



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA VELOCIDAD DE
DEGRADACIÓN DE CROMO VI APLICANDO FITORREMEDIACIÓN
EN MEDIOS FÍSICOS DIFERENTES: SUELO Y AGUA”

Trabajo de titulación para optar por el título de:
INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORA:
LUISA ELIZABETH ABRIL VELASTEGUÍ

DIRECTORA:
DRA. NANCY VELOZ

RIOBAMBA-ECUADOR

2016

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: **“Análisis comparativo de la velocidad de degradación de cromo VI aplicando fitorremediación en medio físicos distintos: suelo y agua”**, de responsabilidad de la señorita egresada Luisa Elizabeth Abril Velasteguí, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

FIRMA

FECHA

Dra. Nancy Veloz
DIRECTORA

Ing. Sofía Godoy
MIEMBRO

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, LUISA ELIZABETH ABRIL VELASTEGUÍ, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 04 de Febrero de 2016

LUISA ELIZABETH ABRIL VELASTEGUÍ
180497813-6

Yo, Luisa Elizabeth Abril Velasteguí, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación; y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación, pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

Luisa Elizabeth Abril Velasteguí

DEDICATORIA

A Dios por darme el don de la vida, la fuerza y sabiduría necesaria para alcanzar mi meta.

A mi hija Kelly Mishell, por ser mi inspiración para seguir adelante, Te Amo.

A mis padres Laura y Luis, quienes me han demostrado su espíritu de lucha constante aún en los momentos más difíciles de nuestras vidas, que han sabido guiarme, que por su sacrificio y esfuerzo me dieron la oportunidad y el aliento para culminar mis estudios.

A Byron, por su cariño, apoyo y por los buenos momentos compartidos a su lado.

A mi hermana, que estuvo siempre junto a mí, dándome su cariño, apoyo, confianza y ánimo y a mi Sobrina por darme su afecto y alegría, son parte de este gran anhelo cumplido.

A mis Abuelitos, que han sido mis segundos Padres formando parte esencial de mi vida desde mi niñez, por brindarme su amor, educarme y guiarme siempre.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios que por su gran nobleza y bendición me dio el regalo más grande de mi vida, mi hija.

A mis padres quienes han sido la fuerza, sustento, sabiduría y apoyo durante todos los momentos de mi vida, que me han hecho ser la persona que soy, por brindarme el amor, comprensión y confianza para lograr mi meta anhelada.

A mi directora de trabajo de titulación la Dra. Nancy Veloz, por su valiosa colaboración en el desarrollo del presente proyecto.

De manera especial, mi más sincero agradecimiento a la Ing. Sofía Godoy, Miembro del Trabajo de titulación, por ser una grandiosa persona, por su compromiso, apoyo, asistencia y orientación durante el desarrollo de mi investigación. Por darme la oportunidad de recurrir a su conocimiento, ya que sin su ayuda no hubiese sido posible concluir este trabajo.

A la Ing. Fernanda Rivera, que a más de ser una excelente docente, fue una amiga, por brindarme sus acertados consejos e importante ayuda para la culminación de mi carrera.

A cada una de mis amigas, por su sincera amistad con quienes compartimos grandes experiencias y momentos inolvidables y con su compañía hicieron más amena mi vida politécnica.

Y en general a todas las personas que de una u otra forma estuvieron apoyándome todo el tiempo.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	xi
SUMMARY	xii
CAPÍTULO I	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Identificación del problema	1
1.2. Justificación	2
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.1. Objetivos específicos	3
CAPITULO II	5
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Metales pesados	5
2.1.1. Problemática ambiental de los metales pesados	7
2.2. Cromo.....	8
2.2.1. Generalidades.....	8
2.2.2. Usos industriales del cromo y fuentes de contaminación	9
2.2.3. Toxicidad	11
2.2.4. Aplicación de biotecnología.....	13
2.3. Contaminación del suelo.....	13
2.3.1. Técnicas de recuperación de suelos contaminados	15
2.4. Contaminación del agua.....	16
2.4.1. Técnicas de recuperación de aguas contaminadas	19
2.5. Biorremediación.....	19
2.5.1. Fitorremediación	20
2.6. Descripción de las especies vegetales	31
2.6.1. <i>Medicago sativa</i>	31
2.6.2. <i>Eichhornia crassipes</i>	35
CAPÍTULO III.....	39
3. MARCO METODOLÓGICO.....	39

3.1.	Tipo y diseño de investigación.....	39
3.1.1.	Tipo de investigación.....	39
3.1.2.	Diseño de investigación experimental	39
3.1.3.	Unidad de análisis	40
3.1.4.	Población de estudio	40
3.1.5.	Tamaño de muestra	40
3.1.6.	Técnicas de recolección de datos	40
3.2.	Parte experimental.....	40
3.2.1.	Respecto a las especies vegetales.....	41
3.2.2.	Preparación de medios físicos.....	42
3.2.3.	Diseño y construcción de las plantas piloto	43
3.2.4.	Adaptación de las especies vegetales a los medios físicos.	44
3.2.5.	Seguimiento y control de las unidades experimentales	47
3.2.6.	Cuantificación de Cromo VI.....	48
	CAPÍTULO IV	51
4.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
4.1.	Análisis de resultados.....	51
4.1.1.	Caracterización del cromo VI en las muestras de agua y suelo	51
4.1.2.	Plantas piloto de fitorremediación	52
4.1.3.	Generación de curvas de degradación de cromo VI	61
	CONCLUSIONES	65
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2. Compuestos de cromo según el estado de oxidación.	8
Tabla 2-2. Fuentes industriales de cromo	10
Tabla 3-2. Ventajas y desventajas del tipo de tratamiento	22
Tabla 4-2. Ventajas y desventajas de la Fitorremediación	24
Tabla 5-2. Función de las plantas acuáticas en los sistemas de tratamiento.....	35
Tabla 6-3. Monitoreo de suelo	48
Tabla 7-3. Monitoreo de agua.....	49
Tabla 8-4. Concentración de cromo VI.	51
Tabla 9-4. Concentración de cromo VI.	52
Tabla 10-4. Promedios de longitud del tallo y raíz.....	53
Tabla 11-4. Análisis del tejido vegetal	55
Tabla 12-4. Porcentajes de cromo VI	56
Tabla 13-4. Análisis del tejido vegetal	59
Tabla 14-4. Porcentajes de cromo VI	60

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2. Perforación del tabique nasal	12
Ilustración 2-2. Esquema de las distintas vías de metales pesados.....	14
Ilustración 3-2. Fuentes puntuales y difusas de contaminación del agua	17
Ilustración 4-2. Esquema de la influencia de los tipos de contaminación del agua a diferentes escalas espacio-tiempo.....	18
Ilustración 5-2. Estrategias de fitorremediación utilizadas para remediar agua, suelo o aire	21
Ilustración 6-2. Tipos de fitorremediación	26
Ilustración 7-2. Representación de la fitoextracción.	27
Ilustración 8-2. Esquema de fitoextracción continua y asistida por quelantes	28
Ilustración 9-2. Mecanismos de tolerancia para contaminantes orgánicos e inorgánicos en plantas.	30
Ilustración 10-2. Proceso de detoxificación de cromo efectuado por el lirio acuático ...	31
Ilustración 11-2. Planta de alfalfa	32
Ilustración 12-2. Morfología de la planta	33
Ilustración 13-2. <i>Eichhornia crassipe</i> . A. hábito; B. hojas no infladas; C. hojas infladas en flotantes; D. corte transversal del ovario.	37
Ilustración 14-3. Distribución de las especies en el suelo.	44
Ilustración 15-3. Adaptación de especies para el proceso de fitorremediación.....	45
Ilustración 16-3. Distribución de las especies en el agua.	46
Ilustración 17-3. Adaptación de especies para el proceso de fitorremediación.....	46
Ilustración 18-4. Desarrollo de las plántulas de alfalfa en la unidad experimental.	54
Ilustración 19-4. respuesta fisiológica de la especie.	57
Ilustración 20-4. Desarrollo de las plantas.....	57
Ilustración 21-4. Desarrollo de las plantas en la unidad experimental.	58
Ilustración 22-4. Variación de pH.....	60
Ilustración 23-4. Curva de degradación de cromo VI en el suelo.....	61
Ilustración 24-4. Curva de degradación del Cr VI en el agua.....	63

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Obtención de especie <i>Eichhornia crassipes</i>	7
Anexo B: Obtención de la especie <i>Medicago sativa</i>	8
Anexo C: Solución de cromo hexavalente 1000 mg/l.	9
Anexo D: Preparación de disolución para el suelo	9
Anexo E: Procedimiento de disolución en el agua	11
Anexo F: sistema de canteros	12
Anexo G: adaptación de plántulas al suelo	12
Anexo H: adaptación de plántulas al agua.....	13
Anexo I: resultado de análisis inicial.....	15
Anexo J: resultado de análisis intermedio	17
Anexo K: resultado de análisis final	19
Anexo L: resultado de análisis de tejido vegetal	21
Anexo M: procedimiento para toma de muestras de suelo	23
Anexo N: procedimiento de extracción de plantas	24

RESUMEN

Conociendo que la principal fuente de vertido de cromo VI es la industria curtiembre, en el presente estudio se realizó un análisis comparativo de su velocidad de degradación aplicando fitorremediación en dos medios físicos: suelo y agua. Para el cumplimiento del objetivo se realizó la caracterización de muestras, la construcción de plantas piloto y se generaron curvas de degradación. Al ser una investigación exploratoria y descriptiva se utilizaron como herramientas metodológicas la revisión documentada, que afirmaba la capacidad degradadora de las especies *Medicago sativa* (alfalfa) y *Eichhornia crassipes* (lechuguín) con las que se llevó a cabo la fase experimental. Posteriormente se acudió a los análisis de laboratorio que certificaron las variables utilizadas para este estudio: cromo VI y pH. El diseño y construcción de las plantas piloto se fundamentaron en los caracteres morfológicos de las especies vegetales y en su tiempo de crecimiento.

Las especies vegetales fueron trasplantadas en un suelo con 0,28 mg/kg de cromo VI y en agua lo fueron con 2,01mg/L del metal. Para determinar la velocidad de degradación del mismo se realizaron tres análisis de laboratorio: uno al inicio del proceso, un siguiente a los 45 días de haber implementado las plantas piloto, y un análisis final después de transcurridos 65 días de tratamiento. La cuantificación de cromo VI demostró que la fitorremediación en un medio acuoso es más eficiente al remover el 99% del contaminante, mientras que en el suelo fue de un 92,85%. Se comprobó por ende que *Eichhornia crassipes* al ser una planta acuática pudo retener un 86,06 % de metal pesado en sus tejidos y *Medicago sativa* absorbió el 67,85%.

SUMMARY

Getting to know that the main source of chrome VI pouring is the tanning industry, the current study developed a comparative analysis of its degradation time by applying phytoremediation in two physical environments: soil and water. In order to achieve the object, sample characterization, construction of pilot plants were developed as well as degradation curves. Since it is an exploratory - descriptive research, methodological tools such as the bibliographic review, which confirms the degrading capacity of species *Medicago sativa* (alfalfa) and *Eichhornia crassipes* (water hyacinth) which were used for the experimental stage. Later on, the laboratory analysis were carried out to certify the variables used for the study: chrome VI and pH. The design and construction of the pilot plants were based upon the morphological features of the species and on their growing time.

The species were transplanted into soil with 0,28 mg/kg of chrome VI and in water with 2,01 mg/L of this metal. In order to determine the component degradation speed, three laboratory analysis were developed: one at the beginning of the process, the second 45 days after implemented the pilot plants, and a final analysis after 65 days of treatment. The quantity of chrome VI showed that the phytoremediation in an aquatic environment is more efficient since it removes 99% of the pollutant, whilst in soil it was 92,85%. For instance, it was proved that *Eichhornia crassipes* retained 86,06 % of this heavy metal in its tissues since it is an aquatic plant and, *Medicago sativa* absorbed 67,85% of it.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Identificación del problema

En la actualidad la contaminación al medio ambiente producida por la utilización de metales pesados en la industria es altamente difundida, por lo que se ha desarrollado un grave problema de contaminación de suelo y agua que pueden constituir un riesgo para el ambiente, ya que estos no se degradan, así que pueden acumularse provocando efectos adversos en la mayoría de los organismos. Los metales que se consideran causantes de problemas de contaminación son: plomo, cromo, cadmio, cobalto, níquel, cobre, zinc, arsénico, mercurio.

Uno de los problemas de la contaminación de agua y suelo más frecuente es el crecimiento de la industria curtiembre en el país y su alta cantidad de residuos que produce como es la carnaza, contiene metales pesados, la cual es incorporada a terrenos baldíos o agrícolas sin ningún manejo adecuado provocando un impacto ambiental negativo a estos recursos. Su poca viabilidad para la aplicación en suelos agrícolas, puede causar efectos nocivos cuando los mismos se utilicen como suplemento para el acondicionamiento de suelos, lo cual pudiera afectar la calidad tanto del cultivo como del suelo ya que las plantas están expuestas a distintas adversidades del ambiente.

Muchos agentes externos pueden causarles efectos altamente nocivos y como ellas son un importante eslabón de la cadena trófica, la falta de interés hacia un nuevo enfoque sencillo, de bajo costo y poco invasivo con el ambiente, para estabilizar o reducir la biodisponibilidad de los metales pesados es la utilización de nuevas tecnologías empleando especies de plantas con potencial para la remediación de suelos y aguas contaminadas con diferentes tipos de elementos contaminantes. La utilización de esta técnica y la eficiencia de remoción de contaminantes durante el proceso de fitorremediación dependerán principalmente de la selección de las especies de plantas

utilizadas, las cuales deben contar con características relevantes para la asimilación de metales pesados.

1.2. Justificación

En nuestro país la industria curtiembre ha ido incrementando notablemente por lo que en los últimos años se ha acentuado la contaminación de metales pesados en el ambiente, en especial por el uso de cromo en el proceso de curtido ya que los agentes curtientes más utilizados son sales de cromo, siendo el principal el sulfato de cromo. Se ha determinado que la concentración de cromo VI en efluentes previos a la descarga final del proceso de las curtiembres, tiene como promedio 160 mg/L, siendo este valor superior a los límites permitidos en el Acuerdo Ministerial 061 “Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria” que es de 0,5 mg/L.

Debido a estos problemas ambientales se debe investigar y desarrollar el uso de estas alternativas que aprovechen y apliquen los procesos naturales que ocurren en el ecosistema para depurar las aguas y suelos contaminados, ofreciendo la posibilidad a estos recursos para su posterior utilización.

Una de las mejores alternativas de remediación de suelos y agua, es la aplicación de técnicas biológicas, como la biorremediación, por tratarse de una tecnología amigable con el medio ambiente y por sus menores costos en comparación con técnicas físicas y químicas. Su objetivo es promover los procesos naturales para acelerar la recuperación de suelos y aguas contaminadas. Dentro de estas técnicas, el uso de plantas, como lo es la fitorremediación que aprovecha la capacidad de ciertas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos, es una tecnología eficiente en el tratamiento de la contaminación con metales pesados, su aplicación es cada vez mayor y sus resultados se están valorando como muy positivos, además ofrecen numerosas ventajas en relación con los métodos fisicoquímicos que se usan en la actualidad, como su amplia aplicabilidad, bajo

costo, no utilizan reactivos químicos peligrosos, ni afectan negativamente a los recursos naturales, solo aplican prácticas agrícolas comunes.

Esta investigación nos permitirá demostrar la eficiencia de las especies utilizadas en fitorremediación, las cuales han sido estudiadas y es por esto que se ha seleccionado especies de plantas con antecedentes de su desarrollo en cuanto a mecanismos fisiológicos para resistir, tolerar y sobrevivir en suelos y aguas con altos niveles de metales pesados.

Medicago sativa tiene la característica especial de absorción conocida de metales pesados en su estructura vegetal y fue seleccionada considerando que es resistente a condiciones ambientales y plagas.

Eichhornia crassipes puede afirmarse que la planta es eficiente para remover metales pesados en altas concentraciones presentes en agua en etapas de tiempo más largos en vista la especie presenta mayor resistencia a diferencia de otras.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Realizar un análisis comparativo de la velocidad de degradación de cromo VI aplicando fitorremediación en medios físicos diferentes: suelo y agua

1.3.1. Objetivos específicos

- Caracterizar el cromo VI en muestras de suelo y agua.

- Diseñar y construir dos plantas piloto de fitorremediación con la especie *Medicago sativa* en suelo y *Eichhornia crassipes* en agua.
- Generar curvas de velocidad de degradación de cromo VI en cada una de las plantas piloto.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Metales pesados

Los metales pesados no tienen una definición establecida científicamente. Una de ellas se basa en la gravedad específica que suele utilizarse para hacer referencia a metales cuyo peso específico es mayor a 5 g/cm^3 cuando están en forma elemental o tienen un número atómico superior a 20, se trata de los elementos de transición de la tabla periódica. Esta definición no es uniforme al considerar las propiedades físico-químicas y sus funciones biológicas. (Ramos, 2002, pág. 18)

Sin embargo esta descripción no es útil respecto al estudio de los efectos toxicológicos que algunos metales tienen sobre el ambiente y los seres vivos, por lo que la definición que ha adoptado es “grupo de metales o metaloides asociados con contaminación y toxicidad potencial”. Los metaloides poseen propiedades físicas semejantes a la de los metales y no metales, como son el arsénico, germanio, antimonio, selenio y telurio. (Reyes, et al., pág. 1)

Lo que se pretende indicar con este término es que, siendo elementos pesados, son tóxicos en concentraciones excesivas para los seres vivos. Al hablar de metales pesados tampoco se especifica el estado del elemento, es decir, si es un elemento puro o en algunos casos está en sus diversos estados de oxidación, siendo así no presentan las mismas propiedades físicas, químicas ni tóxicas. (Navarro, Aguilar, & López, 2007, pág. 10)

Los metales pesados según Bonilla (2013) se clasifican en:

- Oligoelementos o micronutrientes: requeridos en mínimas cantidades, pero son tóxicos cuando pasan cierto umbral. Como son arsénico, bromo, cobalto, cromo, molibdeno, manganeso, níquel, selenio y cinc.
- Sin función biológica conocida: son altamente tóxicos, y su presencia en seres vivos conlleva a disfunciones en los organismos. Tienen la característica de acumularse en la cadena trófica. Y son cadmio, mercurio, plomo, cobre, antimonio, bario y bismuto.

Desde el punto de vista de Ramos (2002) de acuerdo a los sistemas vivos, entre los metales pesados existen unos esenciales como (hierro, manganeso, cinc, cobre, molibdeno), otros son beneficiosos a cierta concentración (níquel, cromo, vanadio, titanio, etc.) y elementos que en la actualidad no se considera que tengan una función en los seres vivos y resultan tóxicos para la mayoría de ellos (cadmio, plomo, mercurio). (pág. 18)

Los metales pesados no presentan toxicidad completa esta característica depende de su concentración y se convierte en contaminante cuando las concentraciones son mayores de las normales y estas producen efectos; pueden biodegradarse o bioacumularse de forma indefinida. (Bonilla, 2013, pág. 3)

Como características relevantes de los metales pesados, además de su toxicidad, destacan:

- Su elevada persistencia en el medio
- La biomagnificación que experimentan en su concentración conforme se ascienden niveles en la cadena trófica.
- Todos ellos provocan daños medioambientales a determinadas concentraciones
- Suelen presentar efectos sinérgicos, es decir, su actividad es menor cuando se presentan solos que cuando aparecen junto a otros metales. (Ramos, 2002, pág. 18)

2.1.1. Problemática ambiental de los metales pesados

Desde el punto de vista ambiental el aspecto más problemático de los metales pesados es su toxicidad, en la naturaleza se puede producir en todos los organismos vivos. Las consecuencias de esta, se han descrito para los cultivos, el ganado y los seres humanos en algunas situaciones la toxicidad es consecuencia directa de la posición del organismos dentro de la cadena alimenticia y su entorno, sin embargo en otras se basan en anormalidades genéticas produciendo daños fisiológicos. (Ramos, 2002, pág. 19)

Los metales pesados constituyen un riesgo para el medio ambiente, por ser sustancias que tienen gran estabilidad química ante los procesos de biodegradación, es por esta razón que los seres vivos son incapaces de metabolizarlos, produciéndose una contaminación por bioacumulación, además producen un efecto multiplicador en la concentración a medida que avanzan en los eslabones de la cadena trófica. Estos alcanzan altos niveles de toxicidad que se absorben muy fácilmente a través de las membranas biológicas por su elevada afinidad química por el grupo sulfidrilo de las proteínas. (Mancera & Álvarez, 2006, pág. 4)

Estas sustancias han sido causantes de infinitos impactos sobre el ambiente, ecosistemas y la salud misma. Los problemas asociados a estos elementos fueron provocados por su presencia en recursos hídricos, como son los casos críticos en Japón por Cadmio en el Río Jintsu y por metilmercurio en la Bahía de Minamata, teniendo consecuencias letales en poblaciones cercanas. Ciertos metales pesados como cadmio, plomo y cromo, se acumulan en tejidos humanos alterando sus funciones y provocando efectos tóxicos. (Mancera & Álvarez, 2006, pág. 5)

2.2. Cromo

2.2.1. Generalidades

Es un elemento químico con número atómico 24, peso atómico 51.996; de color blanco plateado, duro y quebradizo. El cromo no se encuentra en la naturaleza en estado libre, se lo halla como constituyente de numerosos minerales, el más abundante es la cromita [cromito de hierro (II), $\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2$]. Se obtiene óxido de cromo (III) al calentarlo y en metalurgia se obtiene en forma de ferrocromo por reducción de la Cromita. El cromo se encuentra en la corteza terrestre con valencias de 2^+ a 6^+ . Sin embargo existe generalmente como cromo metálico, ion crómico Cr trivalente y Cr Hexavalente; el más estable es Cr trivalente. Los compuestos más importantes de cromo hexavalente: cromato, dicromato sódico, dicromato potásico, y trióxido de cromo, son muy solubles. En la tabla 1-2, se detallan los compuestos de cromo. Las sales de cromo hexavalente son irritantes, causan náuseas y úlceras, cuando la exposición es prolongada; al ser inhalado es cancerígeno, produce sensibilización de la piel y daños a los riñones. (Martínez, 2013, pág. 24)

Tabla 1-2. Compuestos de cromo según el estado de oxidación.

Compuesto	Fórmula	Estado de oxidación
Oxido cromoso	CrO	2+
Hidróxido cromoso	$\text{Cr}(\text{OH})_2$	2+
Tetroxido crómico	Cr O_2	4+
Pentóxido crómico	Cr O_5	5+
Oxido crómico	Cr_2O_3	3+
Hidróxido crómico	$\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$	3+
Cromitas	$(\text{Cr}_2\text{O}_4)^{2-}$	3+
Anhídrido crómico	CrO_3	6+
Cromatos	$(\text{CrO}_4)^{2-}$ y $(\text{Cr}_2\text{O}_7)^{2-}$	6+

Fuente: (Téllez, Carvajal, & Gaitán, 2004)

2.2.2. Usos industriales del cromo y fuentes de contaminación

Se ha establecido que la contaminación ambiental con cromo en sus diversos compuestos; en forma de óxidos, cromatos y dicromatos, se debe principalmente a causas antropogénicas como resultado del crecimiento de ciertas actividades industriales. Debido a que dicho metal es ampliamente utilizado en distintas actividades manufactureras, tales como: cromado electrolítico, fabricación de explosivos, curtido de pieles, aleaciones anticorrosivas, preservación de madera, fabricación de colorantes y pigmentos; los efluentes de cromo hexavalente de estas industrias contaminan el agua y suelo. En cantidades menores se usan en barrenas utilizadas en la extracción de petróleo, inhibidores de corrosión e industria textil. (Acoosta, et al., 2012, pág. 2). En la tabla 2-2, se detallan las fuentes industriales y los compuestos utilizados.

Según Jiménez (2005), las principales fuentes de cromo en el agua son la industria de cromado (trióxido de cromo), el empleo de conexiones cromadas en circuitos de enfriamiento de agua y de acondicionamiento de aire, el agua de torres de enfriamiento a las que se añade cromo para evitar la corrosión y los catalizadores de síntesis orgánica y en fotografía. (pág. 57)

Las emisiones producidas al quemar carbón, petróleo y la producción de acero pueden aumentar los niveles de Cr (III) al aire. De igual forma, soldar acero inoxidable, la manufactura de productos químicos que contienen Cr (VI) y su uso, aumentan los niveles de este elemento. Ya cuando se encuentran en el aire, están en forma de pequeñas partículas que posteriormente serán removidas y depositadas en el suelo y agua. (Medina, 2010, pág. 10)

El proceso industrial realizado en las curtiembres es de primordial importancia para la salud ocupacional, por la utilización de compuestos de cromo hexavalente en sus procesos. Este proceso consiste en someter las pieles de animales vacunos a un tratamiento con sustancias llamadas curtientes, que logran modificaciones físicas y

químicas en las pieles, como producto final casi imputrescible, suave, elástico, y flexible, se obtiene el cuero. (Téllez, Carvajal, & Gaitán, 2004, pág. 55)

En nuestro país, en la Provincia de Tungurahua se concentran la mayor cantidad de industrias curtiembres, debido a los diferentes procesos que realizan, están expuestos a los efectos nocivos los empleados y la población aledaña por causa de los vertidos y residuos producidos. (Téllez, et al., 2004)

Tabla 2-2. Fuentes industriales de cromo

Materiales y objetos que contiene cromo	Lugar de contacto	Compuestos de cromo utilizados
Mineral de cromo	Refinado de cromo	Cromato
Baños de cromo	Artes gráficas	Ácido crómico-dicromato de sodio
Aleaciones de soldadura	Industria del metal	Cromatos
Pintura y tintes de cromo	Pintores, decoradores, gomas textiles, vidrios, porcelana.	Oxido verde de cromo, hidróxido de cromo, verde cromato de zinc, cromato de plomo.
Aceites, lubricantes y grasas	Industria del metal	Óxidos crómicos y cromatos
Agentes anticorrosivos en sistemas de refrigeración	Motores diésel, calderas y sist. de aire acondicionado	Dicromatos alcalinos
Conservantes de madera	Tintes para madera, carpintería, minería.	Dicromatos alcalinos
Cemento, productos de cemento, agentes para el fraguado rápido	Producción del cemento, industria de construcción	Cromatos
Materiales de limpieza, de lavado y lejías	Amas de casa, lavanderas, limpiadores	Cromatos
Tejidos, pieles	Industria textil	Cromatos
Cueros teñidos al cromo	Industria del cuero y calzado	Sulfato de cromo, aluminato de cromo

Fuente: (Téllez, Carvajal, & Gaitán, 2004)

2.2.3. Toxicidad

“La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC), clasificó al cromo hexavalente y sus compuestos en el Grupo I de sustancias cancerígenas, es decir que son consideradas como sustancias comprobadamente cancerígenas para el humano”. (Téllez, et al., 2004, pág. 52)

La toxicidad del cromo está en función al estado de oxidación: el cromo trivalente no es tóxico, el hexavalente si es tóxico y carcinógeno. Las concentraciones totales en agua de consumo son inferiores a 2 ug/L, pero se ha encontrado concentraciones hasta de 120 ug/L. En general, los alimentos parecen ser la fuente principal de ingesta de este elemento. El cromo trivalente generalmente no se presenta en agua potable, pero desafortunadamente en el agua clorada o aireada el Cr hexavalente es la especie que predomina. La absorción de Cr (VI) se produce más fácilmente a través de tracto gastrointestinal al atravesar membranas celulares. (Jiménez, 2005, pág. 57)

El cromo puede estar presente en la dieta en forma de compuestos inorgánicos o complejos orgánicos. El cromo hexavalente en seres humanos y animales principalmente se debe a la inhalación o por la contaminación ambiental. Los compuestos de cromo (VI) se disuelven y absorben mejor que los de cromo (III). La absorción en los alimentos se mejora, por la presencia de aminoácidos, el ácido ascórbico, alto contenido en carbohidratos y los niveles de oxalato en la dieta. (Pechova & Pavlata, 2007, pág. 3)

De acuerdo con Jiménez (2005, pág. 57), los actuales métodos de análisis favorecen el establecimiento de un solo valor guía como cromo total, debido a que son escasos los datos relacionados con los efectos sobre la salud a bajas concentraciones, por lo que el valor referencial es de 50 ug/L, fijado en Europa en 1970.

Como se mencionó anteriormente el cromo metálico carece de toxicidad, es esencial para el ser humano puesto que participa en el metabolismo de la glucosa y promueve la

acción de la insulina, por ello se usa en gastronomía, utensilios de cocina, en medicina, instrumental de cirugía, etc. Mientras los efectos tóxicos de los derivados del cromo hexavalente están bien comprobados, principalmente se absorben por vía respiratoria y secundariamente por vía digestiva o cutánea, la inhalación produce, úlceras, dermatitis, etc. El cromo VI es catalogado como uno de los elementos más contaminantes pero contradictoriamente el consumo humano de cromo III es recomendado para contribuir con una buena salud. (Martínez, 2013, pág. 25)

La principal vía de ingreso del cromo VI en el medio laboral es la vía inhalatoria, una vez en la sangre penetra al interior de los eritrocitos, donde se combina con una fracción de hemoglobina. La toxicidad del cromo hexavalente está relacionada con su acción irritante y sensibilizante. Es un agente capaz de producir daño oxidativo en el ADN, en animales se ha demostrado efectos adversos en el desarrollo fetal, tales como paladar hendido, hidrocefalia y defectos del tubo neural. (Sanz & Trallero, 2010, pág. 564)

La exposición crónica a los compuestos hexavalentes de cromo puede producir principalmente: alteraciones dermatológicas, broncopulmonares y perforación del septum nasal, como en el caso de un trabajador de la industria de galvanizado de cromo (Ilustración 1-2). (Sanz & Trallero, 2010, pág. 565)



Ilustración 1-2. Perforación del tabique nasal

Fuente: (Sanz & Trallero, 2010)

2.2.4. *Aplicación de biotecnología*

Conociendo que el cromo hexavalente es altamente tóxico y carcinógeno, químicamente es posible producir una reacción del cromo hexavalente con la difenilcarbazida en una reacción redox, en la cual el cromo hexavalente se reduce a cromo trivalente y el reactivo se oxida a difenilcarbazona. Esta reducción del cromo VI a cromo III (no tóxico), se puede lograr por medios biológicos como la fitorremediación. Posterior a la reducción del cromo 6+, el cromo 3+ es llevado a los tejidos de las hojas y a la raíz de la planta utilizándose como alimento de la misma planta como complemento de la fotosíntesis. (Martínez, 2013, pág. 25)

2.3. **Contaminación del suelo**

El contenido de metales pesados en suelos debería ser únicamente función de la composición del material original y de los procesos edafogénicos que tienen lugar en el suelo. Sin embargo la actividad humana e industrial incrementa el contenido de estos elementos por aporte directo en cantidades considerables, siendo esta la causa de contaminación del suelo. Las principales fuentes de contaminación son residuos procedentes de los vertidos y residuos industriales, actividades mineras y aplicación de fertilizantes y plaguicidas. (Yagnentkovsky, 2011, pág. 3)

Según Bonilla (2013), los suelos se pueden contaminar de diferentes formas:

- **Superficial:** Vertiendo residuos sólidos o líquidos.
- **Subterránea:** enterrando residuos.
- **Difusa:** utilizando concentraciones bajas pero grandes volúmenes que contiene contaminantes.
- **Puntual:** contaminación focalizada, con un núcleo emisor del cual pueden moverse los contaminantes a otros elementos del medio.

Los contaminantes del suelo tienen un tiempo de residencia alto y los contaminantes del aire y agua contribuyen al incremento de la concentración. El suelo por su capacidad de retención acumula y concentra metales pesados en sus capas más superficiales, es decir en la parte biológicamente activa, de este modo los metales son fácilmente accesibles para las plantas, su absorción y movilidad están controladas por las reacciones químicas. (Yagnentkovsky, 2011, pág. 4)

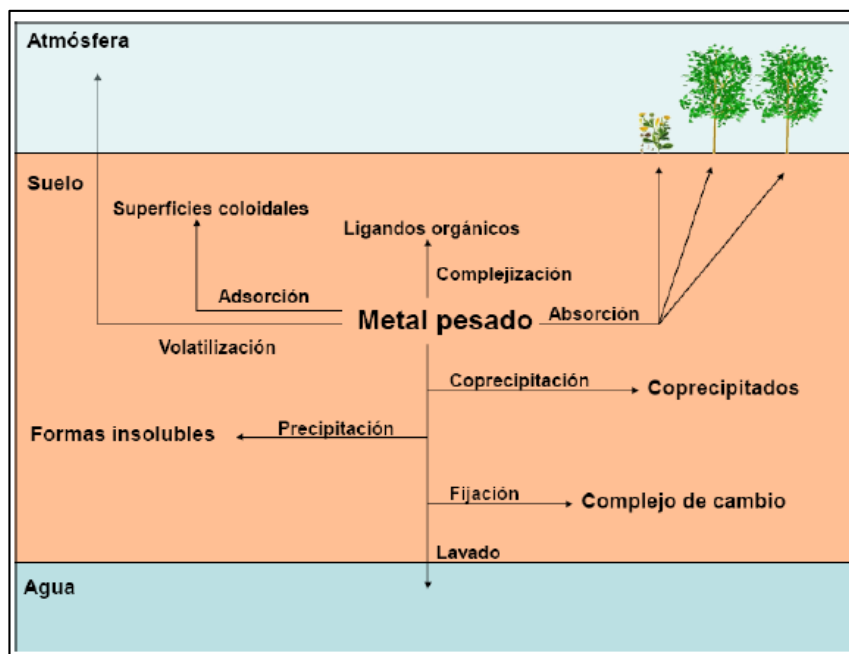


Ilustración 2-2. Esquema de las distintas vías de metales pesados.

Fuente: (Yagnentkovsky, 2011)

De acuerdo con Yagnentkovsky (2011), los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir vías diferentes (ilustración 2-2):

- Quedar retenidos en el suelo, en solución o fijados por procesos de adsorción, complejización y precipitación.
- Ser absorbidos por las plantas e incorporarse a las cadenas tróficas.
- Pasar a la atmósfera por volatilización.
- Movilizarse hacia las aguas subterráneas o superficiales.

Según Ramos (2002), la acumulación de metales pesados en los suelos de cultivo constituye un riesgo potencial porque:

- Afecta la actividad microbiológica, por lo tanto limita la actividad y su eficacia de los procesos esenciales para la nutrición de los vegetales.
- Los metales pesados en los suelos pueden ser transferidos y contaminar otros compartimentos ambientales o ser absorbidos por los vegetales, acumularse en sus tejidos y órganos y desde ellos pasar a la cadena trófica y finalmente al ser humano.

Referente al cromo hexavalente, los cultivos pueden verse afectados en el crecimiento óptimo y desarrollo, teniendo síntomas que aparecen como quemaduras, clorosis y amarillamiento de las hojas. Mientras que en el suelo enmendado con lodos o aguas residuales ricas en cromo procedentes de industrias de tintes y curtiembres, la toxicidad del cromo puede aumentar. Es uno de los elementos que más se retiene en el suelo, pero el Cr VI tiene movilidad en suelos aireados y con un pH de moderado a alto. (López, Gallegos, Pérez, & Gutiérrez, 2005)

2.3.1. Técnicas de recuperación de suelos contaminados

Son muchas las técnicas que actualmente se utilizan para la descontaminación de suelos, estas pueden realizarse *in situ* o *ex situ*, y clasifican según López, et al. (2005), en cuatro categorías:

- Por Extracción
 - Soil washing o lavado de suelos: consiste en una separación del volumen del contaminante, su eficiencia varía según la solubilidad de los contaminantes en la solución utilizada para el lavado.
 - Soli vacuum o aplicación de vacío a suelos: se aplica en suelos contaminados con compuestos orgánicos y mercurio.

- Soil venting o ventilación de suelos: es una modificación de la técnica anterior, en la cual se combina el efecto de extracción con la inyección de aire en el suelo.
- Químicas
 - Oxidación: esta técnica se basa en la adición de agentes oxidantes al suelo para convertir los compuestos contaminantes en inocuos. Los agentes utilizados son peróxido de hidrógeno, permanganato de potasio, ozono y posiblemente oxígeno disuelto en medios líquidos.
 - Deshalogenación: consiste en la conversión de contaminantes que contienen halógenos como cloro y flúor en sustancias menos tóxicas mediante reacciones químicas que reemplazan estos halógenos.
- Físicas: estas técnicas tienen como objetivo almacenar e inmovilizar los contaminantes, y son fijación y encapsulamiento. También incluye la técnica de tratamiento térmico para eliminar compuestos orgánicos.
- Biológicas: estas son conocidas como técnicas de biorremediación, se realizan con ayuda de biofiltros, biorreactores y compostaje. También se realiza bioestimulación adicionando nutrimentos o bioaumentación adicionando microorganismos.

2.4. Contaminación del agua

La contaminación del medio acuático, se debe particularmente a su propiedad de ser considerado disolvente universal, además por la facilidad de transporte de contaminantes de distinta naturaleza, los mismos que pueden encontrarse en estado líquido o gaseoso, ya sea en suspensión disolución o flotación. Como consecuencia de esto, se puede decir que el agua es el colector de sustancias contaminantes que drenan, ocasionadas por causas naturales como son los productos de la erosión o la disolución de materiales de la corteza terrestre; por la descomposición de seres vivos o por causas antropogénicas como producto de la actividades humanas. (Capó Martí, 2002, pág. 78)

Según Jaramillo & Flores (2012), la contaminación de los cauces receptores superficiales y subterráneos (ríos, lagos, embalses, acuíferos, mar) (ilustración 3-2), tienen su origen en:

- Precipitación atmosférica
- Escorrentía agrícola y de zonas verdes
- Escorrentía superficial de zonas urbanizadas
- Vertidos de aguas procedentes del uso doméstico
- Descargas de vertidos industriales

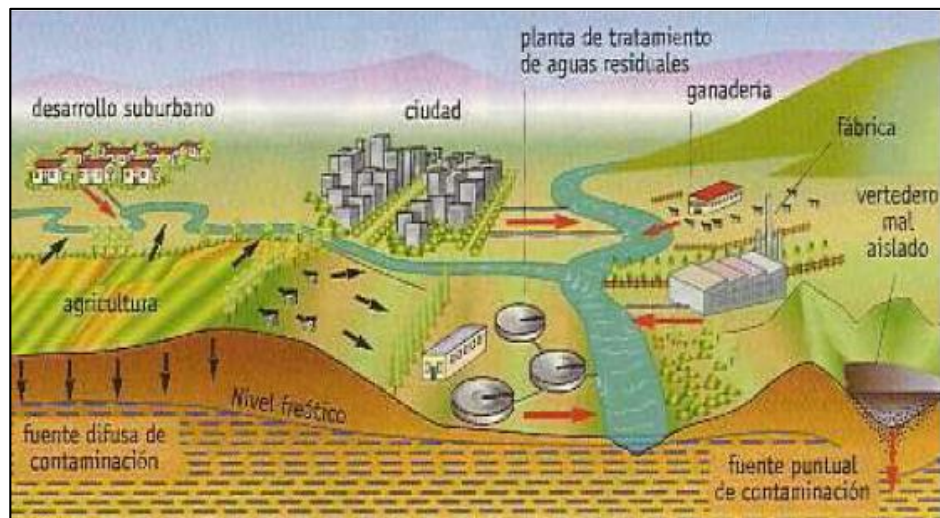


Ilustración 3-2. Fuentes puntuales y difusas de contaminación del agua

Fuente: (Jaramillo & Flores, 2012)

Los tipos de contaminación del agua tienen diversas consecuencias, las cuales dependen de la estructura del ecosistema y comunidades ecológicas, además varían según la escala espacial y temporal (ilustración 4-2). Según Aguilar, et al. (2006), los tipos de contaminación según sus fuentes son:

- ✓ **Contaminación puntual:** son descargas de aguas no tratadas que contienen una gran cantidad de productos químicos orgánicos e inorgánicos tóxicos para organismos acuáticos y por ende para los humanos.
- ✓ **Contaminación difusa:** producida por los diferentes usos de suelo como agricultura, urbanización, deforestación y minería. Que provocan drenaje continuo de partículas contaminantes.
- ✓ **Derrames accidentales:** son producto de fallas en los sistemas de descarga o fugas de residuos industriales. Pueden causar contaminación aguda como perturbaciones momentáneas y locales, además impactos a corto y mediano plazo.

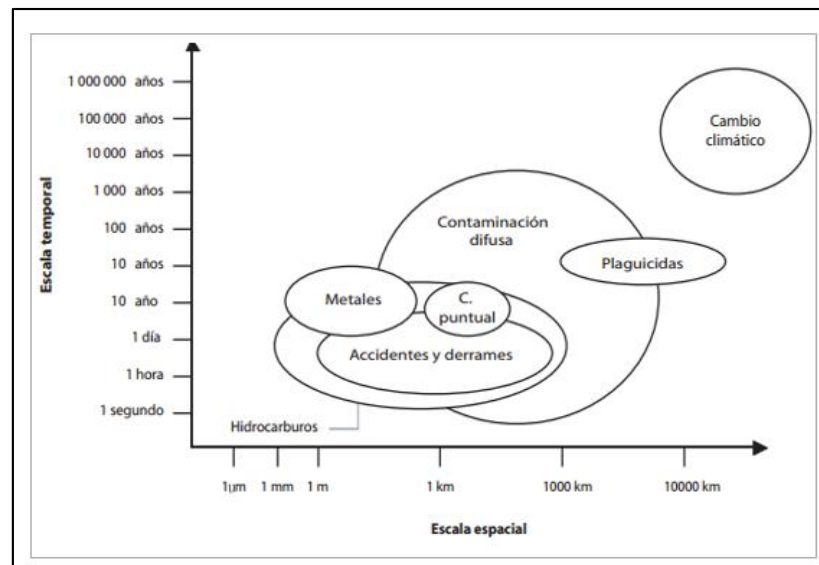


Ilustración 4-2. Esquema de la influencia de los tipos de contaminación del agua a diferentes escalas espacio-tiempo.

Fuente: (Aguilar, Villanueva, Guzmán, & Vázquez, 2006)

La contaminación del agua por metales pesados, se debe a los residuos de actividades industriales y en bajas concentraciones debido a causas naturales. Son considerados potencialmente peligrosos para la salud, elementos como el plomo, mercurio, cromo, arsénico, cadmio, cobre, níquel y zinc entre otros, por lo que están sujetos a un continuo control. Los valores máximos recomendados, se ubican en 50 $\mu\text{g/L}$ para el cromo y

arsénico, 1 µg/L para el cadmio, 0,5 µg/L para el mercurio, 1.000 µg/L para el cobre y hierro, etc. (Capó Martí, 2002, pág. 82)

Los subproductos de las actividades humanas, se vierten directamente o después de haber cumplido un proceso de depuración a los cauces, estos utilizan como vehículo de transporte el agua, con lo que se produce una contaminación a los acuíferos y aguas superficiales. Los efectos sobre la calidad en el agua utilizada en la Industria son disminución del oxígeno disuelto, contaminación del agua con metales pesados y compuestos orgánicos, son muy tóxicas para la flora y la fauna terrestres y acuáticas. (Capó Martí, 2002, pág. 87)

2.4.1. Técnicas de recuperación de aguas contaminadas

Las técnicas utilizadas en la remoción de contaminantes de aguas residuales, según Núñez, et al. (2004), son de tres tipos:

- Físicos: Sedimentación, filtración, adsorción, volatilización.
- Químicos: precipitación, hidrólisis, reacciones de óxido-reducción, reacciones fotoquímicas.
- Biológicos: que es el resultado del metabolismo de las plantas, metabolismo microbiano, procesos de bioabsorción.

2.5. Biorremediación

El término Biorremediación fue acuñado a principios de la década de los 80's, y proviene del concepto de remediación, que hace referencia a la aplicación de estrategias físico-químicas para evitar el daño y la contaminación en suelos. La biorremediación surge como una rama de la biotecnología que busca resolver los problemas de contaminación basándose en el uso de diferentes organismos (plantas, levaduras, hongos, bacterias, etc.) capaces de degradar o acumular compuestos que provocan

desequilibrio en el medio ambiente, ya sea suelo, sedimentos y aguas residuales. (Guzmán, 2007, pág. 95)

Según Ortega (2007), los procesos de biorremediación pueden ser de tres tipos:

- Fitorremediación, el cual consiste en el uso de plantas para limpiar ambientes contaminados, debido a su capacidad para absorber, acumular y/o tolerar altas concentraciones de metales pesados, compuestos orgánicos y radioactivos.
- Degradación enzimática, en este tipo se usan enzimas en el sitio contaminado para degradar las sustancias contaminantes.
- Remediación Microbiana, donde se utilizan microorganismos directamente, estos pueden ser autóctonos o provenir de otro ecosistema, para este caso deben ser agregados o inoculados.

2.5.1. Fitorremediación

En las últimas décadas han surgido tecnologías basadas en el uso de plantas, que reciben el nombre de fitorremediación (*phyto=planta y remediación=mal por corregir*). Se usan también términos como fitorrecuperación, fitocorrección, fitorrestauración o fitorrehabilitación. Su definición es el uso de plantas verdes para eliminar los contaminantes del entorno o para reducir su peligrosidad. (Carpena & Bernal, 2007, pág. 1)

La fitorremediación es un conjunto de tecnologías que reducen *in situ* o *ex situ* la concentración de diversos compuestos a partir de procesos bioquímicos realizados por plantas y microorganismos asociados a su sistema de raíz. Esta tecnología utiliza las plantas para remover, reducir, transformar, mineralizar, degradar, volatilizar o estabilizar contaminantes orgánicos e inorgánicos de suelos, sedimentos, agua y aire (ilustración 5-2). Se han identificado una diversidad de especies llamadas hiperacumuladoras, debido a su gran capacidad de absorción de metales pesados. (Delgadillo, González, Prieto, Villagómez, & Acevedo, 2011, pág. 597)

Según Mentaberry (2011), la fitorremediación se basa en los procesos por los cuales las plantas y microorganismos rizosféricos degradan, asimila, secuestran contaminantes orgánicos e inorgánicos, esta tecnología permite detoxificar distintos sustratos como:

- Sustratos sólidos (suelos y sedimentos)
 - Minas contaminadas por metales
 - Sitios industriales (orgánicos, metales)
 - Campos agrícolas (herbicidas, pesticidas, metales)
 - Sitios militares (TNT, metales, orgánicos)
 - Sitios de tratamiento de maderas (hidrocarburos aromáticos policíclicos)
- Sustratos líquidos
 - Aguas residuales (metales, nutrientes)
 - Drenajes de agricultura (fertilizantes, nutrientes, metales y herbicidas)
 - Efluentes industriales (metales)
 - Efluentes de minería (metales)
 - Plumas subterráneas (metales y compuestos orgánicos)
- Sustratos gaseosos
 - Aire libre e interior (óxidos de nitrógeno, SO₂, ozono, CO₂, gases neurotóxicos, partículas de hollín e hidrocarburos halogenados volátiles).

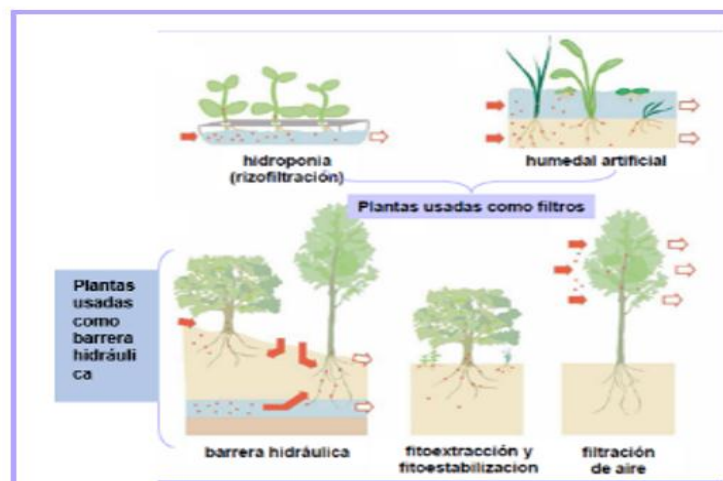


Ilustración 5-2. Estrategias de fitorremediación utilizadas para remediar agua, suelo o aire

Fuente: (Mentaberry, 2011)

En los últimos 10 años se han desarrollado estas técnicas de tratamiento biológicas, de acuerdo con Mentaberry (2011), la fitorremediación es económicamente competitiva respecto a las otras tecnologías de remediación. En la tabla 3-2, se puede apreciar las ventajas y desventajas de cada uno de los tratamientos utilizados.

Tabla 3-2. Ventajas y desventajas del tipo de tratamiento

TIPO DE TRATAMIENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
BIOLÓGICOS	<p>Pueden mejorar las condiciones del medio ambiente</p> <p>Los contaminantes generalmente son destruidos</p> <p>Se requiere un mínimo o ningún tratamiento posterior</p> <p>Efectivos en cuanto a coste</p>	<p>Mayor tiempo de tratamiento</p> <p>Es necesario verificar la toxicidad de los productos</p> <p>No puede emplearse si el tipo de suelo no favorece el crecimiento microbiano</p>
FISICOQUÍMICOS	<p>Se realizan en períodos cortos</p> <p>Utilizan equipos accesible y no necesita mucha energía</p>	<p>Residuos generados deben tratarse por separado (aumenta el coste)</p> <p>Los fluidos de extracción aumentan la movilidad de los contaminantes</p> <p>Necesita sistemas de recuperación</p>
TÉRMICOS	<p>Tiempos rápidos de limpieza</p>	<p>Mano de obra intensiva</p> <p>Tratamiento más costoso</p> <p>Empleo de energía y equipo</p>

Fuente: (Lobo, 2013, pág. 14)

La aplicación de la fitorremediación resulta muy eficiente, para tratar suelos contaminados con compuestos orgánicos como benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos; solventes clorados; HAP'S; desechos de nitrotolueno; agroquímicos clorados y órganofosforados; además de los compuestos inorgánicos como cadmio, cromo (VI), cobalto, cobre, plomo, níquel, selenio y cinc. Se ha demostrado su eficiencia para remover de metales radioactivos y tóxicos del suelo y agua. (Agudelo, Macias, & Suárez, 2006, pág. 59)

Esta tecnología se hace más eficiente a través de la manipulación genética, esto mejora la capacidad de remediación de las plantas se han diseñado especies vegetales con una mayor capacidad de degradación de contaminantes orgánicos o acumulación de metales pesados. Algunas plantas genéticamente modificadas, están adaptadas específicamente para fitorremediar cadmio, mercurio, bifenilos policlorados (PCB's). (Delgadillo, et al., 2011, pág. 598)

2.5.1.1. Ventajas, desventajas y limitaciones

Las principales ventajas y desventajas que ofrece la fitorremediación en comparación con otras tecnologías convencionales, se pueden ver en la tabla 4-2.

Según Agudelo (2006), existen varias limitaciones que deben ser tomadas en cuenta para realizar el proceso de fitorremediación:

- El tipo de especies de plantas; lo cual determina la profundidad que alcanzan.
- Las altas concentraciones pueden resultar tóxicas e inhibir su crecimiento.
- Puede depender de la estación del año
- La toxicidad y biodisponibilidad de los contaminantes no siempre se conocen y pueden mobilizarse.
- Además la concentración del contaminante, su localización cercana a la rizosfera, riesgos de lixiviación, las condiciones físicas y químicas del suelo

como son; pH, salinidad y contenido de nutrientes. Por lo cual esta tecnología es aplicable en grandes superficies, con contaminantes relativamente inmóviles o niveles de contaminación bajos. (Carpena & Bernal, 2007, pág. 2)

Tabla 4-2. Ventajas y desventajas de la Fitorremediación

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> ~ Es una tecnología sustentable ~ Permite su aplicación tanto a suelos como a aguas ~ Es eficiente para tratar diversos tipos de contaminantes <i>in situ</i>. ~ Es aplicable en ambiente con concentraciones de contaminantes bajas a moderadas ~ Es de bajo costo, no requiere personal especializado para su manejo ~ No consume energía ~ Solo requiere prácticas agronómicas convencionales ~ Es poco perjudicial para el ambiente ~ Actúa positivamente sobre el suelo, mejora sus propiedades físicas y químicas ~ No produce contaminantes secundarios ~ Tiene una alta probabilidad de ser aceptada por el público, es estéticamente agradable. ~ Evita la excavación y el tráfico pesado tiene una versatilidad potencial para tratar una amplia gama de materiales peligrosos ~ Se puede reciclar recursos (agua, suelo, biomasa, metales) 	<ul style="list-style-type: none"> ~ Es un proceso relativamente lento, (en especies como árboles y arbustos) ~ Es dependiente de las estaciones ~ El crecimiento de la vegetación puede estar limitado por los extremos de la toxicidad ambiental ~ Los contaminantes acumulados en las hojas pueden ser liberados nuevamente al ambiente durante el otoño (especies perennes) ~ Los contaminantes pueden acumularse en maderas para combustión ~ No todas las plantas son tolerantes o acumuladoras ~ La solubilidad de algunos contaminantes puede incrementarse, resultando mayor daño ambiental o migración de los contaminantes ~ Se requiere áreas relativamente grandes ~ Pudiera favorecer el desarrollo de mosquitos (en sistemas acuáticos)

Fuente: (Núñez, Meas, Ortega, & Olgúin, 2004, pág. 71)

2.5.1.1. Tipos

La desintoxicación de contaminantes por medio de la fitorremediación se da mediante los diferentes mecanismos de las plantas, basándose en esto se han definido estrategias que contemplan seis procesos básicos a través de los cuales las plantas pueden contribuir a la recuperación de suelos, sedimentos y aguas contaminadas. Dependiendo de la estrategia de recuperación, estos procesos darán lugar a la contención o a la eliminación de los contaminantes del suelo. (Ortega, Benavides, Arteaga, & Zermeño, 2007, pág. 10)

- **Fitoextracción o fitoacumulación:** se basa en la utilización de plantas capaces de acumular contaminantes, principalmente metales pesados, en sus raíces, tallo y hojas; mediante absorción.
- **Fitodegradación o fitotransformación:** en este proceso la planta degrada o transforma parcial o completamente, los contaminantes orgánicos en compuestos menos tóxicos, a través de reacciones enzimáticas que llevan a cabo plantas y microorganismos en la rizósfera. De esta forma los contaminantes son asimilados y secuestrados en las vacuolas o fijados a estructuras celulares como la lignina de las plantas.
- **Fitoestimulación:** en este caso se usan los exudados radicales para estimular el desarrollo de microorganismos capaces de degradar contaminantes orgánicos, como bacterias y hongos, cuyas actividades metabólicas causan la mineralización de los contaminantes.
- **Fitovolatilización:** este mecanismo se produce a medida que la planta absorbe agua junto con los contaminantes, estos son metabolizados y transportados desde su raíz a sus partes superiores y posteriormente son liberados en formas volátiles menos tóxicas, esta liberación se produce durante la transpiración.
- **Fitoestabilización:** se utilizan plantas tolerantes a metales pesados y otros contaminantes para reducir la biodisponibilidad y movilidad de los mismos evitando la contaminación de aguas subterráneas o la atmósfera. Estas plantas desarrollan un sistema denso de raíz, con mecanismos que logran secuestrar, lignificar o humidificar, inmovilizando así los metales, que se fijan fuertemente

a las raíces de las plantas o en la materia orgánica del suelo, en la zona de la rizósfera, limitando su biodisponibilidad y su migración vertical hacia los mantos freáticos.

- **Rizofiltración:** se realiza mediante el uso de raíces de plantas para absorber, adsorber y concentrar contaminantes. Estas plantas deben tener alta tasa de crecimiento y área superficial. (Núñez, Meas, Ortega, & Olgúin, 2004, pág. 70)

La biodisponibilidad de los compuestos o metales es un factor limitante de la captación de los mismos. Las plantas pueden incorporar las sustancias contaminantes mediante las estrategias detalladas anteriormente y que se representan en la ilustración 6-2.

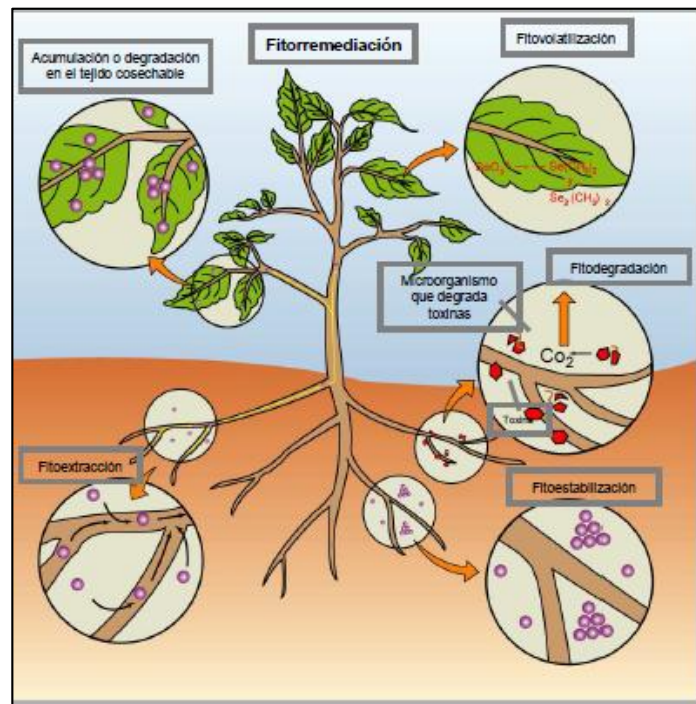


Ilustración 6-2. Tipos de fitorremediación

Fuente: (Mentaberry, 2011)

La fitoextracción también conocida como fitoacumulación, es la captación de iones metálicos por las raíces de la planta y su acumulación en tallos y hojas (ilustración 7-2). Un objetivo importante es maximizar el crecimiento de las plantas que por naturaleza se consideran hiperacumuladoras, por esto en ensayos realizados, se ha conseguido incrementos significativos de la biomasa mediante la fertilización.

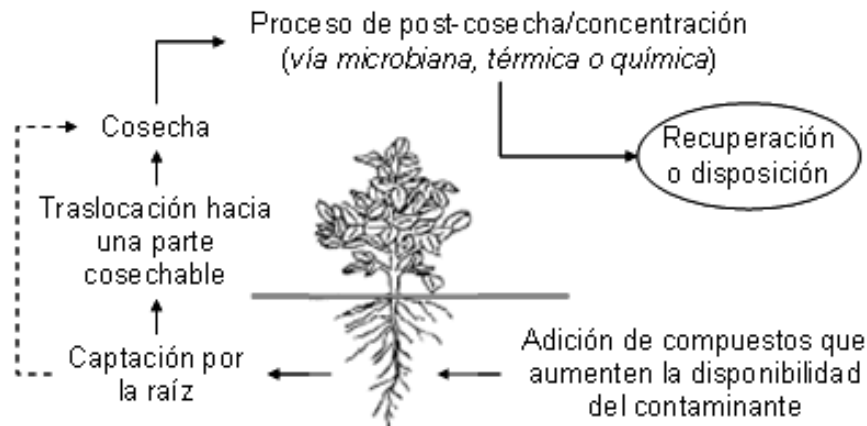


Ilustración 7-2. Representación de la fitoextracción.

Fuente: (Ortega, Benavides, Arteaga, & Zermeño, 2007, pág. 13)

Aunque estas técnicas han sido probadas, presentan limitaciones como es el caso del *efecto barrera*: con pocas excepciones, las plantas pueden acumular un determinado elemento solo hasta cierta concentración. Este es el caso del mercurio, en el cual las raíces actúan como barrera impidiendo que este elemento ascienda a los órganos superiores de la planta.

Según Ortega, et al., (2007), de acuerdo a este concepto las plantas pueden ser clasificadas en:

- Sin efecto de barrera, estas concentran los contaminantes sin restricciones y de forma continua.
- Semi-barrera, concentran entre 30 y 300 veces más de la concentración de un elemento considerada normal para la planta.
- Con barrera, concentran entre 3 y 30 veces más de la concentración de un elemento considerada normal para la planta.
- Con barrera de fondo, estas plantas no superan las concentraciones normales de un elemento.

Una forma de incrementar la biodisponibilidad de los contaminantes para la fitoextracción es el agregado de quelantes de metales, agregado de microorganismos y el establecimiento de un pH moderadamente ácido. Un esquema de esto, se puede

interpretar en la ilustración 8-2, donde la línea (—), representa la concentración del metal en la biomasa, la línea discontinua (-----), representa la biomasa del tallo.

La remoción de metales utilizando plantas acuáticas o algas, es favorable ya que, las plantas acuáticas emplean dos mecanismos para separar metales de otros compuestos contaminantes, estos son:

- Reacción superficial independiente del metabolismo: es un proceso de difusión que finaliza cuando los iones metálicos solubles se unen o absorben en la pared celular. Puede remover cantidades significativa en minutos.
- Reacción de incorporación intracelular lenta: es un proceso dependiente del metabolismo, transfiere desde la pared celular al interior de la célula. Este proceso demanda horas o días. (Mentaberry, 2011, pág. 37)

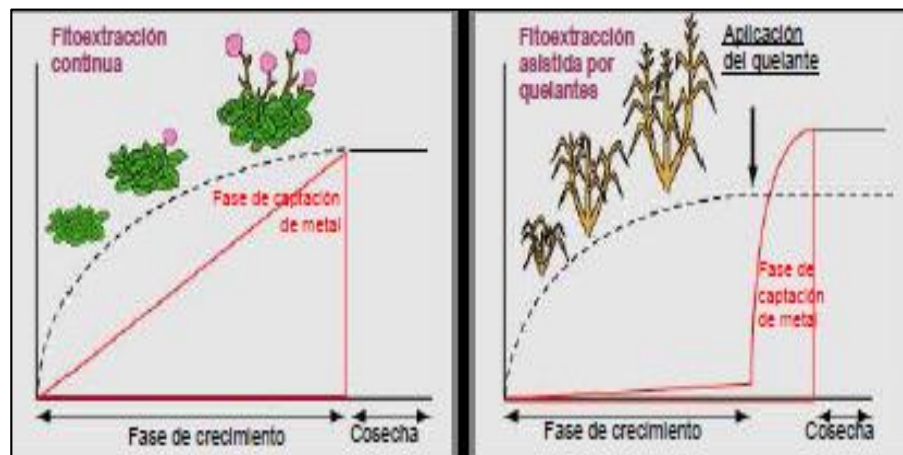


Ilustración 8-2. Esquema de fitoextracción continua y asistida por quelantes

Fuente: (Mentaberry, 2011)

Cuando el proceso de fitoextracción ha resultado favorable, es decir que las plantas han absorbido los contaminantes, pueden ser cosechadas y posteriormente der desechadas. La incineración es la alternativa más común para disponer las plantas que contienen los contaminantes. En el caso de los contaminantes químicos orgánicos, estos se degradan

en moléculas como el dióxido de carbono, por lo tanto pueden no necesitar ningún método de disposición. (Agudelo, et al., 2006, pág. 59)

2.5.1.2. Mecanismos de tolerancia a metales pesados

Los mecanismos de tolerancia que han desarrollado las plantas para resistir a la exposición de metales pesados varían entre las especies y están determinados por el tipo de metal. Las fases del proceso por el cual acumulan metales pesados (Delgadillo, et al., 2011) son:

- ✓ Fase I: consiste en el transporte de los metales pesados al interior de la planta y posteriormente al interior de la célula. La captación se da por medio de la raíz, que constituye el tejido de entrada de los metales, aquí se crea un equilibrio dinámico que facilita la entrada hacia el interior de la célula.
- ✓ Fase II: los metales dentro de la planta son secuestrados o acomplejados mediante la unión a ligandos. Los principales quelantes producidos por las plantas son ácidos orgánicos, algunos aminoácidos, y dos clases de péptidos como fitoquelatinas y metalotéínas.
- ✓ Fase III: consiste en la compartimentalización y detoxificación, donde el complejo ligando—metal, formado en la fase II queda retenido en la vacuola (ilustración 9-2).

La detoxificación generalmente involucra la conjugación seguida del secuestro activo en la vacuola, que es el lugar donde el contaminante hace menor daño. Los quelantes son: glutatión (GSH), glucosa (Glu), Metalotioneínas (MT), nicotidamina (NA), ácido orgánicos (OA), fitoquelatinas (PC).

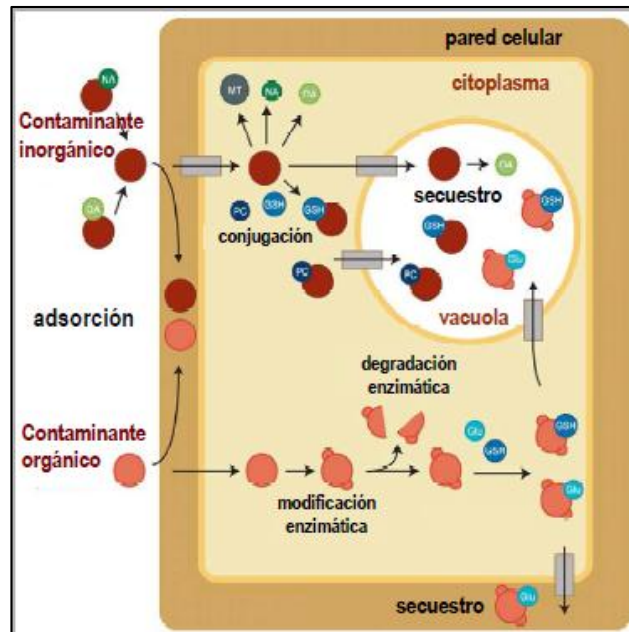


Ilustración 9-2. Mecanismos de tolerancia para contaminantes orgánicos e inorgánicos en plantas.
Fuente: (Mentaberry, 2011).

Los mecanismos de tolerancia a metales pesados de las plantas, involucran estrategias de exclusión, mineralización, reducción, solubilización, quelación, redistribución, y acumulación. La reducción implica la transformación de especies químicas altamente tóxicas a especies menos tóxicas, como es el caso del cromo VI a cromo III, las cuales son asimiladas y metabolizadas por las plantas. Estas especies metálicas individuales sufren una biotransformación al ser acomplejadas o secuestradas por un ligante existente o sintetizado, esta estrategia es conocida como quelación, que es un mecanismo de detoxificación, es un proceso donde se forma un complejo muy estable entre el metal y un ligante, que es transferido y acumulado en las vacuolas. De esta forma el metal se encuentra secuestrado, en la ilustración 10-2 se ilustra el proceso de detoxificación de cromo efectuado por el lirio acuático.

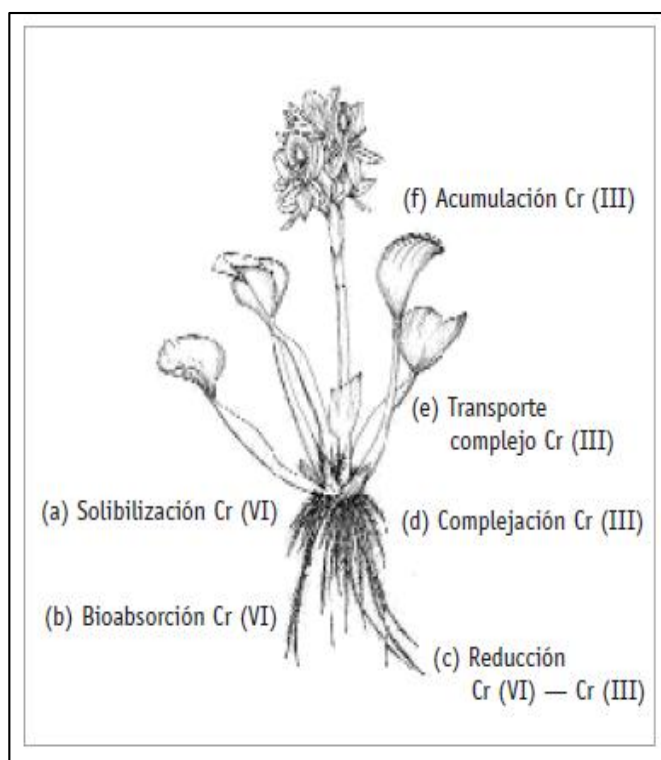


Ilustración 10-2. Proceso de detoxificación de cromo efectuado por el lirio acuático

Fuente: (Núñez, Meas, Ortega, & Olguín, 2004, pág. 75)

2.6. Descripción de las especies vegetales

Las especies que se utilizaron en el proceso de fitorremediación fueron: Alfalfa (*Medicago sativa*) y Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), las mismas que se describen a continuación:

2.6.1. *Medicago sativa*

Es una planta perenne, de crecimiento recto, muy ramificada. Raíces vigorosas, profundas y resistentes de las cuales emergen tallos de 30 -90 cm. Los cultivos de esta especie se consideran los más forrajeros. Se encuentra dentro de la siguiente clasificación.

2.6.1.1. Taxonomía

Reino	Vegetal
División	Plantae
Clase	Magnoliophyta
Orden	Magnoliopsida
Familia	Fabales
Género	<i>Medicago</i>
Especie	<i>Medicago sativa</i>



Ilustración 11-2. Planta de alfalfa

Fuente: (Bonilla, 2013)

2.6.1.2. Morfología de la alfalfa

De acuerdo con Pozo (1983):

- **La raíz**

Las raíces de la alfalfa son abundantes y profundas. Constan de una raíz principal, robusta y pivotante, y numerosas secundarias, las características del suelo determinan el grado de ramificación. Se ha observado que tres o cuatro meses después de la siembra la raíz puede llegar a 0.4 m de profundidad. El crecimiento de la raíz determina la capacidad de la planta para extraer agua de las capas más profundas por ende, su resistencia a la sequía.

- **Tallos y corona**

La alfalfa es una planta erecta, en la germinación el primer tallo nace entre los cotiledones, en las axilas de estos se producen yemas que posteriormente dan origen a nuevos tallos. El número de tallos depende de la edad puede llegar hasta 20, el crecimiento de estos es provocado por cortes o un nuevo ciclo fisiológico de crecimiento. A medida que la planta se desarrolla entre la parte aérea y la raíz, una estructura llamada corona, que es un conjunto de la parte basal de tallos nuevos y viejos, aquí se almacenan sustancias de reserva y es la sede de yemas.

- **Hojas**

Las hojas se unen al tallo por el peciolo y son trifolioladas, es decir que se componen de tres folíolos peciolulados. Las hojas se disponen en los tallos de forma alternada y opuesta y se originan en el nudo de los mismos.

- **Flor y fruto**

El tallo que se desarrolla a partir de una yema del cuello de la planta, florece en los meses de junio a octubre. Las flores se encuentran en racimos axilares y son de color violeta. La legumbre es larga, enrollada en espiral de tres a cinco vueltas e indehisciente. Esta alberga un gran número de pequeñas semillas arriñonadas. (Pozo Ibáñez, 1983, pág. 61)



Ilustración 12-2. Morfología de la planta

Fuente: (Bonilla, 2013)

2.6.1.3. Aspectos Fisiológicos de la alfalfa

De acuerdo con Pozo (1983):

- **Germinación**

La semilla en el suelo se empieza a embeber de agua y desarrolla una raíz partiendo de la radícula preexistente, y un talluelo se estira hasta alcanzar la superficie del suelo. Esto se realiza a costa de las reservas que se encuentran en la semilla, por lo tanto es necesario tomar en cuenta la profundidad de siembra. Además es preciso que el suelo tenga humedad suficiente para la germinación. La geminación y emergencia de la planta ocurre a los 7 días. Posteriormente del tallo emerge la primera hoja, convirtiéndose en plántula, este proceso dura entre 10 y 15 días.

- **Nutrición**

La planta necesita de varios elementos minerales y no minerales para su crecimiento y desarrollo. La proporción de estos elementos en equilibrio es fundamental, pues están interrelacionados, pues la deficiencia o exceso de uno de ellos puede limitar la utilización por la planta de otros.

- **Requerimientos de la alfalfa**

La alfalfa es un cultivo que se adapta bien en climas fríos y templados. La temperatura óptima varía de 18 a 28 °C. La alfalfa requiere un clima adecuado en altitudes comprendidas entre 1500 a 3000 msnm. Se desarrolla en suelos bien drenados y aireados, es muy sensible a la falta de oxigenación, en estado de plántula un anegamiento se convierte en letal, requiere un pH de 5.6 a 7.0.

- **Manejo de cultivo**

En la sierra ecuatoriana se produce utilizando plántulas en sistemas de canteros que están formados por lomos y surcos. Los primeros son de 30 cm de ancho y

allí se ubican las plántulas separadas 20 cm y en doble fila. Y por los surcos se absorbe el agua, estos tienen un ancho de 20 cm. La alfalfa es una planta resistente a la sequía, debido a su penetrante sistema radicular que le permite que busque humedad, ya que la sequía estimula el desarrollo de las raíces que penetran con facilidad el suelo. Los riegos pueden aplicarse cada 15 días.

2.6.2. *Eichhornia crassipes*

Las macrófitas acuáticas, son especies que se han considerado como plagas para lagos y lagunas debido a su rápido crecimiento, pero si estas son controladas adecuadamente, se convierten en la mejor alternativa para el tratamiento de aguas residuales, debido a su capacidad de absorción de contaminantes presentes en el agua. Algunas de estas plantas tienen una alta capacidad de acumulación de metales pesados por diferentes mecanismos. (Arenas, Marcó, & Torres, 2011, pág. 3)

Tabla 5-2. Función de las plantas acuáticas en los sistemas de tratamiento.

Parte de la planta	Función
Raíces o tallos sumergidos	<p>Sustrato para crecimiento de comunidades microbianas</p> <p>Medio para filtración y adsorción de sólidos</p> <p>Bioabsorción y acumulación de contaminantes</p>
Tallo u hojas emergentes	<p>Atenúan la luz del sol y así pueden evitar el crecimiento de algas suspendidas</p> <p>Reducen los efectos del viento sobre el agua</p> <p>Transfieren oxígeno desde las hojas a la raíz</p> <p>Reducen la transferencia de gases y calor entre la atmósfera y el agua</p> <p>Transfieren y acumulan contaminantes</p>

Fuente: (Núñez, Meas, Ortega, & Olguín, 2004)

Como se puede apreciar en la tabla 5-2, las raíces de las plantas sirven como sustrato para la comunidad microbiana, y posteriormente las plantas a través de sus actividades metabólicas se encargan de asimilar, transformar, y acumular los diferentes tipos de contaminantes.

2.6.2.1. Taxonomía

La macrófita acuática *Eichhornia crassipes* se encuentra dentro la clasificación:

Reino	Vegetal
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Pontederiales
Familia	Pontederiaceae
Género	<i>Eichhornia</i>
Especie	<i>Eichhornia crassipes</i>

2.6.2.2. Descripción

Es también conocido como Jacinto de agua, lirio de agua, camalote o lechugín, es una planta acuática, vascular de flotación libre con raíces sumergibles sin anclarlas al suelo. Cubren una gran superficie de agua con rapidez. Habita en ríos, estanques, lagunas y presas, no resiste el medio salino. (Burnie, 2006)

Esta especie es una planta perenne acuática, en la parte sumergida se sitúan las raíces que son gruesas, de aspecto plumoso, muy densas y de color negro-púrpura, por pigmentos que contienen. La parte aérea forma una especie de roseta de hojas pecioladas que esta sobre la lámina de agua, las hojas son de verde reluciente aovadas de unos 10 a 12 cm de diámetro, con pecíolos ensanchados con tejido

esponjoso que le permite flotar (ilustración 13-2). (Curt Fernández, Fernández González, Miguel Boescoechea, & Miguel Muñóz)

Sus flores violeta pálido, están marcadas con brillantes azules y dorados, y nacen en erguidas espigas terminales. La planta se extiende lateralmente hasta tapizar toda la superficie del agua mediante el desarrollo de estolones y formación de renuevos, se reproduce por división, llega a medir 50 cm desde la raíz hasta la parte superior. (Álvarez, 2007, pág. 20)

En las primeras etapas de invasión las rosetas son pequeñas y crecen esparcidas, en esta fase los peciolo son cortos y crecen horizontalmente a la superficie del agua. Cuando la densidad de plantas aumenta, el tamaño de las rosetas es mayor, los peciolo son más largos y crecen perpendicularmente a la superficie del agua, además se inflan en el centro. (Robles & Madsen, 2009)

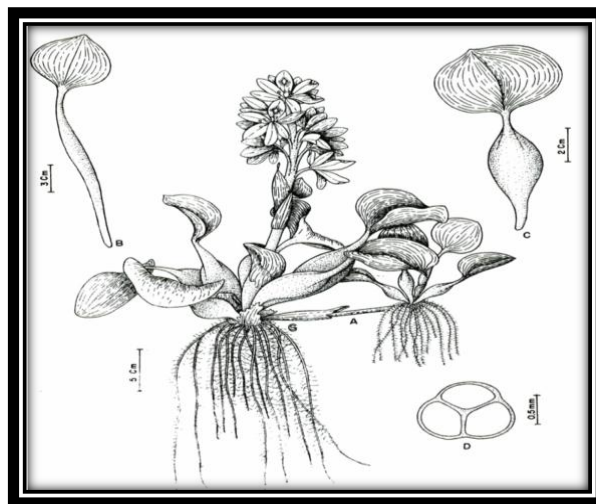


Ilustración 13-2. *Eichhornia crassipes*. A. hábito; B. hojas no infladas; C. hojas infladas en flotantes; D. corte transversal del ovario.

Fuente: (Velasquez, 1994, pág. 847)

- **Requerimientos del Jacinto de agua**

- ✓ Su crecimiento va a depender del medio donde se desarrolle.
- ✓ Requieren iluminación o semisombra, la temperatura debe estar en rangos entre 20 a 30°C, hay que protegerlas de las heladas.
- ✓ Referente a la relación nitrógeno / fósforo, debido a su fisiología, el nitrógeno se agotará antes que el fósforo
- ✓ Necesita un pH situado entre 6.5 – 7.5, dureza media su crecimiento es favorecido por el agua rica en nutrientes.
- ✓ Respecto al caudal, necesita aguas estancadas o con corriente lenta. Se cultiva en contenedores con una profundidad mínima de 15 a 20 cm.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1. *Tipo de investigación*

En este estudio se aplicó el tipo de la investigación exploratoria, que se caracteriza por realizar un estudio piloto, que son aquellos que se estudian por primera vez o muy poco investigados o se emplean para identificar una problemática.

Además se empleó la investigación descriptiva, puesto que se realiza la caracterización y descripción de la degradación de cromo VI.

3.1.2. *Diseño de investigación experimental*

Se basa en una investigación de naturaleza experimental, es la que obtiene su información de la actividad intencional realizada por el investigador y que se encuentra dirigida a modificar la realidad, con el fin de hacer las comparaciones necesarias para comprobar las hipótesis o rechazarlas según el caso. Para cual emplea las variables independientes para observar los efectos en las respectivas variables dependientes, con el propósito de precisar la relación causa-efecto.

En el estudio las variables dependientes estuvieron sujetas a la acción de las variables independientes. Se trabajó con variables en condiciones rigurosamente controladas, esto con el fin de poder describir el comportamiento y el avance de la investigación.

3.1.3. Unidad de análisis

En la presente investigación las unidades de análisis son los medios físicos: suelo y agua, en los que se aplicó la técnica de fitorremediación.

3.1.4. Población de estudio

El principal objeto de estudio es la velocidad de degradación de cromo VI, la población de estudio serán dos plantas piloto de fitorremediación.

3.1.5. Tamaño de muestra

Serán las muestras de suelo y agua, las cuales serán sujetas a análisis de laboratorio para determinar la concentración de cromo VI.

Se realizara el muestreo y se recolectaran las muestras de suelo y agua respectivamente.

3.1.6. Técnicas de recolección de datos

La recolección de datos será en base a los resultados de los análisis de laboratorio de las muestras analizadas. Estos serán utilizados en la generación de curvas de la degradación del cromo VI en cada caso de estudio.

3.2. Parte experimental

En esta sección se describirán las actividades correspondientes para alcanzar los objetivos propuestos y resultados deseados en la investigación.

3.2.1. *Respecto a las especies vegetales*

Para la identificación de las especies vegetales a utilizarse en esta investigación, se llevó a cabo una revisión de literatura existente sobre la capacidad de distintas especies para lograr la remoción de metales pesados, de la misma resultaron:

Medicago sativa, la especie terrestre más eficiente en procesos de degradación de metales pesados, resistente a condiciones de sequía y que por sobre todo es de fácil acceso. El tallo de estas plántulas tuvo una longitud de 5 a 10 cm, lo que indicaba que la planta había alcanzado una madurez necesaria para su trasplante (anexo B). Las características físicas de las plántulas tomadas en cuenta fueron:

- Color natural: el color de las hojas es verde vivo, que no presente clorosis.
- Buen estado anatómico: que la planta presente un crecimiento recto, su tallo delgado, muy ramificado, sus hojas trifoliadas de margen liso y ligeramente dentado.
- Ausencia de plagas: las plagas que atacan al cultivo son pulguitas, pulgones y gusanos.

Para obtener plantas de calidad que se encuentren en las condiciones óptimas, estas fueron adquiridas de una casa comercial proveedora de productos agrícolas.

Eichhornia crassipes es una especie acuática, considerada la mejor alternativa para el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados, por su capacidad de absorción, resistencia a condiciones adversas, tolerancia a altas concentraciones. Las plántulas fueron colectadas de un reservorio de agua, en el cantón Píllaro, de la provincia de Tungurahua, considerando:

- Buena pigmentación: el color de las hojas es verde reluciente, que no presente clorosis.
- Que no presenten anomalías: en su parte aérea, sus hojas son muy características, por los pecíolos de consistencia esponjosa con apariencia de hinchados.

- Que sean plantas jóvenes: reconociendo el color negro-púrpura en sus raíces por los pigmentos que contienen, aptas para realizar el trasplante.

Se obtuvieron 15 plantas individuales, provenientes de una plantación madre. Ninguna de las plantas presentó inflorescencia (anexo A).

3.2.2. Preparación de medios físicos

3.2.2.1. Suelo

Se preparó 25 kg de tierra negra, marca CRIBOS IND., la cual es libre de maleza y rica en elementos naturales. En este suelo se adicionó 10 litros de disolución de cromo VI, debido a que bajo los criterios técnicos del documento “Manual de estudio y ejercicios de relación suelo-agua-planta”, se asume que por cada 1000 cm³ de volumen de suelo se necesita 225 cm³ de agua, misma que debería saturar el suelo, permitiendo que el agua sea disponible para las plantas como humedad aprovechable.

Para la preparación de la disolución de Cromo VI, se requirieron 20 mL de solución de cromo hexavalente, (anexo C) con concentración de 1000 mg/L, con el fin de obtener una concentración inicial de 2 ppm. Esta disolución fue aplicada al suelo con la ayuda de una bomba manual para evitar el arrastre de partículas (anexo D).

3.2.2.2. Agua

Para este medio, la disolución de Cromo VI se realizó en 30 litros de agua, adicionando 60 mL de solución de Cromo VI, con una concentración de 1000 mg/L, con el fin de obtener una concentración de 2 ppm con la cual se iniciará el proceso (anexo E). El volumen de agua utilizado se determinó en función a la disponibilidad de reactivo.

3.2.3. *Diseño y construcción de las plantas piloto*

Para el diseño de la fase experimental del presente estudio, se consideró previamente criterios para la construcción de las plantas piloto.

- Para el suelo, la profundidad se determinó con base en las características morfológicas de la raíz de *Medicago sativa*, se afirma que a los 4 meses la raíz tendrá una longitud máxima de 0,40 m, también se consideró la masa total de suelo a remediar. Para el largo y ancho de la unidad experimental se dimensionó un contenedor de forma rectangular a manera de parcela, en la cual se estableció un sistema de canteros. (anexo F)

Considerando estos criterios se construyó una unidad experimental en material de vidrio, de 0,45m de ancho, 0,60m de largo y 0,40m de profundidad. Con 25 kg de suelo.

- Para el agua, la profundidad del recipiente se determinó con base en los requerimientos de caudal de la especie *Eichhornia crassipes*, su cultivo en contenedores debe tener una profundidad mínima de 15-20 cm.

El largo y ancho se determinó conociendo que en las primeras etapas de la especie, sus peciolos crecen horizontalmente a la superficie del agua, con un diámetro de 10-12 cm y se extienden lateralmente, por lo que se dimensionó una unidad experimental de forma rectangular. Teniendo en cuenta estos criterios, se construyó un recipiente de vidrio de 0.25 m de profundidad, 0,40 de ancho y 0,60 de largo, en la cual se colocó el volumen de 30 litros de agua.

Las plantas piloto se instalaron en un cobertizo ubicado en la Ciudad de Ambato, Provincia de Tungurahua. El área donde se desarrolló la investigación, tiene una altura de 2240 msnm, la temperatura presenta un valor de 7 a 24° C, la precipitación anual varía de 412 hasta 675 mm, la evaporación promedio es de 2605,35 mm.

Estas unidades experimentales se ubicaron en un ambiente con algunas condiciones semi-controladas como lluvia e iluminación excesiva. Con el fin de eliminar interferencias no deseadas en el proceso.

3.2.4. Adaptación de las especies vegetales a los medios físicos.

- En el suelo, después de seleccionadas las plántulas de *Medicago sativa* apropiadas para trasplante, se procedió a realizar la siembra. La densidad de siembra fue 18 plantas/0.27 m² de área superficial, dejando libre un espacio de 10 cm entre cada planta para el desarrollo normal de sus raíces (Anexo G).

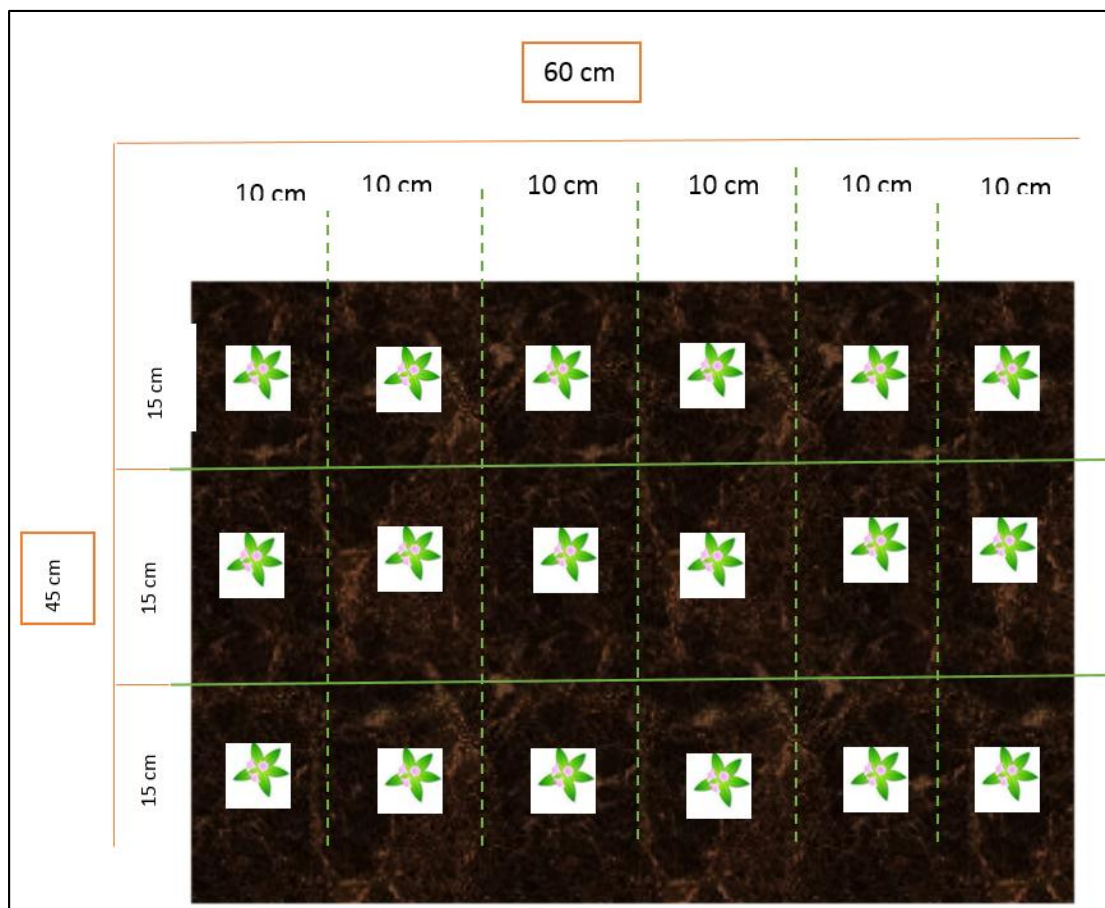


Ilustración 14-3. Distribución de las especies en el suelo.

Realizado por: Abril E.

En los días posteriores al trasplante se tuvo especial atención en el proceso, teniendo en cuenta la adaptabilidad de las plantas a las condiciones de la unidad experimental, además se realizó un riego periódico en el suelo con frecuencia de una vez por semana, a fin de mantener la humedad, conociendo que la especie es resistente a la sequía.



Ilustración 15-3. Adaptación de especies para el proceso de fitorremediación

Realizado por: Abril E.

- En el agua, después de seleccionadas las plántulas de *Eichhornia crassipes* apropiadas para trasplante, se procedió a realizar la implantación, la densidad de siembra fue 15 plantas/0,24 m², debido a que estas plantas en el medio acuático se desplazan por sus características morfológica. (Anexo H).

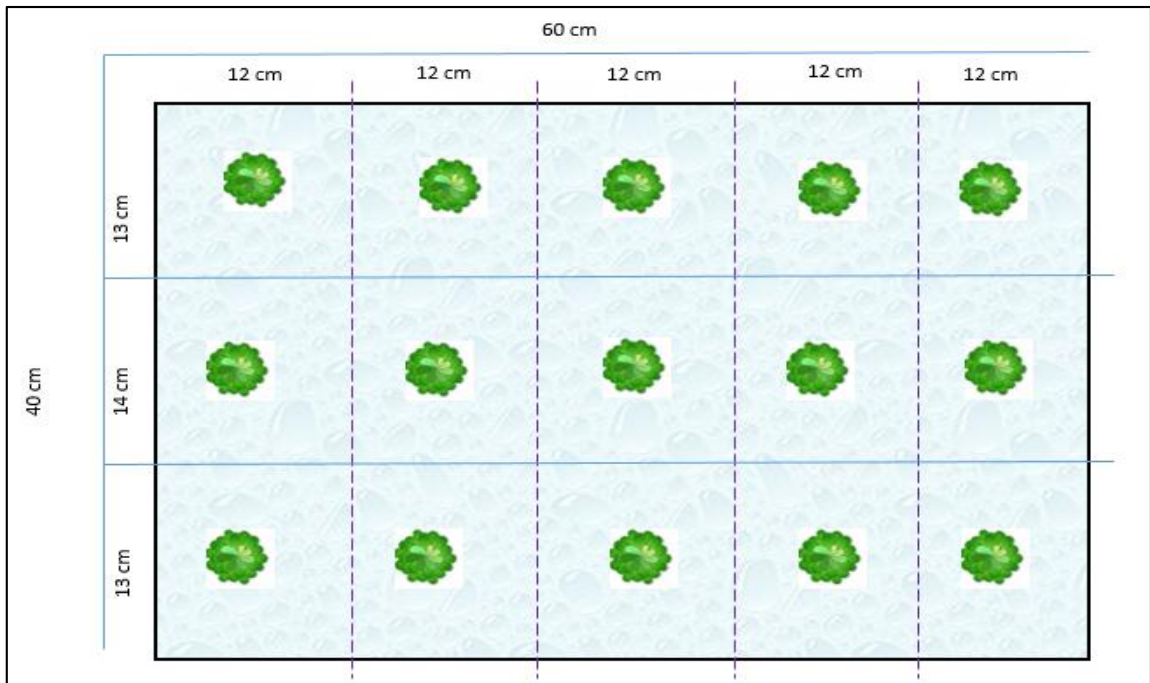


Ilustración 16-3. Distribución de las especies en el agua.

Realizado por: Abril E.

En los días posteriores al trasplante se tuvo especial atención en el proceso, teniendo en cuenta la adaptabilidad de las plantas a las condiciones de la unidad experimental.



Ilustración 17-3. Adaptación de especies para el proceso de fitorremediación.

Realizado por: Abril E.

3.2.5. Seguimiento y control de las unidades experimentales

En este proceso de investigación durante 65 días se realizó el monitoreo de pH mediante la utilización de tiras reactivas, esto con el propósito de mantener un medio óptimo para las especies vegetales.

Además se realizaron 3 mediciones en laboratorio, con el fin de corroborar la variación de pH. En resumen la metodología aplicada para los análisis efectuados se puede apreciar en la tabla 6-3 en cuanto al suelo y en la tabla 7-3 respecto al agua.

3.2.5.1. Métodos analíticos de laboratorio para medición de pH.

La medición de pH en las diferentes muestras se realizó en LABCESTTA, según los métodos que se detallan a continuación:

Tipo de muestras	Método
Suelo	PEE/LABCESTTA/24 EPA 9045 D
Agua	PEE/LABCESTTA/05 Standard Method No. 4500-H B

El principio básico de la determinación electrométrica del pH es la medida de la actividad de los iones hidrógeno por mediciones potenciométricas utilizando un electrodo patrón de hidrógeno y otro de referencia.

El electrodo de hidrógeno consiste en un electrodo de platino por el que se pasan burbujas de hidrógeno gaseoso a una presión de 101 kPa. Debido a la dificultad de utilizarlo y al potencial de intoxicación del electrodo de hidrógeno, se utiliza comúnmente el electrodo de vidrio.

3.2.6. Cuantificación de Cromo VI

La degradación de Cromo VI se cuantificó de acuerdo a los datos obtenidos en los análisis de laboratorio, en las muestras de suelo, agua y tejido vegetal de las plantas *Medicago sativa* y *Eichhornia crassipes*.

- **Plan de monitoreo de suelo:**

El monitoreo de la unidad experimental se desarrolló durante 65 días, se realizaron 3 muestreos obteniendo una muestra compuesta y representativa (anexo M) para cada medición. El análisis inicial se realizó previo al tratamiento. En resumen la metodología aplicada para los análisis efectuados se puede apreciar en la tabla 6-3.

Tabla 6-3. Monitoreo de suelo

Tipo de monitoreo	Frecuencia	Parámetros
Inicial	-	Cromo hexavalente pH
Intermedio	45 días	Cromo hexavalente pH
Final	65 días	Cromo hexavalente pH

Realizado por: Abril E.

- **Plan de monitoreo de agua**

El monitoreo de la unidad experimental se desarrolló durante 65 días, se realizaron 3 muestreos obteniendo una muestra integrada de 1 litro para cada medición. El análisis inicial se realizó previo al tratamiento. En resumen la metodología aplicada para los análisis efectuados se puede apreciar en la tabla 7-3.

Tabla 7-3. Monitoreo de agua

Tipo de monitoreo	Frecuencia	Parámetros
Inicial	-	Cromo hexavalente pH
Intermedio	45 días	Cromo hexavalente pH
Final	65 días	Cromo hexavalente pH

Realizado por: Abril E.

- **Plan de monitoreo de tejido vegetal de las plantas**

Este muestreo se efectuó transcurridas 8 semanas de tratamiento. Para obtener una muestra integrada se realizó la extracción manual de todas las plantas de agua y suelo con la mayor cantidad de raíces posible y se lavó cuidadosamente cada una (anexo N). Los parámetros analizados fueron cromo hexavalente y cromo total.

3.2.6.1. *Métodos analíticos de laboratorio para la cuantificación de Cromo VI*

La cuantificación de cromo VI en las diferentes muestras se realizó en LABCESTTA en la Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, es un Laboratorio de Análisis Ambiental e Inspección, Acreditado por el SAE.

- La cuantificación de cromo VI en las muestras de suelo se lo realizó a través del Método Espectofotométrico,
- La cuantificación de cromo VI en las muestras de agua, a través del Método PEE/LABCESTTA/32 Standard Methods, Ed. 22.2012 3500 Cr B.
- La cuantificación de cromo VI en el tejido vegetal se lo realizó a través del Método Espectofotométrico.

Tipo de muestras	Método
Suelo	Espectofotométrico
Agua	PEE/LABCESTTA/32 Standard Methods, Ed. 22.2012 3500 Cr B.
Tejido vegetal	Espectofotométrico

El principio básico para la aplicación de estos métodos se basa en la determinación colorométrica del cromo hexavalente por reacción con difenilcarbazida en solución ácida. Se produce un color rojo violeta de composición desconocida. La reacción es muy sensible y la lectura se la realiza en un espectrofotómetro a 540 nm.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de resultados

4.1.1. Caracterización del cromo VI en las muestras de agua y suelo

Como esta descrito en el capítulo anterior, se utilizó dos medios físicos diferentes: suelo con la especie (*Medicago sativa*) y agua (*Eichhornia crassipes*). De ahí surgen dos sistemas a analizar, para deducir la degradación de Cromo VI en cada medio.

4.1.1.1. Resultados de muestra de suelo

Durante la fase experimental, misma que tuvo una duración de 65 días, se realizaron tres muestreos, con el fin de cuantificar el Cromo VI. Los resultados obtenidos del análisis de suelo (Anexos J, K, L), realizados en LABCESTTA, permitieron determinar la degradación de cromo VI, como se muestra en la tabla 8-4.

Tabla 8-4. Concentración de cromo VI.

ase de muestreo	Tiempo de muestreo	Resultados (mg/kg)
Inicial	1 días	0,28
Intermedio	45 días	0,02
Final	65 días	0,02

Realizado por: Abril E.

4.1.1.2. Resultados de muestra de agua

Durante la fase experimental que tuvo una duración de 65 días, se realizaron tres muestreos, con el fin de cuantificar el Cromo VI. Los resultados obtenidos del análisis de agua (anexos J, K, L) realizados en LABCESTTA, permitió determinar la degradación de cromo VI, como se muestra en la tabla 9-4.

Tabla 9-4. Concentración de cromo VI.

Fase de muestreo	Tiempo de muestreo	Resultados (mg/kg)
Inicial	1 días	2,01
Intermedio	45 días	0,02
Final	65 días	0,02

Realizado por: Abril E.

4.1.2. Plantas piloto de fitorremediación

El diseño y construcción de las plantas piloto se llevaron a cabo en base a características morfológicas y requerimientos de las especies vegetales procurando su óptimo desarrollo.

Se realizó un seguimiento de las especies vegetales de las unidades experimentales en función de la absorción de cromo VI, a continuación se presenta la descripción de las especies en la investigación

4.1.2.1. Cultivo de plántulas de *Medicago sativa*

En el capítulo anterior se describe detalladamente la procedencia de las plántulas de *Medicago sativa* (alfalfa) con capacidad degradadora de metales pesados.

Las plántulas de *Medicago sativa* fueron trasplantadas al suelo contaminado con 0,28 mg/kg de Cromo VI, presentaron una ligera marchitez y pérdida de hojas pocos días después de realizar la siembra debido al estrés de adaptación, pero no presentaron daños físicos visibles en su desarrollo durante los 65 días de tratamiento.

Los promedios generales de longitud del tallo se incrementaron de la primera medición previa al trasplante siendo esta 5 cm a 45 cm en la última medición, en la figura (18-4) se muestra el crecimiento de las plantas en la unidad experimental.

Respecto a la raíz, transcurridos 20 días del proceso las plantas presentaban raíces secundarias, una vez finalizado el proceso, la raíz en promedio tenía una longitud de 20 cm. Estos se detallan a continuación en la tabla 10-4:

Tabla 10-4. Promedios de longitud del tallo y raíz

Medición	Inicial	Final
Longitud del tallo	5 cm	45 cm
Longitud de la raíz	3 cm	20 cm

Realizado por: Abril E.

UNIDAD EXPERIMENTAL

DÍA

1



15



30



45



60



**Ilustración 18-4. Desarrollo de las plántulas de alfalfa en la unidad experimental.
Realizado por: Abril E.**

El propósito del presente estudio fue aplicar fitorremediación, para conocer si la especie *Medicago sativa* tenía la capacidad de absorber cromo VI y almacenarlo en sus tejidos, para ello se realizó un análisis de tejido vegetal de acuerdo a lo indicado en la metodología. En la tabla 11-4, se muestran los resultados del análisis del tejido vegetal (Anexo M), con los que se determinó la absorción de cromo por las plantas. Estos resultados permitieron confirmar el proceso de fitorremediación.

Tabla 11-4. Análisis del tejido vegetal

Análisis del tejido vegetal	
Parámetros	Resultado
Cromo hexavalente	0,19 mg/kg
Cromo total	1,44 mg/kg

Realizado por: Abril E.

Para conocer el porcentaje de absorción de cromo VI por las plantas, se empleó una regla de proporción con la concentración inicial en el suelo y la concentración acumulada en el tejido vegetal de las plantas. Dando como resultado que el 67,85% de cromo VI, se encontraba acumulado en el tejido vegetal de las plantas.

0,28 mg/kg	→	100%
0,19 mg/kg	→	X
X = 67,85 %		

A continuación en la tabla 12-4 se detalla los porcentajes de acuerdo al destino del metal, partiendo de la concentración inicial de 0,28 mg/kg de cromo VI que es el 100%.

Tabla 12-4. Porcentajes de cromo VI

Localización del cromo VI	Concentración	Porcentaje
Retenido en el tejido vegetal	0,19 mg/kg	67,85%
Retenido en el suelo	0,02 mg/kg	7,14%
Reducción de cromo VI a cromo III	0,07 mg/kg	25 %

Realizado por: Abril E.

Se estima que se produjo una reducción de cromo VI a cromo III en el suelo, por medio de agentes oxidantes y reductores, producidos por microorganismos y que son responsables de cambios en el pH. Esta estimación se realiza mediante el análisis de cromo total en las plantas dando como resultado que el 17,86 % es cromo III.

4.1.2.2. Cultivo de plántulas de *Eichhornia crassipes*

En el capítulo anterior se describe detalladamente la procedencia de las plántulas de *Eichhornia crassipes* (lechugín) con capacidad degradadora de metales pesados. Estas fueron implantadas en el agua contaminada con 2,01 mg/L de cromo VI, debido a esto presentaron daños físicos visibles en su desarrollo, durante el proceso las plantas mantuvieron su color característico, pero transcurridos 30 días se pudo observar que las hojas presentaban necrosis que se extendía a los pecíolos, como respuesta fisiológica a la absorción del metal, en la figura (19-4) se muestra dicha necrosis.

En el proceso las plantas no tuvieron un crecimiento significativo, sin embargo se pudo observar el desarrollo de estolones y formación de nuevos brotes, como se puede ver en la ilustración 20-4.



**Ilustración 19-4. respuesta fisiológica de la especie.
Realizado por: Abril E.**

En la unidad experimental se pudo percibir la pérdida significativa de volumen de agua que se utilizó inicialmente, debido a la evapotranspiración producida por las plantas, ya que está relacionada con el crecimiento vegetal. Es un punto de vista importante a tomar en cuenta al momento de realizar tratamiento de aguas. En la ilustración 21-4 se puede observar el desarrollo de las plantas.



**Ilustración 20-4. Desarrollo de las plantas
Realizado por: Abril E.**

UNIDAD EXPERIMENTAL

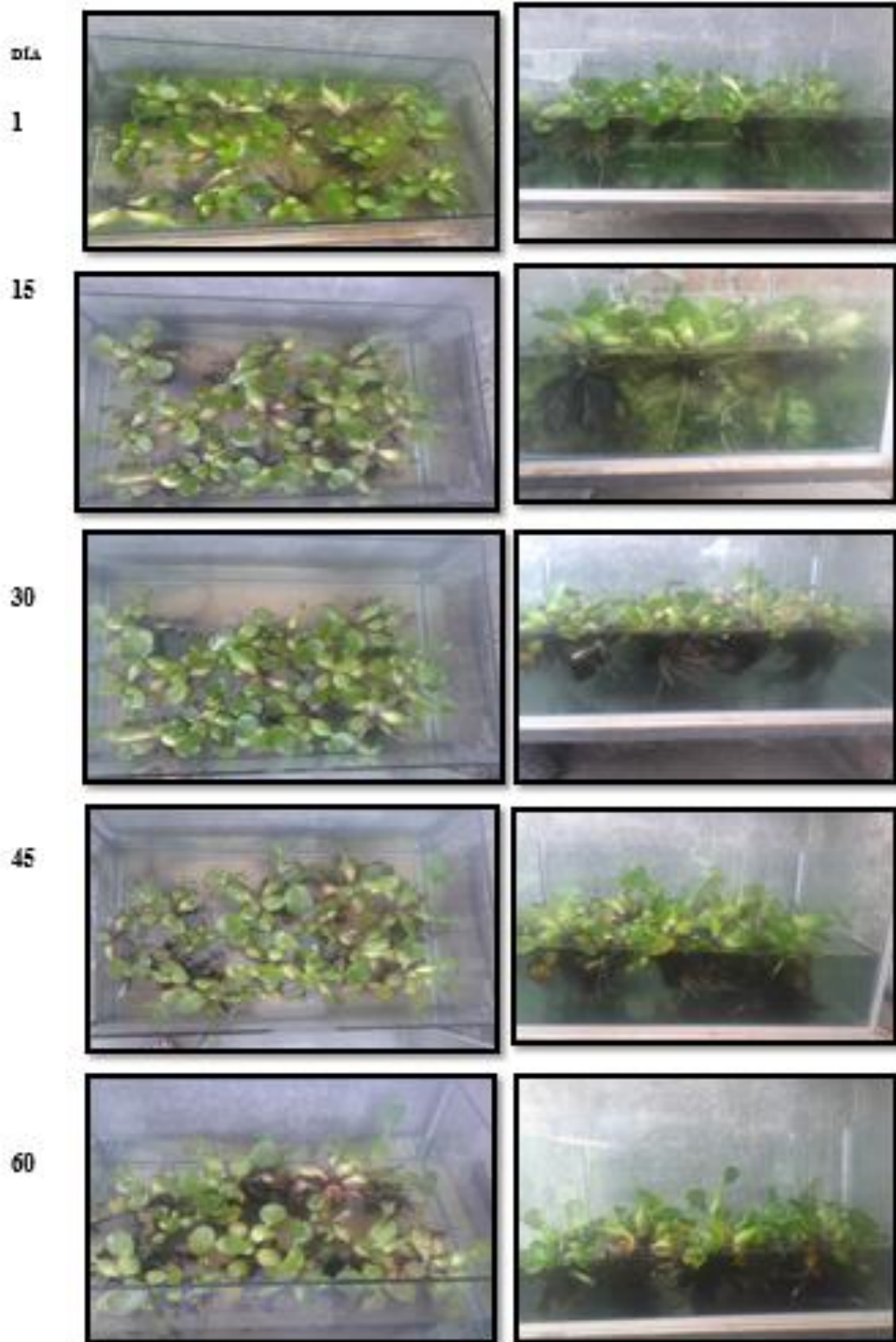


Ilustración 21-4. Desarrollo de las plantas en la unidad experimental.

Realizado por: Abril E.

En la tabla 13-4, se muestran los resultados del análisis del tejido vegetal (Anexo M), con los que se determinó la absorción de cromo por las plantas. Estos resultados permitieron confirmar el proceso de fitorremediación

Tabla 13-4. Análisis del tejido vegetal

Análisis del tejido vegetal	
Parámetros	Resultado
Cromo hexavalente	1,73 mg/kg
Cromo total	546,97 mg/kg

Realizado por: Abril E.

Para conocer el porcentaje de absorción por las plantas, se empleó una regla de proporción con la concentración inicial del agua y la concentración en el tejido vegetal extraída por las plantas. Dando como resultado que el 86,06 % de cromo VI, se encontraba acumulado en el tejido vegetal de las plantas.

2,01 mg/L	→	100%
1,73 mg/L	→	X
X= 86,06 %		

A continuación en la tabla 14-4 se detalla los porcentajes de acuerdo al destino del metal, partiendo de la concentración inicial de 2,01 mg/l de cromo VI que es el 100%.

Tabla 14-4. Porcentajes de cromo VI

Localización del cromo VI	Concentración	Porcentaje
Retenido en el tejido vegetal	1,73 mg/L	86,06 %
Retenido en el suelo	0,02 mg/L	0,99 %
Reducción de cromo VI a cromo III	0,26 mg/L	12,93 %

Realizado por: Abril E.

Se estima que se produjo una reducción de cromo VI a cromo III en el agua, por medio de agentes oxidantes y reductores, producidos por microorganismos y que son responsables de cambios en el pH. Esta estimación se realiza mediante el análisis de cromo total en las plantas dando como resultado que el 12,93 % es cromo III.

4.1.2.3. Resultados de monitoreo del pH

Durante este proceso se controló la variación del pH empleando tiras reactivas y análisis de laboratorio con el fin de determinar un medio óptimo para el desarrollo de las plantas. En figura 22-4, se puede apreciar la variación del parámetro pH en las dos unidades experimentales.

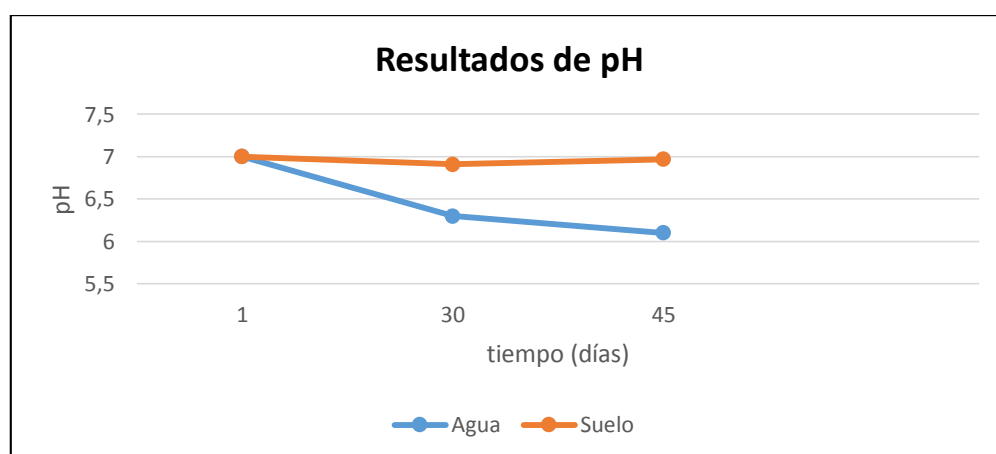


Ilustración 22-4. Variación de pH.

Realizado por: Abril E.

4.1.3. Generación de curvas de degradación de cromo VI

Como esta descrito en el capítulo anterior, se realizó un proceso de fitorremediación en plantas piloto, en medios físicos diferentes: suelo con la especie (*Medicago sativa*) y agua (*Eichhornia crassipes*). De ahí surgen dos sistemas a analizar, para deducir la degradación de Cromo VI en cada medio.

4.1.3.1. Suelo.

Después de realizada la cuantificación de resultados en el suelo, en la figura 23-4, se expresa la curva de degradación de Cromo VI, donde se relacionan las variables concentración del metal con el tiempo de tratamiento.

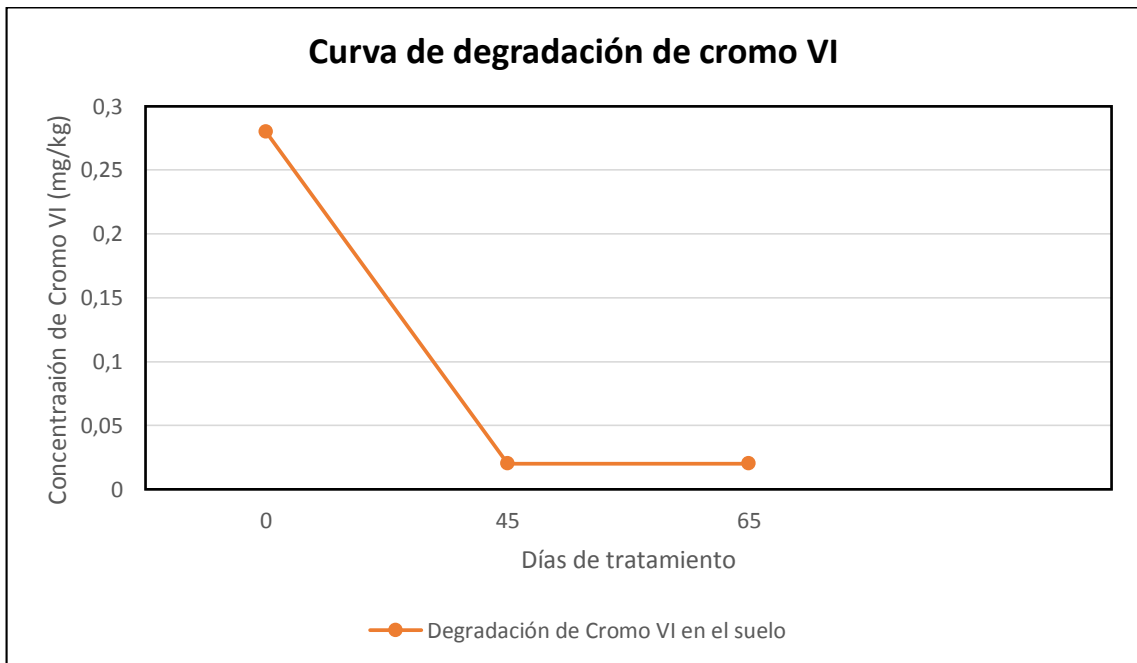


Ilustración 23-4. Curva de degradación de cromo VI en el suelo

Realizado por: Abril E.

3.2.6.2. *Eficiencia del proceso*

La determinación de la eficiencia se realizó por medio de los resultados de laboratorio obtenidos, usando una regla de proporción, de la concentración inicial menos la final y de lo cual se estimó:

Cromo reducido: $\text{Concentración}_{\text{inicial}} - \text{concentración}_{\text{final}}$ **(Ecuación 1)**

Cromo reducido: $(0,28 - 0,02) \text{ mg/kg}$

Cromo reducido: $0,26 \text{ mg/kg}$

➤ Cálculo del porcentaje de remoción de Cromo VI en el suelo

$0,28 \longrightarrow 100\%$
$0,26 \longrightarrow X$
$X = 92,85 \%$

4.1.3.2. *Agua*

Después de realizada la cuantificación de cromo VI en el agua, en la figura 24-4, se expresa la curva de degradación de Cromo VI, donde se relacionan las variables concentración del metal con el tiempo de tratamiento.

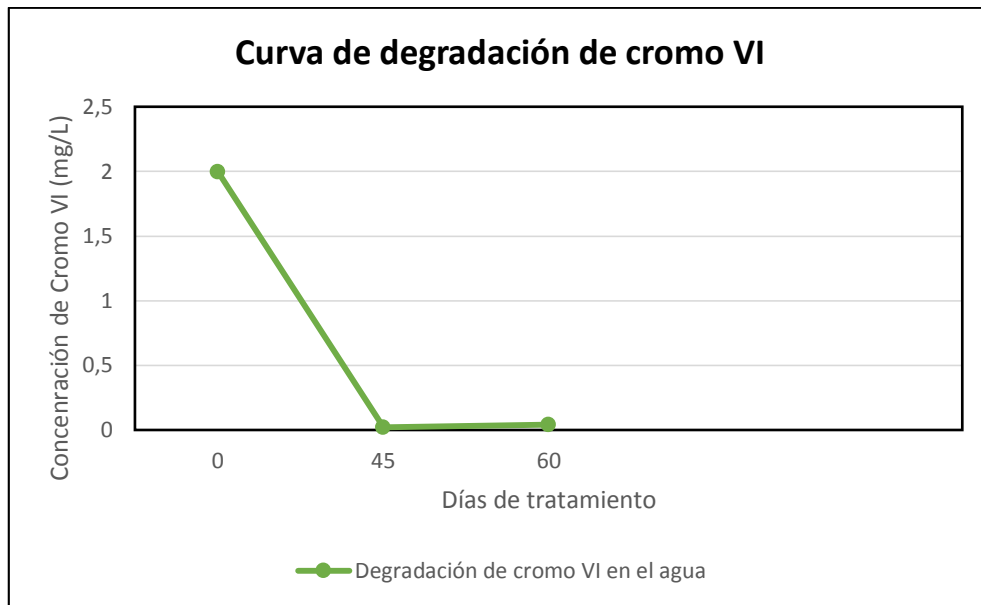


Ilustración 24-4. Curva de degradación del Cr VI en el agua.

Realizado por: Abril E.

3.2.6.3. Eficiencia del proceso

La determinación de la eficiencia se realizó por medio de los resultados de laboratorio obtenidos, usando una regla de proporción, de la concentración inicial menos la final y de lo cual se estimó:

$$\text{Cromo reducido: } \text{Concentración}_{\text{inicial}} - \text{concentración}_{\text{final}} \quad (1)$$

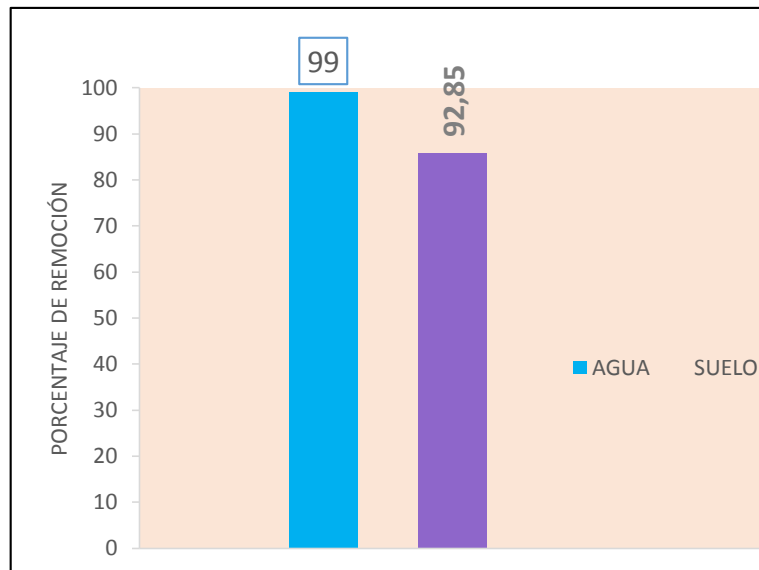
$$\text{Cromo reducido: } (2,01 - 0,02) \text{ mg/L}$$

$$\text{Cromo reducido: } 1,99 \text{ mg/L}$$

Calculo del porcentaje de remoción de Cromo VI en el agua

2,01	→	100%
1,99	→	X
X= 99,00 %		

Diferencia de porcentajes de eficiencia de remoción de cromo VI



CONCLUSIONES

- La técnica de fitorremediación es eficiente y económica para la recuperación de suelos y aguas contaminadas. Dentro de los mecanismos de esta técnica, la fitoextracción es la más desarrollada y estudiada en especies terrestres, el proceso puede ser optimizado cuando se incrementa la biodisponibilidad del metal por adición de agentes quelantes.
- Conforme a los resultados de la caracterización de las muestras, se puede concluir que las unidades experimentales a los 65 días de iniciado el proceso, mostraron una notable degradación del metal con resultados muy satisfactorios, a pesar de la diferencia de porcentajes en eficiencia.
- Se comprobó la capacidad de acumular metales pesados en los tejidos de las especies seleccionadas para el estudio. En el suelo el porcentaje de remoción de cromo VI resultó 92,85 %, del cual la especie *Medicago sativa* retuvo el 67,85%. En el agua se obtuvo mejores resultados, el porcentaje de remoción de cromo VI resultó 99 %, con la especie *Eichhornia crassipes*, el 86,06% quedó retenido en las plantas.
- Se realizó el seguimiento y control de pH en las unidades experimentales, en lo que se refiere a los resultados obtenidos en la unidad experimental de suelo, este presenta menor rango de variación, pero la planta piloto de agua muestra mayor variabilidad en los datos durante la fase experimental, que es causada por la alta competitividad de la especie *Eichhornia crassipes* al existir una pérdida significativa de volumen por ende la disminución de nutrientes. Sin embargo estas plantas pueden tolerar grandes fluctuaciones de pH y disponibilidad de nutrientes.

- El análisis comparativo de los resultados para determinar el medio más adecuado para aplicar procesos de fitorremediación, basándose en la diferencia de porcentajes de remoción de cromo VI, concluye que el agua es el medio físico más apto para esta técnica debido a que presenta mayor porcentaje de degradación siendo el 99 %, a diferencia del suelo con un porcentaje de 92,85%.

BIBLIOGRAFÍA

- Agudelo, L., Macias, K., & Suárez, A. (2006). Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos. *Revista Lasallista de investigación*, 2(1), 57-60. Recuperado el 12 de Octubre de 2015, de <http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/332/1/fitorremediacion.pdf>
- Aguilar, A., Villanueva, S., Guzmán, P., & Vázquez, A. (2006). La contaminación del agua como una externalidad para la producción pesquera y acuícola. En *Pesca, Acuicultura e Investigación en México* (págs. 107-120). México: Comisión de pesca. Recuperado el 16 de Octubre de 2015, de <http://pescadeportiva.conapesca.gob.mx/work/sites/cona/resources/LocalContent/7864/investigacionMexico.pdf#page=104>
- Álvarez, M. (2007). *Estanques y jardines acuáticos*. Buenos Aires: Albatros SACI. Recuperado el 03 de Noviembre de 2015, de <https://books.google.com.ec/>
- Arenas, A., Marcó, L., & Torres, G. (2011). Evaluación de la planta Lemma minor como biorremediadora de aguas contaminadas con mercurio. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 2(3), 1-11. Recuperado el 15 de octubre de 2015, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=323627683001>
- Bonilla, S. (Mayo de 2013). *Estudio para tratamientos de biorremediación de suelos contaminados con plomo, utilizando el método de fitorremediación*. Recuperado el 3 de Junio de 2015, de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4400/1/UPS-ST000985.pdf>

Burnie, G. (2006). *Botánica. Guía ilustrada de plantas: mas de 10000 especies de la A a la Z y cómo cultivarlas*. KONEMANN.

Capó Martí, M. (2002). *Principios de Ecotoxicología. Diagnóstico, tratamiento y gestión del medio ambiente*. (A. García, Ed.) España: Mc Graw-Hill.

Carpena, R. O., & Bernal, M. P. (2007). Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos. *Ecosistemas revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, 16(2), 1-3. Recuperado el 29 de Mayo de 2015, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54016201>

Curt Fernández, M. D., Fernández González, J., Miguel Boescoechea, E., & Miguel Muñoz, J. (s.f.). *Manual de fitodepuración. filtros de macrofitas en flotación*. Recuperado el 24 de Noviembre de 2015, de <http://www.ciencias-marinas.uvigo.es/>

Delgadillo, A., González, C., Prieto, F., Villagómez, J., & Acevedo, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2), 597-612. Recuperado el 2 de Junio de 2015, de <http://www.scielo.org.mx/>

Guzmán, M. (2007). *La contaminación de suelos y aguas. Su prevención con nuevas sustancias naturales*. Sevilla: Universidad de Sevilla. Recuperado el 5 de Octubre de 2015, de <https://books.google.com.ec/>

Jaramillo, M., & Flores, E. (2012). *Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales Lemma minor y Eichornia crassipes en aguas residuales producto de la*

actividad minera. Recuperado el 28 de Mayo de 2015, de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2939>

Jiménez, E. (2005). *La contaminación ambiental en México, causas, efectos y tecnología apropiada*. México: Limusa. Obtenido de <https://books.google.com.ec/>

Lobo, P. (Julio de 2013). *Evaluación de la sostenibilidad de las diferentes técnicas de recuperación de suelos contaminados*. Recuperado el 10 de Octubre de 2015, de <http://dspace.sheol.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/18166/4/TFMPaulaLoboRosarioProteg.pdf>

López, S., Gallegos, M., Pérez, L., & Gutiérrez, M. (2005). Mecanismos de fitorremediación de suelos contaminados con moléculas orgánicas xenobióticas. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 21(2), 91-100. Recuperado el 18 de Octubre de 2015, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37021205>

Mancera, N., & Álvarez, R. (2006). Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícola de Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 11(1), 3-23. Recuperado el 22 de Septiembre de 2015, de <http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v11n1/v11n1a01.pdf>

Martínez, A. (2013). *Validación de métodos analíticos por espectrofotometría para determinar sulfatos, cianuros y cromo hexavalente aguas, suelos y lixiviados*. Recuperado el 01 de Junio de 2015, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/890/1/T-UCE-0017-25.pdf>

- Medina, M. (2010). *Determinacion de cromo hexavalente en descargas de aguas residuales de una curtiembre, mediante espectofotometría de absorcion atómica*. Recuperado el 10 de Junio de 2015, de <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/3162>
- Mentaberry, A. (2011). *Fitorremediación, Agrobiotecnología*. (D. d. Universidad de Buenos Aires, Ed.) Recuperado el 12 de Octubre de 2015, de http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/IQM_fitorremediacion_argentina_25620.pdf
- Navarro, J., Aguilar, A., & López, J. (Mayo de 2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulacion de metales pesados en plantas. *Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, 16(2), 10. Recuperado el 2 de Octubre de 2015, de <http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/125>
- Núñez, R., Meas, Y., Ortega, R., & Olgún, E. (Julio-septiembre de 2004). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *CIENCIA*, 55(3), 69-82. Recuperado el 20 de Octubre de 2015, de http://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55_3/Fitorremediacion.pdf
- Ortega, H., Benavides, A., Arteaga, R., & Zermeño, A. (2007). *Fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados*. Recuperado el 6 de Junio de 2015, de http://www.abenmen.com/a/Nutricion_Vegetal-4.pdf
- Pechova, A., & Pavlata, L. (2007). Chromium as an essential nutrient: a review. *Veterinárni Medicina*, 52(1), 1-18. Recuperado el 3 de Octubre de 2015, de <http://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/00554.pdf>

Pozo Ibáñez, M. (1983). *LA alfalfa, su cultivo y aprovechamiento* (Tercera ed.). Madrid: Ediciones Mundi Prensa.

Ramos, J. J. (2002). *Estudio de la contaminación por metales pesados y otros procesos de degradación química en los suelos de invernaderos*. Recuperado el 12 de Junio de 2015, de <https://books.google.com.mx/books>

Reyes, M., Alicia, A., Antuna, D., García, A., González, L., & Vázquez, E. (s.f.). *METALES PESADOS: IMPORTANCIA Y ANÁLISIS*. Recuperado el Septiembre de 2015, de <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/>

Robles, W., & Madsen, J. (2009). *Jacinto de agua. Eichhornia crassipes (Mart.) Solms.* Recuperado el 5 de Noviembre de 2015, de <http://atlas.eea.uprm.edu/plantas/jacinto-de-agua>

Sanz, P., & Trallero, J. (2010). Intoxicaciones por otros metales. En *Toxicología clínica* (págs. 550-569). Medellín, Colombia: CIB Corporación para investigaciones Biológicas.

Téllez, J., Carvajal, R., & Gaitán, A. M. (2004). Aspectos toxicológicos relacionados con la utilización del cromo en el proceso productivo de curtiembres. *Facultad de Medicina Universidad Nacional Colombia*, 52(1), 50-61. Recuperado el 16 de Octubre de 2015, de <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/revfacmed/article/view/43297/44595>

Velasquez, J. (1994). *Plantas acuáticas vasculares de Venezuela*. Caracas: Consejo de Desarrollo Científico y humanístico, Universidad Centar de Venezuela.

Yagnentkovsky, N. (2011). *Aplicación de técnicas de biorremediación para el tratamiento de residuos industriales con alto contenido de metales pesados*. Recuperado el 11 de Octubre de 2015, de Tesis doctoral: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2706/Documento_completo.pdf?sequence=1

ANEXOS

Anexo A: Obtención de especie *Eichhornia crassipes*

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN GRÁFICA
<p data-bbox="268 658 596 801">Obtención de las especies, reservorio en el cantón Píllaro, de la provincia de Tungurahua.</p>	
<p data-bbox="277 1301 587 1554">Recolección de las plántulas (<i>Eichhornia crassipes</i>), aptas para el trasplante, que sean plantas jóvenes reconociendo el color azulado en sus raíces.</p>	 

Anexo B: Obtención de la especie *Medicago sativa*

<p>Adquisición de las plántulas (<i>Medicago sativa</i>), aptas para el trasplante.</p>	
<p>Las características de las plántulas a tomar en cuenta fueron buen estado anatómico, color natural y ausencia de plagas</p>	

Anexo C: Solución de cromo hexavalente 1000 mg/L.



Anexo D: Preparación de disolución para el suelo

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN GRÁFICA
Se tomó 20 ml de solución de Cromo hexavalente	

Esta solución se adicionó a 10 litros de agua




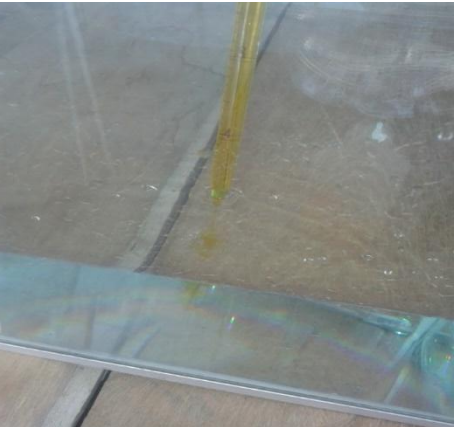
La contaminación artificial se realizó mediante la utilización de una bomba manual.




Aplicación de la disolución preparada al suelo.




Anexo E: Procedimiento de disolución en el agua



ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN GRÁFICA
<p data-bbox="295 555 778 622">Se tomó 60 ml de solución de Cromo hexavalente</p>	 A photograph showing a pipette with a yellow tip dispensing a yellow liquid into a small white plastic bottle. The bottle has a label with some text, including '100 ml' and 'Cromo hexavalente'. The background is a plain surface.
<p data-bbox="279 992 794 1059">Esta solución se adicionó a 30 litros de agua</p>	 A photograph showing a pipette dispensing a yellow liquid into a large, clear container filled with water. The liquid is being added to the water, creating a small splash.
<p data-bbox="279 1462 794 1496">Se realizó la homogenización del agua.</p>	 A photograph showing a large, clear container filled with water. The water has a distinct yellowish tint, indicating the addition of the hexavalent chromium solution. The container is supported by a metal frame.

Anexo F: sistema de canteros


ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN GRÁFICA
Suelo preparado previamente	
Sistema de canteros en el suelo contaminado, se creó lomos y surcos, los lomos tenían un ancho de 15 cm donde se realizó hoyos con una distancia de 10 cm.	

Anexo G: adaptación de plántulas al suelo

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN GRÁFICA
Extracción de la plántula, previo se realizó un abundante riego para evitar el arranque de las raíces.	

<p>Plantación a raíz desnuda en el hoyo realizado. Procurando colocar rectas las raíces.</p>	
<p>Una vez finalizada la plantación, inició el proceso de fitorremediación.</p>	

Anexo H: adaptación de plántulas al agua

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN GRÁFICA
<p>Las características de las plántulas para realizar el trasplante a tomar en cuenta fueron buena pigmentación, que no presenten anomalías ni plagas.</p>	

Trasplante de las especies, formando hileras.



Una vez finalizada la plantación, inició el proceso de fitorremediación.



Anexo I: resultado de análisis inicial

Suelo



**CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL**
DEPARTAMENTO :
**LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN
(LABCESTTA)**

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Telefax: (03) 3013183

INFORME DE ENSAYO No: 1401
ST: 080-015 ANÁLISIS DE SUELOS
Nombre Peticionario: NA
Atn. Elizabeth Abril
Dirección: Ambato, Gaspar de Villarreal y de la Cuadra
Ambato - Tungurahua

FECHA: 23 de Septiembre del 2015
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2015/09/11 - 12:37
FECHA DE MUESTREO: 2015/09/08 - 10:27
FECHA DE ANÁLISIS: 2015/09/11 - 2015/09/23
TIPO DE MUESTRA: Suelo
CÓDIGO LABCESTTA: LAB-S 181-15
CÓDIGO DE LA EMPRESA: Muestra 1
PUNTO DE MUESTREO: Planta piloto de fitoremediación
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico- Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Elizabeth Abril
CONDICIONES AMBIENTALES: T máx.:25.0 °C. T min.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Cromo Hexavalente	Espectofotométrico	mg/Kg	0,28	-



OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.

RESPONSABLE DEL INFORME:


Dr. Mauricio Álvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL
E INSPECCIÓN
LAB - CESTTA
ESPOCH

	<p align="center">CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</p> <p align="center">DEPARTAMENTO : LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN (LABCESTTA)</p> <p align="center">Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183</p>	 <p>Servicio de Acreditación Ecuatoriano Acreditación N° OAE LE 2C 06-008 LABORATORIO DE ENSAYOS</p>
---	--	---

INFORME DE ENSAYO No:	1400
ST:	505 -15 ANÁLISIS DE AGUAS
Nombre Peticionario:	NA
Atn.	Elizabeth Abril
Dirección:	Ambato, Gaspar de Villarroel y de la Cuadra Ambato - Tungurahua
FECHA:	22 de Septiembre del 2015
NUMERO DE MUESTRAS:	1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	2015/09/11 - 12:35
FECHA DE MUESTREO:	2015/09/11 - 10:00
FECHA DE ANÁLISIS:	2015/09/11 - 2015/09/22
TIPO DE MUESTRA:	Agua tratada
CÓDIGO LABCESTTA:	LAB-A 1060-15
CÓDIGO DE LA EMPRESA:	NA
PUNTO DE MUESTREO:	Planta piloto de fitorremediacion
ANÁLISIS SOLICITADO:	Físico- Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:	Elizabeth Abril
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:	T máx.:25.0 °C. T min.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Cromo Hexavalente	PEE/LABCESTTA/32 Standard Methods, Ed. 22. 2012 3500 Cr B	mg/L	2,01	±6%	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.

RESPONSABLE DEL INFORME:


Dr. Mauricio Álvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN
LAB - CESTTA
ESPOCH

Anexo J: resultado de análisis intermedio

Suelo

	CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL	LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL OAE
	DEPARTAMENTO : LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN (LABCESTTA) Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183	ACREDITACIÓN N° OAE LE 2C 06-008

INFORME DE ENSAYO No: 1593
ST: 093- 015 ANÁLISIS DE SUELOS
Nombre Peticionario: NA
Atn. Elizabeth Abril
Dirección: Gaspar de Villarroel y de la Cuadra
 Ambato - Tungurahua

FECHA: 09 de Noviembre del 2015
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2015/10/29 - 12:37
FECHA DE MUESTREO: 2015/10/29 - 10:30
FECHA DE ANÁLISIS: 2015/10/29 - 2015/11/09
TIPO DE MUESTRA: Suelo
CÓDIGO LABCESTTA: LAB-S 238-15
CÓDIGO DE LA EMPRESA: NA
PUNTO DE MUESTREO: Planta piloto de fitoremediación
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico- Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Elizabeth Abril
CONDICIONES AMBIENTALES: T máx.:25.0 °C. T mín.: 15.0 °C

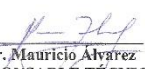
RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
*Cromo Hexavalente	Espectofotométrico	mg/Kg	0,02	-	-
*Carbono Orgánico Total	PEE/LABCESTTA/160 Oxidación Humeda / Walkley & Black	mg/Kg	9,79	-	-
*Nitrógeno Total	PEE/LABCESTTA/88 Kjeldhal	mg/Kg	0,356	-	-
*Fósforo (Asimilable)	EPA 3051 a / Espectrofotometria	mg/Kg	96,40	-	-
*Potasio (Asimilable)	EPA SW - 846	meq/100g	0,89	-	-
Potencial de Hidrógeno	PEE/LABCESTTA/24 EPA 9045 D	Unidades de pH	6,91	±0,4	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.
- Los parámetros marcados con (*) se encuentran fuera del alcance de acreditación del SAE.

RESPONSABLE DEL INFORME:


Dr. Mauricio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

LABORATORIO DE ANALISIS AMBIENTAL
 E INSPECCION
 LAB - CESTTA
 ESPOCH

 <p>CESTTA SGC</p>	<p align="center">CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</p> <p align="center">DEPARTAMENTO : LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN (LABCESTTA)</p> <p align="center">Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183</p>	 <p>Servicio de Acreditación Ecuatoriano</p> <p>Acreditación N° OAE LE 2C 06-008 LABORATORIO DE ENSAYOS</p>
--	---	--

INFORME DE ENSAYO No:	1592
ST:	581-15 ANÁLISIS DE AGUAS
Nombre Peticionario:	NA
Atn.	Elizabeth Abril
Dirección:	Gaspar de Villaruel y La Cuadra Ambato - Tungurahua
FECHA:	09 de Noviembre del 2015
NUMERO DE MUESTRAS:	1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	2015/10/29 - 12:31
FECHA DE MUESTREO:	2015/10/29 - 10:00
FECHA DE ANÁLISIS:	2015/10/29 - 2015/11/09
TIPO DE MUESTRA:	Agua tratada
CÓDIGO LABCESTTA:	LAB-A 1219 -15
CÓDIGO DE LA EMPRESA:	NA
PUNTO DE MUESTREO:	Planta piloto de fitorremediación
ANÁLISIS SOLICITADO:	Físico- Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:	Elizabeth Abril
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:	T máx.:25.0 °C. T mín.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Dureza total	PEE/LABCESTTA/40 Standard Methods No. APHA 2340 C	mg/L	92	±17%	-
*Alcalinidad	PEE/LABCESTTA/41 Standard Methods No. 2320 B	mg/L	24	-	-
Potencial Hidrógeno	PEE/LABCESTTA/05 Standard Method No. 4500-H ⁺ B	Unidades de pH	6,30	±0,2	-
Turbidez	PEE/LABCESTTA/43 EPA 180.1	UNT	20,7	±8%	-
Cromo Hexavalente	PEE/LABCESTTA 32 Standard Methods No 3500 -Cr B	mg/L	<0,02	±22%	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.
- Los parámetros marcados con (*) se encuentran fuera del alcance de acreditación del SAE.

RESPONSABLE DEL INFORME:


Dr. Mauricio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL
E INSPECCIÓN
LAB - CESTTA
ESPOCH

Anexo K: resultado de análisis final

Suelo

	CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL DEPARTAMENTO : LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN (LABCESTTA) Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183	LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL OAE ACREDITACIÓN N° OAE LE 2C 06-008
---	---	---

INFORME DE ENSAYO No: 1709
ST: 099-015 ANÁLISIS DE SUELOS
Nombre Peticionario: NA
Atn. Elizabeth Abril
Dirección: Gaspar de Villarroel y de la Cuadra Ambato - Tungurahua

FECHA: 30 de Noviembre del 2015
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2015/11/20 - 11:43
FECHA DE MUESTREO: 2015/11/20 - 09:00
FECHA DE ANÁLISIS: 2015/11/20 - 2015/11/30
TIPO DE MUESTRA: Suelo
CÓDIGO LABCESTTA: LAB-S 248-15
CÓDIGO DE LA EMPRESA: NA
PUNTO DE MUESTREO: PLANTA FITORREMEDIACION
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico- Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Elizabeth Abril
CONDICIONES AMBIENTALES: T máx.:25.0 °C. T min.: 15.0 °C


RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
*Cromo Hexavalente	Espectrofotométrico	mg/Kg	0,02	-	-
Potencial de Hidrógeno	PEE/LABCESTTA/24 EPA 9045 D	Unidades de pH	6,97	±0,4	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.
- Los parámetros marcados con (*) se encuentran fuera del alcance de acreditación del SAE.

RESPONSABLE DEL INFORME:


Dr. Mauricio Álvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL
E INSPECCIÓN
LAB - CESTTA
ESPOCH

 <p>CESTTA SGC</p>	<p align="center">CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</p> <p align="center">DEPARTAMENTO : LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN (LABCESTTA)</p> <p align="center">Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183</p>	 <p>Servicio de Acreditación Ecuatoriano</p> <p>Acreditación N° OAE LE 2C 06-008 LABORATORIO DE ENSAYOS</p>
--	---	--

INFORME DE ENSAYO No: 1715
ST: 660-15 ANÁLISIS DE AGUAS
Nombre Peticionario: NA
Atn. Elizabeth Abril
Dirección: Gaspar de Villarroel y La Cuadra
 Ambato - Tungurahua

FECHA: 01 de Diciembre del 2015
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2015/11/20 - 11:43
FECHA DE MUESTREO: 2015/11/20 - 09:00
FECHA DE ANÁLISIS: 2015/11/20 - 2015/12/01
TIPO DE MUESTRA: Agua tratada
CÓDIGO LABCESTTA: LAB-A 1333 -15
CÓDIGO DE LA EMPRESA: NA
PUNTO DE MUESTREO: Planta de fitorremediación
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico- Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Elizabeth Abril
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS: T máx.:25.0 °C. T min.: 15.0 °C

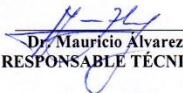
RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Potencial Hidrógeno	PEE/LABCESTTA/05 Standard Method No. 4500-H ⁺ B	Unidades de pH	6,10	±0,2	-
Cromo Hexavalente	PEE/LABCESTTA 32 Standard Methods No 3500 -Cr B	mg/L	<0,02	±22%	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.


RESPONSABLE DEL INFORME:


Dr. Mauricio Álvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

LABORATORIO DE ANALISIS AMBIENTAL
 E INSPECCION
LAB - CESTTA
 ESPOCH

Anexo L: resultado de análisis de tejido vegetal

Medicago sativa

	<p>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</p> <p>DEPARTAMENTO : LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN (LABCESTTA)</p> <p>Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183</p>
---	---

INFORME DE ENSAYO No: 1644
ST: 002- 14 ANÁLISIS DE TEJIDO VEGETAL

Nombre Peticionario: NA
Atm. Elizabeth Abril
Dirección: Gaspar de Villarreal y La Cuadra
Ambato - Tungurahua
20 de Noviembre del 2015

FECHA: 2015/11/11 - 17:11
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2015/11/11 - 15:00
FECHA DE MUESTREO: 2015/11/11 - 2015/11/20
FECHA DE ANÁLISIS: Tejido Vegetal
TIPO DE MUESTRA: LAB-TV 003-14
CÓDIGO LABCESTTA: NA
CÓDIGO DE LA EMPRESA: Planta piloto de fitorremediación
PUNTO DE MUESTREO: Físico-Químico
ANÁLISIS SOLICITADO: Elizabeth Abril
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: T máx.:25.0 °C. T mín.: 15.0 °C
CONDICIONES AMBIENTALES:

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Cromo Hexavalente	Espectofotométrico	mg/kg	0,19	-
Cromo total	Absorción atómica	mg/kg	1,44	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.

RESPONSABLE DEL INFORME:


Dr. Mauricio Álvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL
E INSPECCIÓN
LAB - CESTTA
ESPOCH



**CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL**

**DEPARTAMENTO :
LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN
(LABCESTTA)**

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Telefax: (03) 3013183

INFORME DE ENSAYO No:
ST:

1644
002- 14 ANÁLISIS DE TEJIDO VEGETAL

Nombre Peticionario:
Atn.
Dirección:

NA
Elizabeth Abril
Gaspar de Villarroel y La Cuadra
Ambato - Tungurahua
20 de Noviembre del 2015

FECHA:
NUMERO DE MUESTRAS:
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:
FECHA DE MUESTREO:
FECHA DE ANÁLISIS:
TIPO DE MUESTRA:
CÓDIGO LABCESTTA:
CÓDIGO DE LA EMPRESA:
PUNTO DE MUESTREO:
ANÁLISIS SOLICITADO:
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:
CONDICIONES AMBIENTALES:

1
2015/11/11 - 17:11
2015/11/11 - 15:00
2015/11/11 - 2015/11/20
Tejido Vegetal
LAB-TV 002-14
NA
Planta piloto de fitorremediación
Físico-Químico
Elizabeth Abril
T máx.:25.0 °C. T min.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Cromo Hexavalente	Espectofotométrico	mg/kg	1,73	-
Cromo total	Absorción atómica	mg/kg	546,97	-

OBSERVACIONES:




- Muestra receptada en el laboratorio.

RESPONSABLE DEL INFORME:

M-24
Dr. Mauricio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL
E INSPECCIÓN
LAB - CESTTA
ESPOCH

Anexo M: procedimiento para toma de muestras de suelo

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN GRÁFICA
Toma de submuestras	
	
Homogenización de las submuestras	

<p>Toma de una muestra compuesta de 500 g.</p>	
--	--


Anexo N: procedimiento de extracción de plantas

Medicago sativa

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN GRÁFICA
<p>Transcurridas 8 semanas de tratamiento de fitorremediación</p>	
<p>Extracción manual de las plantas, con la mayor cantidad de raíces posible</p>	

<p>Se lavó las plantas para extraer todo el suelo</p>	
<p>Secado de las plantas para su análisis, medición de longitud de la planta.</p>	
<p>Muestra representativa para análisis de tejido vegetal.</p>	

Eichhornia crassipes

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN GRÁFICA
Transcurridas 8 semanas de tratamiento de fitorremediación	 A photograph showing a dense cluster of Eichhornia crassipes plants in a clear container. The plants have green, rounded leaves and numerous small, light-colored flowers. The water in the container is slightly turbid.
Extracción manual de las plantas	 A photograph showing a person's hands pulling a large clump of Eichhornia crassipes plants out of a white container. The roots are dark and fibrous, and the leaves are green and rounded.
Se lavó las plantas	 A photograph showing a person's hands holding a clump of Eichhornia crassipes plants over a white container. The plants are being washed, and the roots are clearly visible.

<p>Secado de las plantas</p>	 A photograph of a dried plant specimen, likely a seaweed or algae, showing its dark, fibrous roots and several large, green, rounded leaves. The plant is laid out on a light-colored surface.
<p>Muestra representativa para análisis de tejido vegetal.</p>	 A photograph of a fresh plant specimen, similar to the one above, showing its dark, fibrous roots and several large, green, rounded leaves. The plant is laid out on a light-colored surface.