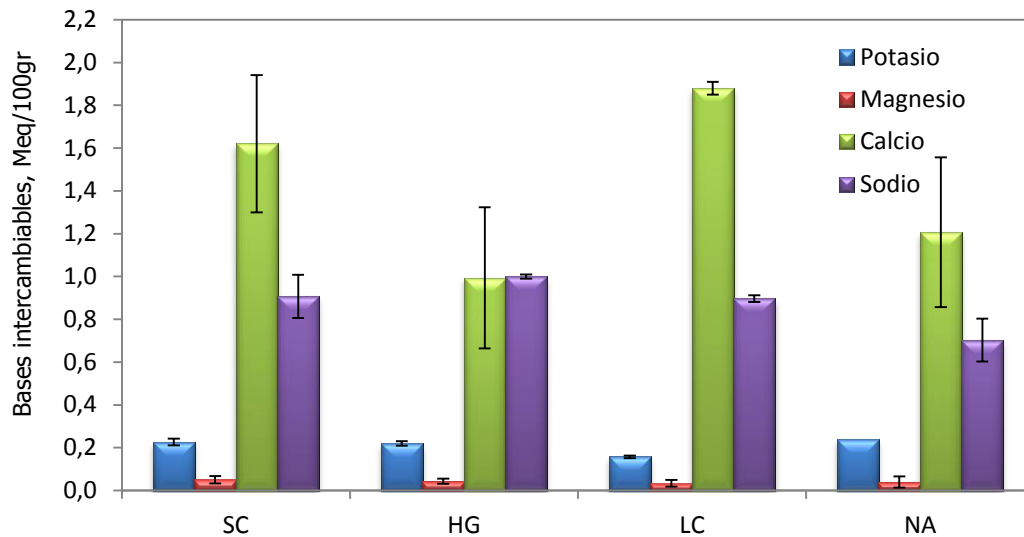


Figura 16. Bases intercambiables en los suelos afectados por inundación. Chía – Cundinamarca.

Para el suelo SC, HG y NA se observó concentraciones medias de potasio, siendo este uno de los tres nutrientes minerales que necesitan las plantas. Los suelos con gran cantidad de materia orgánica son deficientes en potasio ya que contienen pocos minerales proveedores de este nutriente, en las regiones secas existe un ascenso capilar de potasio, por tal motivo aquí se puede ver un nivel medio ya que en zonas húmedas como es en Chía – Cundinamarca, es mayor la remoción de potasio⁴⁰. Para LC se mostró contenido bajo, la falta de este elemento influye negativamente en el rendimiento y calidad del suelo o cultivo, además la deficiencia de potasio aumenta la vulnerabilidad del cultivo a enfermedades y lo hace menos resistente a condiciones de sequías o heladas.

Para magnesio en los cuatro puntos de muestreo (SC, HG, LC y NA) se mostró un nivel bajo de concentración de este nutriente. Esta deficiencia puede ser un factor importante que limita la producción de cultivos. El pH cuando es bajo la solubilidad del magnesio disminuye y se hace menos disponible, además, en suelos ácidos como en este caso, aumentan la tendencia de lixiviación de magnesio, debido a que tienen menos sitios intercambiables. También en estos suelos ácidos la solubilidad de elementos como manganeso y aluminio aumenta. La deficiencia de magnesio, al igual que cualquier

⁴⁰SANZANO, Agustín. El potasio del suelo. {6 de mayo de 2013}. Disponible en: <http://www.edafo.com.ar/Descargas/Cartillas/El%20Potasio%20del%20Suelo.pdf>

deficiencia, conduce a una reducción en el rendimiento. También conduce a una mayor susceptibilidad de la planta a enfermedades. En los cuatro puntos de muestreo de suelo (SC, HG, LC y NA) se obtuvo un resultado que indicó un nivel bajo de calcio. Esto se debe a los efectos de acidez del suelo. En la planta se puede ver su deficiencia en el sistema radical y en la apariencia característica de la hoja. Esto provoca que el suelo no mantenga su forma y que pueda ser destruido por el paso de maquinaria o por efectos de erosión ya que el calcio forma fuentes con arcillas y ácido húmico logrando crear una especie de columnas o puentes cementantes que soportan los agregados del suelo.

Para sodio, todos los puntos de muestreo (SC, HG, LC y NA) contienen concentraciones normales. En los suelos sódicos, las partículas de arcilla tienden a separarse. Las fuerzas que mantienen unidas a las partículas de arcilla se interrumpen por los iones de sodio. Las partículas de arcilla dispersas se mueven por la estructura del suelo bloqueando sus poros. Esto causa que la infiltración del agua a través del suelo se reduzca, por lo tanto, el suelo puede anegarse y/o inundarse cuando se moja por deficiencia del proceso natural de filtración. Los suelos sódicos tienden a hincharse cuando se mojan, luego se endurecen y cuarteán cuando están secos⁴¹. El suelo sódico una vez seco normalmente desarrolla y presenta una costra dura, seca, cuarteada y agrietada en su superficie, como sucede en los suelos afectados por la inundación del río en Chía – Cundinamarca. Esto restringe e impide el normal crecimiento de las raíces impidiendo el desarrollo y desenvolvimiento natural de la semilla. Los suelos sódicos son susceptibles a erosión lo que genera pérdida de suelo y nutrientes⁴¹.

Para todos los puntos de muestreo (SC, HG, LC y NA) el resultado de mercurio, cadmio y plomo obtenido fue de 0 mg/l, lo cual indicó que no hay presencia de estos metales en el suelo afectado y no afectado. La figura 17 muestra la concentración de cromo total y cromo hexavalente en el suelo afectado únicamente, puesto que el suelo NA no presentó concentraciones de este metal pesado.

⁴¹SMART, Fertilizante Inteligente. Suelos sódicos y su manejo. {6 de mayo de 2013}. Disponible en: <http://www.smart-fertilizer.com/articulos/suelos-sodicicos>

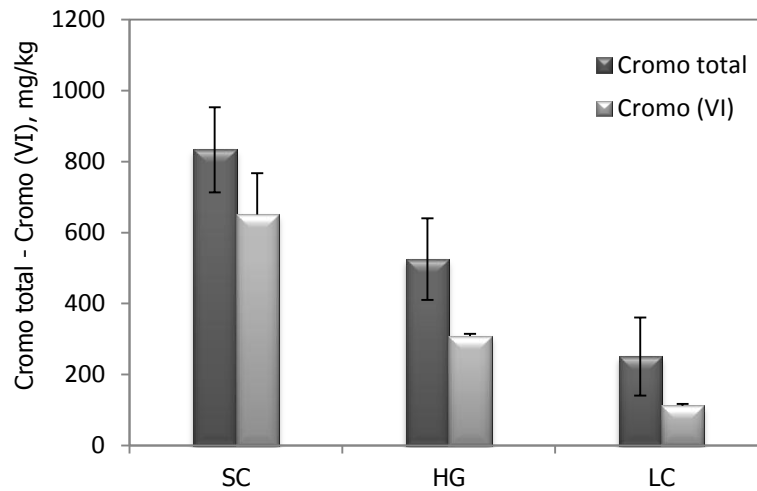


Figura 17. Cromo total y cromo hexavalente en los suelos afectados por inundación. Chía – Cundinamarca.

Para el suelo SC, HG y LC se observó alta concentración de cromo total, según el CONAMA (ver Anexo 1) y la comunidad de Madrid (ver Anexo 2) esto indicó que para estos tres puntos existe contaminación por cromo en el suelo, ya que sobrepasa los niveles genéricos de referencia lo cual significa, que es necesario hacer tratamiento de remediación. Todo esto debido a las industrias de cuero curtido que se encuentran aguas arriba de Chía, donde se hacen vertimientos de lavados en el río Bogotá, sin ningún previo tratamiento y al momento de la inundación el metal queda adherido al suelo afectándolo en gran manera.

Para cromo hexavalente según la norma mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 (ver Anexo 3), para los dos primeros puntos de muestreo SC y HG sobrepasa las concentraciones de referencia totales para este metal, lo que indica que se debe implementar una estrategia de remediación.

La figura 18 muestra las concentraciones de los elementos menores en el suelo afectado y no afectado.

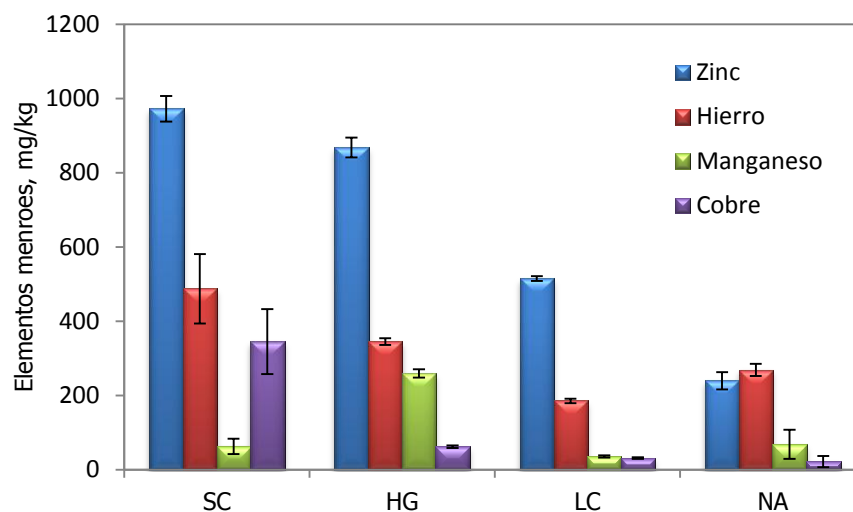


Figura 18. Elementos menores presentes en los suelos afectados por inundación. Chía – Cundinamarca.

Los niveles de estos micronutrientes no afectan las recomendaciones de fertilización. Niveles muy altos de micronutrientes no indican necesariamente que una planta será afectada por toxicidad del micronutriente específico. Por ejemplo, análisis de suelos con niveles de zinc arriba de 10.000 ppm (mg/kg), cobre arriba de 2000 son tóxicos para una planta en la mayoría de los casos y niveles de manganeso que excedan 2000 ppm (mg/kg), acompañado con pH de suelos de 5.2, podrían resultar en toxicidad de manganeso⁴².

Según los niveles genéricos de referencia de la comunidad de Madrid, el zinc y el manganeso están dentro de los valores aceptables para todos los puntos muestreo SC, HG, LC y NA, en el caso del cobre también se encuentran los suelos dentro de los valores aceptables excepto el punto SC que sobrepasa el nivel propuesto con un valor de 345 mg/kg.

Según el IGAC²², las concentraciones normales en tejido vegetal del hierro está comprendido entre 100 y 500 mg/kg, lo que indica que la concentración que tiene el suelo no es perjudicar para las plantas ya que lo pueden absorber y asimilar de buena forma, lo

⁴²DIVISION OF AGRICULTURE. Como interpretar los resultados de los análisis de suelos. Hierro y Manganeso. {6 de mayo de 2013}. Disponible en: http://www.uaex.edu/Other_Areas/publications/PDF/FSA-2118SP.pdf

mismo para el manganeso donde las concentraciones normales para tejido vegetal son de 20 a 300 mg/kg y las concentraciones de los 4 puntos de muestreo de suelo están comprendidos dentro de estos valores.

7.1.3. Caracterización biológica. A continuación se muestran los resultados del diagnóstico del suelo afectado por inundación.

La figura 19 muestra una representación del número de colonias de hongos de algunas muestras de suelo por replicas (R1, R2 y R3).

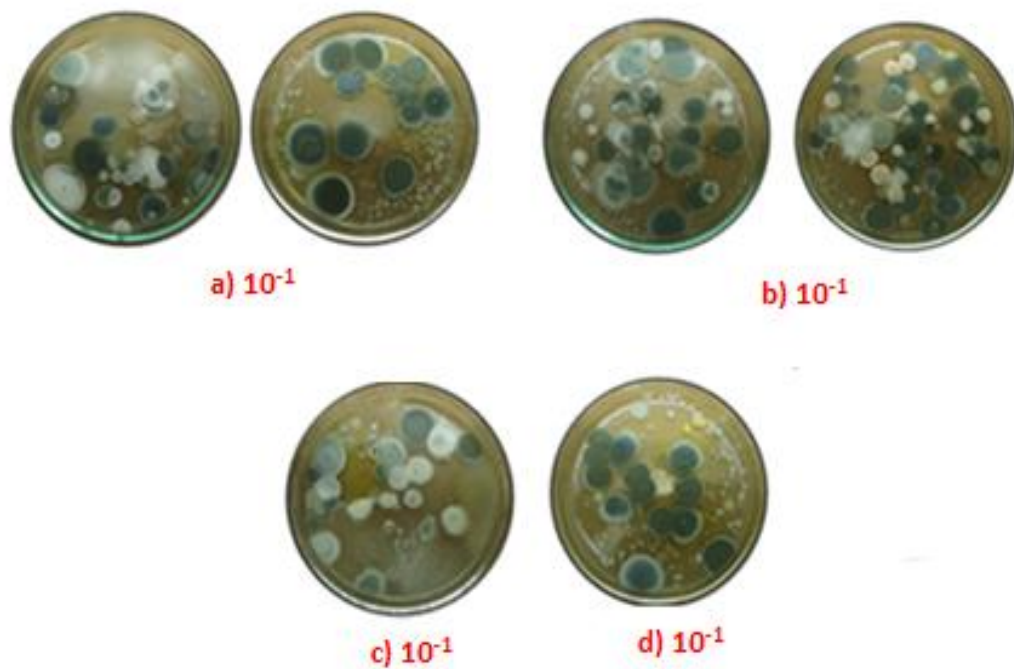


Figura 19. Conteo de hongos totales. a) S.A (vía Suba –Cota) R2- R3 b) Suelo N.A (vía Chía Cajicá) R3- R2 c) S.A (La Chávela) R2 d).S.A (Hato Grande) R1.

²² INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Laboratorios de suelos. Agrólogo: Daniel Ortega Rey. {23 de abril de 2013}. Disponible en. www.state.gov/documents/organization/57159.xls

La figura 20 muestra el promedio de unidades formadoras de hongos por gramo de suelo seco para cada suelo.

Para los suelos afectados, el resultado promedio de las tres replicas para SC fue de 526.7 unidades formadoras de colonias. Para el suelo HG el promedio total de hongos fue de 4.359. El suelo LC tuvo un resultado de hongos de 1.925 y para el suelo N.A el resultado promedio de hongos fue de 4.545.

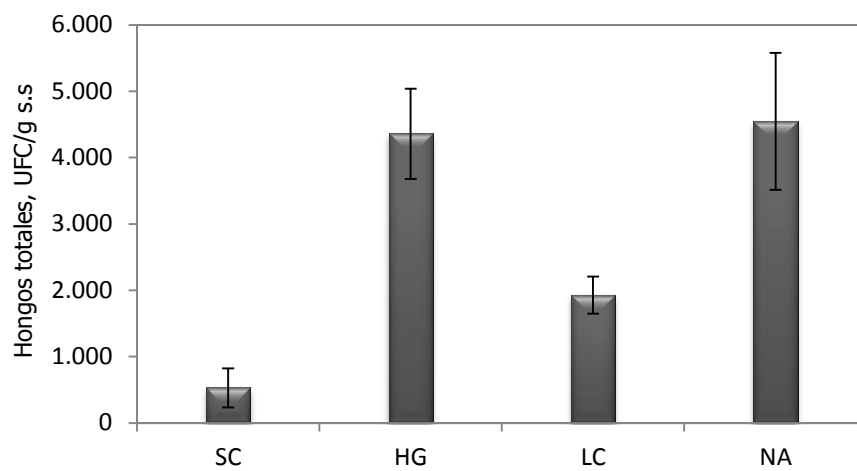


Figura 20. Hongos totales en los suelos afectados por inundación. Chía – Cundinamarca.

Analizando estos resultados se puede ver que el suelo contiene gran cantidad de población microbiana, donde los hongos presentan diferentes tipos fisiológicos. Fue importante para su desarrollo, características como el pH y la adición de antibiótico.

La figura 21 muestra una representación del número de colonias de bacterias de dos suelos afectados por la inundación por replicas (R1, R2 y R3) con dilución de 1×10^{-5} .

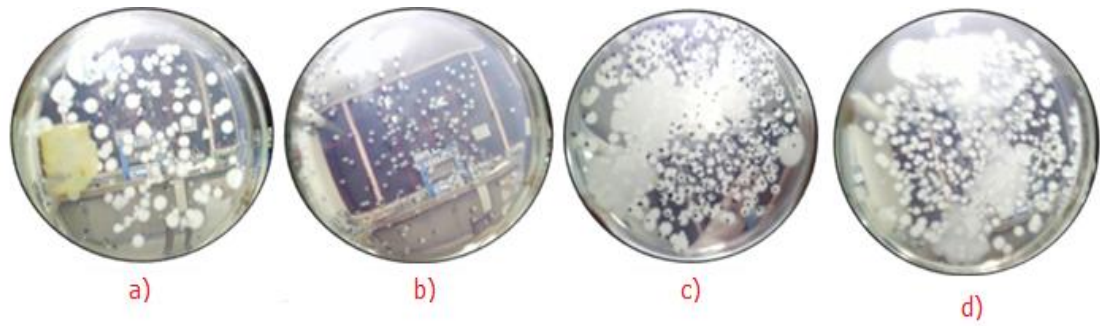


Figura 21. Conteo de bacterias totales. a) S.A (Hato Grande) R1 b) S.A (Hato Grande) R2 c) S.A (Hato Grande) R3 d) S.A (La Chávella) R1.

La figura 22 muestra el promedio de unidades formadoras de bacterias por gramo de suelo seco para cada suelo.

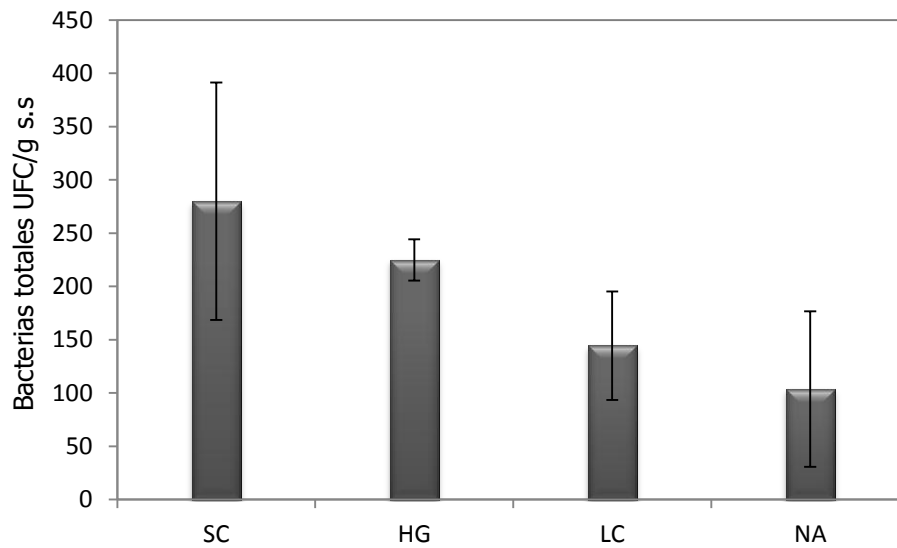


Figura 22. Bacterias totales en los suelos afectados por inundación. Chía – Cundinamarca.

Para el (S.A) el primer punto de muestreo SC el resultado promedio de bacterias en las tres replicas fue de 280.000, para HG se obtuvo un promedio de 224.786 bacterias. Para LC el promedio fue de 144.444 y por ultimo para el suelo N.A se obtuvo un resultado de 103.636 unidades formadoras de colonias por gramo de suelo seco.

Comparando los resultados de hongos totales y bacterias totales se puede ver claramente que se obtuvieron más unidades formadoras de colonias por gramo de suelo seco de bacterias, ya que éstas obtienen su fuente de carbono a partir de compuestos orgánicos. Así mismo, la materia orgánica produce mayor cantidad de estas. El suelo afectado por inundación tiene mayor porcentaje de bacterias en comparación de suelo no afectado, el cual tiene bajo porcentaje de materia orgánica.

Al realizar la comparación de estos microorganismos se puede determinar que los hongos tienen un desarrollo más lento.

7.2. MÉTODOS DE RECUPERACIÓN DE SUELOS AFECTADOS POR INUNDACIÓN.

7.2.1. Remediación química. Fotocatálisis para remoción de cromo (VI).

A continuación se muestran los resultados del tratamiento químico del suelo afectado por inundación.

En la figura 23 muestra el efecto de la concentración de cromo hexavalente para suelo SC, HG y LC.

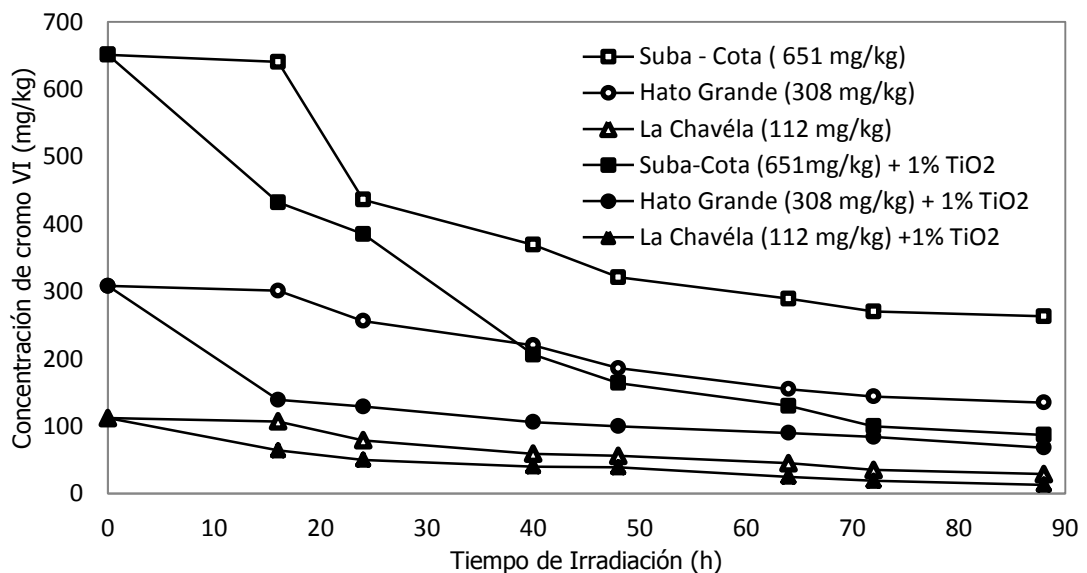


Figura 23. Influencia de la concentración de Cr (VI) en la disminución fotocatalítica en el suelo después de la inundación en presencia y ausencia de TiO_2 a tres suelos diferentes.

La figura 23 muestra los resultados obtenidos para la disminución cuando la concentración de Cr(VI) en el suelo varió entre 651.0 – 308.0 y 112.0 mgkg⁻¹, utilizando 1,0% (w/w) de TiO₂ y expuesta a la radiación UV artificial. La disminución sigue una cinética de primer orden con una vida media de aproximadamente 24 horas a todos los niveles de concentración de Cr (VI). En la ausencia de catalizador, hay un efecto fotólisis después de 10,0 horas de tratamiento hasta 88 horas de irradiación. La disminución de Cr(VI) en ausencia del catalizador puede ser debido a la fotólisis y la presencia de especies de hierro que promueven la conversión de iones. Los resultados de este tratamiento químico en el suelo afectado por cromo, muestran que con carga de 1% de catalizadores suficiente para alcanzar eficiencias de alrededor de 50% para la disminución del Cr (VI).

La figura 24 determina el efecto de la carga de catalizador en Cr (VI) la disminución en el suelo para el suelo SC.

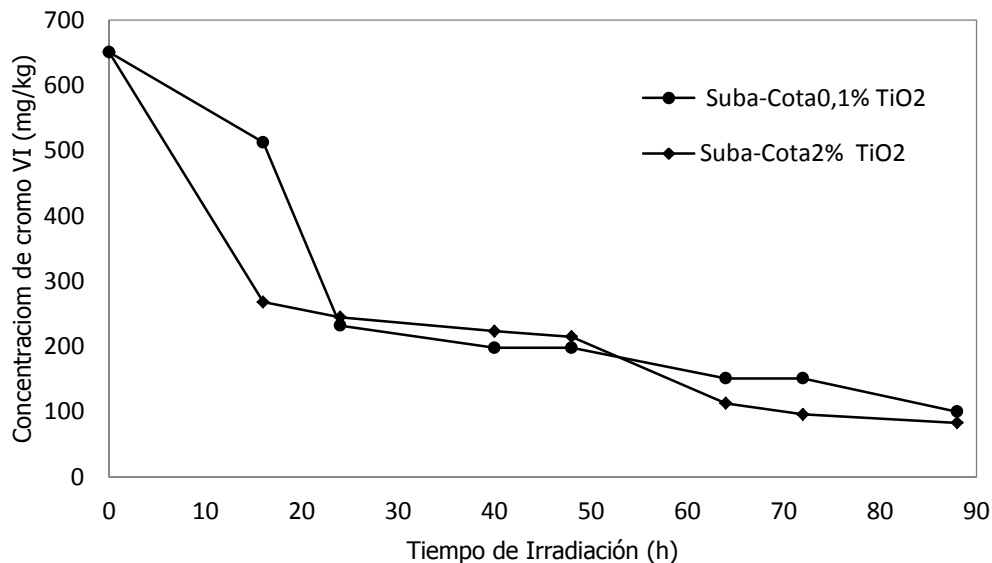


Figura 24. Efecto de la carga del catalizador en la disminución de Cr(VI) en el suelo Suba-Cota después de la inundación (651,0 mgkg⁻¹).

Los estudios se desarrollaron con el suelo de Vía Suba-Cota (651,0 mgkg⁻¹). Los cambios en la concentración de TiO₂ de 0,1 a 2,0% (w/w) no tienen ningún efecto significativo en la disminución de cromo después de 24 horas, como lo muestra la figura 24. Los resultados indican que con la carga de catalizador de 2,0% hay una disminución en la

concentración de Cr(VI). Es claro que antes de 24 horas hay una disminución significativa en ambos suelos alrededor de 70% de concentración del contaminante.

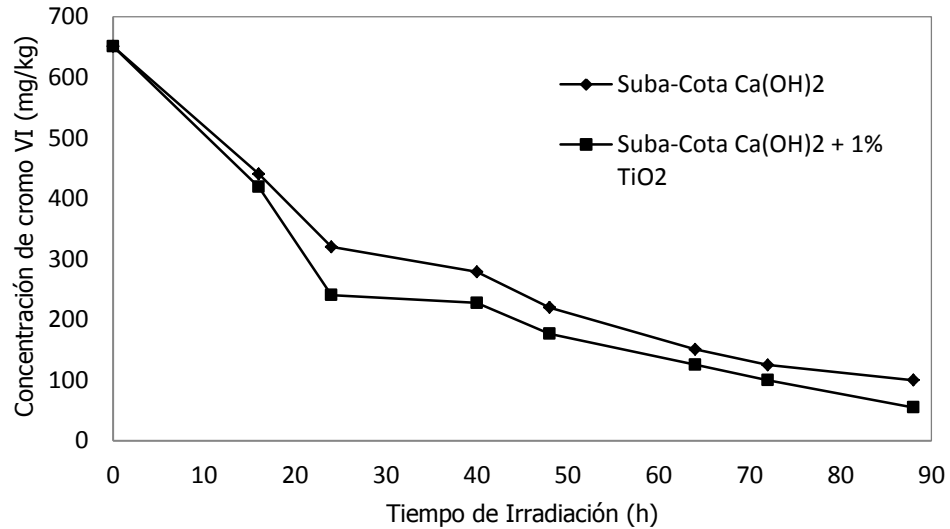


Figura25. Influencia de la alcalinidad en la disminución fotocatalítica de Cr(VI) en el suelo después de la inundación en la presencia y ausencia deTiO₂.

La figura 25 muestra que las condiciones alcalinas mediante la adición de Ca(OH)₂ para el suelo no tiene un efecto significativo en la fotorreducción de Cr (VI) en comparación con el suelo sin catalizador. Esto da como resultado que, el mecanismo limitante para la disminución de cromo hexavalente mediante fotocátalisis heterogénea está más relacionado con las condiciones adecuadas del a movilidad del ión metálico a la superficie del catalizador, o el aumento del transporte del contaminante.

La figura 26 muestra el efectode remediación a diferente profundidad del suelo.

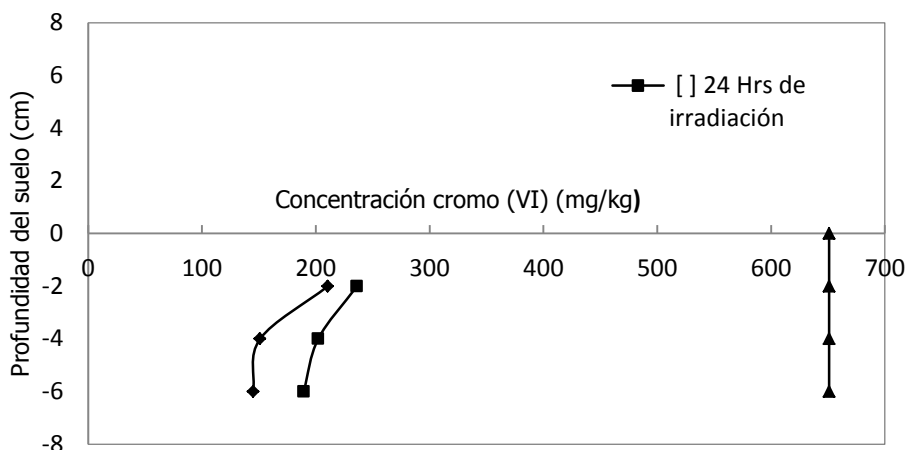


Figura 26. Disminución fotocatalítica de Cr(VI) en el suelo después de la inundación a diferentes profundidades.

Una de las limitantes del proceso fotocatalítico es el espesor óptico. En el caso del suelo, el proceso tiene una aplicación limitada, ya que actúa sólo en la parte más superior. Como se muestra en la figura 26, la disminución de Cromo (VI) en el suelo contaminado (Subacota) expuesto a radiación UV artificial presenta que después de 48 horas de radiación la concentración del contaminante en los 2,0 cm superiores del suelo es alrededor de 200 mg/kg (alrededor de 60% de disminución). A 4,0 cm de profundidad, la disminución de los valores de concentración de cromo alcanza alrededor del 80% de la concentración inicial causada por la inundación del suelo.

El proceso *in situ* fue fácil y la vida media de Cromo (VI) no supera 20 horas en las mejores condiciones.

Por otro lado, a diferentes profundidades después 48 horas de radiación la concentración del contaminante en los 2,0 cm superiores del suelo fue aproximadamente 200 mg / kg (o de alrededor de 60% de disminución), la disminución de los valores de cromo alcanza alrededor del 80% de la concentración inicial de contaminante presente en el suelo. A mayor profundidad existe un efecto notable de transporte, que puede referirse a la movilidad de cromo hexavalente hacia la superficie.

7.2.2. Remediación biológica. (Fitorremediación con pasto *Rye grass*). La figura 27 muestra el desarrollo del tratamiento biológico del suelo. En ella se ve un

crecimiento lento en el suelo no afectado y más acelerado en los suelos afectados por la inundación. El suelo SC es una costra dura, seca, cuarteada y agrietada debido a la presencia de sodio. Los resultados del seguimiento realizados se muestran en la figura 28 donde se ve que el crecimiento fue más lento para el suelo no afectado por inundación.

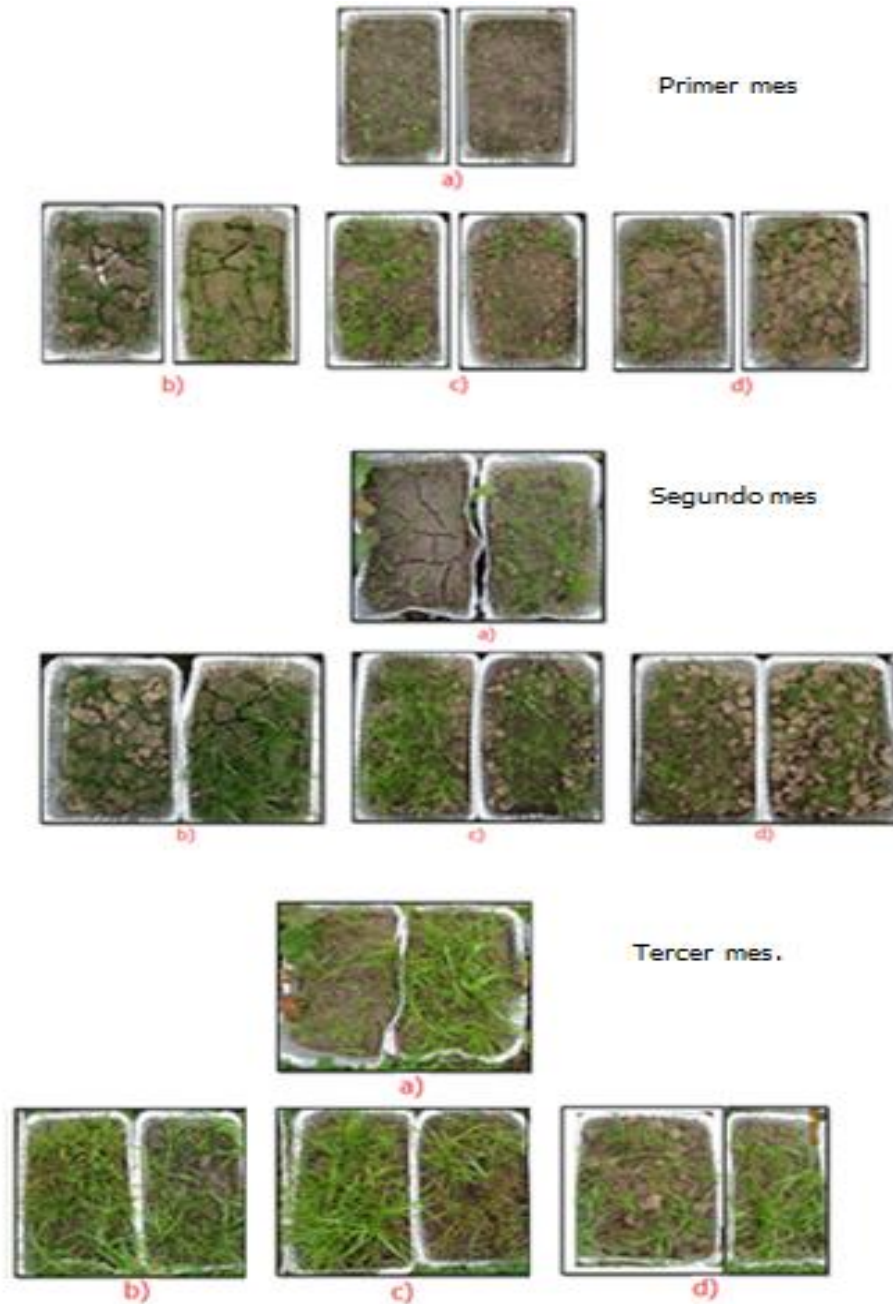


Figura 27. Tratamiento biológico de suelo contaminado con cromo mediante fitorremediación con *Rye grass*.
a) Suelo N.A (vía Chía Cajicá) b) S.A (vía Suba –Cota) c) S.A (La Chávella) d) S.A (Hato Grande).

En la figura 28 se muestran los niveles de crecimiento de los pastos tratados en el primer y tercer mes.

Se puede ver el crecimiento significativo del pasto *Rye grass* en cuanto al largo de la hoja (LH) y al crecimiento del largo de la raíz (LR) para cada tipo de suelo.

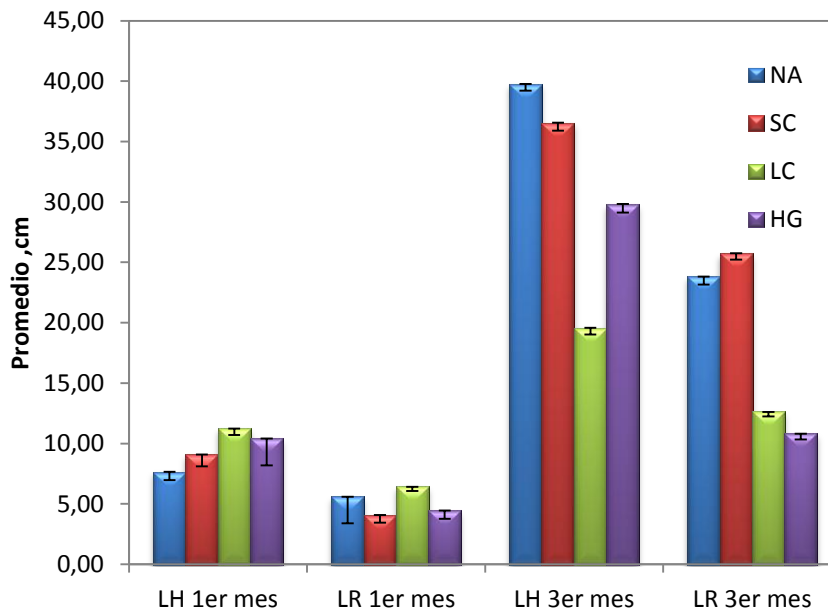


Figura 28. Crecimiento del pasto *Rye grass* al primer y tercer mes. Tratamiento biológico.

En el desarrollo de la fitorremediación en el tercer mes se apreció un mayor crecimiento del pasto en todos los suelos al igual que en sus raíces. En especial, en el suelo NA se reflejó un crecimiento más lento debido a la compactación que presenta el suelo por la humedad. Las características físicas del suelo SC en el primer mes, no afectaron el crecimiento del pasto.

La figura 29 muestra el gran crecimiento del sistema radicular en el tercer mes para todos los suelos.



Figura 29. Tratamiento biológico de pasto contaminado con cromo mediante remediación con *Rye grass* en el 3er mes.

La figura 30 muestra la disminución que presenta el cromo después del tratamiento biológico en SC, HG y LC.

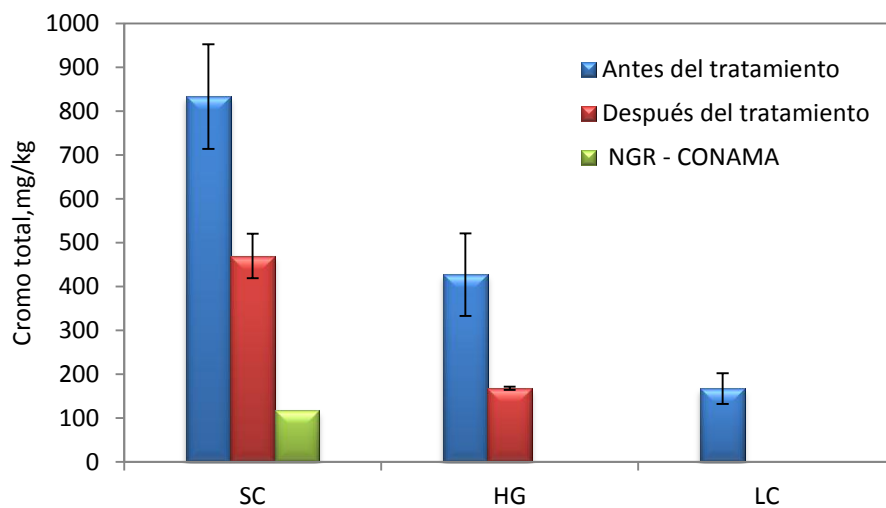


Figura 30. Concentración de cromo total (Cr) después del tratamiento biológico en el suelo de Chía – Cundinamarca.

Se puede analizar que el tratamiento biológico sembrando pasto *Rye grass*, en el suelo SC redujo la concentración de cromo en un 46% de la concentración inicial, HG se redujo en un 61% y el suelo LC se redujo en un 100% la concentración del cromo total. A pesar

que se mostró una considerable reducción del contaminante, este no alcanza a cumplir con los niveles genéricos de referencia propuestos por el CONAMA (Ver Anexo 1).

La figura 31 muestra la concentración del zinc en todos los suelos con el uso del tratamiento biológico (fitorremediación).

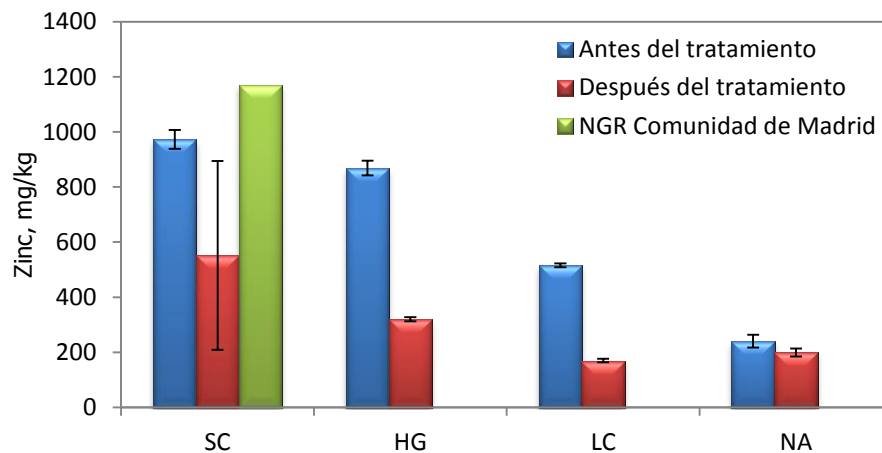


Figura 31. Concentración de zinc (Zn) después del tratamiento biológico en el suelo de Chía – Cundinamarca.

Para los suelos afectados, el suelo SC redujo la concentración inicial de zinc en un 43%, el suelo HG se redujo en un 63%, el suelo LC tuvo una reducción del 67% y por ultimo para el suelo NA la reducción se presentó en un 17%. Todos estos valores se encuentran dentro de los niveles genéricos de referencia propuestos por la Comunidad Madrid, por tal motivo no existe afectación al suelo (Ver Anexo 2).

La disminución de la concentración de zinc se debe a que este elemento es fácilmente adsorbido por las raíces de la planta, también interfiere la presencia de componentes minerales y por el alto contenido de la materia orgánica que genera la formación de complejos de alta estabilidad con los ácidos húmicos y fulvicos.

La figura 32 muestra la concentración de hierro en todos los suelos con el uso del tratamiento biológico (fitorremediación).

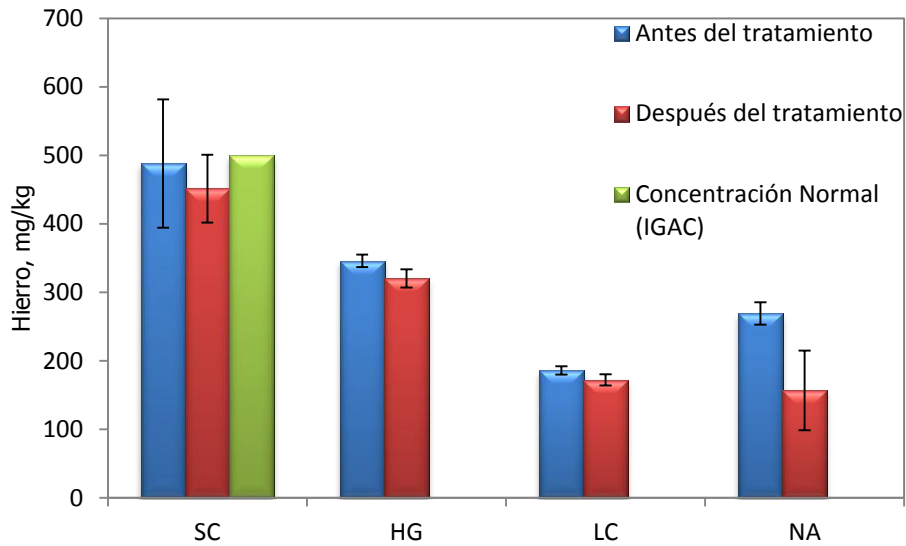


Figura 32. Concentración de hierro (Fe) después del tratamiento biológico en el suelo de Chía – Cundinamarca.

Para los suelos afectados, el suelo SC redujo la concentración inicial de hierro en un 7.6%, el suelo HG se redujo en un 7.4% al igual que el suelo LC y por último para el suelo NA la reducción se presentó en un 42%. Todos estos valores se encuentran dentro de las concentraciones normales propuestas por el IGAC²² por tal motivo no existe afectación al suelo.

La Figura 33 muestra la concentración de manganeso para todos suelos con el uso del tratamiento biológico (fitorremediación).

²² INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Laboratorios de suelos. Agrólogo: Daniel Ortega Rey. {23 de abril de 2013}. Disponible en. www.state.gov/documents/organization/57159.xls

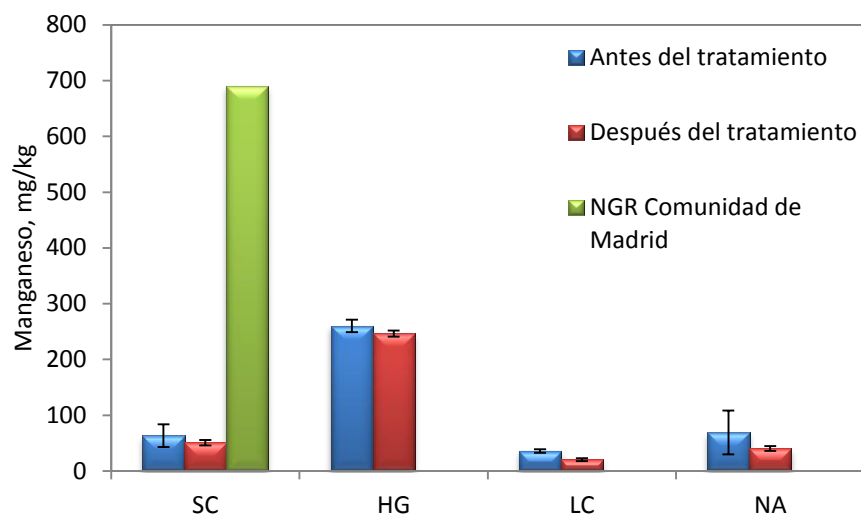


Figura 33. Concentración de manganeso (Mn) después del tratamiento biológico en el suelo de Chía – Cundinamarca.

Para los suelos afectados, el suelo SC redujo la concentración inicial de manganeso en un 19%, el suelo HG se redujo en un 5.1%, el suelo la LC se redujo en un 43% y por ultimo para el suelo NA la reducción que presentó fue de 41%. Todos estos valores se encuentran dentro de los niveles genéricos de referencia propuestos por la Comunidad Madrid, por tal motivo no existe afectación al suelo (Ver Anexo 2).

La reducción de la concentración de manganeso se debe a que el pH de las muestras es ácido como se muestra en la figura 35 aumentando la solubilidad y disponibilidad de este elemento, causando que la fracción disponible del elemento disminuya al ser absorbida por la planta.

La figura 34 muestra la concentración de cobre para todos suelos con el uso del tratamiento biológico (fitorremediación).

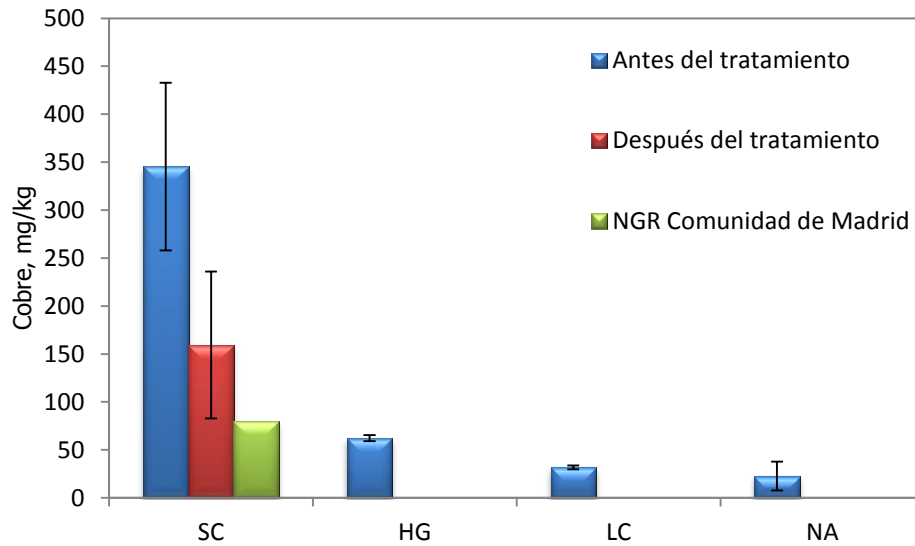


Figura 34. Concentración de cobre (Cu) después del tratamiento biológico en el suelo de Chía – Cundinamarca. Para los suelos afectados, el suelo SC redujo la concentración inicial de cobre en un 54%, para el suelo HG, LC y para el suelo NA se presentó una reducción del 100%. Para el primer punto Vía Suba – Cota se presenta valores superiores a los niveles genéricos de referencia propuestos por la Comunidad Madrid (Ver Anexo 2). Se necesita más tiempo de remediación para este metal en este suelo.

La figura 35 muestra la variación que tuvo el pH en el suelo afectado y no afectado con el tratamiento biológico (fitorremediación).

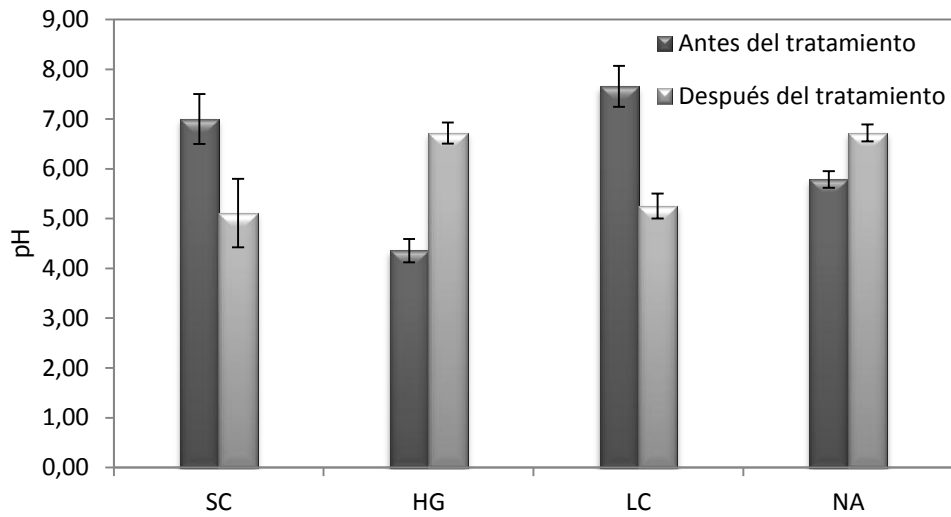


Figura 35. pH después del tratamiento biológico. Fitorremediación.

Estos resultados de pH indican un suelo ácido por tal motivo se ve la disminución en cuanto a los elementos menores.

7.2.3. Remediación física (arena y *Rye grass*). La figura 36 muestra el desarrollo del tratamiento donde se ve un gran crecimiento del pasto, pero se refleja un desarrollo lento para el suelo no afectado, debido a la compactación que presenta, el crecimiento de la hoja, junto la raíz muestra un buen desarrollo del tratamiento para el primer y tercer mes como se muestra en la figura 37.

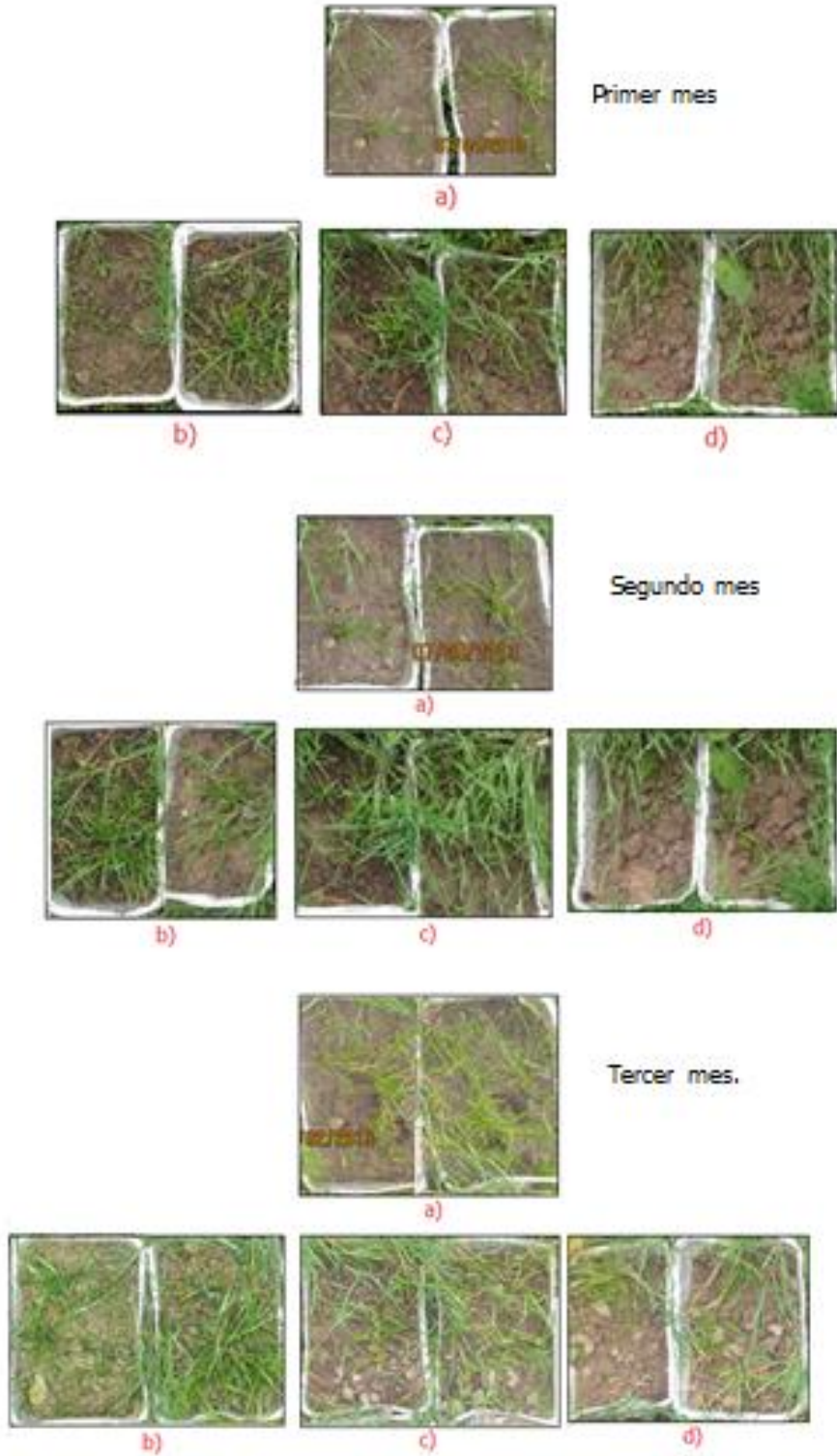


Figura 36. Tratamiento físico de suelo contaminado con cromo mediante fitorremediación con arena y *Rye grass*. a) Suelo N.A (vía Chía Cajicá) b) S.A (vía Suba –Cota) c) S.A (La Chávela) d) S.A (Hato Grande).

En la figura 37 se muestran los niveles de crecimiento de los pastos tratados en el primer y tercer mes en el tratamiento físico.

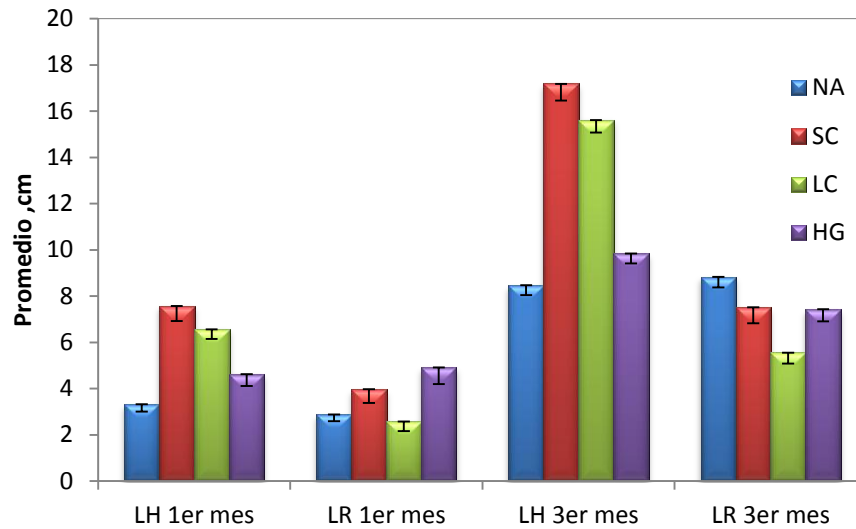


Figura 37. Crecimiento del pasto *Rye grass* al primer y tercer mes. Tratamiento físico.

Se puede ver un crecimiento lento del pasto en el suelo NA a comparación con el suelo afectado SC, LC y HG donde fue más estable y similar el crecimiento tanto en su raíz como en su hoja.

La raíz es extensa como se refleja en la figura 38 por tal motivo se absorbe mejor el contaminante.



Figura 38. Tratamiento Físico. Crecimiento de la raíz.

La figura 39 muestra la concentración de cromo total aplicando el tratamiento físico (arena y *Rye grass*).

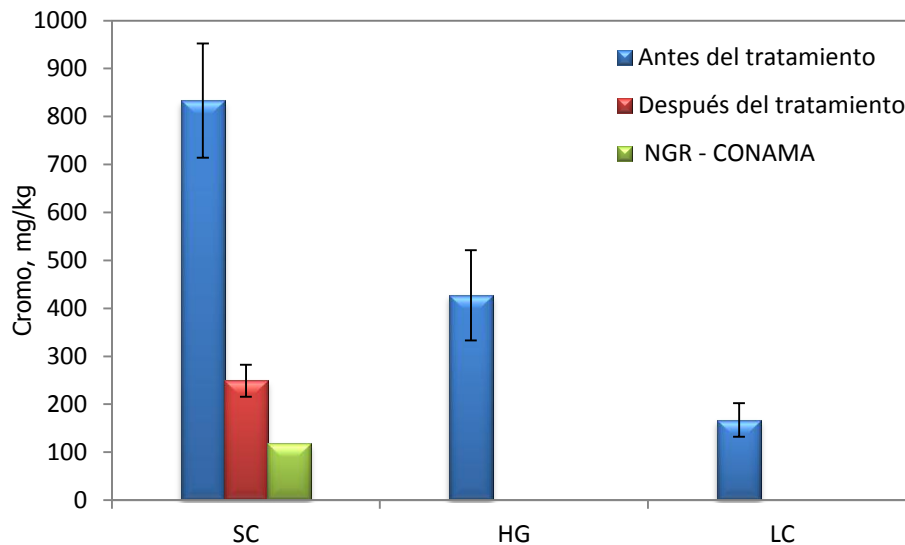


Figura 39. Concentración de cromo total (Cr) después del tratamiento físico en el suelo de Chía – Cundinamarca.

Para los suelos afectados, el suelo SC redujo la concentración inicial de cromo total en un 70%, para el suelo HG y la LC se presentó una reducción del 100%. Para el primer punto Vía Suba – Cota se presenta valores superiores a los niveles genéricos de referencia propuestos por el CONAMA(Ver Anexo 1). Se necesita más tiempo de remediación para este metal en este suelo.

La figura 40 muestra la concentración de zinc aplicando el tratamiento físico (arena y *Rye grass*).

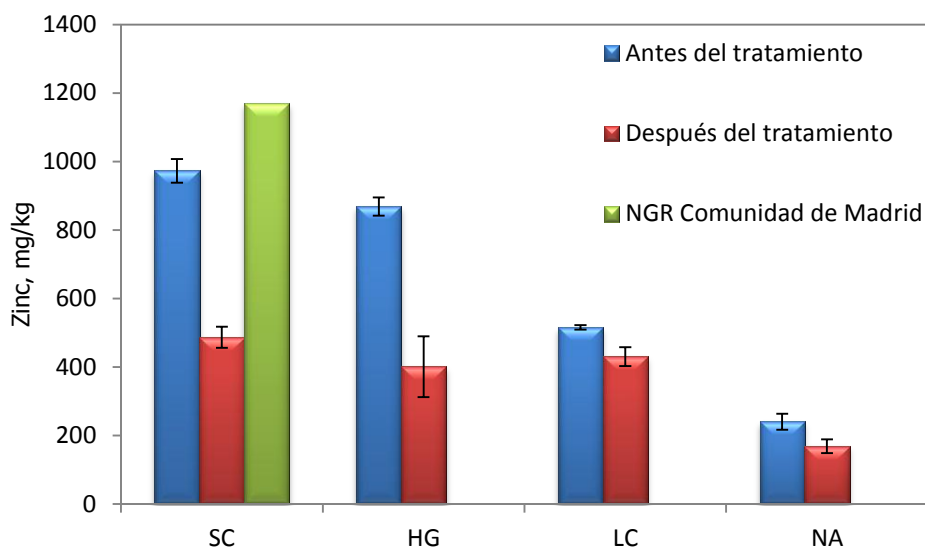


Figura 40. Concentración de zinc (Zn) después del tratamiento físico en el suelo de Chía – Cundinamarca.

Para los suelos afectados, el suelo SC redujo la concentración inicial de zinc en un 50%, el suelo HG se redujo en un 54%, el suelo la LC se redujo en un 16% y por ultimo para el suelo NA la reducción que presentó fue de 30%. Todos estos valores se encuentran dentro de los niveles genéricos de referencia propuestos por la Comunidad Madrid, por tal motivo no existe afectación al suelo (Ver Anexo 2).

La disminución de zinc se debe a que este elemento es fácilmente adsorbido por las raíces de la planta, también interfiere la presencia de componentes minerales y por el alto contenido de la materia orgánica que genera la formación de complejos de alta estabilidad con los ácidos húmicos y fulvicos, la adición de arena favorece que el contenido sea bajo debido a que produce una alta movilización del elemento, también la disminución de la concentración de este elemento se debe posiblemente a la lixiviación o lavado del suelo al momento del riego.

La figura 41 muestra la concentración de hierro aplicando el tratamiento físico (arena y *Rye grass*).

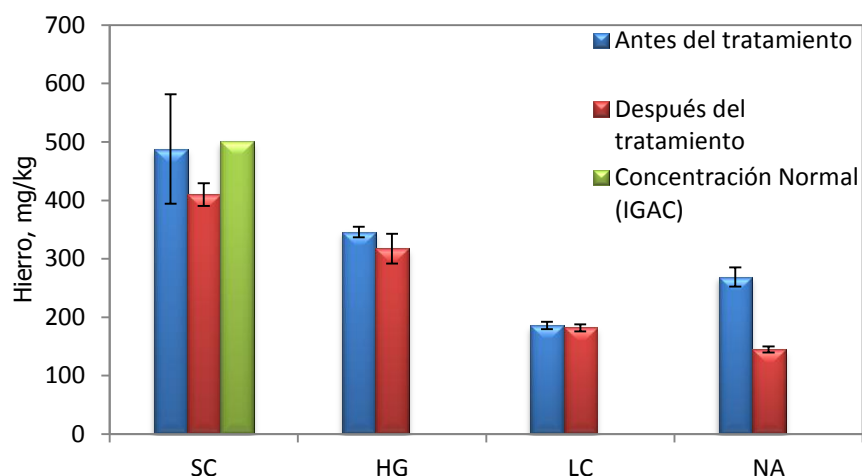


Figura 41. Concentración de hierro (Fe) después del tratamiento físico en el suelo de Chía – Cundinamarca.

Para los suelos afectados, el suelo SC redujo la concentración inicial de hierro en un 16%, el suelo HG se redujo en un 8.2%, el suelo la LC se redujo en un 2.1% y por ultimo para el suelo NA la reducción que presentó fue de 46%. Todos estos valores se encuentran dentro de las concentraciones normales propuestas por el IGAC, por tal motivo no existe afectación al suelo (Ver Anexo 2).

La figura 42 muestra la concentración de manganeso aplicando el tratamiento físico (arena y *Rye grass*).

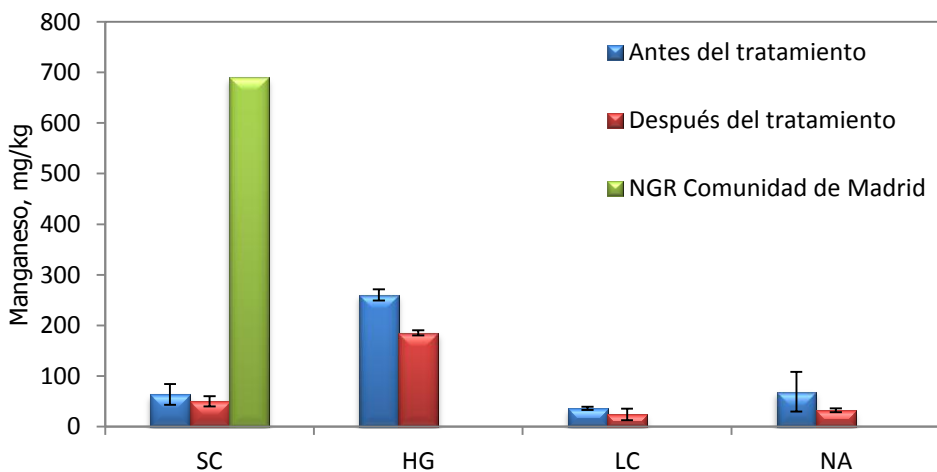


Figura 42. Concentración de manganeso (Mn) después del tratamiento físico en el suelo de Chía – Cundinamarca.

Para los suelos afectados, el suelo SC redujo la concentración inicial de manganeso en un 21%, el suelo HG se redujo en un 29%, el suelo la LC se redujo en un 33% y por ultimo para el suelo NA la reducción que presentó fue de 53%. Todos estos valores se encuentran dentro de los niveles genéricos de referencia propuestos por la Comunidad Madrid, por tal motivo no existe afectación al suelo (Ver Anexo 2).

La reducción de la concentración de manganeso se debe a que el pH del suelo es ácido como se muestra en la figura 44 aumentando la solubilidad y disponibilidad de este elemento, causando que la fracción disponible del elemento disminuya al ser absorbida por la planta, adicional a esto la adición de arena juega un papel importante ya favorece que le contenido de este elemento sea bajo debido a que ayuda a que exista una alta movilización de este elemento.

La figura 43 muestra la concentración de cobre aplicando el tratamiento físico (arena y *Rye grass*).

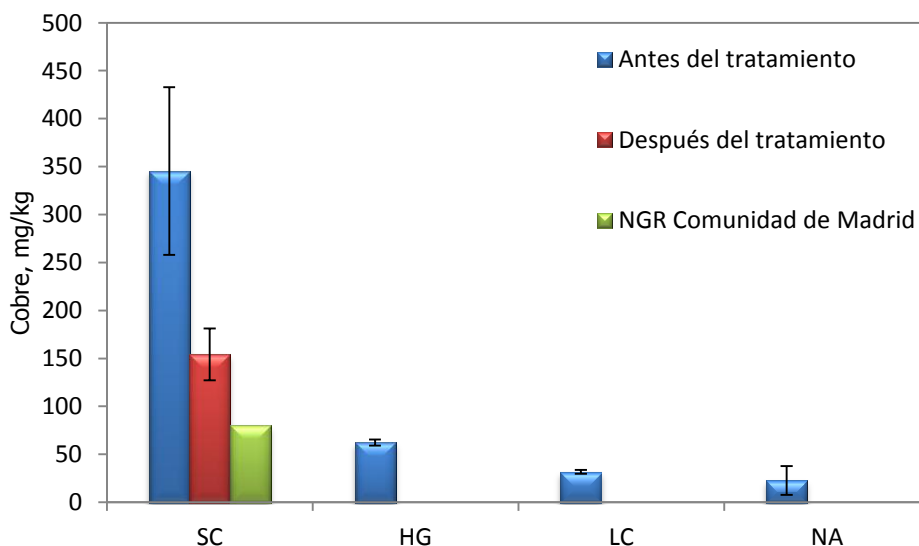


Figura 43. Concentración de cobre (Cu) después del tratamiento físico en el suelo de Chía – Cundinamarca.

Para los suelos afectados, el suelo SC redujo la concentración inicial de cobre en un 55%, el suelo HG, LC y el suelo NA presentaron una reducción del 100%. Los valores del suelo Vía Suba – Cota están por fuera de los niveles genéricos de referencia propuestos por la

Comunidad Madrid, por tal motivo toca dar más tiempo de remediación al este suelo (Ver Anexo 2).

Esta reducción en la concentración de cobre se debe a la presencia de materia orgánica y a la arena que se adiciono a las muestras de suelo, estos suelos presentaron alto contenido de materia orgánica la cual absorbió este elemento y la arena produce una alta movilización ayudando a disminuir la concentración de este elemento.

En la figura 44 se muestra el comportamiento del pH durante el tratamiento físico (arena y *Rye grass*). En todos los suelos.

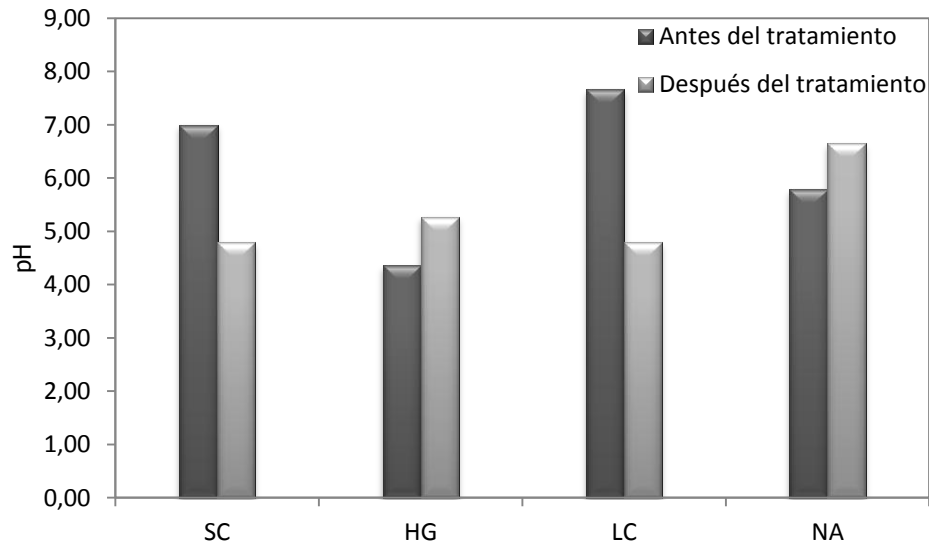


Figura 44. pH después del tratamiento físico.

Estos resultados de pH indican un suelo ácido por tal motivo se ve la disminución en cuanto a los elementos menores.

8. ESTRATEGIA DE RECUPERACIÓN MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE FICHAS DE MANEJO.

Se realizó la formulación de la estrategia para tratamiento de suelos contaminados por cromo (Cr) ya que fue el metal pesado más representativo durante el desarrollo del proyecto. Para tal fin se elaboró una ficha de manejo ambiental de acuerdo a la planteada por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca- CAR⁴³.

⁴³CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA. Sistema de Gestión Ambiental Municipal. {24 de abril de 2013}. Disponible en. <http://www.car.gov.co/index.php?idcategoria=1984>

9. CONCLUSIONES.

Se presentó deficiencias de nutrientes como el potasio, calcio, magnesio y nitrógeno, por la acidez del suelo y por la gran cantidad de materia orgánica, en especial HG y el suelo NA.

Para los suelos arcillosos se presentó una costra dura, seca y cuarteada lo que demostró gran susceptibilidad a la erosión, debido a la concentración de sodio.

No hubo presencia de metales pesados como el mercurio, plomo y cadmio en ninguno de los suelos afectados y no afectados por la inundación del río Bogotá.

Se evidenció un gran contenido de materia orgánica lo cual se vio como una afectación positiva al suelo ya que se incrementó el crecimiento de las plantas, se mejoró considerablemente la actividad biológica en cuanto a las unidades formadoras de colonias de bacterias y hubo un mayor contenido de fósforo el cual aportó un buen desarrollo para la vegetación.

Se presentó alta concentración de cromo total en los suelos afectados sobrepasando los niveles genéricos de referencia propuestos por el CONAMA y por la Comunidad de Madrid, en el suelo NA no se observó presencia de este contaminante.

Para los elementos menores se evidenció concentraciones normales de hierro, manganeso y zinc para el suelo NA. Para los suelos SC, HG y LC se mostró mayor concentración pero estos valores se encontraron dentro de los niveles genéricos de referencia lo cual no indicó contaminación o afectación al suelo, este incremento fue causado por el gran contenido de materia orgánica.

El pasto *Rye grass* presentó un crecimiento significativo en cuanto a sus hojas y a su raíz, lo cual permitió una mejor absorción del contaminante (cromo) en el caso de tratamiento biológico y tratamiento físico.

De acuerdo al tratamiento biológico con fitorremediación y el tratamiento físico con arena, el pasto *Rye grass* sirvió para extraer altas concentraciones de cromo en el suelo con características ácidas y alcalinas.

De acuerdo al tratamiento biológico y físico la concentración de cromo en el suelo disminuyó en gran manera por la absorción que realizó el pasto y por la lixiviación, pero sus concentraciones finales no entran en los niveles genéricos de referencia propuestos por el CONAMA y por la Comunidad de Madrid.

Según los resultados obtenidos por el tratamiento químico (fotocatálisis), la concentración de cromo hexavalente disminuyó considerablemente por un tiempo de 88 horas, cumpliendo estos valores con las concentraciones de referencia totales propuestos por la NORMA oficial Mexicana NOM -147- SERMARNAT/SSA1-2004.

La disminución de cromo (VI) con el tratamiento químico (fotocatálisis) alcanzó una disminución del 50% con una carga de catalizador de 1% y a la exposición de luz UV artificial para los suelos SC, HG y LC. Aunque con una carga de catalizador de 2% se evidencia que a las 24 horas hay una disminución del contaminante de alrededor de un 70%.

Las condiciones alcalinas en las que dispuso el suelo en el tratamiento químico (fotocatálisis) no tuvieron un efecto significativo en el contaminante en comparación con el suelo natural, es decir que no hay necesidad modificar el pH del suelo para alcanzar una mayor disminución.

De acuerdo al tratamiento químico (fotocatálisis), se pudo determinar que a mayor profundidad menor es la concentración del contaminante después del tratamiento debido a su movilidad, esto se explica ya que los metales pesados son lixiviados a niveles inferiores en pequeñas concentraciones. Lo que muestra que exista gran cantidad de metal en el horizonte superior decreciendo este en profundidad cuando la contaminación es antrópica.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el tratamiento biológico con fitorremediación y físico con arena, este último es más efectivo para la remoción de cromo, gracias a que la

arena mejora la estructura del suelo en cuanto a porosidad y compactación, permitiendo a las raíces de la planta una mejor absorción del contaminante.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el tratamiento biológico con fitorremediación y el tratamiento físico con arena, la concentración de cobre en el suelo disminuyó considerablemente por la absorción que realizó el pasto, pero sus concentraciones finales en el suelo SC no entran en los niveles genéricos de referencia propuestos por el CONAMA y por la Comunidad de Madrid.

La reducción de los elementos menores zinc, hierro, manganeso y cobre con el tratamiento biológico, se vio directamente relacionado con el pH (ácido) que aumentó la solubilidad y disponibilidad de estos elementos y el alto contenido de materia orgánica que generó la formación de complejos de alta estabilidad con los ácidos húmicos y fulvicos, facilitando a las raíces de la planta la absorción de estos elementos causando que la fracción disponible del elemento disminuyera al ser absorbida por la planta.

En el tratamiento físico la disminución de los elementos menores zinc, hierro, manganeso y cobre, se vio directamente relacionado con el pH, el alto contenido de materia orgánica y con la adición de arena, este favoreció que el contenido de los elementos fuera bajo, debido a que provocó una alta movilización de estos en el suelo y también la lixiviación o lavado de este al momento del riego.

10.RECOMENDACIONES.

Es necesario realizar un diagnóstico de las características físicas, químicas y biológicas del suelo y conocer el tipo de contaminante para seleccionar la especie de pasto que mejor se adapte a las condiciones en las que se encuentra el suelo para al fitorremediación.

Se recomienda que el tiempo de tratamiento biológico y tratamiento físico sea más prolongado hacia los 9 meses para lograr que los valores de concentración de cromo entren en los niveles genéricos de referencia propuestos por el CONAMA y por la Comunidad de Madrid.

Es necesario la adición de enmiendas agrícolas, con el objeto de aumentar el potasio y magnesio en el suelo y mejorar así su estructura.

Se recomienda mejorar el pH del suelo para evitar la solubilización de elementos tóxicos como el manganeso y cobre mediante la aplicación de cal agrícola, caliza u óxido de magnesio.

Se recomienda la adición de arena para mejorar la estructura del suelo en cuanto a la compactación y porosidad para lograr una mejor absorción del contaminante a través de suraíz.

11. ANEXOS

Anexo 1. Niveles genéricos de referencia para metales y otros elementos en suelos para la protección de la salud humana.

NIVELES GENÉRICOS DE REFERENCIA PARA METALES Y OTROS ELEMENTOS EN SUELOS PARA LA PROTECCIÓN DE LA SALUD HUMANA.				
ELEMENTO	INDUSTRIAL (mg/kg)	URBANO (mg/kg)	OTROS USOS DEL SUELO (mg/kg)	VR 90 (mg/kg)
Antimonio	290	29	3	
Arsénico	38	38	38	38
Cadmio	100	10	1	1
Cobalto	220	22	20	20
Cobre	3400	340	34	34
Manganeso	10000	8225	1318	1318
Cromo	2020	202	118	118
Mercurio	14	2	0,2	0,2
Molibdeno	300	30	3	3
Níquel	5200	520	52	52
Plata	60	6	0,6	0,2
Plomo	2620	262	58	58
Talio *				1
Vanadio	3410	341	174	147
Zinc	10000	2720	272	165

Fuente: Congreso Nacional el Medio Ambiente. CONAMA.

VR 90. Valores de referencia.

Anexo 2. Niveles genéricos de referencia para protección de la salud humana de metales pesados y otros elementos traza en suelos de la Comunidad de Madrid, obtenidos mediante aplicación de los criterios establecidos en el Anexo VII del Real Decreto 9/2005, de 14 de enero.

	Industrial (mg/kg)	Urbano (mg/kg)	Otros usos del suelo (mg/kg)	VR90 (mg/kg)
Antimonio	80 ^b	8 ^b	0,8	0,48
Arsénico	40	24 ^a	24 ^a	24
Bario	100.000 ^c	15.200	4.200	138
Berilio	13	2 ^a	2 ^a	2,1
Cadmio	300 ^b	30 ^b	3	0,22
Cobalto	1.500 ^b	150 ^b	15	12
Cobre	8.000 ^b	800 ^b	80	20
Cromo total	2.300 ^b	230	90	32
Estaño	100.000 ^c	46.730	46.730	4,45
Manganeso	33.900 ^b	3.90	690 ^a	690
Mercurio	15	7	5	0,065
Molibdeno	1.500 ^b	150 ^b	15	0,7
Níquel	15.600 ^b	1.560	405	21
Plata	500 ^b	50 ^b	5	0,12
Selenio	3.900 ^b	390	85	0,24
Plomo	2.700 ^b	270	75	30
Talio	30 ^b	3	2	0,39
Vanadio	3.700 ^b	370 ^b	37 ^a	37
Zinc	100.000 ^c	11.700 ^b	1.170	73

Fuente: Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio.

Anexo 3. Concentraciones de referencia totales por tipo de uso de suelo.

TABLA 1 Concentraciones de referencia totales (CR _T) por tipo de uso de suelo.		
Contaminante	Uso agrícola/residencial /comercial (mg/kg)	Uso industrial (mg/kg)
Arsénico	22	260
Bario	5 400	67 000
Berilio	150	1900
Cadmio	37	450
Cromo Hexavalente	280	510
Mercurio	23	310
Níquel	1 600	20 000
Plata	390	5 100
Plomo	400	800
Selenio	390	5 100
Talio	5,2	67
Vanadio	78	1000

Fuente: NORMA oficial Mexicana NOM -147- SERMARNAT/SSA1-2004.

Anexo 4. Ficha de manejo ambiental.

FICHA DE MANEJO AMBIENTAL	
PROGRAMA	Tratamiento de suelos contaminados por cromo (Cr) mediante la implementación de método biológico, físico y químico.
OBJETIVO	
Definir las pautas que se deben seguir para la recuperación de suelos productivos y/o ganaderos contaminados por cromo (Cr), para reestablecer la actividad productiva en estos suelos.	
METAS	
Disminuir la concentración de cromo presentes en el suelo.	
Establecer el procedimiento para eficiencia de los métodos.	
IMPACTOS A MANEJAR	
Alteración de la fertilidad del suelo.	
Alteraciones en las características físicas, químicas y biológicas del suelo.	
Contaminación por cromo.	
TIPO DE MEDIDA	Mitigación-Medida restauración
LOCALIZACIÓN Y/O BENEFICIADOS	
Agricultores y ganaderos de la zona de influencia.	
	
Fuente: AF Lopez-Vasquez, L.N Ramirez Q, E. Benavides-Contreras, R. López-Vásquez "In-situ Photocatalytic Reduction of Hexavalent Chromium in Contaminated Soil", IAENG, Jul 2013.	
REGISTRO FOTOGRÁFICO	

	
<p>Riberas del río Bogotá</p>	<p>Suelo afectado</p>
	
<p>Suelo afectado</p>	<p>Suelo afectado</p>
<p>DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA</p>	
<p>En la Sabana de Bogotá exactamente en el tramo aguas arriba de Chía el río rebasó las cotas de inundación afectando considerablemente los sectores de producción como el pastoreo de ganado, los cultivos permanentes de flores y semipermanentes (frutales), la ganadería lechera y la producción pecuaria que realiza manejo especial de galpones avícolas y granjas. Esto causo problemas en el suelo ya que el río tiene altas concentraciones de coliformes totales y contaminantes como cromo (Cr) que generan impactos negativos afectando considerablemente la economía campesina con repercusiones en la productividad nacional ya que no se puede hacer uso del recurso suelo.</p>	
<p>ACCIONES DE MANEJO</p>	
<p>Alternativa 1.</p>	
<p>Método Biológico – Fitorremediación (Gramínea <i>Rye grass</i>)</p>	
<p>1. Realizar el diagnóstico de las características del suelo afectado, determinando la concentración inicial de cromo, para conocer el grado de contaminación que presenta el suelo.</p>	

2. Comparar el resultado de concentración de cromo (Cr), para determinar si pasa los límites permisibles según normatividad vigente, (tomar como referencia las siguiente normas CONAMA (ver Anexo 1), la comunidad de Madrid (ver Anexo 2) y la NORMA oficial Mexicana NOM -147-SERMARNAT/SSA1-2004 (ver Anexo 3).
3. Sembrar gramínea *Rye grass* para la remoción de cromo.
4. Realizar riegos cada tercer día durante todo el ciclo de cultivo, para garantizar el crecimiento del pasto.
5. En caso de presentar plaga el cultivo aplicar insecticidas (la selección la selección del insecticida dependerá del tipo de plaga).
6. Indicar en una bitácora los resultados obtenido durante todo el proceso, para posterior análisis.

**Alternativa 2.
Método Físico – Adecuación del suelo con Arena y Gramínea *Rye grass***

Esta alternativa se utilizará en caso de que el suelo presente textura altamente arcillosa, la aplicación de arena tiene el objetivo de mejorar la estructura del suelo en cuanto a porosidad y compactación.

1. Realizar el diagnóstico de las características del suelo afectado, determinando la concentración inicial de cromo, para conocer el grado de contaminación que presenta el suelo.
2. Comparar el resultado de concentración de cromo (Cr), para determinar si pasa los límites permisibles según normatividad vigente (Tomar como referencia las siguiente normas CONAMA (ver Anexo 1), la comunidad de Madrid (ver Anexo 2) y la NORMA oficial Mexicana NOM -147-SERMARNAT/SSA1-2004 (ver Anexo 3).
3. Adicionar arena en una proporción 30:70 y homogenizar la muestra.
4. Sembrar gramínea *Rye grass* para la remoción de cromo.
5. Realizar riegos cada tercer día durante todo el ciclo de cultivo para garantizar el crecimiento del pasto.
6. En caso de presentar plaga el cultivo aplicar insecticidas (la selección la selección del insecticida dependerá del tipo de plaga).
7. Indicar en una bitácora los resultados obtenido durante todo el proceso, para posterior análisis.

**Alternativa 3.
Método Químico – Fotocatálisis**

1. Realizar el diagnóstico de las características del suelo afectado, determinando la concentración inicial de cromo, para conocer el grado de contaminación que presenta el suelo.
2. Comparar el resultado de concentración de cromo (Cr), para determinar si sobre pasa los límites permisibles según normatividad vigente (Tomar como referencia las siguiente normas CONAMA (ver Anexo 1), la comunidad de Madrid (ver Anexo 2) y la NORMA oficial Mexicana NOM -147-SERMARNAT/SSA1-2004 (ver Anexo 3).
3. Llevar muestras de suelo con catalizador TiO_2 de 2.0% (W/W) y exponerlas a 15 W de exposición por

radiación U.V., mediante lámparas negras, el periodo de desarrollo se determina según la concentración de cromo vaya reduciendo, por tal motivo hay que hacer lecturas de cromo durante el experimento.

Hay que tener en cuenta que mediante este método hay una fuerte disminución de concentración de cromo hexavalente (VI) del 80% a una profundidad de 4 cm.

SEGUIMIENTO Y MONITOREO

Se realiza un seguimiento y monitoreo para determinar la disminución en la concentración de cromo.

1. Se hace monitoreo del crecimiento del *Rye grass*, desde su raíz por el periodo de tiempo que se va a desarrollar.
2. Se realizan lecturas de cromo para ver si su concentración está disminuyendo.

INDICADORES

NOMBRE DEL INDICADOR	FORMULA
Concentración de cromo	Concentración de cromo final – Concentración de cromo inicial
Cumplimiento legal	Concentración de cromo final Vs Concentración de cromo permisible
RESPONSABLE DE LA EJECUCIÓN	Ingeniero Ambiental

TIEMPO DE EJECUCION

Alternativa 1.

Método Biológico – Fitorremediación (Gramínea *Rye grass*):

La ejecución de este tratamiento lleva alrededor 6 a 9 meses.

Alternativa 2.

Método Físico – Adecuación del suelo con Arena y Gramínea *Rye grass*:

La ejecución de este tratamiento lleva alrededor 6 a 9 meses.

Alternativa 3.

Método Químico – Fotocatálisis:

La ejecución de este tratamiento lleva alrededor 120 horas.