



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

EVALUACIÓN DE LA TOXICIDAD DEL CROMO EN *Tecoma stans* (CHOLÁN)

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos  
establecidos para optar por el título de Ingeniera Ambiental en Prevención y  
Remediación

Profesor Guía  
MSc. Indira Fernandina Black Solís

Autora  
Daniela Nicole Zapata Padilla

Año  
2019

## **DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA**

Declaro haber dirigido el trabajo, 'Evaluación de la toxicidad del cromo en *Tecoma stans* (cholán)', a través de reuniones periódicas con el estudiante, Daniela Nicole Zapata Padilla, en el semestre 201920, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.

---

Indira Fernandina Black Solís  
Máster en Conservación y Gestión del Medio Natural  
CC: 1711273563

## **DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR**

Declaro haber revisado el trabajo, 'Evaluación de la toxicidad del cromo en *Tecoma stans* (cholán)', del estudiante Daniela Nicole Zapata Padilla, en el semestre 201920, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.

---

Christian Patricio Villamarín Flores  
Doctor en Ecología Fundamental y Aplicada  
CC: 1002339404

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE**

Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.

---

Daniela Nicole Zapata Padilla

CC: 1716261092

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por ser mi guía y fortaleza, a mi familia César, Sandra, Samira y Lastenia por ser mi soporte en cada etapa de mi vida.

A mi profesora guía Indira Black, por su paciencia y apoyo durante este proceso, a Pavlova Sigcha por su amistad, recomendaciones y ayuda durante el proceso.

A mis amigos incondicionales, quienes han caminado a mi lado durante todo el proceso de la formación académica y personal brindándome su apoyo y momentos de alegría irremplazables.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi familia quienes han sido mi pilar fundamental para culminar una de las metas de mi vida.

## RESUMEN

Actualmente las descargas industriales a los cuerpos de agua han traído impactos negativos al medio ambiente generando alteraciones en la calidad de los ecosistemas y la salud humana. Uno de estos casos es la subcuenca del Río Cutuchi, ubicado en entre Laso y Latacunga, en estas zonas se encuentran industrias de curtiembre las cuales aplican sales de cromo trivalente para sus procesos. Este elemento provoca efectos nocivos en la biota y la salud humana, por tal motivo el objetivo del presente estudio es evaluar la toxicidad del cromo sobre *Tecoma stans* (Cholán), tanto en la germinación de semillas como en el desarrollo de plántulas. En el caso de las semillas se realizó 5 repeticiones por tratamiento utilizando 10 semillas por cada repetición, para las plántulas se usó 15 repeticiones por tratamiento. Se realizó la preparación de agua sintética a diferentes concentraciones de Cr<sup>III</sup>, la primera de 4 mg/L, la segunda de 17,5 mg/L y la tercera se 35 mg/L, los tratamientos testigos fueron agua reposada y agua del Río Cutuchi. Estos cinco tratamientos fueron aplicados a las semillas por 8 días y en las plántulas por 2 meses. Se determinó que a mayor concentración de Cr<sup>III</sup> menor germinación y crecimiento radicular, por lo contrario, los tratamientos testigo contribuyeron positivamente en ambos parámetros. Por otro lado, las plántulas siguieron la misma tendencia dado que se presentaron malformaciones en las hojas, ramificaciones anormales y el volumen de la raíz decreció; los tratamientos testigo no afectaron significativamente sobre el desarrollo de las plantas.

**Palabras clave:** *Tecoma stans*, cromo, toxicidad, industria de curtiembre.

## ABSTRACT

Nowdays, industrial discharges to water bodies have brought negative impacts to the environment, generating alterations in the quality of ecosystems and human health. One of these cases is the sub-basin of the Cutuchi River, located between Laso and Latacunga, in these areas there are tannery industries which apply trivalent chromium salts on their processes, This element causes harmful effects on biota and human health, for this reason the objective of the present study is to evaluate the toxicity of chromium on *Tecoma stans* (Cholán), in the germination of seeds and in the development of seedlings. In the case of the seeds, 5 repetitions per treatment and 10 seeds per repetition were used, for the seedlings 15 repetitions per treatment. Synthetic water was prepared at different concentrations of Cr<sup>III</sup>, the first 4 mg/L, the second 17,5 mg/L and the third 35 mg/L, the control treatments were standing water and water from the Cutuchi River. These five treatments were applied to the seeds for 8 days and in the seedlings for 2 months. It was determined that at higher Cr concentration, lower germination and root growth, on the contrary, control treatments ( standing water and Cutuchi River) contributed positively to both parameters. On the other hand, the seedlings followed the same trend, showing the malformations in the leaves, abnormal ramifications and the root volume decreased; the control treatments did not significantly affect the development of the plants.

**Keywords:** *Tecoma stans*, chrome, toxicity, tannery industry.



# INDICE

|   |    |
|---|----|
| 1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....                      | 1  |
| 1.1. Antecedentes.....                                | 1  |
| 1.2. Marco Referencial .....                          | 2  |
| 1.3. Objetivos.....                                   | 4  |
| 1.3.1. Objetivo general.....                          | 4  |
| 1.3.2. Objetivos específicos.....                     | 4  |
| 1.4. Hipótesis.....                                   | 4  |
| 1.5. Alcance .....                                    | 6  |
| 1.6. Justificación .....                              | 6  |
| 2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....                   | 7  |
| 2.1. Ríos.....  | 7  |
| 2.2. Bosques de ribera .....                          | 8  |
| 2.3. Contaminación de ríos .....                      | 8  |
| 2.4. Metales pesados.....                             | 9  |
| 2.5. Cromo.....                                       | 10 |
| 2.6. Río Cutuchi .....                                | 10 |
| 2.7. Curtiembre .....                                 | 11 |
| 2.7.1. Etapas del proceso de curtido de pieles .....  | 12 |
| 2.7.2. Tipo de curtido.....                           | 14 |
| 2.8. Indicadores de calidad de agua .....             | 14 |
| 2.9. Toxicidad .....                                  | 15 |
| 2.9.1. Toxicidad ambiental.....                       | 16 |
| 2.10. Bioensayos de toxicidad .....                   | 16 |
| 2.11. <i>Tecoma stans</i> (Cholán).....               | 17 |
| 2.11.1. Usos del Cholán .....                         | 21 |
| 2.12. <i>Lactuca sativa L.</i> (Lechuga).....         | 21 |
| 2.13. Marco Legal .....                               | 23 |
| 3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA .....                    | 24 |
| 3.1. Determinación de la concentración de cromo ..... | 24 |

|  |    |
|--|----|
| 3.1.1. Control de pH.....  | 26 |
| 3.1.2. Toma de muestras en campo .....                           | 26 |
| 3.2. Análisis en laboratorio .....                               | 28 |
| 3.3. Especie de estudio .....                                    | 28 |
| 3.4. Diseño experimental .....                                   | 28 |
| 3.4.1. Variables Independientes .....                            | 28 |
| 3.4.2. Variables Dependientes.....                               | 30 |
| 3.5. Análisis de resultados.....                                 | 32 |
| 3.5.1. Análisis de la Varianza .....                             | 32 |
| 3.5.2. Índices de toxicidad .....                                | 33 |
| 4. CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....                       | 35 |
| 4.1. Parámetros in-situ de los puntos de muestreo .....          | 35 |
| 4.2. Respuestas biológicas .....                                 | 36 |
| 4.2.1. Índices de Toxicidad .....                                | 36 |
| 4.3. Análisis de Varianza .....                                  | 38 |
| 4.4. Supervivencia .....   | 45 |
| 4.5. Índice de calidad de Dickson para <i>Tecoma stans</i> ..... | 46 |
| 4.6. Anomalías Morfológicas.....                                 | 47 |
| 5. CAPÍTULO V. DISCUSIÓN .....                                   | 49 |
| 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....                           | 57 |
| 6.1. CONCLUSIONES.....   | 57 |
| 6.2. RECOMENDACIONES .....                                       | 58 |
| REFERENCIAS .....  | 59 |
| ANEXOS .....   | 71 |

## 1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Antecedentes

A mediados de la década de los años cincuenta la Organización Panamericana de la Salud concluye que la salud de las personas está directamente relacionada con el bienestar del ambiente. El desarrollo de los países ha involucrado la generación de actividades económicas, como industrias, automóviles, centrales eléctricas entre otras, que se han convertido en fuentes de contaminación para los ecosistemas (Estrada, 2016).

Como se conoce las fábricas usan materiales tóxicos, los cuales forman parte de sus aguas residuales y al ser incorporadas en los cuerpos hídricos los animales y plantas que habitan en él o cerca de él pueden asimilar fácilmente causándoles daños y alteraciones, y de esta manera ingresan a las cadenas tróficas (Prieto, 2009).

A partir de esto se ha dado mayor interés a los xenobióticos, que se define como una sustancia localizada dentro de un organismo que no es natural que lo posea. A partir del siglo 20 se comenzó a realizar bioensayos sobre peces, invertebrados y algas, para determinar los efectos negativos que causan los componentes tóxicos que aplican las industrias en sus procesos (Díaz, 2009).

Un claro ejemplo de esto son las industrias de curtiembre, las cuales tratan las pieles de animales de bovinos y ovinos en donde se ocupa sales para modificar el cuero hasta conseguir las características apropiadas del material (Masabanda, 2017). Dentro del tratamiento la etapa de “Ribera” y el “Curtido” son las que generan aproximadamente el 90% de contaminantes (Esparza, 2001). Estos efluentes contienen compuestos químicos como cloro, azufre, sulfuros, amoníaco, cromo, etc., que provoca que el agua se vuelva ácida y tóxica,

además, incluye materia orgánica como sangre, grasas, pelos, lo que genera un incremento de DQO y DBO. Estas son descargadas directamente a los cuerpos hídricos causando efectos adversos sobre los ecosistemas acuáticos (Gómez, 2008).

En Ecuador se utilizan dos métodos para el proceso de curtido, de los cuales el primero es en base de agentes vegetales y el segundo de sales de cromo, donde este último es utilizado por el 80% de las industrias de curtiembre (INEC, 2011).

El proceso de curtido genera efectos negativos sobre el ambiente y la salud humana como por ejemplo cáncer de pulmón, irritación de estómago, entre otras (Rodríguez, 2012). Uno de los residuos tóxicos liberados al ambiente es el cromo (Cr) que afecta nocivamente sobre la flora y fauna de ribera, el cual se lo puede encontrar como cromo hexavalente ( $\text{Cr}^{6+}$ ) (ion cromato o ion dicromato) de forma soluble, o como cromo trivalente ( $\text{Cr}^{3+}$ ) ( $\text{Cr}(\text{OH})_3$ ) en forma insoluble, lo que significa que precipita rápidamente y puede ser adsorbido en sedimentos (Chávez, 2010). Según el estudio de Aportela y González (2001) el cromo presenta mayor toxicidad en las plantas, dado que este compuesto es absorbido a través de las raíces y las hojas, presentando intoxicaciones como clorosis e inhibición en el crecimiento.

## **1.2. Marco Referencial**

El Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos (2017) menciona que a nivel mundial más del 80% de las aguas residuales (domesticas e industriales) son descargadas sin previo tratamiento en el ambiente, este mal proceder provoca graves consecuencias sobre los ecosistemas acuáticos y la salud humana; por cada litro de agua residual descargada a un efluente, se contamina 8 litros de agua dulce (UNESCO y Organización Mundial de la Salud, 2003).

Ecuador no está excepto a esta regla, ya que la falta de aplicación de normas

ambientales estrictas provoca que únicamente el 8% de las aguas residuales sean tratadas previo a la descarga (Cabrera, 2012, pp. 1-12).

Las industrias de curtiembre emplean alrededor de 442kg de productos químicos por cada tonelada de piel procesada, este proceso involucra cuatro etapas, en donde el mayor aporte de contaminación se genera en la ribera y curtido, contribuyendo con el 90% de materia orgánica, químicos, aceites y sólidos, por otro lado el 10% de la descarga proviene de las etapas de acabado en húmedo y acabado en seco, lo cual aporta al efluente final con tintes y residuos provenientes de la limpieza de maquinaria y equipos (Secretaría Distrital de Ambiente de Colombib. Al ser el cromo uno de los contaminantes más nocivos generados en esta industria ha sido la base de varios estudios para medir sus efectos negativos sobre plantas y animales. Por ejemplo en el estudio de Aportela y González (2001), se determinó los efectos nocivos del cromo sobre la lechuga, por otro lado en el estudio de Benoit (1976) sobre “Efectos Tóxicos del cromo hexavalente sobre la Trucha de arroyo (*Salvelinus fontinalis*) y la Trucha arcoíris (*Salmo gairdneri*), se concluyó que a concentraciones mayores a 0,35 mg/L de Cr (VI) disminuye la capacidad de desove de las hembras, el número de huevos puestos y el tamaño y peso de los peces en estudio.

El agua de río es utilizada para riego de cultivos, es de esta manera los elementos generados en las industrias llegan al ser humano, consumir estos productos incrementa la posibilidad de adquirir graves enfermedades (Molina, 2010). Por ejemplo en el caso del cromo, el hombre puede absorber por tres vías: oral, respiratoria y dérmica, de esta manera se producirá úlceras, irritaciones al estómago, cáncer de pulmón, erupciones cutáneas, debilitamiento del sistema inmune e incluso puede llevar a la muerte (ATSDR, 2012).

La microcuenca del río Cutuchi atraviesa el cantón de Latacunga, en donde las parroquias pertenecientes a la misma se dedican a la agricultura, ganadería, artesanía, turismo y en la parte industrial principalmente a la producción de cuero (Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Cotopaxi, 2015).

Alrededor de 30 000 m<sup>3</sup>/día de aguas residuales (domésticas e industriales) son descargadas al río sin un tratamiento previo, además 18 ton/día de escombros y basura es incorporada al afluente. Todo lo antes mencionado ha deteriorado la calidad de física, química y biológica del río, por ende repercutiendo sobre la diversidad acuática, terrestre y la salud de la población que usa esta agua para el riego de sus cultivos (Universidad Central del Ecuador, 2015).

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Evaluar de la toxicidad del Cromo sobre *Tecoma stans*.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Establecer las concentraciones de cromo para la experimentación en relación con los niveles presentes en el río Cutuchi.
- Evaluar los efectos del cromo sobre los procesos germinativos y desarrollo de plántulas de *Tecoma stans* y *Lactuca sativa*.
- Determinar los índices de toxicidad del cromo en *Tecoma stans* y *Lactuca sativa*.

### **1.4. Hipótesis**

#### **Hipótesis Alternativa (HI1)**

La germinación y desarrollo temprano de *Tecoma stans* se ven afectados por el cromo utilizado en el riego.

#### **Hipótesis Nula (H01)**

La germinación y desarrollo temprano de *Tecoma stans* no se ven afectados por el cromo utilizado en el riego.

### **Hipótesis Alternativa (HI2)**

La supervivencia y crecimiento de plántulas de *Tecoma stans* se ven afectados por el cromo utilizado en el riego.

### **Hipótesis Nula (H02)**

La supervivencia y crecimiento de plántulas de *Tecoma stans* no se ven afectados por el cromo utilizado en el riego.

### **Hipótesis Alternativa (HI3)**

La germinación y desarrollo temprano de *Lactuca sativa* se ven afectados por el cromo utilizado en el riego.

### **Hipótesis Nula (H03)**

La germinación y desarrollo temprano de *Lactuca sativa* no se ven afectados por el cromo utilizado en el riego.

### **Hipótesis Alternativa (HI4)**

La supervivencia y crecimiento de plántulas de *Lactuca sativa* se ven afectados por el cromo utilizado en el riego.

### **Hipótesis Nula (H04)**

La supervivencia y crecimiento de plántulas de *Lactuca sativa* no se ven afectados por el cromo utilizado en el riego.

### 1.5. Alcance

En el presente estudio se midieron los efectos toxicológicos del cromo sobre i) la germinación y crecimiento radicular de *Tecoma stans* y *Lactuca sativa*, **a los 8 y 5 días** respectivamente, ii) la supervivencia de estas plantulitas a los **30 días**, y iii) en plántulas se determinaron cambios morfológicos (número y coloración de hojas, tamaño de la parte aérea, además de la supervivencia) a los **2 meses**.

### 1.6. Justificación

Según la Universidad San Francisco de Quito (2011), la industria de curtiembre en Ecuador es una de las actividades económicas más importantes en la Región Sierra, como es el caso de la provincia de Tungurahua, el 90% de las actividades se centra en el curtido, así también en la provincia de Cotopaxi en menor porcentaje.

Con el pasar de los años la demanda de cuero ha incrementado el número de curtiembres extendiéndose hasta el cantón de Ambato, el asentamiento de este tipo de industrias ha provocado grandes impactos ambientales, dado que las aguas residuales con alto contenido de agentes químicos son descargadas en los ríos cercanos (Masabanda, 2017).

Según un estudio realizado por Medina y Pozo (2017) en las aguas residuales de una curtiembre localizada en la provincia de Tungurahua, se encontró que la concentración de cromo fue de 160mg/L, valor que sobrepasa los límites máximos permisibles (LMP) fijados por el Ministerio de Ambiente en el Acuerdo Ministerial 097-A, la Tabla 3 referente a los criterios de calidad de aguas para riego agrícola el LMP de cromo es 0,1 mg/l y la Tabla 8 referido a los Límites de Descarga al Sistema de Alcantarillado Público el LMP de cromo es 0,5 mg/l.

A pesar de esto, las aguas son usadas para riego en la provincia de Tungurahua,



ya que en las cercanías del río Cutuchi existen cultivos que cubren una extensión de aproximadamente 22.600 ha (Gobierno Provincial de Tungurahua, 2014, pp. 21-25). Por ende estos alimentos que son consumidos por la población contienen concentraciones de Cr, evidentemente entran por vía oral, provocando malestar de estómago, debilitamiento del sistema inmune, alteraciones en el material genético e incluso puede llevar a la muerte (Molina, 2010).

Por lo tanto, esta investigación está enfocada en determinar los efectos toxicológicos del cromo sobre *Tecoma stans* (cholán). Se escogió el cholán debido a que es una planta nativa que es cultivada en viveros, como es el caso del “Vivero Pillajo”, lugar donde se obtuvieron las semillas para la experimentación, asimismo que son de rápida germinación, además que no se han realizado este tipo de estudios con plantas de importancia local o regional. También se trabajó con *Lactuca sativa* (lechuga), debido a que es una especie ampliamente utilizada como indicador de toxicidad, para utilizarla como referencia.

## **2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Ríos**

Se entiende a un río como una corriente de agua natural que circula continuamente y lleva consigo sedimentos, en él se producen interacciones dinámicas y permanentes entre los seres biótico y abióticos (Fernandez, 2011). Los ríos y arroyos son considerados ecosistemas lóticos debido a que el flujo de agua es continuo, a diferencia los ecosistemas lénticos cuyo flujo es estrictamente estancado o las entradas y salidas de agua al medio son insignificantes, como es el caso de los lagos (Ribera, 2000).

Los ríos son un medio de conexión con otros ecosistemas ya sean longitudinales, laterales y verticales, el primero corresponde a conexiones río arriba y río abajo, el segundo son conexiones con la cuenca hidrográfica y vegetación de ribera y

el último se refiere a conexiones con las aguas subterráneas y la precipitación (Encalada, 2010). Cabe recalcar que las conexiones antes mencionadas y la diversidad de los ríos está directamente relacionado con el caudal (Palma, 2013)

Este tipo de ecosistema cubre apenas el 1% de la Tierra y acogen el 10% de las especies conocidas. Los ríos se han visto afectados por las actividades humanas, como la contaminación, modificación de los caudales, degradación de los hábitats, lo que ha provocado la disminución de la diversidad; así también el cambio climático cuyas presiones ambientales en un futuro cercano modificarán la estructura y funcionalidad de los mismos (Friberg, 2014).

## **2.2. Bosques de ribera**

La ribera del río es el sitio que se localiza en la zona de inundación donde los matorrales o árboles típicos crecen en el borde de él, esta vegetación es denominada bosque de ribera y es distinto a los árboles y matorrales del paisaje circundante (Encalada, 2011).

El bosque cumple varias funciones importantes como la regulación del microclima del río, evita la erosión, actúa como un filtro en la entrada de sedimentos y sustancias químicas en el cauce, regula el crecimiento de macrófitas, son zonas de recarga de aguas subterráneas, conecta a otros ecosistemas y tiene un gran valor paisajístico (CEDEX, 2017).

## **2.3. Contaminación de ríos**

Se conoce como contaminación de agua a la modificación de las características organolépticas, físicas, químicas, radiactivas y microbiológicas, como consecuencia de las actividades antrópicas y procesos naturales (Segura, 2007). Estos contaminantes que ingresan al recurso hídrico pueden ser físicos como los sedimentos y los lodos, químicos como metales pesados, fertilizantes, etc., y biológicos como virus, bacterias, protozoos y nemátodos (UMAN, 2014).

Esta es una alteración social, ambiental y económico que se convierte en un obstáculo para que las personas tengan una buena calidad de vida. La disminución de la calidad de agua está vinculada en primer lugar la agricultura, el uso de pesticidas finalmente se incorporan a los ríos, en segundo lugar con las descargas de aguas residuales las cuales contribuyen al aumento de DBO, fosfatos, nitratos, nitritos e incluso la proliferación de vectores y bacterias, en tercer lugar las actividades industriales también generan impactos negativos sobre este debido a que sus descargas contienen metales pesados u otros compuestos perjudiciales tanto para el ambiente como para la población aledaña al efluente de descarga (Isch, 2011).

#### **2.4. Metales pesados**

Los metales pesados son elementos de alta toxicidad, cuyo peso atómico es elevado, ejemplos de ellos son el cromo (Cr), cadmio (Cd), níquel (Ni), plomo (Pb), etc., estos forman parte de varios procesos industriales como por ejemplo el cromo es utilizado en las industrias de curtiembre y el cadmio es usado por fábricas de baterías (Rodríguez, 2017).

Sin, embargo muchos de ellos también se los puede encontrar de forma natural en el ambiente, en concentraciones muy bajas que no causan efectos adversos en los ecosistemas ni en la salud humana. Los elementos que entran a los ecosistemas de manera antrópica no pueden ser eliminados o degradados, únicamente son disueltos y lixiviados por agentes químicos y físicos, cuando estos son transportados y distribuidos por las diferentes matrices ambientales, ingresan a formar parte de la cadena trófica (Londoño, 2016).

Estos componentes causan graves daños a la salud de las personas, pudiendo afectar a diferentes órganos del cuerpo y bioacumularse (Romero, 2013); por ejemplo, el plomo daña las neuronas, la médula ósea y se llega a acumular en el riñón, por otro lado el mercurio provoca afecciones al sistema cardiovascular y es cancerígeno (Ferrer, 2003).

También pueden ser perjudiciales para el medio ambiente, causando erosión del suelo, disminuye la productividad de los cultivos, provocan desertificación, etc., lo que conlleva a problemas ambientales severos (Reyes, 2016).

## **2.5. Cromo**

El cromo se puede encontrar de manera natural en rocas, animales, plantas y suelo. Este elemento puede encontrarse en diferentes formas ( Cr 0, Cr III y Cr VI) y cada uno se presente en distintos estados, ya sea sólido, líquido y gaseoso (ATDRS, 2012). Este elemento es muy utilizado en industrias como componente principal, por ejemplo, en la industria de curtido de cuero se utiliza Cr III en forma de sulfato crómico básico, responsable de la suavidad y texturas superiores del cuero (Induqim Gonveg Cía. Ltda., 2007).

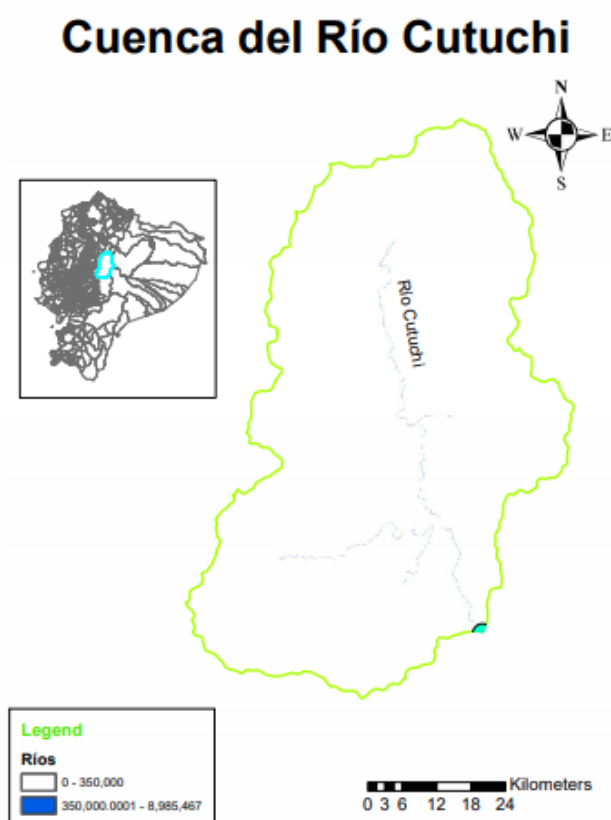
Luego de su manufactura o su uso puede encontrarse en el aire, agua y suelo, llegando a perjudicar negativamente la dinámica de los ecosistemas y la morfología de varias especies presentes en el mismo (Nordberg, 2012). También puede ser el causante de efectos negativos en la salud de las personas, principalmente el Cr VI, el cual puede ocasionar quemaduras, si es inhalado ocasiona irritación en la nariz y sangrado, afecta al hígado, pulmón y riñón llegando a originar cáncer, y además puede provocar la muerte (ATDRS, 2012), lo que conlleva a generar efectos agudos y crónicos, por ende, se cree que es 100-1000 veces más tóxico que el cromo trivalente. Cabe mencionar que el cromo es un disruptor endócrino, capaz de alterar el desarrollo gestacional de las especies que sean sometidas al mismo (Andleeb, 2019).

## **2.6. Río Cutuchi**

El Río Cutuchi recorre por Latacunga- Salcedo- Ambato (Figura 1), con un caudal de 5,2 m<sup>3</sup>/s y una longitud de 17,78 km (Yépez, 2012). Este recibe aportes de los afluentes Cunucyacu (35%), Yanayacu (30%), Pumacunchi (20%), Aláquez

(10%) y Illuchi(5%), a lo largo del Río Cutuchi se descargan aguas residuales, domésticas, de hospitales, camales, industriales, agrícolas y ganaderas (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Latacunga, 2016).

Es considerado un río muerto, debido a la elevada contaminación, ya que posee altas concentraciones de metales pesados, grasas y aceites, como consecuencia de la falta de tratamiento de las aguas residuales e industriales y al mal manejo de desechos sólidos, por lo que además de afectar a los cultivos también afecta al ganado de carne produciendo pérdidas de hasta el 30% de peso (Inga, 2014).



*Figura 1.* Cuenca del río Cutuchi

## 2.7. Curtiembre

La industria de cuero combina operaciones primarias y mecánicas para la

transformación de pieles en cuero, cuya transformación permite que el producto tenga características de flexibilidad, brillo y resistencia (Muñoz, 2002).

En Ecuador este tipo de actividad se encuentra relacionada a dos sectores productivos del país, la primera corresponde al sacrificio de animales para obtener sus pieles y la segunda a la manufactura de calzado. La industria de curtido en el país se centra principalmente en las provincias de la Región Sierra como Tungurahua con el 76% , Imbabura con el 13%, Azuay y Cotopaxi con el 4% correspondientemente y en otras provincias el 3% (Ruiz, 2016).

### **2.7.1. Etapas del proceso de curtido de pieles**

A continuación, se detallan los pasos según lo presentado por SEMARNAP (2000).

#### **Etapa de Ribera:**

- **Recepción y almacenaje temporal de pieles:** En esta etapa se revisa la calidad de las pieles ya sean saladas o frescas.
- **Remojo:** Etapa en la que se usa químicos como hidróxido de sodio, los cuales contribuyen a la eliminación de sal aplicada en la etapa de almacenamiento, estiércol, sangre, etc. También permite rehidratar la piel antes de que pase a la etapa de pelambre.
- **Pelambre:** En este proceso se utiliza cal y sulfuro de sodio con el fin de desprender el pelo de y además permite abrir las fibras de colágeno, preparando así las pieles para el proceso de curtido. De esta se genera grandes volúmenes efluente compuesto por carga orgánica.
- **Desencarnado:** En este proceso se elimina mecánicamente la grasa, músculos y tejidos.
- **Dividido:** Se procede a separar en dos capas la piel (flor y carnaza), para de esta manera obtener distintos tipos de cuero.

### **Etapa de Curtido:**

- **Desencalado:** Se hace uso de sales de amonio, ácido clorhídrico, sulfúrico y fórmicos, para poder eliminar la cal utilizada en la etapa de pelambre.
- **Purga enzimática:** Se limpia los pelos, grasas la piel, proteínas y tejidos que no han sido eliminados en los procesos anteriormente mencionados.
- **Piquelado:** Se usa sales y ácidos que ayuden a la piel a llegar a un pH (2,8 y 3,5) óptimo para fijar sales de cromo en el proceso de curtido.
- **Desengrasado:** Proceso en el cual se usa tensoactivos, solventes, etc., para lavar la piel y de esta manera la textura sea la adecuada.
- **Curtido:** En esta etapa se aplica sales de cromo o agente vegetales, los cuales permiten la conservación de las pieles.

Según la Secretaría Distrital de Ambiente de Colombia (2015) presenta dos tipos de etapas de acabado:

### **Etapa de acabado en húmedo:**

- **Recurtido:** Proceso en el que se usa sal de cromo y otros sintéticos, los cuales permiten que el cuero sea resistente, firme y blando
- **Teñido y engrase:** Otorga un color determinado, da textura, suavidad y flexibilidad al cuero.
- **Escurrido:** Consiste en eliminar el exceso de agua y arrugas que se encuentren en el cuero

### **Etapa de acabado en seco:**

- **Ablandado:** Se utiliza separación mecánica de fibras para generar suavidad y flexibilidad en la textura del cuero.
- **Esmerillado y desempolvado:** Se utiliza técnicas de lijado para suprimir las imperfecciones presentes en el producto, y a continuación se elimina el polvo del proceso de esmerillado.

- **Pigmentación:** Mediante la aplicación de diferentes métodos se aplica pigmentos para unificar el color del cuero y proporcionar brillo.
- **Planchado:** Se prensa el cuero en una placa caliente para que estén lisas o incluso pueden tener figuras, todo depende de los requerimientos del producto.

### 2.7.2. Tipo de curtido

El objetivo del proceso de curtido es estabilizar el colágeno de las pieles para de esta manera evitar que las proteínas de las pieles se pudran (SEMARNAP, 2000).

Según el INEC (2011), esta etapa puede llevarse a cabo mediante la aplicación de :

- Productos Inorgánicos: sales de cromo trivalente el cual en un pH ácido permite la conversión de la piel en cuero, también se puede hacer uso de sales de aluminio, hierro y de circonio.
- Productos orgánicos: curtientes vegetales como extractos de cortezas, maderas, hojas y raíces, por lo general son de plantas tropicales y subtropicales como el roble el castaño o la corteza de pino, también se puede hacer uso de parafinas sulfocloradas.

### 2.8. Indicadores de calidad de agua

Un indicador de calidad es un parámetro que es monitoreado a través del tiempo, cuya información permite determinar las tendencias del fenómeno y la recolección de estos datos permite realizar análisis estadísticos para su interpretación (Recatalá, 2009).



Las funciones principales de un indicador son: reducir el número de mediciones y la toma de parámetros, y simplificar el proceso de la comunicación y análisis de los resultados de la medición (Castro, 2014).

Calvo (2013) clasifica a los indicadores según **el parámetro usado**:

- Físico-químicos: son aquellos parámetros físicos o químicos que caracterizan al agua de estudio, por ejemplo, el pH, la temperatura, la DBO5, entre otros.
- Biológicos: conocidos también como bioindicadores de calidad ambiental, son organismo que a través de su presencia o densidad poblacional baja se determina el estado del ecosistema, como, por ejemplo, los macroinvertebrados, plantas, todo tipo de animales, entre otros.

Por otro lado, Loné (2016) clasifica a los indicadores **según su complejidad**:

- Simple: consiste en la aplicación de un parámetro específico que permite medir el grado de contaminación, por ejemplo, concentración de fósforo, clorofila, etc.
- Complejos: consiste en la combinación compleja de varios parámetros para medir el grado de contaminación del agua.

## 2.9. Toxicidad

Según Roldán (2016) la toxicidad es la capacidad propia que tiene un agente químico de producir efectos adversos sobre un organismo u órgano. Además, señala que existen dos tipos de relaciones en este tema:

- Dosis-efecto: se refiere a la relación que existe con la dosis aplicada y el efecto individual de cada organismo.
- Dosis-respuesta: es la relación de la dosis y el porcentaje de individuos de un grupo que presentan efectos adversos.

Según Tobergte y Curtis (2004), clasifica a la **toxicidad en tres tipos**:

- Toxicidad aguda: Efectos adversos (letales o subletales) generados sobre los organismos de prueba durante un periodo de exposición corto no mayor a 24 horas.
- Toxicidad subcrónica: Implica dosis repetidas del compuesto o del químico de estudio por un periodo de exposición inferior a 90 días.
- Toxicidad crónica: Efectos tóxicos a largo plazo, obtenidos por un periodo de exposición superior a 90 días. Estos se presentan como cambios en el metabolismo, crecimiento o capacidad de supervivencia.

Según Cueva, Rosaldo y López (2003) existen 2 **tipos de respuestas**:

- Respuestas Cuantitativas: Consiste en la medición de una variable cuantitativa de cada individuo del estudio, por ejemplo, 5/10 ratas murieron durante el ensayo.
- Respuestas de porcentajes: Para cada dosis o concentración que se haya aplicado se mide el porcentaje de individuos de una población de estudio, por ejemplo, el 45% de las plantas de estudio sobrevivieron a los contaminantes aplicados.

### **2.9.1. Toxicidad ambiental**

Consiste en el estudio de las consecuencias de las sustancias químicas en la salud humana y el medio ambiente (flora y fauna). Estas sustancias provienen de la actividad agrícola, ganadera, industrial, etc., cuya mala disposición final produce efectos adversos (Moreno, 2013).

### **2.10. Bioensayos de toxicidad**

Son experimentos en donde se pone en contacto a un organismo con diferentes concentraciones obtenidas de un área de estudio las cuáles están bajo

condiciones específicas y controladas, lo que permite determinar de manera experimental los efectos a nivel fisiológico, morfológico y biológico de la especie objetivo para el estudio en ejecución (Contero, 2017).

En la actualidad se puede encontrar varios estudios de bioensayos de toxicidad de metales pesados sobre semillas y plántulas de *Lactuca sativa* (lechuga) (Sobrero, 2004), en semillas de *Zea mays L.*(maíz) (Ding, Tan, Zhang, Zhang, Zhang y Kang, 2009), en semillas de *Cucumis melo L.*(melón) (Akinci, 2010). En estos estudios se ha usado cromo en sus estados de oxidación más comunes (CrIII y Cr VI), a través de estos estudios se ha podido determinar que el cromo es un elemento que puede ocasionar inhibición o retraso de la germinación de las semillas e incluso impide el desarrollo normal de plántulas.

## 2.11. *Tecoma stans* (Cholán)

Tabla 1.

*Clasificación botánica*

|                 |   |
|-----------------|---|
| <b>Dominio</b>  | Eukaryota   |
| <b>Reino</b>    | Plantae   |
| <b>División</b> | Magnoliophyta                                     |
| <b>Clase</b>    | Magnoliopsida                                     |
| <b>Orden</b>    | Lamiales  |
| <b>Familia</b>  | Bignoniaceae                                      |
| <b>Género</b>   | <i>Tecoma</i>                                     |
| <b>Especie</b>  | <i>Tecoma stans</i> (L.)<br><i>Juss. ex Kunth</i> |

Adaptado de (SEMARNAT, s.f.)

El Cholán es un arbusto nativo de América que puede llegar a medir 8 metros de altura, cuyo DAP llega a los 15 cm (Figura 2). En Ecuador se encuentra distribuida entre 500-3000 m.s.n.m. en las provincias de Azuay, Bolívar, Chimborazo, Imbabura, Loja, Pichincha y Tungurahua. Posee una copa irregular con una amplitud entre 7 y 14 metros con persistencia de hoja caducifolia de

color verde oscuro, compuestas, opuestas e imparipinadas (Figura 3) (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2014).



*Figura 2:* Arbusto de Cholán



*Figura 3:* Hojas de Cholán

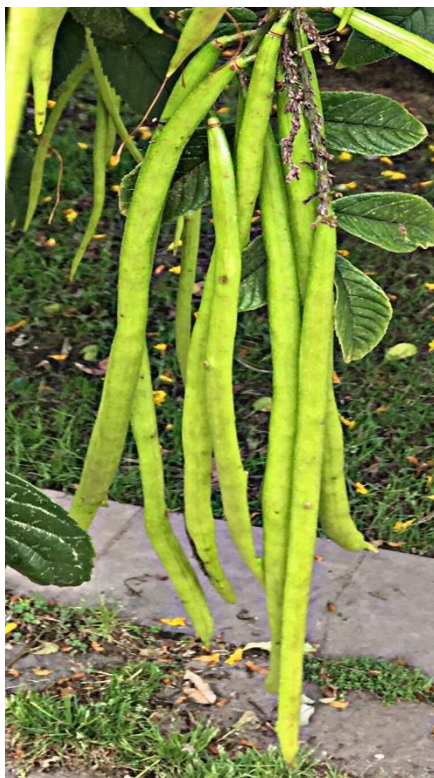
Sus flores son de color amarillo con cádiz cupuliforme, se encuentran agrupadas

en fluorescencia en un racimo terminal con 20 flores en cada uno (Figura 4) (Gilman, s.f.).



*Figura 4:* Flores de Cholán

Los frutos que proporciona son en forma de cápsula alargada, cilíndrica y dehiscente 7 a 21 cm de largo y 7 mm de ancho. Cuando el fruto está tierno es de color verde (Figura 5), mientras que cuando se madura se puede observar de color marrón (Figura 6) y se abre para que las semillas puedan ser liberadas (Gilman, s.f.).



*Figura 5:* Racimo de fruto tierno



*Figura 6:* Racimo de fruto maduro

Las semillas de esta especie son aplanadas, de color marrón, tienen una especie de alas blanco-amarillentas las cuales ayudan a su dispersión, miden alrededor de 7 a 9 mm de largo por 8 a 10 mm de ancho (Figura 7). Su germinación puede tardar de 8 días a 12 días (SEMARNAT, s.f.).



*Figura 7: Semillas de Cholán*

#### **2.11.1. Usos del Cholán**

- Su madera es utilizada para construcciones, pilares y postes debido a su dureza y textura (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2014).
- Las hojas son aprovechadas para tratar la fiebre amarilla, hepatitis e inflamaciones de estómago (Aguirre, 2012).
- Las hojas y las flores pueden formar parte del forraje para ganado caprino y bovino (Gilman, s.f.).
- Mucha gente utiliza de manera ornamental (Gilman, s.f.).

#### **2.12. *Lactuca sativa* L. (Lechuga)**

De acuerdo al Manual de producción de lechuga del INIA (2017) , la lechuga forma parte de la familia más grande de las dicotiledóneas (Tabla 2), es una especie anual autógena, cuya raíz es pivotante alcanzando una profundidad de 60 cm; sus hojas sésiles se encuentran distribuidas de manera espiral en una roseta (Figura 8) alrededor del tallo corto, la roseta puede continuar desarrollándose en el periodo vegetativo, cuando este haya terminado se produce la elongación del tallo alcanzando una altura de 1 m; el tallo termina en

una inflorescencia que es una densa penícula corimbosa conformada por muchos capítulos, cada uno de estos está compuesta entre 12 y 20 floretes, cada uno de estos contiene pétalos amarillos con cinco dientes; sus semillas de color verde oscuro de aproximadamente 2 mm de largo, son frutos secos de una sola semilla a lo cual se lo conoce como aquenio.

Tabla 2.

*Clasificación botánica*

|                   |                          |
|-------------------|--------------------------|
| <b>Reino</b>      | Plantae                  |
| <b>División</b>   | Magnoliophyta            |
| <b>Clase</b>      | Magnoliopsida            |
| <b>Orden</b>      | Asterales                |
| <b>Familia</b>    | Asteraceae               |
| <b>Subfamilia</b> | Cichorioideae            |
| <b>Tribu</b>      | Lactuceae                |
| <b>Género</b>     | <i>Lactuca</i>           |
| <b>Especie</b>    | <i>Lactuca sativa L.</i> |

Adaptado de (INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias), 2017)





Figura 8: Estados de la lechuga

Tomado de (INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias), 2017)

### 2.13. Marco Legal

Tabla 3.

Valores de cromo de acuerdo con el Anexo 1 del TULSMA

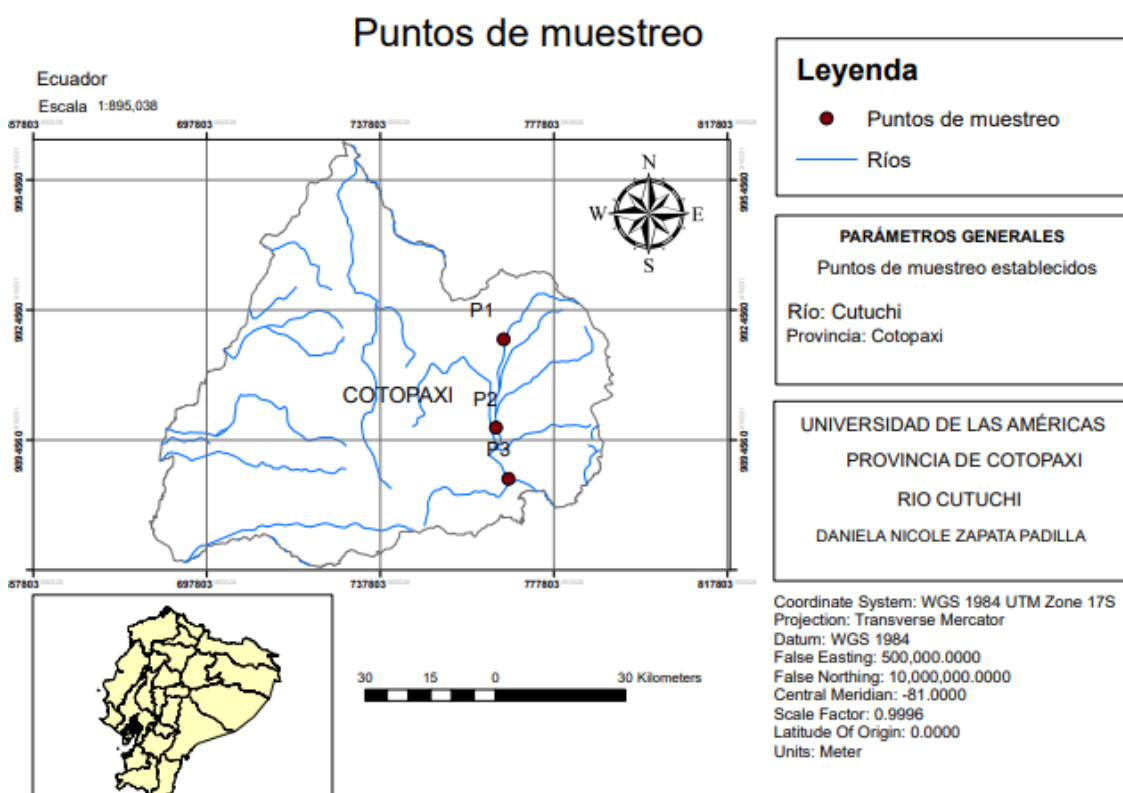
| Nº de Tabla | Parámetro | Valor | Unidad |
|-------------|-----------|-------|--------|
| 2           | Cromo     | 0,032 | mg/L   |
| 3           | Cromo     | 0,1   | mg/L   |

Adaptado de (Ministerio del Ambiente, 2015)

El cromo es uno de los metales pesados tomado en cuenta en los criterios de las tablas establecidas en el Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes al Recurso Agua (097-A). Para el presente estudio la Tabla 2 correspondiente a los “Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y estuarios y la Tabla 3 de los “Criterios de calidad de aguas para riego agrícola” son aplicables con los LMP establecidos en la Tabla 3.

### 3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

El estudio fue de carácter experimental, se realizaron ensayos toxicológicos con cromo en el Laboratorio de Toxicología (L11) de la Universidad de las Américas. Se trabajó con agua sintética elaborada en base a las concentraciones de cromo encontradas a lo largo del río Cutuchi, la normativa del Ecuador y otras presentes en bibliografía.



*Figura 9: Puntos de muestreo a lo largo del río Cutuchi*

El río de referencia se encuentra contaminado significativamente, debido a las descargas de aguas servidas de alrededor de 41 industrias entre ellas metalúrgicas, aglomerados, bebidas, curtiembres, etc., (Gutierrez, 2010).

#### 3.1. Determinación de la concentración de cromo

Antes de la experimentación se realizaron pruebas a diferentes concentraciones

de la sal de Sulfato Básico de Cromo ( $CrOHSO_4$ ), siendo el mínimo 4 mg/L y la máxima 70 mg/L. El valor máximo fue tomado del estudio de Arauzo y Esperanza (1995), quienes determinaron que a ese valor de Cr (VI) afecta el desarrollo y crecimiento de *Allium cepa L.* en un 85%. Por lo tanto, al realizar las pruebas se confirmó que a 70 mg/L no hay germinación, es por esto por lo que se estableció las siguientes concentraciones 4 mg/L, 17,5 mg/L y 35 mg/L, con las cuales se trabajó en la experimentación. Las otras dos concentraciones pertenecen a agua reposada y agua del Río Cutuchi (P1).

No se trabajó en la experimentación con los valores establecidos en la Normativa Ambiental (TULSMA), dado que durante ejecución de las pruebas preliminares se pudo observar que no causan efectos sobre la germinación ni desarrollo de plántulas.

### Datos iniciales

25%  $Cr_2O_3$  = ( 25g  $Cr_2O_3$  ; 100 g de sal)

### Cálculos:

#### Cantidad de cromo en $Cr_2O_3$

$$\frac{1 \text{ mol } Cr_2O_3}{151,99 \text{ g } Cr_2O_3} \times \frac{2 \text{ mol } Cr}{1 \text{ mol } Cr_2O_3} \times \frac{51,99 \text{ g } Cr}{1 \text{ mol } Cr} = 0,684 \text{ g } Cr * 100\% = 68,4\%$$

(Ecuación 1)

68% Cr = ( 68 g Cr ; 100 g de  $Cr_2O_3$ )

#### Preparación de solución madre (70mg /L)

$$70 \text{ mg } Cr \times \frac{100 \text{ g } Cr_2O_3}{68 \text{ g } Cr} \times \frac{100 \text{ g de } CrOHSO_4}{25 \text{ g } Cr_2O_3} = 411,76 \text{ mg } CrOHSO_4 =$$

4,117 g  $CrOHSO_4$

(Ecuación 2)

### Preparación de concentraciones

#### Concentración 1

$$V_1 C_1 = V_2 C_2$$

(Ecuación 3)

$$(1L) (70 \text{ mg/L}) = (4 \text{ mg}) V_2$$

$$V_2 = \frac{70 \text{ mg}}{4 \text{ mg}} = 17,5$$

$$\frac{1L}{17,5} = 0,0571L \times 100ml = 5,71 \text{ ml de solución}$$

### Concentración 2

$$V_1 C_1 = V_2 C_2$$

$$(1L) (70 \text{ mg/L}) = (17,5 \text{ mg}) V_2$$

$$V_2 = \frac{70 \text{ mg}}{17,5 \text{ mg}} = 4$$

$$\frac{1L}{4} = 0,25 L \times 100ml = 25 \text{ ml de solución}$$

### Concentración 3:

$$V_1 C_1 = V_2 C_2$$

$$(1L) (70 \text{ mg/L}) = (35 \text{ mg}) V_2$$

$$V_2 = \frac{70 \text{ mg}}{35 \text{ mg}} = 2$$

$$\frac{1L}{2} = 0,5 L \times 100ml = 50 \text{ ml de solución}$$

#### **3.1.1. Control de pH**

Con ayuda de un pH-metro se realizó mediciones de parámetro para asegurarse que la solución preparada de Cr<sup>III</sup> no haya cambiado a Cr<sup>VI</sup>, todo este proceso fue aplicado previo al riego en semillas y las plántulas.

#### **3.1.2. Toma de muestras en campo**

Se establecieron tres puntos de muestreo a lo largo del río Cutuchi (Tabla 4). El primer lugar (P1) fue una zona donde hay baja intervención antrópica; el segundo (P2) en una zona donde existía presencia de curtiembres e industrias; y el tercer punto de muestreo (P3) se ubicó donde hay descargas de agua servida urbana (Figura 9).

Tabla 4.

*Puntos de muestreo seleccionados a lo largo del Río Cutuchi*

| Puntos    | Coordenadas   |                |
|-----------|---------------|----------------|
|           | X             | Y              |
| <b>P1</b> | 766250.00 m E | 9917753.00 m S |
| <b>P2</b> | 764481.00 m E | 9897362.00 m S |
| <b>P3</b> | 767342.73 m E | 9885561.46 m S |

Los parámetros in - situ registrados fueron: oxígeno disuelto, pH, temperatura, conductividad eléctrica y turbidez, con la ayuda del equipo Medidor Multiparámetro, modelo HI 9829, marca Hanna (CARU, 2011).

Según la INEN2169 (2013) para realizar el análisis de cromo se recomienda recolectar una muestra de 100 ml y para su preservación se debe colocar en un cooler con hielo a temperaturas entre 1 y 5 °C. En el presente estudio se recolectaron 10 ml de agua por cada punto de muestreo en un recipiente de vidrio lavado con ácido. Las técnicas de recolección aplicadas fueron de acuerdo a lo establecido en la INEN2176 (2013).

Para el transporte de las muestras se adoptó las medidas establecidas en el numeral 4.1.5 de la INEN2169 (2013), la cual establece que los recipientes que contienen la muestra deben ser protegidos y sellados de tal manera que no se

pierdan sus características o su volumen; el empaque debe proteger de una rotura o una posible contaminación externa; y para el transporte de la muestra se debe guardar en un ambiente fresco sin incidencia de luz.

### **3.2. Análisis en laboratorio**

Para la determinación de las concentraciones de cromo presente en el río Cutuchi, se utilizó el Espectrofotómetro de Plasma de Acoplamiento Inductivo ICP-OES, perteneciente al Laboratorio Ambiental de la Dirección de Investigación de la Universidad de las Américas.

### **3.3. Especie de estudio**

*Tecoma Stans* o Cholán es una especie nativa de América, extendiéndose al ser de Estados Unidos, México, Centroamérica, la Cordillera de los Andes y al norte de Argentina. El arbusto pertenece a la familia Bignoniaceae, alcanzando una altura de 8 metros y un DAP de 15 cm, está compuesta de hojas caducifolias opuestas de color verde oscuro con flores de color amarillo. Sus frutos son en forma de vaina de color verde (tiernas) y marrón (maduras), llegando a medir hasta 21 cm de largo (SEDUMA, 2012).

*Lactuca sativa* o lechuga es una planta herbácea propia de las regiones semitempladas, utilizada para el consumo humano, donde la duración del cultivo suele ser de 50 a 60 días. Pertenece a la familia Asteraceae cuyas raíces alcanzan los 60cm de profundidad, sus hojas crecen alrededor de un tallo central, el cual es corto y cilíndrico, formando en conjunto una roseta. Cuando el tallo alcanza 1 m de altura, este termina en una inflorescencia compuesta de 12 y 20 floretes (Quintero, 1997).

### **3.4. Diseño experimental**

#### **3.4.1. Variables Independientes**

Tabla 5:

*Diseño experimental del estudio del Cholán.*

| Factor    | Niveles                   | Tratamientos | Repeticiones para semillas              | Réplicas para semillas              | Repeticiones para plántulas           |
|-----------|---------------------------|--------------|---|-------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>Cr</b> | C 1<br>4mg/L              | T 1          |   |                                     |                                       |
|           | C 2<br>17,5 mg/L          | T 2          |   |                                     |                                       |
|           | C 3<br>35 mg/L            | T 3          | 5<br>repeticiones<br>por<br>tratamiento | 10<br>semillas<br>por<br>repetición | 15<br>repeticiones<br>por tratamiento |
|           | C 4<br>(Agua<br>reposada) | T 4          |   |                                     |                                       |
|           | C 5<br>(Río<br>Cutuchi)   | T 5          |   |                                     |                                       |

- **Germinación de las semillas**

La experimentación se realizó bajo condiciones de laboratorio, se trabajó con 5 repeticiones por cada concentración establecida y 10 semillas por repetición. Las semillas fueron colocadas en cajas Petri de 90 mm, la cual contenía papel absorbente como sustrato. Además, fueron expuestas a un fotoperiodo 12:12, aprovechando la radiación solar y mantenidas a una temperatura ambiente (17°C a 20°C), fueron regadas con las diferentes concentraciones de Cr, cada 2 días (Akinci, 2010).

- **Desarrollo de plántulas**

La experimentación se realizó bajo condiciones controladas (invernadero), donde se trabajó con 15 repeticiones por cada concentración (tratamiento). Las plántulas se colocaron en almácigos, los cuales contenía como sustrato, turba y

fueron expuestas a un fotoperiodo 12:12, con una temperatura ambiente (17°C a 20°C). Recibieron riego del agua a diferentes concentraciones de Cr, cada 2 días (Akinci, 2010).

### 3.4.2. Variables Dependientes

#### 3.4.2.1. Semillas

- **Germinación de semillas en porcentaje (%)**

Se consideró que las semillas habían germinado cuando la testa estaba rota y se observó la radícula. A los 8 días de la germinación para *Tecoma stans* y 5 días para *Lactuca sativa*.

- **Crecimiento de la radícula en milímetros (mm)**

Se midió el crecimiento radicular a los 8 días de la siembra en *Tecoma stans* y 5 días para *Lactuca sativa*, utilizando un calibrador.

- **Supervivencia**

Las semillas de *Tecoma stans* y *Lactuca sativa* que germinaron durante la experimentación fueron colocadas en un recipiente donde el sustrato fue turba y fueron regadas cada 2 días por un mes para medir la supervivencia.

#### 3.4.2.2. Plántulas

- **Número de hojas**

El número de hojas por plántula fue contabilizada al inicio (un día antes de empezar con el riego de agua con cromo) y al final de la experimentación para *Tecoma stans*.

- **Alteraciones morfológicas**



A través de la observación, se realizó una comparación de la forma de las hojas al inicio vs la forma al final de la experimentación para *Tecoma stans* y *Lactuca sativa*.

- **Tamaño aéreo en centímetros (cm)**

Se realizó la medición desde la base del suelo hasta la yema terminal de la planta, con la ayuda de un calibrador. Esta medida fue tomada en *Tecoma stans* y de la base hasta la hoja más larga en *Lactuca sativa*.

- **Tamaño del sistema radicular en centímetros(cm)**

Se realizó la medición desde la base del tallo hasta la raíz más larga de las especies (*Lactuca sativa* y *Tecoma stans*). Esta medida fue tomada al final de la experimentación.

- **Índice de calidad de Dickson (IC) para *Tecoma stans***

Para el IC se requirió registrar la altura (cm), el diámetro (cm), la biomasa en peso seco tanto de la parte aérea como de la subterránea de la planta, de esta manera se obtiene de manera cualitativa y cuantitativa la calidad de estas. Para la obtención del peso seco, se usó una estufa de secado a una temperatura de 70 °C durante 72 horas (Rueda, 2014).

Con los datos obtenidos se procedió a usar a la siguiente fórmula:

$$IC = \frac{\text{Peso seco total (g)}}{\frac{\text{altura (cm)}}{\text{diámetro (cm)}} + \frac{\text{Peso seco de la parte aérea (g)}}{\text{Peso seco de la raíz (g)}}}$$

(Ecuación 4)

Tabla 6.

*Rangos del Índice de Calidad de la plántula*

| <b>Calidad</b> | <b>Valores</b> |
|----------------|----------------|
| Alta           | $\geq 0,5$     |
| Media          | 0,2 – 0,4      |
| Baja           | $< 0,2$        |

Tomado de (Rueda, 2014)

### 3.5. Análisis de resultados

#### 3.5.1. Análisis de la Varianza

Para los análisis se utilizó el software estadístico InfoStat

- Semillas

Se midió las diferencias entre los tratamientos (concentraciones) en base al porcentaje de germinación y crecimiento radicular con un valor de significancia del 95%. Como complemento al análisis de varianza se realizó comparaciones múltiples a través de la metodología de Tuckey con el fin de identificar las diferencias y similitudes entre tratamientos.

- Plántulas

Se midieron las diferencias entre los tratamientos (concentraciones) en base a la respuesta del tamaño aéreo, sistema radicular, con un valor de significancia del 95%. Como complemento al análisis de varianza se realizó comparaciones múltiples a través de la metodología de Tuckey con el fin de identificar las diferencias y similitudes entre tratamientos.

Antes de realizar los análisis de varianza se hicieron pruebas de normalidad Shapiro-Wilk. Los valores del tamaño aéreo y del sistema radicular no fueron normales, por lo que fueron transformados a logaritmo natural.

### 3.5.2. Índices de toxicidad

Para determinar los efectos toxicológicos de cromo en la germinación y desarrollo de plántulas de *Tecoma stans* y *Lactuca sativa* se siguió la metodología propuesta por Rodríguez (2014).

- **Germinación relativa de semillas (GRS)**

La presente fórmula ayudó a determinar el porcentaje de semillas germinadas con la muestra de agua problema frente a la muestra testigo. Si el valor obtenido de la fórmula es superior al 100% representará una relación positiva, por lo contrario, si el valor es menor al 100% será una relación negativa (Rodríguez,2014)

$$GRS (\%) = \frac{\text{Número de semillas germinadas con la muestra de agua problema}}{\text{Número de semillas germinadas en el agua dura (testigo)}} \times 100$$

(Ecuación 5)

- **Crecimiento relativo de la radícula (CRR)**

La presente fórmula ayudó a determinar el porcentaje de crecimiento de la radícula de las semillas expuestas al agua problema frente al agua testigo. Si el valor obtenido de la fórmula es superior al 100% representó una relación positiva, por lo contrario, si el valor en mayor al 100% fue una relación negativa (Rodríguez, 2014).

$$CRR (\%) = \frac{\text{Longitud promedio de la radícula con la muestra de agua problema}}{\text{Longitud promedio de la radícula en agua dura (testigo)}} \times 100$$

(Ecuación 6)

- **Índice de germinación (IG)**

Esta fórmula simboliza el producto de la germinación relativa de las semillas por el crecimiento relativo de la radícula (Rodríguez, 2014).

$$IG(\%) = \frac{GRS \times CRR}{100}$$

(Ecuación 7)

- **índice del porcentaje de germinación residual normalizado (IGN)**

$$IGN = \frac{Germ_x - Germ_{Testigo}}{Germ_{Testigo}}$$

(Ecuación 8)

Donde:

$Germ_x$ : Porcentaje promedio de semillas germinadas con las aguas a diferentes concentraciones de Cr (Rodríguez, 2014).

$Germ_{Testigo}$ : Porcentaje de semillas germinadas con el agua testigo (Rodríguez, 2014).

- **Elongación radical residual normalizado (IER)**

$$IER = \frac{Elong_x - Elong_{Testigo}}{Elong_{Testigo}}$$

(Ecuación 9)

Donde:

$Elong_x$ : Longitud promedio de la radícula de las semillas germinadas con las aguas a diferentes concentraciones de Cr (Rodríguez, 2014).

$Elong_{Testigo}$ : Longitud promedio de la radícula de las semillas germinadas con el agua testigo (Rodríguez, 2014).

Tabla 7.

Los índices IGN e IER establecen valores de toxicidad con las siguientes categorías

| Valores   | Nivel de Toxicidad |
|-----------|--------------------|
| 0 a -0,25 | Baja Toxicidad     |

|              |  |
|--------------|--|
| -0,25 a -0,5 | Toxicidad moderada                           |
| -0,5 a -1    | Toxicidad muy alta                           |
| >0           | Indica crecimiento de la radícula u hormesis |

Adaptado de (Rodríguez, 2014)

#### 4. CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

##### 4.1. Parámetros in-situ de los puntos de muestreo

Tabla 8: Parámetros in-situ de cada punto de muestreo del río Cutuchi

| Parámetro                       | Unidad     | Punto 1 | Punto 2 | Punto 3 |
|---------------------------------|------------|---------|---------|---------|
| Temperatura                     | ° C        | 15,17   | 17,19   | 16,97   |
| pH                              | -          | 7,35    | 8,14    | 8,76    |
| Oxígeno Disuelto (OD)           | %          | 38,2    | 38,8    | 84,2    |
| Conductividad Eléctrica<br>(CE) | $\mu S/cm$ | 634     | 826     | 529     |
| Turbidez                        | FNU        | 10,9    | 41,1    | 106     |
| Cromo total                     | mg/L       | 0,038   | 0,027   | 0,684   |

Como se puede observar en la Tabla 8 la temperatura en el punto 1 fue de 15,17 °C, siendo esta la menor de los tres puntos de muestreo, y la mayor temperatura se presentó en el punto 2 con 17,19 °C.

En cuanto al potencial de hidrógeno el punto 1 presento 7,35; el punto 2 8,14; y el punto 3 8,76. De acuerdo con la tabla 2 del Anexo 1 del TULSMA: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua establece que el LMP es entre 6,5 y 9, por lo que los tres puntos cumplen con la normativa.

En el punto 3 se presentó mayor oxígeno disuelto (OD) con un porcentaje de 84,2; los puntos 1 y 2 presentaron 38,2% y 38,8% respectivamente. De acuerdo

con la tabla 2 del Anexo 1 del TULSMA el LMO del OD es > al 80%, por lo que los valores tomados in-situ se encuentran dentro de normativa.

En cuanto a la conductividad eléctrica el punto 2 presentó 826  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , siendo el valor más alto, dado que en el punto 1 y 3 se registró 634 y 529  $\mu\text{S}/\text{cm}$  respectivamente.

El punto 3 fue el que mayor turbidez tuvo con 106 FNU, seguido del punto 2 con 10,9 FNU y el punto 1 tuvo una turbidez mucho menor en relación a los anteriores puntos con 10,9 FNU.

Finalmente, el valor del cromo en el punto 3 fue de 0,684, mayor al punto 1 y 2 obteniendo se en estos valores de 0,038 y 0,027 mg/L respectivamente. El LMP del cromo total de acuerdo a la tabla 2 del anexo 1 del TULSMA es 0,032 mg/L, por lo tanto, el punto 3 y 1 sobrepasa la normativa.

## 4.2. Respuestas biológicas

### 4.2.1. Índices de Toxicidad

- *Tecoma stans*

Tabla 9.

*Porcentajes de la germinación relativa de semillas (GRS), crecimiento relativo de radícula (CRR), índice de germinación (IG) e índice del porcentaje de germinación residual normalizado (IGM) de Tecoma stans.*

| Tratamiento      | GRS     | CRR    | IG     | IGN    | IER    |
|------------------|---------|--------|--------|--------|--------|
| 4mg/L T1         | 102,083 | 67,188 | 68,587 | 0,021  | -0,328 |
| 17,5mg/L T2      | 102,083 | 41,190 | 42,049 | 0,021  | -0,588 |
| 35mg/L T3        | 62,500  | 17,113 | 10,696 | -0,375 | -0,829 |
| Río Cutuchi **T5 | 93,750  | 84,048 | 78,795 | -0,063 | -0,160 |

Nota: \*\*Tratamiento con agua del río Cutuchi

Durante la investigación se determinó que los efectos que el Cr III produce en la

germinación y desarrollo radicular están relacionados con la concentración aplicada (Tabla 9), es decir, a mayor concentración menor germinación y crecimiento radicular.

En cuanto al IGN T1 y T2 no presentan toxicidad en la germinación; T5 presenta toxicidad baja, pero T3 (concentración más alta) presentó una toxicidad moderada.

De acuerdo con los valores presentados en el IER, T2 y T3 presentaron una toxicidad muy alta para el desarrollo radicular; T1 generó una toxicidad moderada y T5 tuvo baja toxicidad.

- **Lactuca sativa**

Tabla 10.

*Porcentajes de la germinación relativa de semillas (GRS), crecimiento relativo de radícula (CRR), índice de germinación (IG) e índice del porcentaje de germinación residual normalizado (IGM) de Lactuca sativa.*

| Tratamiento      | GRS    | CRR    | IG     | IGN    | IER    |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 4mg/L T1         | 100,00 | 94,19  | 94,19  | 0,000  | -0,058 |
| 17,5mg/L T2      | 91,84  | 29,74  | 27,32  | -0,082 | -0,703 |
| 35mg/L T3        | 75,51  | 29,71  | 22,44  | -0,245 | -0,703 |
| Río Cutuchi **T5 | 100,00 | 172,06 | 172,06 | 0,000  | 0,721  |

Nota: \*\*Tratamiento con agua del río Cutuchi

Durante la investigación se determinó que los efectos que el Cr<sup>III</sup> produce en la germinación y desarrollo radicular están relacionados con la concentración aplicada (Tabla 10), es decir, a mayor concentración menor germinación y crecimiento radicular.

El CRR determina el porcentaje de crecimiento radicular de las semillas de lechuga regadas con el agua usada en la experimentación (T1, T2, T3 y T5) en relación con el testigo (T4). Durante la investigación se observaron efectos fitotóxicos adversos en relación a la concentración, siendo el tratamiento 3 (T3) el más negativo. Por otro lado, el agua del río Cutuchi favoreció el desarrollo

radicular con 172,06%.

El IG es el producto de la germinación relativa de las semillas (GRS) por el crecimiento de la radícula (CRR). Se observa la tendencia anterior, hay efectos adversos (el Cr<sup>III</sup> es fitotóxico para la semilla de lechuga). Es decir, a mayor concentración la germinación es menor.

En cuanto al IGN las concentraciones 1,2,3y 5 presentaron tener baja toxicidad en la germinación.

Los valores de IER señalan que T2 y T3 presentan toxicidad muy alta para el desarrollo radicular; T1 tienen una baja toxicidad y T5 no presentó efectos adversos.

#### 4.3. Análisis de Varianza

- *Tecoma stans*

##### Germinación de Semillas

Tabla 11.

*Análisis de varianza del porcentaje de germinación de las semillas de Tecoma stans*

| Variable    | Sema de cuadrados | gl | Media cuadrática | f    | p-valor |
|-------------|-------------------|----|------------------|------|---------|
| Modelo      | 5256,00           | 4  | 1314,00          | 9,12 | 0,0002  |
| Tratamiento | 5256,00           | 4  | 1314,00          | 9,12 | 0,0002  |
| Error       | 2880,00           | 20 | 144,00           |      |         |
| Total       | 8136,00           | 24 |                  |      |         |



Tabla 12.

*Análisis Tuckey del porcentaje de germinación de las semillas de Tecoma stans*

| Tratamiento | Medias | n | E.E  |   |   |
|-------------|--------|---|------|---|---|
| T3          | 60,00  | 5 | 5,37 | A |   |
| **T5        | 90,00  | 5 | 5,37 |   | B |
| *T4         | 96,00  | 5 | 5,37 |   | B |
| T1          | 98,00  | 5 | 5,37 |   | B |
| T2          | 98,00  | 5 | 5,37 |   | B |

Nota: \*Control de estudio con agua reposada; \*\*Tratamiento con agua del río Cutuchi

El análisis de varianza señala que si existen diferencias significativas (Tabla 11) entre tratamientos (p-valor 0,0002). La prueba de Tuckey hace dos grupos, A y B, el A esta formado únicamente por el T3 (concentración de Cr<sup>III</sup> más alta) y en el B se agrupan las demás con valores de 90 a 98% de germinación (Tabla 12).

Tabla 13.

*Análisis de varianza del crecimiento radicular de las semillas de Tecoma stans*

| Variable    | Sema de cuadrados | gl | Media cuadrática | f     | p-valor |
|-------------|-------------------|----|------------------|-------|---------|
| Modelo      | 10,95             | 4  | 2,74             | 38,77 | <0,0001 |
| Tratamiento | 10,95             | 4  | 2,74             | 38,77 | <0,0001 |
| Error       | 1,41              | 20 | 0,07             |       |         |
| Total       | 12,36             | 24 |                  |       |         |

Tabla 14.

*Análisis Tuckey del crecimiento radicular de las semillas de Tecoma stans*

| Tratamiento | Medias | n | E.E  |   |   |   |
|-------------|--------|---|------|---|---|---|
| T3          | -2,25  | 5 | 0,12 | A |   |   |
| T2          | -1,29  | 5 | 0,12 |   | B |   |
| T1          | -0,82  | 5 | 0,12 |   | B | C |

|      |       |   |      |   |
|------|-------|---|------|---|
| **T5 | -0,58 | 5 | 0,12 | C |
| *T4  | -0,41 | 5 | 0,12 | C |

Nota: \*Control de estudio con agua reposada; \*\*Tratamiento con agua del río Cutuchi

El análisis de varianza señala que si existen diferencias significativas (Tabla 13) en el crecimiento radicular entre tratamientos ( $p$ -valor  $< 0,0001$ ). La prueba de Tuckey hace tres grupos A, B y C, donde se nota la diferencia del crecimiento radicular. T3 presentó menor desarrollo radicular en relación con el T4 (testigo) y T5 tuvo mayor crecimiento radicular. Por otro lado, la mejor respuesta la presenta T4 al ser el agua testigo (Tabla 14).

### Desarrollo de Plántulas

Tabla 15.

*Análisis de varianza del desarrollo de la parte aérea (tamaño) de las plántulas de Tecoma stans*

| Variable    | Sema de cuadrados | gl | Media cuadrática | f    | p-valor |
|-------------|-------------------|----|------------------|------|---------|
| Modelo      | 0,47              | 4  | 0,12             | 1,31 | 0,2766  |
| Tratamiento | 0,47              | 4  | 0,12             | 1,31 | 0,2766  |
| Error       | 6,26              | 70 | 0,09             |      |         |
| Total       | 6,73              | 74 |                  |      |         |

Tabla 16.

*Análisis Tuckey del desarrollo de la parte aérea (tamaño) de las plántulas de Tecoma stans*

| Tratamiento | Medias | n  | E.E  |   |
|-------------|--------|----|------|---|
| T3          | 2,60   | 15 | 0,08 | A |
| T2          | 2,62   | 15 | 0,08 | A |
| T1          | 2,66   | 15 | 0,08 | A |
| **T5        | 2,70   | 15 | 0,08 | A |

|     |      |    |      |   |
|-----|------|----|------|---|
| *T4 | 2,83 | 15 | 0,08 | A |
|-----|------|----|------|---|

Nota: \*Control de estudio con agua reposada; \*\*Tratamiento con agua del río Cutuchi

El análisis de varianza mostró que no hay diferencias significativas (Tabla 15) (Tabla 16) entre tratamientos (p-valor 0,2766), pudiendo ser por el crecimiento lento de la especie.

Tabla 17.

*Análisis de varianza del desarrollo de la parte subterránea (raíz) de las plántulas de Tecoma stans*

| Variable    | Sema de cuadrados | gl | Media cuadrática | f    | p-valor |
|-------------|-------------------|----|------------------|------|---------|
| Modelo      | 1,23              | 4  | 0,31             | 3,40 | 0,0133  |
| Tratamiento | 1,23              | 4  | 0,31             | 3,40 | 0,0133  |
| Error       | 6,33              | 70 | 0,09             |      |         |
| Total       | 7,57              | 74 |                  |      |         |

Tabla 18.

*Análisis Tuckey del desarrollo de la parte subterránea (raíz) de las plántulas de Tecoma stans*

| Tratamiento | Medias | n  | E.E  |   |   |
|-------------|--------|----|------|---|---|
| T1          | 2,70   | 15 | 0,08 | A |   |
| **T5        | 2,87   | 15 | 0,08 | A | B |
| *T4         | 2,95   | 15 | 0,08 | A | B |
| T2          | 3,02   | 15 | 0,08 |   | B |
| T3          | 3,06   | 15 | 0,08 |   | B |

Nota: \*Control de estudio con agua reposada; \*\*Tratamiento con agua del río Cutuchi

El análisis de varianza señala que sí existe diferencias significativas (Tabla 17) entre tratamientos (p-valor de 0,0133). Como se observa en la prueba de Tuckey los tratamientos T2 y T3 obtuvieron mayor crecimiento en comparación a los

demás tratamientos, sin embargo, las raíces de estos tratamientos se encontraban débiles y de una coloración café oscuro, así también el volumen de sus raíces fue menor (Tabla 18).

- ***Lactuca sativa***

### Germinación de Semillas

Tabla 19.

*Análisis de varianza del porcentaje de germinación de las semillas de Lactuca sativa*

| <b>Variable</b> | <b>Sema de cuadrados</b> | <b>gl</b> | <b>Media cuadrática</b> | <b>f</b> | <b>p-valor</b> |
|-----------------|--------------------------|-----------|-------------------------|----------|----------------|
| Modelo          | 2176,00                  | 4         | 544,00                  | 4,61     | 0,0084         |
| Tratamiento     | 2176,00                  | 4         | 544,00                  | 4,61     | 0,0084         |
| Error           | 2360,00                  | 20        | 118,00                  |          |                |
| Total           | 4536,00                  | 24        |                         |          |                |

Tabla 20.

*Análisis Tuckey del porcentaje de germinación de las semillas de Lactuca sativa*

| <b>Tratamiento</b> | <b>Medias</b> | <b>n</b> | <b>E.E</b> |   |   |
|--------------------|---------------|----------|------------|---|---|
| T3                 | 74,00         | 5        | 4,86       | A |   |
| T2                 | 90,00         | 5        | 4,86       | A | B |
| **T5               | 98,00         | 5        | 4,86       |   | B |
| *T4                | 98,00         | 5        | 4,86       |   | B |
| T1                 | 98,00         | 5        | 4,86       |   | B |

Nota: \*Control de estudio con agua reposada; \*\*Tratamiento con agua del río Cutuchi

El análisis de varianza señala que si existen diferencias significativas (Tabla 19) entre tratamientos (p-valor 0,0084). La prueba de Tuckey muestra que en T3 (concentración de Cr<sup>III</sup> más alta) se obtuvo una germinación del 74%, mientras

que en T1, T2 y T3 se obtuvo una germinación del 98% de las semillas (Tabla 20).

El análisis de varianza señala que si existen diferencias significativas (Tabla 21) entre tratamientos (p-valor < 0,0001). En el análisis de Tuckey se presentó tres grupos de letras, a través de las cuales se pudo determinar que a mayor concentración de Cr<sup>III</sup> se presenta menor crecimiento (T3) y a menor concentración de Cr<sup>III</sup> existe mayor crecimiento radicular (T1), al igual que en el río Cutuchi (T5) y el tratamiento testigo (T4) (Tabla 22).

Tabla 21.

*Análisis de varianza del crecimiento radicular de las semillas de Lactuca sativa*

| <b>Variable</b> | <b>Sema de cuadrados</b> | <b>gl</b> | <b>Media cuadrática</b> | <b>f</b> | <b>p-valor</b> |
|-----------------|--------------------------|-----------|-------------------------|----------|----------------|
| Modelo          | 2,81                     | 4         | 0,70                    | 13,14    | <0,0001        |
| Tratamiento     | 2,81                     | 4         | 0,70                    | 13,14    | <0,0001        |
| Error           | 1,07                     | 20        | 0,05                    |          |                |
| Total           | 3,88                     | 24        |                         |          |                |

Tabla 22.

*Análisis Tuckey del crecimiento radicular de las semillas de Lactuca sativa*

| <b>Tratamiento</b> | <b>Medias</b> | <b>n</b> | <b>E.E</b> |   |   |
|--------------------|---------------|----------|------------|---|---|
| T3                 | 0,19          | 5        | 0,10       | A |   |
| T2                 | 0,19          | 5        | 0,10       | A |   |
| T1                 | 0,60          | 5        | 0,10       | A | B |
| *T4                | 0,63          | 5        | 0,10       |   | B |
| **T5               | 1,09          | 5        | 0,10       |   | C |

Nota: \*Control de estudio con agua reposada; \*\*Tratamiento con agua del río Cutuchi

### Desarrollo de Plántulas

De acuerdo con el análisis de varianza existen diferencias significativas (Tabla 23) entre tratamientos ( $p$ -valor < 0,0001). Como se puede observar en la prueba de Tuckey los tratamientos 1,2 y 3 son los que mayor tamaño de la parte aérea obtuvieron (Tabla 24).

El análisis de varianza muestra que si existen diferencias significativas (Tabla 25) entre tratamientos ( $p$ -valor de 0,0094). De acuerdo con la prueba de Tuckey los tratamientos 4 y 5 (testigo y río Cutuchi) fueron las plantas que mayor crecimiento de la raíz obtuvieron, lo que quiere decir que a mayor concentración de Cr<sup>III</sup> menor crecimiento del sistema radicular (Tabla 26).

Tabla 23.

*Análisis de varianza del desarrollo de la parte aérea (tamaño) de las plántulas de Lactuca sativa*

| <b>Variable</b> | <b>Sema de cuadrados</b> | <b>gl</b> | <b>Media cuadrática</b> | <b>f</b> | <b>p-valor</b> |
|-----------------|--------------------------|-----------|-------------------------|----------|----------------|
| Modelo          | 5,11                     | 4         | 1,28                    | 14,35    | <0,0001        |
| Tratamiento     | 5,11                     | 4         | 1,28                    | 14,35    | <0,0001        |
| Error           | 6,15                     | 69        | 0,09                    |          |                |
| Total           | 11,26                    | 73        |                         |          |                |

Tabla 24.

*Análisis Tuckey del desarrollo de la parte aérea (tamaño) de las plántulas de Lactuca sativa*

| <b>Tratamiento</b> | <b>Medias</b> | <b>n</b> | <b>E.E</b> |   |
|--------------------|---------------|----------|------------|---|
| **T5               | 3,20          | 15       | 0,08       | A |
| *T4                | 3,28          | 15       | 0,08       | A |
| T3                 | 3,73          | 15       | 0,08       | B |
| T2                 | 3,75          | 15       | 0,08       | B |
| T1                 | 3,83          | 15       | 0,08       | B |

Nota: \*Control de estudio con agua reposada; \*\*Tratamiento con agua del río Cutuchi

Tabla 25.

*Análisis de varianza del desarrollo de la parte subterránea (raíz) de las plántulas de Lactuca sativa*

| <b>Variable</b> | <b>Sema de cuadrados</b> | <b>gl</b> | <b>Media cuadrática</b> | <b>f</b> | <b>p-valor</b> |
|-----------------|--------------------------|-----------|-------------------------|----------|----------------|
| Modelo          | 1,46                     | 4         | 0,37                    | 3,64     | 0,0094         |
| Tratamiento     | 1,46                     | 4         | 0,37                    | 3,64     | 0,0094         |
| Error           | 6,92                     | 69        | 0,10                    |          |                |
| Total           | 8,39                     | 73        |                         |          |                |

Tabla 26.

*Análisis Tuckey del desarrollo de la parte subterránea (raíz) de las plántulas de Lactuca sativa*

| <b>Tratamiento</b> | <b>Medias</b> | <b>n</b> | <b>E.E</b> |   |   |
|--------------------|---------------|----------|------------|---|---|
| T2                 | 2,22          | 14       | 0,08       | A |   |
| T3                 | 2,23          | 15       | 0,08       | A |   |
| T1                 | 2,35          | 15       | 0,08       | A | B |
| *T4                | 2,44          | 15       | 0,08       | A | B |
| **T5               | 2,60          | 15       | 0,08       |   | B |

Nota: \*Control de estudio con agua reposada; \*\*Tratamiento con agua del río Cutuchi

#### 4.4. Supervivencia

- ***Tecoma stans***

De acuerdo con los resultados de la Figura 10 la supervivencia de plántulas provenientes de las semillas germinadas en laboratorio fue de 62,5% en el testigo; de 28,9 % para el tratamiento 5; de 14,3% para el tratamiento 1; y 6,1 y 3,3% para los tratamientos 2 y 3 respectivamente.

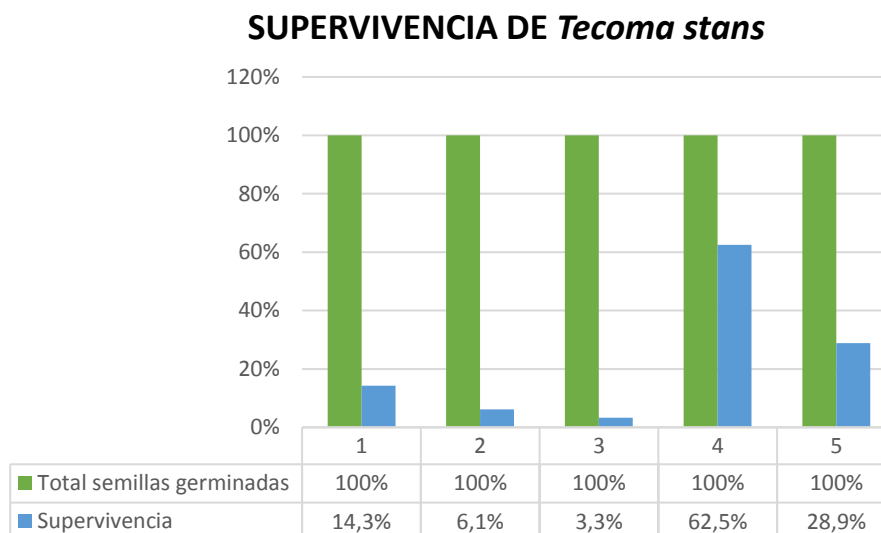


Figura 10: Supervivencia de *Tecoma stans*

- ***Lactuca sativa***

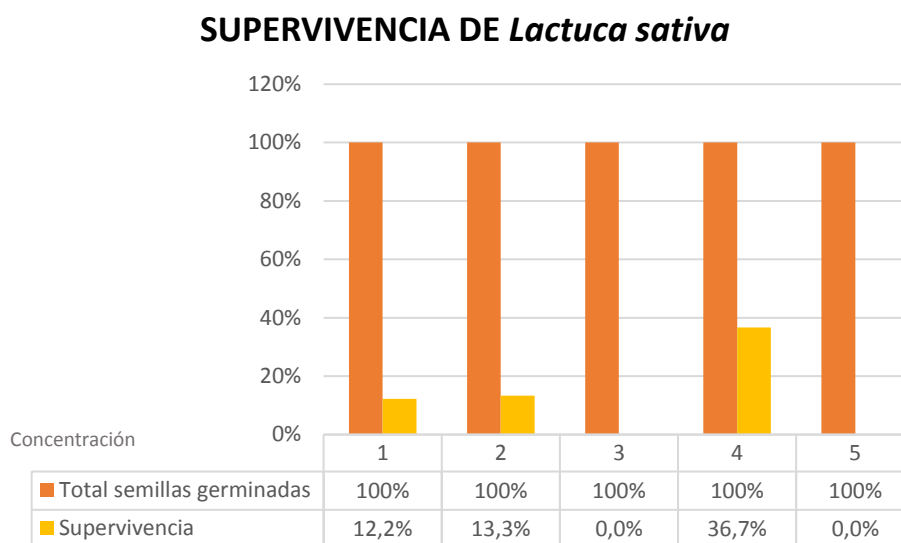


Figura 11: Supervivencia de *Lactuca sativa*

De acuerdo con los resultados de la Figura 11 la supervivencia de plántulas provenientes de las semillas germinadas en laboratorio fue de 36,7% en el testigo; de 12,2 y 13,3 % para los tratamientos 1 y 2 respectivamente; y en los tratamientos 3 y 5 no hubo supervivencia.

#### 4.5. Índice de calidad de Dickson para *Tecoma stans*



Tabla 27.

*Coeficiente de Dickson para Tecoma stans*

| Tratamiento | Coeficiente de Dickson | Calidad |
|-------------|------------------------|---------|
| T1          | 1,7                    | Alta    |
| T2          | 1,58                   | Alta    |
| T3          | 1,46                   | Alta    |
| *T4         | 2,32                   | Alta    |
| **T5        | 2,03                   | Alta    |

Nota: \*Control de estudio con agua reposada; \*\*Tratamiento con agua del río Cutuchi

De acuerdo con los resultados el Cr<sup>III</sup> (Tabla 27) se puede observar que a medida que aumenta la concentración de cromo la calidad forestal disminuye, por tal motivo T3 tiene un valor menor (1,46) que los demás tratamientos (T1,T2,T4, T5). Por otro lado, se puede observar que T4 y T5 tienen una calidad forestal alta con 2, 32 y 2,03 respectivamente.

#### 4.6. Anomalías Morfológicas

- *Tecoma stans*

Tabla 28.

*Número de hojas inicial y final, y el estado de las hojas inicial y final de Tecoma stans*

| Tratamiento | Nº hojas inicial | Nº hojas final | Estado Inicial | Estado Final  |
|-------------|------------------|----------------|----------------|---|
| 1           | 6,67             | 17,4           | Bueno          | 4 ramificaciones anormales<br>2 plantas con hojas arqueadas<br>1 hoja deforme<br>3 hojas caídas |

|     |      |       |       |   |
|-----|------|-------|-------|---|
| 2   | 7,47 | 19,07 | Bueno | 6 ramificaciones anormales<br>3 hoja con crecimiento deforme<br>2 plantas con hojas arqueadas                               |
| 3   | 7,87 | 18,6  | Bueno | 8 ramificaciones anormales<br>7 hojas deformes<br>3 plantas con hojas arqueadas<br>1 planta con ramificación solo a un lado |
| *4  | 6,67 | 20,07 | Bueno | Bueno   |
| **5 | 7,4  | 15,33 | Bueno | 1 hoja deforme<br>2 ramificaciones anormales  |

Nota: \*Control de estudio con agua reposada; \*\*Tratamiento con agua del río Cutuchi

Como se puede observar en la Tabla 28 donde se obtuvo mayores alteraciones en la morfología de las plantas fue en el tratamiento 3 (concentración más alta de Cr III. Por otro lado, en el tratamiento 5 (Río Cutuchi) también se obtuvo alteraciones, pero en menor medida que en los otros tratamientos. Además, en el tratamiento 4 (agua reposada) no se obtuvo ninguna anomalía e incluso es la que mayor número de hojas tuvo.

- ***Lactuca sativa***

A través de los resultados obtenidos en la Tabla 29, donde mayor muerte de hojas se presentó fue en el tratamiento 3 con un promedio de 10 hojas de color amarillo por planta, por lo tanto, se puede observar que a mayor concentración mayor presencia de hojas con clorosis y marchitez. Además, en el mismo tratamiento se obtuvo mayor número de hojas con un promedio de 14 hojas por planta, sin embargo, su calidad no fue óptima dado que eran delgadas y débiles

en comparación a los tratamientos 4 y 5, la misma característica se presentó en el tratamiento 1 y 2.

Tabla 29.

*Número de hojas inicial y final, y estado inicial y final de las hojas de Lactuca sativa*

| Tratamiento | Nº hojas inicial | Nº hojas final | Estado Inicial | Estado Final                      |
|-------------|------------------|----------------|----------------|-----------------------------------|
| 1           | 4,33             | 12,13          | Bueno          | 7 hojas con clorosis y marchitas  |
| 2           | 4,40             | 11,60          | Bueno          | 9 hojas con clorosis y marchitas  |
| 3           | 4,60             | 14,47          | Bueno          | 10 hojas con clorosis y marchitas |
| *4          | 5,13             | 12,53          | Bueno          | 4 hojas con clorosis y marchitas  |
| **5         | 4,93             | 13,27          | Bueno          | 5 hojas con clorosis y marchitas  |

Nota: \*Control de estudio con agua reposada; \*\*Tratamiento con agua del río Cutuchi

## 5. CAPÍTULO V. DISCUSIÓN

La mayoría de las referencias bibliográficas revisadas para este estudio relacionan el uso y efectos del Cr<sup>VI</sup> sobre plantas, son pocas las investigaciones realizadas con Cr<sup>III</sup> debido a que se considera que sus efectos sobre la vegetación no son significativos. No obstante, nuestros resultados sugieren que el Cr<sup>III</sup> podría tener implicaciones de toxicidad sobre la vegetación.

El presente estudio investigativo mostró que el Cr<sup>III</sup> sí produce efectos fitotóxicos en las semillas de *Lactuca sativa*. A mayor concentración menor porcentaje de germinación y crecimiento radicular, además, la radícula presentó una coloración café. Lo que difiere con el estudio de Aportela y González (2001) quienes realizaron su experimentación con la misma especie aplicando Cr<sup>VI</sup> y determinaron que a concentraciones de 1,10 y 100 mg/L no se presentan efectos

significativos sobre el porcentaje de germinación, aunque si la ralentiza, sin embargo con la concentración más alta tuvieron mayores efectos fitotxicológicos al igual que en el presente estudio.

El porcentaje de germinación y crecimiento radicular de *Tecoma stans* se vio afectado por el  $\text{Cr}^{\text{III}}$ , siguiendo la misma tendencia y característica de la radícula de *Lactuca sativa*, esto concuerda con lo presentado por Akinci y Akinci (2010) en su trabajo con semillas de *Cucumis melo L.*, en el que también se encontró bajo rendimiento durante el proceso, utilizando  $\text{Cr}^{\text{VI}}$ . Otro estudio donde también se utilizó  $\text{Cr}^{\text{VI}}$  demostró que a concentraciones mayores a 520 mg/L no hubo germinación de semillas de *Phaseolus vulgaris L.* Giardina, Heredia, Castro y Effron (2013). Por el contrario, la investigación de Chow, Lee, Zakaria y Foo (2018) quienes trabajaron con  $\text{Cr}^{\text{III}}$  aplicado en semillas de *Vigna unguiculata* determinaron que las concentraciones de Cr usadas no afectaron a la germinación de las mismas, sin embargo, a concentraciones de 0,3, 0,4 y 0,5 mM impidió significativamente el crecimiento de la raíz. Es importante añadir que el tratamiento 5 (agua río Cutuchi) favoreció el crecimiento radicular de *Tecoma stans* y *Lactuca sativa*, como se puede observar en la tabla 14, esto puede deberse a la cantidad considerable de nutrientes existente en el agua como fósforo, potasio, nitrógeno, etc.

Los efectos que causó el  $\text{Cr}^{\text{III}}$  sobre las especies de estudio en la germinación pudo darse por una disminución en la permeabilidad al agua como lo ocurrido en el estudio de Lamhamdi, Bakrim, Aarab, Lafont y Sayah (2011) donde regaron con plomo a las semillas de *Triticum aestivum L.* (trigo) y explicaron que estas son permeables al metal pesado durante la primera etapa de la germinación cuando la captación de agua es intensa, al final de la etapa, cuando se reduce la absorción de agua, las plántulas se vuelven más permeables al plomo y el porcentaje de agua contaminada que penetró en el embrión hace que la germinación se ralentice o se inhiba completamente. Por otro lado, con la germinación inicia el crecimiento de la raíz, la disminución de la misma es debido a la inhibición de la división o elongación de las células del sistema radicular o la extensión del ciclo celular, como informó Ryan, Reid y Smith (1997) con su

estudio de efectos del aluminio sobre *Triticum aestivum* L. (trigo).

En cuanto al desarrollo de plántulas de *Lactuca sativa* a mayor concentración mayor desarrollo de la parte aérea y menor crecimiento del sistema radicular, a pesar de que la longitud de brote aumentó en los tratamientos sometidos a Cr<sup>III</sup> se evidenciaron deformidades, dado que las hojas crecieron hacia abajo y no se formó la roseta, además se encontraron marchitas y algunas de ellas de color amarillo y muy débiles en comparación a los tratamientos 5 y 4 (Río Cutuchi y agua reposada) (Anexo 1). Estos resultados concuerdan con la investigación realizada por Arshad, Khan, Hussain, Zaman, Anees, Iqbal, y Yousaf (2017) quienes trabajaron con *Triticum aestivum* L., en el cual se determinó que a mayor concentración de Cr<sup>VI</sup> menor crecimiento del tallo y del sistema radicular.

En *Tecoma stans* se obtuvo que no existe diferencias significativas en el desarrollo del tallo con las diferentes concentraciones de Cr<sup>III</sup>, pero en el crecimiento radicular se mostró que a mayor concentración mayor longitud de la raíz, no obstante, el volumen de esta era menor en relación con el tratamiento testigo (Anexo 2). Estos resultados coinciden con los resultados obtenidos en el estudio de Gardea (2005) donde comparan los efectos del Cr<sup>VI</sup> y Cr<sup>III</sup> sobre *Salsola kali*, determinando que las plantas expuestas a 5mg/L de Cr<sup>VI</sup> y 5 y 10mg/L de Cr<sup>III</sup> desarrollaron raíces significativamente más grandes que las plantas control, así también la parte aérea a concentraciones de 10 mg/L de Cr<sup>VI</sup> y 5 mg/L de Cr<sup>III</sup> aumentaron el crecimiento. Cabe mencionar que los resultados obtenidos en el estudio de *Tecoma stans* no son concluyentes, debido al poco tiempo de experimentación, en relación con el tiempo de vida de la especie.

Los efectos evidenciados en la lechuga pudieron deberse a que el Cr tiende a desplazar varios cationes como el Ca<sup>2+</sup> de los sitios de unión de las membranas plasmáticas y las paredes celulares, lo que conlleva al mal funcionamiento celular, además el Cr interfiere en la captación de otros elementos iónicamente similares como el Fe y el S (Skeffington, 1976), además que si en el suelo presenta una deficiencia de P existe mayor absorción de Cr (Gunsé, 1987). Este

desequilibrio de nutrientes provocó que la lechuga crezca rápidamente con tallo y hojas desvanecidas y con un aparato pequeño, dado que la planta absorbió en mayor medida el elemento disponible en suelo que era el  $\text{Cr}^{\text{III}}$  (Scoccianti, 2006). En el cholán, al ser una especie forestal es más resistente, por lo que se evidenció mayores efectos sobre la raíz, un fenómeno característico del  $\text{Cr}^{\text{III}}$ , dado a que el metal es absorbido por intercambio iónico en las paredes de los vasos xilemáticos lo que puede conllevar a dos situaciones, la primera es modificaciones en las propiedades de semipermeabilidad y transporte, o cambios en la extensibilidad y crecimiento (Poschenrieder, 1992), siendo el último lo evidenciado en la experimentación.

Para *Tecoma stans* se determinó el índice de calidad a través del coeficiente de Dickson, del cual se obtuvo que todas las plántulas de estudio arrojaron valores mayores a 0,5 lo que lleva a establecer que la calidad de la planta es “Alta”, este resultado se pudo deber a que se requiere mayor tiempo para la experimentación debido a que es una planta forestal de lento crecimiento.

*Lactuca sativa* no obtuvo ningún ejemplar sobreviviente, en los tratamientos 3 y 5 (concentración más alta de cromo y agua del río Cutuchi), como se observa en la figura 1 y 2, los resultados del T5 pudieron deberse a que el agua del río contiene otros metales pesados, como cadmio, cobalto, bario, cromo, cobre, plomo, etc., que pudieron afectar el desarrollo de la plántula. Por lo contrario, en *Tecoma stans* en los tratamientos 2 y 3 se obtuvo supervivencia en un pequeño porcentaje. En ambos casos se obtuvo cantidades significativas de plántulas sobrevivientes en tratamiento 4 (testigo) (Anexos 3 y 4).

Desde finales del primer mes hasta el final de la experimentación, *Tecoma stans* presentó la mayor cantidad de ramificaciones anormales (Anexo 5), deformaciones en las hojas jóvenes (Anexo 6) y hojas curvadas hacia adentro (Anexo 7), este último resultado concuerda con el estudio de Sharma, Sharma y Tripathi (2003) donde plantas de maíz también presentaron lesiones cuando se trabajó con  $\text{Cr}^{\text{VI}}$ , las hojas se curvaron hacia adentro y a diferencia del Cholán presentaron clorosis y palidez.

De igual manera en las plántulas de *Lactuca sativa* se evidenció que a mayor concentración de cromo mayor número de hojas con clorosis (amarillentas) y marchites, estos resultados son corroborados por los estudios de Chatterjee y Chatterjee (2000) y Bishnop, Dua, Gupta y Sawhney (1993) donde el primero trabajo con coliflor y el segundo con guisantes obteniendo ambos evidencias de clorosis y una ligera marchitez en las hojas de las plantas de estudio al aplicar  $\text{Cr}^{\text{VI}}$ . Adicionalmente a estos estudios, la investigación de Scoccianti, Crinelli, Tirillini, Mancinelli y Speranza (2006) en el cual se trabajó con  $\text{Cr}^{\text{III}}$  en semillas de apio, confirma que uno de los síntomas de toxicidad del metal son las hojas amarillentas y necrosis.

La mayoría de los efectos fueron evidenciados en las hojas de las dos especies trabajadas, a pesar de que no se tiene datos exactos de la distribución del  $\text{Cr}^{\text{III}}$  a nivel ultraestructural, los fenómenos pudieron darse por la interacción del metal con las paredes celulares dado que los efectos son directamente citotóxicos generándose una translocación del Cr hacia los brotes lo que conlleva a obtener malformaciones en las hojas o las ramificaciones como lo que ocurrió con el cholán, además los cloroplastos también son afectados produciendo afectaciones en el proceso de fotosíntesis evidenciándose con la aparición de clorosis y marchitez en las hojas, lo que ocurrió con la lechuga (Gunsé, 1987).

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. CONCLUSIONES

El Cr<sup>III</sup> afectó significativamente tanto en la germinación como en el desarrollo radicular de las semillas de *Tecoma stans* y *Lactuca sativa*, disminuyendo ambos parámetros a medida que el cromo va aumentando.

El tratamiento 5 favoreció el crecimiento radicular en ambas especies de estudio, esto se debe a que el agua de riego (río Cutuchi) es receptor de aguas grises de la población por ende contiene grandes cantidades de materia orgánica y nutrientes.

A nivel de germinación de semillas de *Lactuca sativa* el Cr<sup>III</sup> presentó baja toxicidad en los tratamientos 1,2,3 y 5.

La elongación radicular para ambas especies mostró efectos significativos a la toxicidad a medida que la concentración de Cr<sup>III</sup> aumentó, mientras que el agua del río Cutuchi no mostró ser tóxico.

Los niveles de toxicidad en *Tecoma stans* en la germinación de las semillas, presentó que la concentración de 35 mg/L es moderada, el agua del río Cutuchi tiene baja toxicidad y las concentraciones de Cr<sup>III</sup> menores (4 mg/L y 17,5 mg/L) no presentaron toxicidad sobre las semillas.

El cromo trivalente afectó en la morfología de las plántulas de *Tecoma stans*, evidenciándose como malformaciones, ramificaciones anormales y la presencia de hojas curvas hacia adentro, estas características fueron aumentando en las plantas a medida que las concentraciones del metal aumentaban.

El metal pesado de estudio contribuyó al crecimiento acelerado de las plántulas de *Lactuca sativa*, sin embargo, su calidad no fue la adecuada, dado que



crecieron hacia abajo y sus hojas eran amarillentas y muy débiles, características que con el tiempo fueron empeorando.

## **6.2. RECOMENDACIONES**

Se recomienda que para este tipo de experimentaciones se tome más tiempo para poder evidenciar los efectos que pueden causar los metales de estudio sobre la especie.

Se recomienda obtener el peso húmedo del sistema radicular y de la parte aérea de la planta para obtener resultados más amplios con los que se pueda comparar con otros estudios.

Se recomienda incluir como criterio el Cr <sup>III</sup> en la normativa ambiental vigente, dado que también produce efectos a largo plazo en los ecosistemas.

## REFERENCIAS

- Aguirre, Z. (2012). Especies forestales bosques secos Ecuador. Bosques Secos en Ecuador y su diversidad. Quito: Ministerio del Ambiente de Ecuador, FAO, Subsecretaría de Patrimonio Natural, ENF, FAD. Recuperado el 23 de mayo de 2019 de <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/Bosques-Secos4.pdf>
- Akinci, I. E. y Akinci, S. (2010). *Effect of chromium toxicity on germination and early seedling growth in melon (Cucumis melo L.)*. *African Journal of Biotechnology*, 9(29), 4589–4594. Recuperado el 26 de mayo de 2019 de <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/82729>
- Andleeb, S., Mahmood, T., y Khalid, A. (2019). *Environmental chromium from the tannery industry induces altered reproductive endpoints in the wild female small Indian mongoose (Urva auropunctatus)*. *Toxicology and Industrial Health*, 35(2), 145–158. <https://doi.org/10.1177/0748233718814975>
- Aportela, P. y González, Y. (2001). Evaluación toxicológica del dicromato de potasio en plantas de lechuga, *Lactuca sativa*, L. *Centro de Toxicología y Biomedicina*, 1(1), 98–103. Recuperado el 05 de marzo de 2018 de <https://docplayer.es/64898227-Evaluacion-toxicologica-del-dicromato-de-potasio-en-plantas-de-lechuga-lactuca-sativa-l.html>
- Arauzo, M. y Esperanza, M. (1995). Toxicidad aguda del cromo usando *Allium cepa* L. OPS/CEPIS/95-25(LAB), 4. Recuperado el 23 de mayo de 2019 de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/039219/039219.pdf>
- Arshad, M., Khan, A. H. A., Hussain, I., Badar-uz-Zaman, Anees, M., Iqbal, M., Yousaf, S. (2017). *The reduction of chromium (VI) phytotoxicity and phytoavailability to wheat (Triticum aestivum L.) using biochar and bacteria*. *Applied Soil Ecology*, 114, 90–98. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.02.021>
- ATDRS. (2012). Cromo. Atlanta, GA. Recuperado el 20 de marzo de 2018 de [https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts7.pdf](https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts7.pdf)

- ATSDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades). (2012). Resumen de salud pública: Cromo.
- Benoit, D. A. (1976). *Toxic effects of hexavalent chromium on brook trout (Salvelinus fontinalis) and rainbow trout (Salmo gairdneri)*. *Water Research*, 10(6), 497–498. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(76\)90185-8](https://doi.org/10.1016/0043-1354(76)90185-8)
- Bishnop, N. R., Dua, A., Gupta, V. K. y Sawhney, S. K. (1993). *Effect of chromium on seed germination, seedling growth and yield of peas*. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 47, 47–57. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0167-8809\(93\)90135-C](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0167-8809(93)90135-C)
- Cabrera, H., Garcés, M. y Paredes, P. (2012). Proyecto de desarrollo de capacidades para el uso seguro de aguas servidas en agricultura. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca Ministerio de Salud Pública EMAPAG-EP, 1–12.
- Calvo, G. (2013). Nueva metodología para valorar la calidad de las aguas superficiales para su uso como clase 2 en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 26(2), 11–13.
- CARU. (2011). Protocolo para mediciones “IN SITU” de calidad de aguas y extracciones de muestras de agua en la desembocadura del río Gualeguaychú, en río Uruguay. Recuperado el 23 de mayo de 2019 de [http://www.caru.org.uy/web/comunicados\\_prensa/PROTOCOLO DE MONITOREO del Ro Gualeguaych en el Ro Uruguay.pdf](http://www.caru.org.uy/web/comunicados_prensa/PROTOCOLO_DE_MONITOREO_del_Ro_Gualeguaych_en_el_Ro_Uruguay.pdf)
- Castro, M., Almeida, J., Ferrer, J. y Diaz, D. (2014). Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global. *Ingeniería Solidaria*, 10(17), 112–114. <https://doi.org/10.16925/in.v9i17.811>
- CEDEX. (2017). Bosques de ribera. Recuperado el 08 de marzo de 2019 de <http://hispagua.cedex.es/node/61733>
- Chatterjee, J. y Chatterjee, C. (2000). *Phytotoxicity of cobalt, chromium and copper in cauliflower*. *Environmental Pollution*, 109(1), 69–74. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(99\)00238-9](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00238-9)
- Chávez, Á. (2010). Descripción de La nocividad del cromo proveniente de la industria curtiembre y de las posibles formas de removerlo. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 9(17), 41–49. Recuperado el 05

de marzo de 2018 de  
<http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=75017164003%5Cnhttp://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75017164003%5Cnhttp://www.redalyc.org/pdf/750/75017164003.pdf>

- Chow, Y. N., Lee, L. K., Zakaria, N. A. y Foo, K. Y. (2018). *Phytotoxic effects of trivalent chromium-enriched water irrigation in Vigna unguiculata seedling*. *Journal of Cleaner Production*, 202, 101–108. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.144>
- Contero, R. y Felicita, O. (2017). Utilización de bioensayos para la determinación de contaminación en agua de riego en la cuenca del río Granobles. La Granja. *Revista de Ciencias de La Vida*, 4(1), 38. <https://doi.org/10.17163/lgr.n4.2005.05>
- Cueva, M., Rosaldo, J. y López, J. (2003). Evaluación de la toxicidad de los suelos mediante bioensayos con semillas (pp. 87–90). Recuperado el 20 de abril de 2019 de <https://micrositios.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/665/toxicidad.pdf>
- Díaz, M., Bustos, M. y Espinosa, A. (2009). Pruebas de toxicidad acuática: fundamentos y métodos. *Ingeniería e Investigación*, 29(1), 140–142. Recuperado el 05 de marzo de 2018 de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-56092009000100020](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092009000100020)
- Ding, H., Tan, M. P., Zhang, C., Zhang, Z., Zhang, A. y Kang, Y. (2009). *Hexavalent chromium (VI) stress induces mitogen-activated protein kinase activation mediated by distinct signal molecules in roots of Zea mays L.* *Environmental and Experimental Botany*, 67(2), 328–329. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.08.007>
- Encalada, A. (2010). Funciones ecosistémicas y diversidad de los ríos. In Laboratorio de Ecología Acuática (pp. 40–47). Quito: Universidad San Francisco de Quito. Recuperado el 10 de abril de 2018 de <http://revistas.usfq.edu.ec/index.php/polemika/article/view/370/489>
- Encalada, A., Rieradevall, M., Ríos, B., García, N. y Prat, N. (2011). Protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de ríos

- andinos (CERA-S). In A. USFQ, UB (Ed.) (p. 17). Quito: FONAG.
- Esparza, A. y Gamboa, N. (2001). Contaminación debida a la industria curtiembre. *Revista de Química*, XV(1), 42–44. Recuperado el 05 de marzo de 2018 de <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/viewFile/4756/4757>
- Estrada, A., Gallo, M. y Nuñez, E. (2016). Contaminación ambiental, su influencia en el ser humano, en especial: el sistema reproductor femenino. *Universidad y Sociedad*, 8(3), 81–85. Recuperado el 05 de marzo de 2018 de <http://rus.ucf.edu.cu/>
- Fernandez, J. (2011). La recuperación de ríos en entornos urbanos: el caso del Río Zadorra en Vitoria-Gasteiz. Madrid. Recuperado el 10 de abril de 2018 de <https://www.vitoria-gasteiz.org/docs/wb021/contenidosEstaticos/adjuntos/es/67/40/36740.pdf>
- Ferrer, A. (2003). Intoxicacion de metales. *ANALES Sis San Navarra*, 26(1), 153. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Friberg, N. (2014). *Impacts and indicators of change in lotic ecosystems*. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 1(6), 513–514. <https://doi.org/10.1002/wat2.1040>
- Gardea-Torresdey, J. L., De La Rosa, G., Peralta-Videa, J. R., Montes, M., Cruz-Jimenez, G. y Cano-Aguilera, I. (2005). *Differential uptake and transport of trivalent and hexavalent chromium by tumbleweed (Salsola kali)*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 48(2), 225–232. <https://doi.org/10.1007/s00244-003-0162-x>
- Giardina, E. B., Heredia, O. S., Castro, M. A. y Efron, D. N. (2013). Fitotoxicidad del cromo sobre *Phaseolus vulgaris* L. *FA-UBA*, 32(1–2), 75–80. Recuperado el 01 de junio de 2019 de <http://agronomiayambiente.agro.uba.ar/index.php/AyA/article/view/7>
- Gilman, E. F. y Watson, D. G. (s.f.). *Tecoma stans*: Yellow-Elder. Recuperado el 12 de mayo de 2019 de [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info\\_especies/arboles/doct](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doct)

os/12-bigno8m.PDF

- Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Cotopaxi. (2015). Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial Cotopaxi 2025. Cotopaxi, Ecuador. Recuperado el 20 de marzo de 2018 de [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdocumentofinal/0560000110001\\_FINAL-PDYOT-COTOPAXI-2015\\_17-08-2015\\_18-17-17.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0560000110001_FINAL-PDYOT-COTOPAXI-2015_17-08-2015_18-17-17.pdf)
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Latacunga. (2016). Plan de desarrollo del Amazonas 2016-2019. Latacunga, Ecuador. Recuperado el 22 de marzo de 2019 de <http://amazonas.gov.co/index.shtml?apc=v-xx1-&x=1372008>
- Gobierno Provincial de Tungurahua. (2014). Plan provincial de riego Tungurahua 2014-2029. In S. Pérez & M. Villacís (pp. 21–25). Gobierno Provincial de Tungurahua.
- Gómez, S., Bulla, D., Maldonado, C., Martínez, M., Quevedo, B., Soto, A., & Pedroza, A. (2008). Evaluación de tres hongos lignolíticos y de *Aspergillus niger* como alternativa para el tratamiento de aguas residuales del curtido de pieles. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 24(3), 94–96. Recuperado el 05 de marzo de 2018 de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v24n3/v24n3a1.pdf>
- Gunsé, B. (1987). Efectos del Cromo sobre la nutrición y relaciones hídricas de *Phaseolus vulgaris*. Universidad Autónoma de Barcelona. Recuperado el 03 de julio de 2019 de <https://www.tdx.cat/handle/10803/3683;jsessionid=CC273CCF25803257AEDC7DCFB86456E8>
- Gutierrez, C. (2010). La Contaminación Del Rio Cutuchi (Postgrado en Derecho Ambiental). Universidad Técnica Particular de Loja. Loja, Ecuador.
- Induqim Gonveg Cía. Ltda. (2007). Sulfato básico de cromo. Quito. Recuperado el 19 de marzo de 2019 de [http://www.digitalmedia.com.ec/induqim/Sulfato\\_basico\\_de\\_cromo.pdf](http://www.digitalmedia.com.ec/induqim/Sulfato_basico_de_cromo.pdf)
- INEC. (2011). La industria de los cueros (a base de sales de cromo, como agentes vegetales). In CIIU REV.4.0 (pp. 127–139). Recuperado el 05

- de marzo de 2018 de <http://www.ambiente.gob.ec/proyecto-saicm/>
- INEN. Calidad del agua: Muestreo manejo y conservación de muestras. Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2169, 2013.
- INEN. Calidad del agua: Muestreo y técnicas de muestreo. Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2176, 2013.
- Inga, C. (2014). Informe de avande Río Cutuchi. Ministerio de Salud Pública del Ecuador.
- INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias). (2017). Manual de producción de lechuga. (G. Saavedra, Ed.), *Instituto de Desarrollo Agropecuario - Instituto de Investigaciones Agropecuarias* (Vol. N°9). Santiago de Chile: INDAP. Recuperado el 20 de abril de 2019 de <http://www.inia.cl/wp-content/uploads/ManualesdeProduccion/09%20Manual%20Lechuga.pdf>
- Isch, E. (2011). Contaminación de las aguas y políticas para enfrentarla (Primera Ed). Quito: Consorcio CARMEN. Recuperado el 15 de marzo de 2019 de <http://www.camaren.org/documents/contaminacion.pdf>
- Lamhamdi, M., Bakrim, A., Aarab, A., Lafont, R. y Sayah, F. (2011). *Lead phytotoxicity on wheat (Triticum aestivum L.) seed germination and seedlings growth. Comptes Rendus - Biologies*, 334(2), 118–216. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2010.12.006>
- Londoño, L., Londoño, P. y Muñoz, F. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 147. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/bsaa(14)145-153)
- Loné, P. (2016). ¿Qué es un indicador ambiental? Recuperado el 12 de abril de 2019 de <http://www.comunidadism.es/blogs/¿que-es-un-indicador-ambiental>
- Masabanda, M., Echegaray, C. y Delgado, V. (2017). Análisis y localización de curtiembre en el cantón Ambato, como parte de patrimonio cultural en el Ecuador. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa*, II(4), 43. Recuperado el 05 de marzo de 2018 de <http://geo1.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2018/01/Art5.pdf>

- Medina, M. A. y Pozo, P. (2017). Determinación de cromo hexavalente en descargas de aguas residuales de una curtiembre, ubicada en el sector de Izamba, Ambato en la provincia de Tungurahua, mediante espectrofotometría de absorción atómica. *infoAnalítica*. Recuperado el 05 de marzo de 2019 de <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:ULMx9CnJeA0J:infoanalitica-puce.edu.ec/index.php/infoanalitica/article/download/44/30/+&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=ec>
- Ministerio del Ambiente. (2015). Reforma al anexo 1 del tulas 097-a tabla 2, tabla 3 MAE: Quito, Ecuador.
- Molina, P., Aguilar, N. y Cordovez, P. (2010). Plomo, cromo III y cromo VI y sus efectos sobre la salud humana. *Ciencia & Tecnología Para La Salud Visual y Ocular*, 8(1), 80–81. <https://doi.org/10.19052/SV.831>
- Moreno, D. y Gandolfi, A. (2013). Módulos transferibles de entrenamiento para promotores sobre toxicidad ambiental. Recuperado el 25 de abril de 2019 de <http://superfund.pharmacy.arizona.edu/learning-modules/promotor-modules/spanish/arsenico>
- Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2014). Los árboles patrimoniales de Quito. (P. Mena, Ed.). Quito. Recuperado el 09 de mayo de 2019 de [www.quitoambiente.gob.ec](http://www.quitoambiente.gob.ec)
- Muñoz, M. y Hidalgo, D. (2002). Tratamientos primarios de los efluentes de pelambre y curtido. Quito, Ecuador. Recuperado el 26 de marzo de 2019 de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/ii-082.pdf>
- Nordberg, G. (2012). Metales: Propiedades químicas y toxicidad. In G. Nordberg, S. Langard, W. Sunderman, J. Stellman, D. Osinsky, P. Maekkanen, ATSDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades) (Eds.), *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el trabajo metal* (Edición 4, Vol. 4o, pp. 15–16). Recuperado el 19 de marzo de 2019 de <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/63.pdf>
- Palma, A., González, J., Reyes, C. y Ramos, R. (2013). Biodiversidad y estructura comunitaria de ríos en las zonas árida, semiárida y



- mediterránea-norte de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 86(1), 1–3. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2013000100001>
- Poschenrieder, C. y Barceló, J. (1992). Respuestas de las plantas a la contaminación por metales pesados. *Suelo y Planta*, 2(January 1992), 8–15. Recuperado el 05 de julio de 2019 de [https://www.researchgate.net/profile/Juan\\_Barcelo/publication/285841974\\_Respuestas\\_de\\_las\\_plantas\\_a\\_la\\_contaminacion\\_por\\_metales\\_pesados/links/566806a908aef42b5788893d/Respuestas-de-las-plantas-a-la-contaminacion-por-metales-pesados.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Juan_Barcelo/publication/285841974_Respuestas_de_las_plantas_a_la_contaminacion_por_metales_pesados/links/566806a908aef42b5788893d/Respuestas-de-las-plantas-a-la-contaminacion-por-metales-pesados.pdf)
- Prieto, J., González, C., Román, A. y Prieto, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10, 31–35. Recuperado el 05 de marzo de 2018 de <https://www.redalyc.org/pdf/939/93911243003.pdf>
- Quintero, J. J. (1997). La lechuga. Madrid: Ministerio de Agricultura. Recuperado el 26 de mayo de 2019 de [https://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_1977\\_10.pdf](https://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1977_10.pdf)
- Recatalá, L., Añó, C., Valera, A. y Sánchez, J. (2009). Sistema de indicadores para evaluar la calidad ambiental y la desertificación en la comunidad Valenciana. *Investigaciones Geográficas*, 50(50), 5–18. <https://doi.org/10.14198/ingeo2009.50.01>
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M. y Edgar, G. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16(2), 14. <https://doi.org/10.1007/BF02796157>
- Ribera, I. y Vogler, A. (2000). *Habitat type as a determinant of species range sizes: the example of lotic–lentic differences in aquatic Coleoptera. Biological Journal of the Linnean Society*, 71(1), 33. <https://doi.org/10.1006/bijl.1999.0412>
- Rodríguez, A., Robles, C., Ruíz, R., López, E., Sedeño, J. y Rodríguez, A. (2014). Índices de germinación y elongación radical de *Lactuca sativa* en el biomonitoreo de la calidad de la calidad del agua del río Chalma. *Wire*,

30(3). Recuperado el 15 de marzo de 2019 de <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/45559>

Rodríguez, D. (2017). Intoxicación ocupacional por metales pesados. *MEDISAN*, 21(12), 3373–3374. Recuperado el 16 de marzo de 2019 de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1029-30192017001200012](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-30192017001200012)

Rodríguez, Y., Salinas, L., Ríos, C. y Vargas, L. (2012). Adsorbentes a base de cascarilla de arroz en la retención de cromo de efluentes de la industria de curtiembres. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustria*, 10(1), 148–152. Recuperado el 05 de marzo de 2018 de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S169235612012000100017&script=sci\\_abstract&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S169235612012000100017&script=sci_abstract&tlng=es)

Roldán Reyes, E. (2016). Estudio De Casos De Toxicidad. Introducción a la toxicología. México, DF: FES Zaragoza, UMAN. Recuperado el 16 de abril de 2019 de <https://www.zaragoza.unam.mx/portal/wp-content/Portal2015/publicaciones/libros/cbiologicas/libros/Toxicologia18.pdf>

Romero, K. (2013). Contaminación por metales pesados. *Revista Científica Ciencia Médica*, 12(1), 45–46. Recuperado el 15 de marzo de 2019 de [http://www.scielo.org.bo/pdf/rccm/v12n1/v12n1\\_a13.pdf](http://www.scielo.org.bo/pdf/rccm/v12n1/v12n1_a13.pdf)

Rueda, A., Benavides, J. de D., Saenz, T., Muñoz, H., Prieto, J. Á. y Orozco, G. (2014). Calidad de planta producida en los viveros forestales de Nayarit. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(22). Recuperado el 28 de mayo de 2019 de <http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v5n22/v5n22a5.pdf>

Ruiz, M., Mayorga, C., Mantilla, L. y López, P. (2016). Gestión económica ambiental del sector curtiembre de Ambato. Augusto Guzzo *Revista Académica*, 1(17), 134–137. <https://doi.org/10.22287/ag.v1i17.330>

Ryan, P. R., Reid, R. J. y Smith, F. A. (1997). *Direct evaluation of the Ca<sup>2+</sup>-displacement hypothesis for Al toxicity. Plant Physiology*, 113(4), 1351–1357. <https://doi.org/10.1104/pp.113.4.1351>

- Scoccianti, V., Crinelli, R., Tirillini, B., Mancinelli, V. y Speranza, A. (2006). *Uptake and toxicity of Cr(III) in celery seedlings*. *Chemosphere*, 64(10), 1695–1703. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.01.005>
- Secretaría Distrital de Ambiente de Colombia. (2015). Guía de producción más limpia para el sector curtiembres de Bogotá. Enfoque en vertimientos y residuos. Bogotá, Colombia. Recuperado el 20 de marzo de 2018 de <http://www.ambientebogota.gov.co/documents/24732/3987253/Guía+de+producción+más+limpia+para+el+sector+curtiembres+de+Bogotá.+Enfoque+en+vertimientos+y+residuos.pdf>
- SEDUMA. (2012). *Tecoma stans*. Recuperado el 25 de mayo de 2019 de <http://sds.yucatan.gob.mx/flora/fichas-tecnicas/xkanlol.pdf>
- Segura, L. (2007). Estudio de antecedentes sobre la contaminación hídrica en Colombia. Escuela Superior de Administración Pública (ESAP), Bogotá D.C. Recuperado el 25 de mayo de 2019 de <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/estudio%20de%20antecedentes%20sobre%20la%20contaminaci%C3%B3n%20h%C3%ADdrica.pdf>
- SEMARNAP. (2000). Manual de procedimientos para el manejo adecuado de los residuos de la curtiduría (Primera Ed). México, DF: Instituto Nacional de Ecología, 13-31.
- SEMARNAT. (s.f.). *Tecoma stans*. Nova Genera et Species Plantarum. Recuperado el 22 de mayo de 2019 de <http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Pages/sniarn.aspx>
- Sharma, D. C., Sharma, C. P., & Tripathi, R. D. (2003). *Phytotoxic lesions of chromium in maize*. *Chemosphere*, 51(1), 63–68. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(01\)00325-3](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(01)00325-3)
- Skeffington, R., Shewry, P. y Peterson, P. (1976). *Chromium uptake and transport in Barley seedlings (Hordeum vulgare L.)*. *Planta*, 214, 209–210. Recuperado El 03 de julio de 2019 de <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00399719>

- Sobrero, M. C. y Ronco, A. (2004). Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga *Lactuca sativa* L. *Imta*, 55–56. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Tobergte, D. R. y Curtis, S. (2004). Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 20–25. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- UMAN. (2014). Recursos hídricos y contaminación del agua. UMAN. Recuperado el 08 de marzo de 2019 de [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Recursoshidricosycontaminacion\\_25154.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Recursoshidricosycontaminacion_25154.pdf)
- UNESCO. (2003). Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo. París, Francia: United Nations. Recuperado el 20 de marzo de 2018 de <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129556s.pdf>
- Universidad Central del Ecuador. (2015). Determinación de cromo, plomo y arsénico en aguas del canal de riego Latacunga-Salcedo-Ambato y evaluación de la transferencia de dichos metales a hortalizas cultivadas en la zona; mediante espectrofotometría de absorción atómica (Tesis de maestría). Universidad Central del Ecuador, Quito. Recuperado el 08 de marzo de 2019 de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/6289>
- Universidad San Francisco de Quito. (2011). Estudio de un sistema fisico-químico a escala prototipo de tratamiento de aguas residuales provenientes de una curtiembre (Tesis de pre grado) . Universidad San Francisco de Quito, Ecuador. Recuperado el 09 de marzo de 2019 de <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/1248/1/101733.pdf>
- WWAP. (2017). Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado. París: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
- Yépez, C. (2012). Fitoremediación de las aguas del canal de riego Latacunga – Salcedo – Ambato mediante humedales vegetales a nivel de prototipo

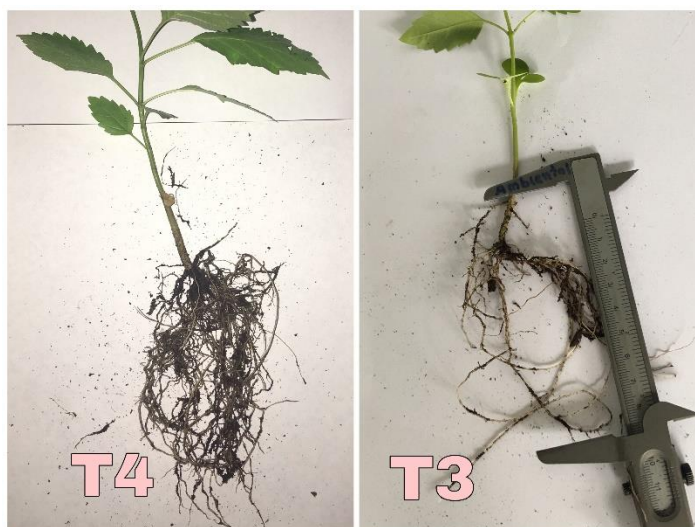
de campo Salcedo –Cotopaxi. Recuperado el 21 de marzo de 2019 de

[http://www.ugr.es/~jgodino/edumatmaestros/manual/1\\_Fundamentos.pdf](http://www.ugr.es/~jgodino/edumatmaestros/manual/1_Fundamentos.pdf)  
[http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S221535352015000200153&lang=pt](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S221535352015000200153&lang=pt)  
<http://www.scielo.sa.cr/pdf/ap/v29n119/2215-3535-ap-29-119-00153.pdf>  
<http://iip.ucr.ac.cr/>

## **ANEXOS**



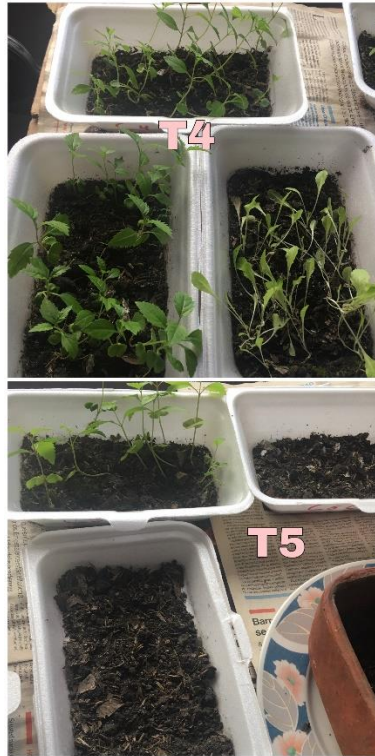
Anexo 1: Efectos toxicológicos del  $\text{Cr}^{\text{III}}$  sobre *Lactuca sativa* y en T1, T2 y T3 presencia de hojas amarillentas



Anexo 2: Diferencias de volumen y longitudes de las radículas de Cholán



Anexo 3: Supervivencia de *Tecoma stans* y *Lactuca sativa* en T1, T2 y T3



Anexo 4: Supervivencia de *Tecoma stans* y *Lactuca sativa* en T4 y T5



Anexo 5: Ramificación anormal en las hojas de *Tecoma stans* de un ejemplar de T3

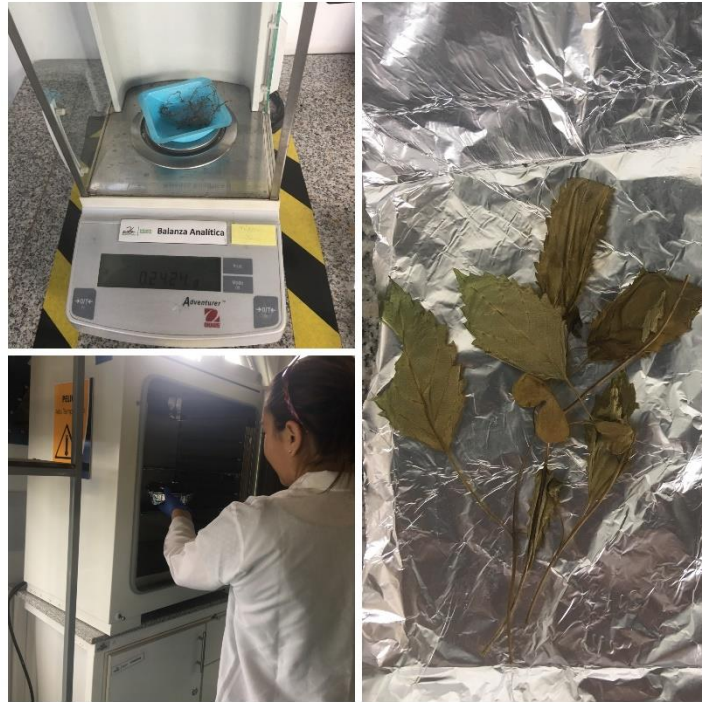




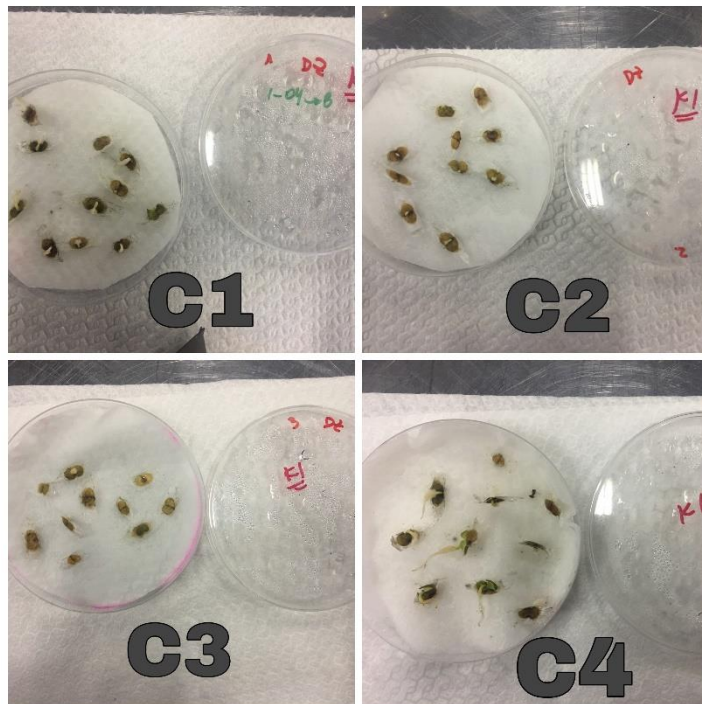
*Anexo 6: Deformaciones en las hojas de Tecoma stans en ejemplares de T2 y T3*



*Anexo 7: Hojas arqueadas en T1, T2 y T3*



Anexo 8: Obtención del coeficiente de Dickson



Anexo 9: Germinación de semillas de Tecoma stans



Anexo 10: Germinación de semillas de *Lactuca sativa*

