



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

ACUMULACIÓN DE METALES PESADOS en *Beta vulgaris L.* y *Lolium perenne L.* DE SUELOS DE CUEMANCO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

B I Ó L Ó G A

PRESENTA:

NANCY MARTELL MENDOZA

DIRECTORA DE TESIS: DRA. ESTHER MATIANA GARCÍA AMADOR

ÁREA ESPECÍFICA: AMBIENTALISMO

Laboratorio de contaminación y fitorremediación de suelos



México, D.F.

Mayo de 2014

Proyecto financiado por PAPIME: PE202311



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera dar primero gracias a Dios, por permitirme llegar a este momento tan importante en mi vida, por darme fuerza, paciencia, por no dejarme caer y guiarme en este camino que empiezo a recorrer, por darme la satisfacción de haber realizado este trabajo y haberlo culminado, gracias Dios mío.

Le agradezco a mis Padres *Ma. teresa Mendoza Reyes y Rogelio Martel Sierra*, por darme la vida, por apoyarme en todo momento y porque sin su ayuda no me hubiera sido posible realizar esta Tesis, gracias por sus consejos, su fuerza, su dedicación, su amor incondicional que siempre nos han dado a mí y a mis hermanos y aunque los padres no reciben un Título por ser padres, este Título es para ustedes, espero poder seguir haciéndolos sentir orgullosos y ser una ciudadana de bien para esta sociedad, de esta manera ustedes seguirán conservando ese título que se han ganado, muchas gracias.

Quisiera también reconocer el gran amor y apoyo que me ha brindado mi esposo *Cesar A. Villaseñor Tafoya*, gracias mi amor por estar conmigo, por tolerarme, por alentarme a seguir y a terminar lo que se empieza, por tu comprensión, por la gran persona que eres y por compartir conmigo esta aventura de la vida que apenas comienza.

Muchas gracias Dra. Esther Matiana García Amador, por haber confiado en mi persona y darme la oportunidad de realizar este trabajo bajo su dirección, gracias por su paciencia, por su valioso tiempo que le dedico a esta tesis para enriquecerla, por su calidad humana, su disposición para compartirme sus conocimientos y por ser una gran persona.

Gracias a mis sinodales, Biol. Leticia López Vicente, Biol. Ana Laura Maldonado Tena, Biol. Aida Zapata Cruz, Biol. Maricela Arteaga Mejía, por haber formado parte de este trabajo, por sus comentarios en todo el proceso de elaboración de la Tesis y sus atinadas correcciones; gracias por ser parte de mi formación Profesional y por brindarme su amistad.

Gracias a la máxima casa de estudios la Universidad Nacional Autónoma de México, a la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional.

DEDICATORIA

Le dedico este trabajo principalmente a mi hija: *Sofía Carolina Villaseñor Martell*, aunque todavía eres muy pequeña, quiero que sepas que este esfuerzo es por ti, para poderte dar una mejor calidad de vida y para que te sientas muy orgullosa de mí cuando crezcas, que yo ya lo estoy de ti hija, gracias por formar parte de mi vida y ser mi motorcito, te amo hija.

A mis hermanos Ivonne y Rogelio por ser grandes personas, de los cuales admiro sus ganas de salir adelante y la manera en la que se saben enfrentar a las adversidades, para mí son un gran ejemplo en mi vida, los quiero mucho.

A mis sobrinos, Jessy, Santiago, Bryan, Ximena, Valeria, Jordy, niños los quiero mucho.

Gracias Familia por formar parte de mi vida, por apoyarme, quererme y saber que lo más importante son ustedes, todo lo demás se adquiere con esfuerzo y dedicación, los quiero.

ÍNDICE DE TEMAS

	Página
I. RESUMEN	1
II. INTRODUCCIÓN	3
III. MARCO TEÓRICO	5
3.1 Contaminación	5
3.1.1 Contaminación de origen agrario	5
3.1.2 Metales pesados	6
3.1.3 Características de los metales pesados	7
3.2 Fitorremediación	9
3.3 Mecanismos de una planta fitorremediadora	10
3.4 EDTA y Fitorremediación	11
IV. DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES SELECCIONADAS	12
V. JUSTIFICACIÓN	13
VI. PREGUNTAS A RESOLVER	14
VII. HIPÓTESIS	13
VIII. OBJETIVOS	14
8.1 Objetivo general	14
8.2 Objetivos particulares	15
IX. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	15
X. MÉTODO	17
10.1 Etapa de vivero	17
10.1.1 Etapa de laboratorio	17
10.1.2 Determinación de parámetros del suelo	18

XI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
XII. PORCENTAJE DE GERMINACIÓN	23
12.1 Crecimiento de la especies (<i>Beta vulgaris L.</i> y <i>Lolium perenne L.</i>)	24
12.2 Tasa relativa de crecimiento	26
12.3 Índice de supervivencia	26
12.4 Metales pesados en el suelo	27
12.5 Metales pesados en planta	28
12.6 Factor de translocación	34
XIII. CONCLUSIONES	35
XIV. LITERATURA CITADA	36
XV. ANEXO	44

ÍNDICE DE FIGURAS	Página
FIGURA 1. <i>Beta vulgaris L</i>	12
FIGURA 2. <i>Lolium perenne L</i>	13
FIGURA 3. Vista de Cuemanco, pista y canales.	16
FIGURA 4. Porcentaje de germinación de <i>Beta vulgaris L</i> y <i>Lolium perenne L</i>	23
FIGURA 5. Germinación <i>Lolium perenne L</i> y <i>Beta vulgaris L</i>	23
FIGURA 6. Crecimiento de <i>Lolium perenne L</i> a las 16 semanas de tratamiento	24
FIGURA 7. Crecimiento de <i>Beta vulgaris L</i> a las 16 semanas de tratamiento	25
FIGURA 8. Índice de supervivencia entre especies (<i>Beta vulgaris L</i> y <i>Lolium perenne L</i>)	26
FIGURA 9. Presencia de plaga, clorosis y marchitamiento; debido a la alta acumulación de Plomo en <i>Beta vulgaris L</i>	33

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
TABLA 1. Análisis físicos y químicos de suelo de Cuemanco sin EDTA y con EDTA	19
TABLA 2. Tasa relativa de crecimiento	26
TABLA 3. Promedio de metales pesados en suelo de Cuemanco	27
TABLA 4. Concentraciones de metales pesados en diferentes partes vegetales	28
TABLA 5. Factor de Translocación de <i>Lolium perenne L</i> y <i>Beta vulgaris L</i> en suelos de Cuemanco	34

I. RESUMEN

El presente trabajo evaluó la capacidad de dos especies *Beta vulgaris L* (acelga) y *Lolium perenne L* (pasto perenne) para acumular metales pesados. La fitorremediación es una técnica viable para tratar suelos contaminados con metales/metaloideos y compuestos orgánicos; ésta implica la acción de varios procesos que utilizan plantas y los microorganismos asociados a su rizósfera para remediar ambientes contaminados, principalmente suelo y agua, mediante la remoción, transformación, degradación o estabilización de contaminantes orgánicos e inorgánicos (Meagher, 2000; Mench *et al*, 2009). Se utilizó EDTA para comprobar si aumenta la solubilidad de los metales pesados en el suelo y los vuelve más biodisponibles. *Beta vulgaris L* y *Lolium perenne L*, fueron sometidas a dos tratamientos; uno donde se empleó suelo de Cuemanco con EDTA y suelo de Cuemanco sin EDTA el cual sirvió como Testigo, ya que es un sitio que se riega con agua de la planta de tratamiento del Cerro de la Estrella.

En los resultados obtenidos para *Beta vulgaris L*, en presencia de EDTA tuvo la mayor concentración de Plomo se registró en raíz (681.66 mg/Kg), seguido de Cromo (350.16 mg/Kg), Cobre (90.75 mg/Kg), Níquel (48.75 mg/Kg), Cadmio (46 mg/Kg) y Zinc (34.78 mg/Kg) y sin EDTA las concentraciones en raíz para Plomo (408.33 mg/Kg), Cromo (253.05 mg/Kg), Cobre (65.08 mg/Kg), Zinc (52.64 mg/Kg). La mayor concentración en la parte aérea es de Zn (56.74 mg/Kg), seguido de Níquel (23.72 mg/Kg) y Cadmio (22.75 mg/Kg).

Lolium perenne L, el metal que más concentró fue plomo (467.5 mg/Kg) en raíz y con adición de EDTA, en menor proporción Cromo (257.125), Zinc (65.05 mg/Kg), Cadmio (64.5 mg/Kg), Níquel (55.75 mg/Kg), Cobre (40.6 mg/Kg) y Sin EDTA la mayor acumulación de Plomo fue en raíz (255 mg/Kg), seguido de Cromo (218.,4 mg/Kg); Zinc se concentró más en la parte aérea (53.846 mg/Kg), seguido de Níquel(43.2mg/Kg), Cadmio (23.16 mg/Kg) y Cobre (20.25 mg/Kg).

El crecimiento de la acelga al final fue de 12-14 cm y el del pasto 29 – 35 cm, en ambos tratamientos, menor con EDTA.

El pH en ambos tratamientos fue medianamente alcalino, con un alto contenido de materia orgánica; el nitrógeno en suelo con EDTA es extremadamente rico a diferencia del sin EDTA (medio); fósforo es bajo (sin EDTA) y alto (con EDTA) y potasio alto en ambos tratamientos.

En la parte aérea del pasto la concentración de Cd, Cu y Zn con EDTA es mayor; Ni, Cr y Pb es mayor en suelo sin EDTA, a diferencia de la acelga, donde se acumuló más en la parte aérea de Cd, Ni, Cu y Pb en suelo con EDTA y solo Cr y Zn en suelo sin EDTA.

Se puede concluir que *Beta vulgaris L* y *Lolium perenne L* tienen la capacidad de acumular los metales en las raíces, actuando como fitoestabilizadoras de metales pesados e hiperacumuladoras de Zinc en suelos sin EDTA.

II. INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento de los recursos naturales (maderas, minerales, agua, suelo, etc.) ha sido base fundamental para el desarrollo de la humanidad. Como resultado de la tecnificación de los procesos de producción a partir de la revolución industrial (1750 d.C.), donde de forma gradual se fueron generando diferentes tipos de residuos. Al principio no se presentaba interés por la generación de residuos por que se confiaba en la capacidad del medio para asimilarlos y se desconocía además sus efectos devastadores. A partir de los años 60 se empezó a tener conciencia del problema de los contaminantes ambientales (Virkyute, 2002).

El uso de los recursos se incrementó, y en consecuencia, también se comenzaron a generar grandes volúmenes de desechos industriales y urbanos. Estos desechos, debido al lento desarrollo y a la ineficiencia de las técnicas de manejo, han generado una gran cantidad de sitios contaminados con metales pesados, compuestos orgánicos y otros materiales peligrosos (Virkyute, 2002).

La contaminación del suelo, es un fenómeno que no se ve a corto plazo, sino que se manifiesta a futuro, repercutiendo en todo el ecosistema. Existe una serie de compuestos orgánicos e inorgánicos considerados contaminantes del suelo. Entre los orgánicos se encuentran principalmente compuestos del grupo BTEX (Benceno, Tolueno, Etileno, Xileno, Fenoles y Policlorobifenilos (PCBs), hidrocarburos Poli cíclicos Aromáticos (PHAs) y Plaguicidas (Orozco, 2008).

Una de las principales fuentes de contaminación de los suelos es la actividad agrícola, cuando tienen lugar la aplicación inadecuada, excesiva y prolongada de agroquímicos, los cuales pueden provocar efectos adversos en las poblaciones de microorganismos que determinan el equilibrio biológico. Otras fuentes son las fugas o derrames accidentales de depósitos que contienen sustancias peligrosas; las emisiones de tratamientos residuales así como los vertederos de residuos tóxicos (Serrano, 2006).

La actividad industrial y minera arrojan al ambiente metales tóxicos como plomo, mercurio, cadmio, arsénico y cromo, muy dañinos para la salud humana y para la mayoría de formas de vida. Además, los metales originados en las fuentes de emisión generadas por el hombre (antropogénicas), incluyendo la combustión de nafta con plomo, se encuentran en la atmósfera como material suspendido que respiramos. Por otro lado, las aguas residuales no tratadas, provenientes de minas y fábricas, llegan a los ríos, mientras los desechos contaminan las aguas subterráneas. Cuando se abandonan metales tóxicos en el ambiente, contaminan el suelo y se acumulan en las plantas y los tejidos orgánicos.

La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradables. Una vez emitidos, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años. Además, su concentración en los seres vivos aumenta a medida que son ingeridos por otros, por lo que la ingesta de plantas o animales contaminados puede provocar síntomas de intoxicación. De hecho, la toxicidad de estos metales ha quedado documentada a lo largo de la historia: los médicos griegos y romanos ya diagnosticaban síntomas de envenenamientos agudos por plomo mucho antes de que la toxicología se convirtiera en ciencia (Cervantes, 2005).

Los antecedentes mencionados han provocado la necesidad del hombre de restablecer el deterioro ambiental que se ha originado, buscando prácticas ya no tan costosas ambientalmente y de fácil manejo como la fitorremediación, la cual consiste en la utilización de plantas para la eliminación, degradación o contención de contaminantes orgánicos o inorgánicos en el suelo, aprovechando la capacidad de aquellas para metabolizar o concentrar todo tipo de compuestos químicos y reducir así la contaminación del medio ambiente (Castillo *et al.*, 2005)

En este trabajo se emplearon dos especies de la zona, una comestible, *Beta vulgaris L.* y otra forrajera, *Lolium perenne L.*, con el fin de evaluar su potencial fitorremediador de metales pesados como el Cd, Cr, Ni, Pb, Zn y Cu del suelo del Parque Ecológico Cuemanco; así mismo se evaluó el uso de EDTA como un

quelante para aumentar la disponibilidad de estos metales y que las plantas puedan acumularlos.

III. MARCO TEÓRICO

3.1 Contaminación

La contaminación ya sea atmosférica, del agua o suelo, constituye un grave problema de salud medioambiental que afecta a los países desarrollados y en desarrollo por igual (OMS, 2008).

Son muchas las clasificaciones que pueden hacerse de los distintos contaminantes que afectan al suelo y repercuten en la salud humana. De forma general, y en función de su composición, los podemos dividir en dos grandes grupos: contaminantes de origen mayoritariamente agrario y contaminante de origen mayoritariamente industrial (Hernando y López, 2007).

3.1.1 Contaminantes de origen agrario

Los contaminantes de origen agrícola, se refieren al uso de productos químicos y fertilizantes en los campos de cultivo, principalmente el nitrógeno, el fósforo y el potasio, para propiciar la fertilidad del suelo y así incrementar el rendimiento de los cultivos; sin embargo, estos se vuelven peligrosos debido a la aplicación excesiva y al hecho de que las plantas los usan en forma ineficiente. El fertilizante que no es usado por el cultivo termina en el medio ambiente, mayormente en las aguas de superficie o en las aguas subterráneas. La contaminación por nitrato en el agua está muy extendida y a niveles peligrosos en muchas regiones del mundo. Altos niveles de nitratos son dañinos para la salud humana y diversos estudios han relacionado la ingesta de nitratos con la metahemoglobinemia en los niños y con cánceres gástricos, cáncer a la vejiga y óseo en adultos (Altieri, 2009).

El uso excesivo de agroquímicos, así como el inadecuado manejo y disposición de sus envases, ha sido un problema generalizado en México. Muchos de los

plaguicidas empleados ya han sido prohibidos en otros países por su toxicidad. Sin embargo, el número de estos se incrementa a razón de 10% al año. Esto ha permitido que estos productos entren en contacto con la población y se incrementen en más de seis veces. Los plaguicidas son el nombre genérico que recibe cualquier sustancia o mezcla de sustancias que se utiliza para controlar las plagas que atacan los cultivos, o a los insectos que son vectores de enfermedades. Según su composición química se clasifican en: insecticidas (organoclorados, organofosforados, piretroides y carbamatos), herbicidas (dinitrofenoles y triazinas) y fungicidas (fenoles y compuestos de cobre y azufre) (CICOPLAFEST, 1996).

Todas estas sustancias son tóxicas y por su aplicación en tierras de cultivo, se encuentran como contaminantes de grandes extensiones de suelos en todo el país. En México aún continúan en el mercado agroquímicos organoclorados como el ácido 2,4 dicloro-fenoxiacético (2,4-D), el pentaclorofenol (PCP) y el dicofol, además de plaguicidas a base de carbamatos y los organofosforados como el malatión.

Estas actividades han dado lugar a la contaminación del suelo y principalmente tenemos al grupo de los contaminantes inorgánicos, los cuales comprenden todas las sustancias que no tienen al carbono, exceptuando el monóxido y dióxido de carbono, carbonatos, bicarbonatos, carburos y cianuros. Se pueden clasificar en tres grupos: metales pesados, óxidos y otros (Rico y López, 2001),

3.1.2 Metales pesados

El término metal pesado incluye a metales y metaloides, con un peso atómico superior a 6 gcm^{-3} (exceptuando al arsénico (As), boro (B) y selenio (Se)).

Cabe destacar que en esta categoría entran prácticamente todos los elementos metálicos de interés económico, por tanto, de interés minero. Generalmente se clasifican según su abundancia en macro elementos, elementos traza y ultra traza, estos a su vez son denominados oligoelementos. En la siguiente lista se muestran

los bioelementos, que son los elementos químicos, presentes en los seres vivos y se pueden clasificar en:

- Macro elementos o elementos abundantes: oxígeno, carbono, hidrógeno, nitrógeno, calcio, fósforo, potasio, azufre, sodio, cloro, hierro , magnesio.
- Elementos traza (oligoelementos): flúor, zinc, cobre, silicio, vanadio, estaño, selenio, manganeso, yodo, níquel, molibdeno, cromo, cobalto.
- Elementos ultra traza (oligoelementos): Son aquellos elementos que se requieren en una dosis menor a 1 mg por día. La esencialidad de dichos elementos no está demostrada, excepto para el yodo y el molibdeno. (Hee park y Lamb, 2011).

De todos los elementos traza presentes en el suelo, hay 17 que se consideran como muy tóxicos y a la vez fácilmente disponibles en concentraciones que sobrepasan los niveles de toxicidad. Estos son: Ag, As, Bi, Cd, Co, Cu, Hg, Ni, Pd, Pt, Sb Sn, Te, Tl y Zn de ellos, diez son fácilmente movilizados por la actividad humana en proporciones que exceden en gran medida la de los procesos geológicos (Novotny, 1995). Lo que hace tóxicos a los metales pesados no son en general sus características esenciales, si no las concentraciones en las que pueden presentarse, pues tienden a bioacumularse.

La bioacumulación significa un aumento en la concentración de un producto químico en un organismo biológico en un cierto plazo, comparada a la concentración del producto químico en el ambiente, y casi más importante aún, el tipo de especie que forman en un determinado medio. Cabe recordar que los seres vivos “necesitan” (en pequeñas concentraciones) a muchos de estos elementos para funcionar adecuadamente (Galán y Romero, 2008).

3.1.3 Características de los metales pesados

Cadmio: es obtenido como subproducto en la refinación del zinc y contamina al aire por procesos de soldadura, pigmentos, pinturas, galvanoplastia, entre otros

usos. El cadmio puede producir anemia, enfermedades cardiovasculares, daño al hígado y provoca cambios metabólicos del calcio entre otras acciones. En las áreas urbanas se han llegado a encontrar de 5 a 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de aire, provocando la neumonitis química.

Cobre: este es un elemento traza que es esencial para la salud de los humanos. Aunque estos pueden manejar concentraciones de cobre proporcionalmente altas, mucho cobre puede también causar problemas de salud, largos periodos de exposición pueden irritar la nariz, la boca y los ojos y causar dolor de cabeza, de estómago, mareos, vómitos y diarreas. Una toma grande de cobre puede causar daño al hígado y los riñones e incluso la muerte. No se ha determinado si este metal es cancerígeno.

Cromo: se encuentra en estado de oxidación trivalente y hexavalente, siendo la cromita (FeOCr_2O_3) la forma más importante de contaminación por cromo, además del uso en el cromado y como fungicida, fertilizantes y combustibles fósiles entre otros usos. Provoca problemas de ulceración en la piel, reacciones asmáticas, perforación del tabique nasal, cáncer pulmonar y diversos efectos muta génicos.

Níquel: existe en dos formas comerciales: Sulfitos y Silicatos, los cuales son empleados en la producción de aceros (47%), para otras aleaciones (21%) y para electro plateado en forma de sulfato de níquel (12%), el resto en la fabricación de monedas y catalizador en procesos industriales, de donde radica su importancia como contaminante (Rico y López, 2001).

Plomo: es un metal de color azulado-plateado, con punto de fusión de 327.5°C y punto de ebullición 1740°C , el estado de oxidación común es de +2. La industria de los acumuladores, minería, fundición e incineradores han dado lugar a una acelerada liberación de varios metales incluyendo al plomo, en el medio ambiente, creando riesgos potenciales para los ecosistemas y la salud humana (Saifulla *et al.*, 2009).

Zinc: es un metal maleable, dúctil y de color gris, químicamente activo. Este es un elemento traza que es esencial para la salud humana. Cuando la gente absorbe poco zinc puede experimentar una pérdida del apetito, disminución de la sensibilidad, el sabor y el olor; pequeñas llagas, y erupciones cutáneas. Por el contrario cuando se consumen grandes de zinc, puede también causar problemas de salud eminentes, como es úlcera de estómago, irritación de la piel, vómitos, náuseas y anemia. Niveles altos de zinc pueden dañar el páncreas y disturbar el metabolismo de las proteínas, y causar arterioesclerosis. Exposiciones al clorato de zinc intensivas pueden causar desordenes respiratorios.

3.2 Fitorremediación

Se ha buscado la manera de poder remediar la contaminación de los suelos y se han encontrado soluciones, solo que resultan costosas y limitantes. En las últimas décadas del siglo XX surgieron tecnologías basadas en el empleo de organismos vivos para descontaminar suelos o emplazamientos contaminados y recuperar los ecosistemas afectados. Cuando estas tecnologías se basan en el uso de plantas, globalmente reciben el nombre de *fitorremediación* (en español se usan indistintamente también: *fitorrecuperación*, *fitocorrección*, *fitorrestauración* o *fitorrehabilitación*). Se define como el uso de plantas verdes para eliminar los contaminantes del entorno o para reducir su peligrosidad (Salt *et al.*, 1998).

La fitorremediación es un proceso que utiliza plantas para remover, transferir, estabilizar, concentrar y/o transformar contaminantes (orgánicos e inorgánicos) en suelos, lodos y sedimentos, y puede aplicarse tanto in situ, como ex situ (Volke y Velasco, 2001).

Los mecanismos de fitorremediación incluyen:

-La fitoextracción o fitoacumulación consiste en la absorción de contaminantes por las raíces; es la capacidad de algunas plantas para acumular contaminantes en sus raíces, tallos o follaje. Este mecanismo ha sido ampliamente estudiado en plantas que acumulan metales y recientemente con materiales radioactivos.

- **La rizofiltración** se basa en la utilización de plantas crecidas en cultivos hidropónicos, se prefieren raíces de plantas terrestres con alta tasa de crecimiento y área superficial para absorber, concentrar y precipitar contaminantes.

-**En la fitoestimulación o rizodegradación** las plantas generan los exudados radiculares que estimulan el crecimiento de los microorganismos nativos capaces de degradar compuestos orgánicos xenobióticos.

- **La fitoestabilización** es un mecanismo que utiliza a la planta para desarrollar un sistema denso de raíces que le permite reducir la indisponibilidad y la movilidad de los contaminantes evitando el transporte a capas subterráneas o a la atmósfera.

-**La fitodegradación** consiste en la transformación de los contaminantes orgánicos en moléculas más simples. En determinadas ocasiones, los productos de la degradación le sirven a la planta para acelerar su crecimiento, en otros casos los contaminantes son biotransformados.

-**La fitovolatilización** se produce a medida que las plantas en crecimiento absorben agua junto con los contaminantes orgánicos solubles. Algunos de los contaminantes pueden llegar hasta las hojas y evaporarse o volatilizarse a la atmósfera. (Núñez *et al.*, 2004).

3.3 Mecanismos de una planta fitorremediadora:

La absorción de contaminantes se realiza a través de las raíces y las hojas mediante los estomas y la cutícula de la epidermis. Esta absorción ocurre en la rizodermis de las raíces jóvenes, que absorben los compuestos por ósmosis dependiendo de factores externos como la temperatura y el pH del suelo. Otros factores importantes que inciden en la penetración del contaminante son su peso molecular e hidrofobicidad que determinan que estas moléculas atraviesen las membranas celulares de la planta. Después de cruzar la membrana, los contaminantes son distribuidos a través de toda la planta (Harvey *et al.*, 2002).

Los contaminantes que se absorben por las raíces, se excretan vía hojas (fitovolatilización). Cuando las concentraciones de los contaminantes son elevadas, solo pequeñas fracciones (menos del 5 %) se excretan sin cambios en su estructura química. La desintoxicación de los compuestos orgánicos se lleva a cabo por la vía de la mineralización hasta dióxido de carbono.

3.4 EDTA y Fitorremediación:

El EDTA (ácido etilendiamino tetra acético) es una sustancia utilizada como agente quelante que puede crear complejos con un metal que tenga una estructura de coordinación octaédrica. Coordina a metales pesados de forma reversible por cuatro posiciones acetato y dos amino, lo que lo convierte en un ligando hexadentado, y el más importante de los ligandos quelatos.

A finales de 1980 y la década de 1990 se sugirió al EDTA como agente quelante para ayudar procesos de fitoextracción (Shen *et al.*, 2002), el cual ha resultado ser un método atractivo y mucho más barato que los métodos físicos y químicos (Jean *et al.*, 2007). Estos quelantes tienen una alta afinidad para muchos metales, y por lo tanto se utilizan para solubilizarlos, facilitando su captación y su transporte en el xilema, y el aumento de su translocación de las raíces a los brotes. Los quelantes modifican la absorción y la translocación de metales por las plantas, pero esto va a depender de la especie de planta y del elemento (Jean *et al.*, 2007).

A la fecha se han encontrado trabajos acerca de *Lolium perenne L* que nos indican que la acumulación de metales es mayor en raíz que en hoja por una disminución de la translocación del metal hacia el sistema vascular (Vernay *et al.*, 2007), mientras que para *Beta vulgaris L* la información con la que se cuenta nos indica que también tiene la capacidad de extraer metales siendo el Plomo el que más acumula (Kumar *et al.*, 2008), por lo anterior se emplearon estas especies para evaluar su capacidad acumuladora de algunos metales pesados, provenientes del Parque Ecológico de Cuernavaca, en sus estructuras.

IV. DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES SELECCIONADAS

***Beta vulgaris*L** (Acelga silvestre):

Esta especie es la pariente silvestre de la acelga, de la remolacha azucarera y forrajera y del betabel, además de algunas otras domesticadas menores. Es originaria de las costas europeas, y en México se encuentra como planta ruderal en suelos salinos. Es una planta herbácea de vida corta, glabra (sin pelos), su tamaño oscila entre 0.6 a 1 m.

El tallo es ramificado en la parte superior, verde o a veces rojiza, sus hojas son alternas, algo carnosas, las basales dispuestas en roseta, grandes (de hasta 20 cm de largo), pecioladas, a veces con el margen sinuado, las hojas superiores más chicas y casi sésiles, en cuanto a las flores no se distingue el cáliz de la corola, la estructura que protege al ovario y/o a los estambres se llama perianto. El fruto es seco que no se abre, con una cubierta membranosa separada de la semilla, conteniendo una sola semilla, este fruto llamado utrículo está encerrado en el perianto endurecido y parcialmente soldado con él. Semilla horizontal, circular o en forma de frijol (reniforme). Algunas variedades de esta especie se cultivan como comestible, como la acelga, el betabel y la remolacha. También se utiliza como medicinal. La parte comestible es la hoja. (Rzedowski, 2001).



Fig. 1. *Beta vulgaris* L

***Lolium perenne* L** (Pasto perenne):

El raigrass criollo, pasto inglés o italiano es sembrado como forrajera o para céspedes, generalmente no muy exitosamente, ya que no puede competir con el pasto kikuyu, *Pennisetum clandestinum*. Pero, se encuentra asilvestrado en muchos ambientes ruderales, sobre todo urbanos.

Es una planta herbácea anual, bianual o perenne, su tamaño es de hasta 1 (1.3) m de alto, el tallo es Cespitoso (forma matas aglomeradas), erecto o doblado en

los nudos, las hojas son vainas foliares con aurículas (orejas) conspicuas hacia el ápice; lígulas de 1-4 mm de largo; lámina de hasta 22 cm de largo y 8 mm de ancho, lisas en el envés, opacas y ásperas en el haz. Espigas dísticas, comprimidas, erectas, de hasta 35 (45) cm de largo.

Las espiguillas son solitarias, sésiles, alternas, de 10 a 20 mm de largo, con 4 a 22 flores; las glumas van desde los 5 a los 10 mm de largo, 5 a 7 nervadas, la inferior ausente, la segunda opuesta al ráquis y más corta que la mitad de la longitud de la espiguilla; lema de 4 a 8 mm de largo, 5-7 nervada, redondeada en el dorso, de bordes algo ásperos, con arista subapical de 0 a 15 mm de largo; palea \pm de la misma longitud que la lema. Semilla de \pm 4 mm de largo (Rzedowski, 2001).



Fig. 2. *Lolium perenne* L

V. JUSTIFICACIÓN

La fitorremediación constituye una alternativa rentable, económica y sostenible para realizar descontaminación por metales pesados, sin causar deterioro en los suelos en los que es aplicada y debido a que es una alternativa relativamente nueva, hace falta conocer aún las interacciones en la rizosfera y los mecanismos de las plantas que permiten la translocación del metal y su acumulación (Viñas *et al.*, 2005). Se conocen alrededor de 400 especies de plantas con capacidad para hiperacumular selectivamente alguna sustancia.

El suelo de Cuemanco es regado con agua de los canales que se abastecen de la planta tratadora cerro de la Estrella, la cual presenta metales pesados como Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, por lo que se aumenta la contaminación edáfica; por ello la importancia de este trabajo radica en utilizar a *Lolium perenne* L y *Beta vulgaris* L

como especies fitorremediadoras y poder determinar si tienen la capacidad de almacenar los contaminantes metálicos en cualquiera de sus órganos (raíz, tallo, hojas, frutos); se tienen estudios acerca de *Lolium perenne L* que nos indica que es el cromo el que más acumula (Vernay *et al.*, 2007) y para el caso de *Beta vulgaris L* el plomo (Kumar *et al.*, 2008).

VI. PREGUNTAS A RESOLVER

¿Serán *Beta vulgaris L* y *Lolium perenne L* fitorremediadoras?

¿En qué órgano se acumulará la mayor proporción de metales pesados?

¿Será Cr el metal que más se acumule para *Lolium perenne L* y Pb para el caso de *Beta vulgaris L*?

VII. HIPÓTESIS

Beta vulgaris L y *Lolium perenne L* son especies acumuladoras de metales pesados, por lo que se inhibirá su crecimiento y en ambas especies la mayor concentración de metales estará en raíz.

VIII. OBJETIVOS

8.1 Objetivo general

Evaluar la capacidad fitoacumuladora de metales pesados, de *Beta vulgaris L* y *Lolium perenne L*. provenientes de suelos contaminados de Cuemanco.

8.2 Objetivos particulares

- Determinar el porcentaje de germinación de las especies seleccionadas y evaluar el índice de supervivencia a nivel de plántulas.
- Evaluar el crecimiento de las plantas durante el desarrollo vegetal en suelo contaminado de Cuemanco (con y sin EDTA).
- Determinar los parámetros físicos y químicos del suelo con EDTA y sin EDTA.
- Determinar el Factor de Translocación.
- Cuantificar los metales pesados (Cd, Ni, Cu, Cr, Pb y Zn) en el suelo antes del tratamiento y después de la cosecha.
- Cuantificar los metales pesados (Cd, Ni, Cu, Cr, Pb y Zn) en los diferentes órganos de las plantas: raíz, tallo y hoja.

IX. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El parque Ecológico de Cuemanco, se construyó en 1968 para las competencias de remo y canotaje de los Juegos de la XIX Olimpiada. Fue inaugurado en el año de 1993, conforme al Plan de Rescate Ecológico de Xochimilco aprobado por el Gobierno Federal en el año de 1989. Es un canal artificial de 2 200 metros de largo por 125 de ancho, sus coordenadas geográficas son 19°18'11"N 99°5'39"W Sus instalaciones incluyen sendas torres en los extremos (salida y meta), caseta de alineadores, pontones de salida, muelles de embarque y desembarque, gradería, oficinas, servicios para atletas y plataforma de premiación, tienen una pista de canotaje, canchas de futbol, cuenta con ocho humedales y un lago principal, es propiamente un lugar eco turístico.

Es una Área Natural Protegida es decir; es una porción del territorio (terrestre o acuático) cuyo fin es conservar la biodiversidad representativa de los distintos

ecosistemas para asegurar el equilibrio y la continuidad de los procesos evolutivos y ecológicos y cuyas características no han sido esencialmente modificadas (SEMARNAT, 2012). El tipo de ecosistema es acuático (figura 1), la flora presente es el lirio acuático, agazandia, agapando, dedo moro. La fauna con la que cuenta es el pato tepalcate, cernicalo, canate, lechuza, garzón blanco. (<http://www.xochimilco.df.gob.mx/turismo/cuemanco.html>).

La zona del lago está contaminada, principalmente por las actividades antropogénicas, es importante emplear técnicas de fitorremediación, pues se pretende conservar su belleza escénica, la aptitud para el desarrollo del turismo, la existencia de flora y fauna o por otras razones análogas de interés general.



Figura 3. Vista de Cuemanco, pista y canales. Fuente: google earth, 2013.

X. MÉTODO

Se seleccionarán parcelas abandonadas para la recolecta del suelo y obtener la muestra compuesta que será sometida a tratamiento.

10.1 Etapa de vivero

Se seleccionaron 100 semillas por cada especie, se desinfectaron con una solución de Hipoclorito de Sodio al 5%, posteriormente se prepararon cajas Petri (colocando algodón como base y una capa de papel filtro, añadiendo agua) y se mantuvieron bajo condiciones normales de temperatura (25°C), luz (12h luz/12h oscuridad) y humedad controlada. Una vez que emergió la radícula, se trasplantaron a bolsas de vivero de 15 x 15 cm, para los testigos se empleó suelo de Cuemanco sin EDTA y para el tratamiento suelo de Cuemanco con EDTA; se seleccionaron 20 individuos por cada especie (10 tratamiento y 10 serán testigos). Se mantuvo el sustrato de los testigos y el tratamiento a capacidad de campo.

Semanalmente, se llevó a cabo la medición y caracterización de los individuos (control y tratamiento). Se registraron características como: altura; diámetro del tallo, cobertura, número de ramas, hojas, flores, semillas; tamaño de las mismas; coloración; etc.).

10.1.1 Etapa de laboratorio

Después de 16 semanas se realizó la cosecha, tanto para *Beta vulgaris L. como Lolium perenne L*, posteriormente los individuos se lavaron con agua desionizada para eliminar cualquier rastro del suelo, se pesó y midió la raíz y la parte vegetativa (cosechadas y lavadas); cada individuo se pesó y midió de forma completa. Se secaron hasta peso constante a una temperatura de 50°C.

Ya secas, se dividieron en los diferentes órganos (raíz, tallo, hojas, frutos, etc.) y se procedió a molerlas y posteriormente se realizó una digestión triácida (Radojevic y Bashkin, 1999).

Las concentraciones de metales pesados se determinaron mediante espectrofotometría de absorción atómica, con el instrumento Spectra AA 200 Marca Varian.

10.1.2 Determinación de parámetros del suelo

A las muestras de suelo se les secó, pesó, tamizó y se les almacenó de acuerdo con NOM-021-RECNAT-2000, determinando los siguientes parámetros:

- El pH relación 1:2 (suelo: agua), se determinó con un potenciómetro.
- Textura por el método del Hidrómetro de Bouyoucos.
- Materia orgánica (M.O) por vía húmeda, según Walkley y Black.
- Conductividad eléctrica, por el método de Richards.
- Densidad aparente por el método de la probeta.
- Densidad real por el método del picnómetro.
- Nitrógeno total por el método de Kjeldahl.
- Fósforo, por el método de Olsen.
- Potasio, por el método del acetato de amonio.

Para llevar a cabo la digestión, el suelo se secó, se tamizó, se pesó y posteriormente se analizaron los metales pesados por el método de agua regia (Radojevic y Bashkin, 1999). Finalmente se cuantificaron los metales pesados por espectrofotometría de absorción atómica, en el instrumento marca Varian Spectra AA 200.

XI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 1. Análisis físicos y químicos de suelo de Cuemanco sin EDTA y con EDTA

Parámetro	Suelo Testigo Cuemanco sin EDTA	Suelo Cuemanco EDTA
pH	8.0 Medianamente Alcalino	8.48 Medianamente Alcalino
C.E (mmhos/cm)	0.45 Efectos despreciables de la Salinidad	0.49 Efectos despreciables de la Salinidad
M.O %	3.36 Muy Alto	8.40 Muy alto
N %	0.16 Medio	0.42 Extremadamente rico
P (mg/Kg)	4.25 Bajo	17 Alto
Clase Textural	Franco Limoso	Franco Limoso
D.R (g/cc)	2.43	2.55
D.A (g/cc)	1.18	1.19
% Espacio poroso	51	53
Ca (CmolKg)	8.08 media	5.27 media
Mg(CmolKg)	11.78 alto	9.05 alto
Na(CmolKg)	15.12	19.44
K(CmolKg)	3.87 alto	7.72 alto

De acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000

El pH, es una propiedad química que influye sobre la movilidad de los diferentes elementos del suelo, así como la disponibilidad de nutrientes (Gonzales *et al.*, 2010). Los valores obtenidos en este estudio se encuentran en un rango entre 8.00 y 8.48 (tabla 1), es decir se consideran entre medianamente alcalinos de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000. El pasto perenne tolera suelos ácidos y alcalinos, donde el pH es de 5.1 a 8.4 y el mejor desarrollo ocurre cuando el pH del suelo se encuentra entre 5.5 y 7.5 (Hannaway *et al.*, 1999), por lo que los tratamientos demuestran es que tal vez no se encuentran en el rango óptimo, pero si se pueden establecer tanto el pasto perenne como la acelga. De acuerdo a García (2013) la acelga requiere suelos algo alcalinos, con un pH óptimo de 7.2, vegeta en buenas condiciones entre valores de pH de 5,5 y 8; como es el caso de los tratamientos.

La conductividad eléctrica de los dos tratamientos (suelo con EDTA y sin EDTA), se encontraron efectos despreciables de la salinidad, de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000. *Beta vulgaris L* es un cultivo que soporta muy bien la salinidad del suelo, resistencia a los cloruros y sulfatos, pero no tanto al carbonato sódico (García, 2013). En el caso de *Lolium perenne L* puede tolerar suelos fuertemente ácidos y alcalinos si dispone de agua y nitrógeno en abundancia (Bernal, 2005).

El porcentaje de M.O para el suelo con EDTA fue muy alto y sin EDTA medio (NOM-021-RECNAT-2000), la disponibilidad de la M.O está estrechamente relacionada con el pH del suelo, su concentración tiende a aumentar en suelos básicos y a disminuir en suelos ácidos (Méndez *et al.*, 2003), otra importante característica es su afinidad con los metales pesados, cuando estos se encuentran en solución, a menudo forman complejos orgánico metálicos solubles; de esta forma la M.O. del suelo a menudo actúa como almacén de estos elementos, que pueden ser absorbidos por la vegetación o pasar a la fase acuosa si se produce su descomposición en medio ácido u oxidante (Guanilo, 2006).

El nitrógeno (N), es uno de los nutrientes más importantes para el suelo, el valor obtenido para el suelo tratado con EDTA fue extremadamente rico y para el suelo sin EDTA medio, de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000; tanto *Lolium perenne L* como *Beta vulgaris L* se adaptan a una gran variedad de suelos, aunque *Lolium perenne L* prospera mejor en suelos fértiles con una alta disponibilidad de nitrógeno (Bernal, 2005), este constituye un componente importante de la biomasa comestible, puesto que es consumida por animales, fija y transfiere nitrógeno (Helgersma y Hassink, 1997). En cuanto a *Beta vulgaris L*, su requerimiento de nitrógeno es elevado, desde que comienza el crecimiento de la planta hasta el final del cultivo (García, 2013).

Los valores de fósforo (P) en el suelo (tabla 1), fueron para el tratamiento con EDTA alto y el suelo sin EDTA bajo de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000. Este es un macro nutriente esencial para las plantas y los microorganismos (Fernández, 2006), los valores de este trabajo demuestran su relación con parámetros como el pH del suelo, que nos indican que la mayor fijación de Fósforo ocurre en intervalos de pH entre 6.5 y 7.5, en el caso de los tratamientos de esta investigación los valores de pH se encuentran en intervalos de 8 y 8.48 (Tabla 1), cuando el pH es mayor a 8.5 hay mayor disponibilidad de Fósforo (Sanzano, 1998). También el contenido de M.O está estrechamente relacionada con el contenido de Fósforo, para el caso de *Lolium perenne L* al existir una elevada cantidad de M.O, favorece la movilización del fósforo fijado en el suelo (Aguilera, 1992).

La clase textural (tabla 1) es franco limosa; en los tratamientos, este es un tipo de textura equilibrada, con proporciones adecuadas de arcilla, limo y arena, y puede favorecer la formación de una costra superficial, con el consiguiente apelmazamiento; este tipo de suelo promueve la formación de estructura, favoreciendo a su vez los procesos físicos, químicos y biológicos del suelo (Jordán, 2006). *Lolium perenne L* y *Beta vulgaris L* se adaptan a una gran variedad de suelos, pero en el caso de *Lolium perenne L* prospera mejor en suelos fértiles de textura media a pesada (Bernal, 2005), del mismo modo *Beta vulgaris L*,

prefiere suelos sueltos, profundos, permeables y con gran poder de absorción (Grasso *et al.*, 2006).

Los valores obtenidos de Densidad real (tabla 1) oscilan entre 2.43 a 2.55 g/cc, en ambas especies (*Beta vulgaris L* y *Lolium perenne L*) ya que de acuerdo a Jordán (2006) esta debe encontrarse alrededor de 2.65 g/cc en la mayoría de los suelos, la densidad real está estrechamente relacionada con la materia orgánica, a medida que esta aumenta hay un decremento de la densidad real. La densidad aparente se encuentran entre 1.18-1.19 g/cc, para *Beta vulgaris L* y *Lolium perenne L*, para la mayoría de los suelo los valores de D.A deben encontrarse dentro de este intervalo(1 g/cc a 1.8 g/cc), por lo cual se considera que los suelos cuentan con una buena estructura, si la densidad aparentes es mayor a 1.8 g/cc los suelos están compactados (Jordan, 2006); por lo tanto es menor el espacio poroso para el movimiento del agua, crecimiento y penetración de raíces así como el desarrollo de las plántulas. El % de espacio poroso para ambas especies, está entre 51 a 53%.

Las concentraciones de Calcio (Cuadro 1) obtenidas en $\text{Cmol}^{(+)} \text{Kg}^{-1}$ para el tratamiento de suelo con EDTA fue $5.27\text{Cmol}^{(+)} \text{Kg}^{-1}$ y sin EDTA 8.08; de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000, estos valores se consideran como medios.

El contenido de Magnesio (Cuadro 1) obtenido en $\text{Cmol}^{(+)} \text{Kg}^{-1}$ para el suelo con EDTA fue de $9.05\text{Cmol}^{(+)} \text{Kg}^{-1}$ y para el suelo sin EDTA $11.78\text{Cmol}^{(+)} \text{Kg}^{-1}$, estos son considerados valores altos como lo establece la NOM-021-RECNAT-2000.

Los valores de Sodio (Cuadro 1) en $\text{Cmol}^{(+)} \text{Kg}^{-1}$ fueron para el suelo de Cuemanco con EDTA $19.44 \text{Cmol}^{(+)} \text{Kg}^{-1}$ y sin EDTA $15.12\text{Cmol}^{(+)} \text{Kg}^{-1}$

El Potasio obtenido en $\text{Cmol}^{(+)} \text{Kg}^{-1}$ (Cuadro 1) fue para el suelo con EDTA $7.72\text{Cmol}^{(+)} \text{Kg}^{-1}$ y sin EDTA $3.87\text{Cmol}^{(+)} \text{Kg}^{-1}$; de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000, se les consideran valores altos.

XII. PORCENTAJE DE GERMINACIÓN

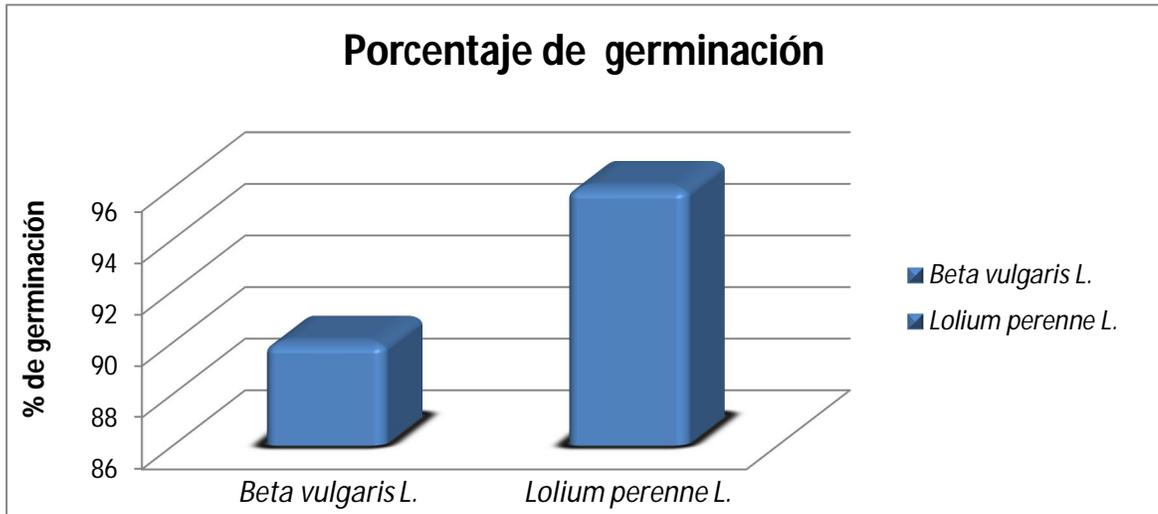


Figura 4. Porcentaje de germinación de *Beta vulgaris L* y *Lolium perenne L*

El porcentaje de germinación que se obtuvo en este estudio fue de 90% para el caso de *Beta vulgaris L* y para *Lolium perenne L* de 96% (gráfica1). En la mayoría de las hortalizas (*Beta vulgaris L.*) se recomienda como mínimo que el 85% de las semillas germinen, para que se puedan considerar viables para uso en fitorremediación (Martínez, 2009). La longevidad de una semilla depende principalmente de la herencia, aunque también es afectada por las condiciones de almacenamiento (temperatura y humedad bajas) y así poder usarse para su propagación (Martínez, 2009).

En el caso de *Lolium perenne L* y *Beta vulgaris L*, las semillas exhiben poca latencia y una alta tasa de germinación (Rzedowski, 2001), propiciada por el almacenamiento en bolsas de polietileno, para mantener un nivel reducido de la respiración de las semillas (Quevedo y Gil, 1998).



Fig.5. Germinación *Lolium perenne L* y *Beta vulgaris L*

12.1 Crecimiento de las especies (*Beta vulgaris L* y *Lolium perenne L*)

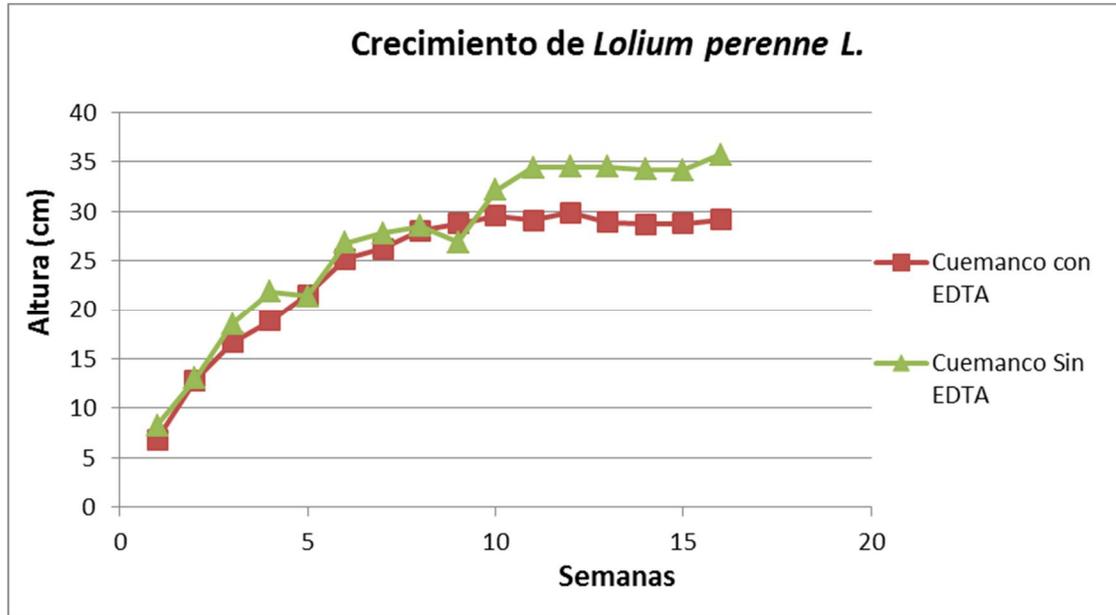


Figura 6. Crecimiento de *Lolium perenne L* a las 16 semanas de tratamiento

El promedio de crecimiento obtenido en este estudio para *Lolium perenne L* en ambos tratamientos fue semejante durante las primeras dos semanas (Gráfica 2), de la tercera semana a la octava semana tanto el tratamiento Cuemanco con EDTA y Cuemanco sin EDTA alcanzaron una altura de 28 y 28.5 cm respectivamente. A partir de la novena semana hasta la semana dieciséis el crecimiento de los tratamientos fue paulatino, este solamente fue de 1 a 2 cm por semana. De tal forma que para el tratamiento de Cuemanco con EDTA la altura máxima fue de 29 cm y de 35 cm Cuemanco sin EDTA, esto probablemente se debe a que con EDTA los metales quedaron disponibles en el suelo y por ello se inhibió su crecimiento de la raíz primaria abajas concentraciones y a concentraciones mayores afectando el desarrollo del follaje y la producción de raíces laterales (Kabata-Pendías y Pendías, 1984; Ivanov *et al.*, 2003). El promedio obtenido de la tasa relativa de crecimiento (TRC, Tabla 2) fue de 0.013.

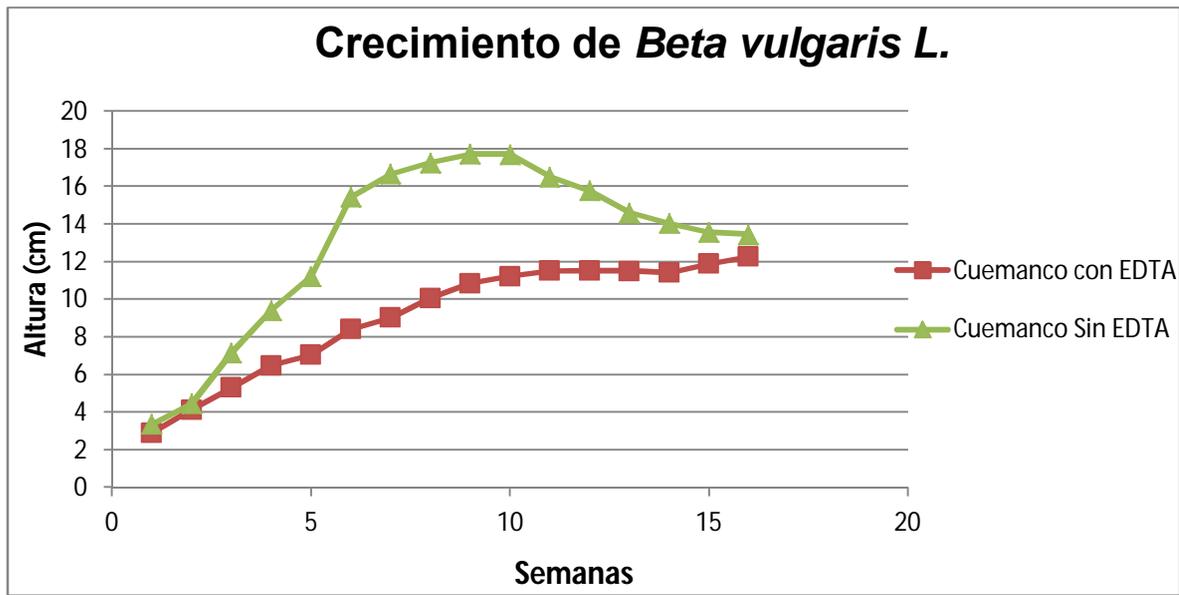


Figura 7. Crecimiento de *Beta vulgaris L* a las 16 semanas de tratamiento

El crecimiento de *Beta vulgaris L.* durante este trabajo para los tratamientos de Cuemanco con EDTA y Testigo Cuemanco sin EDTA hasta la tercera semana fue muy semejante (Gráfica 3), a partir de la cuarta semana hasta la décima, el suelo de Cuemanco sin EDTA alcanzó su altura máxima de 17cm, el tratamiento con EDTA tuvo un crecimiento lento en comparación con el tratamiento de Cuemanco sin EDTA alcanzando una altura de 11cm. A partir de la onceava semana, hubo pérdida de estructura foliar (hojas), esto es debido principalmente a la presencia de plaga y se comenzaron a secar las hojas, lo cual provocó una disminución de la altura tanto para el tratamiento de Cuemanco sin EDTA como con EDTA, este último alcanzando una altura máxima de 12 cm. Este comportamiento de pérdida de hojas en algunos casos, se debe a que al adicionar agentes quelantes como el EDTA quedan disponibles los metales en el suelo, por lo tanto se incrementa la cantidad de metales pesados en este y las hojas se marchitan, puede haber clorosis, necrosis y por lo tanto un menor tamaño de la planta. (Kabata-Pendías y Pendías, 1984; Vassil *et al.*, 1998). El promedio de la tasa relativa de crecimiento para *Beta vulgaris L* fue de 0.013.

12.2 Tasa relativa de crecimiento

Tabla 2. Tasa relativa de crecimiento

	<i>Lolium perenne L.</i>	<i>Beta vulgaris L</i>
Suelo sin EDTA	0.012	0.013
Suelo tratamiento EDTA	0.013	0.013

12.3 Índice de supervivencia

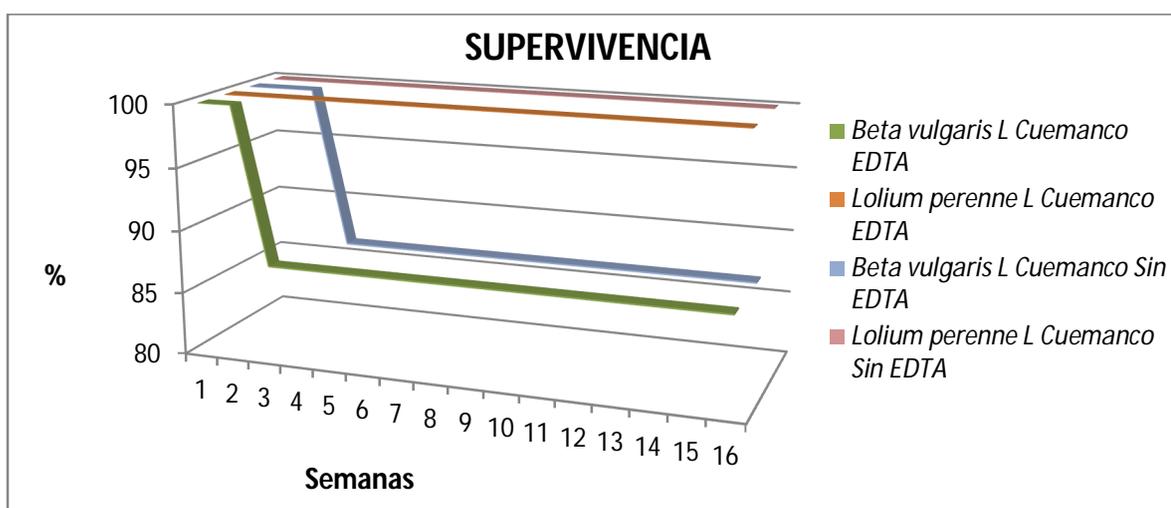


Figura 8. Índice de supervivencia entre especies (*Beta vulgaris L.* y *Lolium perenne L*)

El índice de supervivencia (Gráfica 4) muestra que *Beta vulgaris L* obtuvo un 85 % y *Lolium perenne L* el 100% al término de la semana dieciséis. El éxito que tuvo *Lolium perenne L* se debe a ciertas características como su rápido establecimiento, la alta producción y su valor nutritivo (Bernal, 2005); en cambio para *Beta vulgaris L* este es considerado un cultivo más sensible a los cambios bruscos de temperatura, durante el estudio se registraron temperaturas entre 13.4 y 27.3° C, de acuerdo a García(2013), el desarrollo vegetativo de *Beta vulgaris L* está comprendido entre un mínimo de 6° C y un máximo de 27° a 33° C, con un medio óptimo entre 15° y 25° C, también es muy sensible al apelmazamiento y encharcamiento del suelo, en el caso de este estudio lo presento y por lo tanto el desarrollo de las plantas se vio reducido y la producción disminuyo notablemente(García,2013).

12.4. Metales pesados en el suelo

Tabla 3. Promedio de metales pesados en suelo de Cuemanco

Metales pesados	S.Cuemanco sin EDTA.AC mg Kg ⁻¹	S.Cuemanco sinEDTA.DC mg Kg ⁻¹	S.Cuemanco EDTA.AC mg Kg ⁻¹	S.Cuemanco EDTA.DC mg Kg ⁻¹	Valor Crítico *
Cd	10.65*	8.5*	9.42*	6.93*	3-8
Ni	25.1	23.7	21.1	17.13	100
Cu	32.12	31.68	37	24.75	60-125
Cr	51.37	48.78	43.55	31.7	75-100
Pb	123*	116*	116.25*	117*	100-400
Zn	35.97	15.26	27.83	13.18	70-400

S: Suelo

AC: Antes de la cosecha

DC: Después de la cosecha

*Valores críticos en suelo

En este estudio se puede apreciar que tanto el Cadmio como el Plomo presentaron concentraciones críticas en ambos tratamientos de acuerdo a Kabata-Pendias y Pendias, 1984 (Cuemanco sin EDTA y con EDTA). Antes de la cosecha se tiene la mayor concentración de metales y después disminuye (Tabla 3), este comportamiento es diferente para cada elemento, lo que depende del grado de contaminación, de las características físico y químicas del contaminante, así como de las propiedades fenotípicas y genotípicas de cada especie vegetal, tales como su grado de tolerancia y su capacidad para captar, absorber, acumular y/o degradar los contaminantes (Peralta y Volke, 2012).

12.5 Metales pesados en planta

Tabla 4. Concentraciones de metales pesados en diferentes partes vegetales

Especie y estructura vegetal	Cd mg Kg ⁻¹	Ni mg Kg ⁻¹	Cu mg Kg ⁻¹	Cr mg Kg ⁻¹	Pb mg Kg ⁻¹	Zn mg Kg ⁻¹
<i>Lolium perenne</i> raíz sin EDTA	23.16*	43.2*	20.25	218.4*	255*	49.42
<i>Lolium perenne</i> aérea sin EDTA	22.7*	36.85*	16.15	152.63*	251*	53.845
<i>Lolium perenne</i> raíz EDTA	64.5*	55.75*	40.6*	257.125*	467.5*	65.05
<i>Lolium perenne</i> aérea EDTA	23.46*	33.6*	34.6*	144.55*	188*	59.48
<i>Beta vulgaris</i> raíz sin EDTA	22.75*	23.72*	65.08*	253.05*	408.33*	52.64
<i>Beta vulgaris</i> aérea sin EDTA	18*	13.66*	42.65*	166.3*	233.33*	56.74
<i>Beta Vulgaris</i> raíz EDTA	46*	48.75*	90.75*	350.16*	681.66*	34.78
<i>Beta vulgaris</i> Aérea EDTA	18.73*	17.1*	44.8*	135.75*	261.33*	33.73
Valor Critico *	5-30 ^a 4-200 ^b	10-100 ^a 8-220 ^b	20-100 ^a 5-64 ^b	5-30 ^a 2-18 ^b	30-300	100-400 ^a 100-900 ^b

a. Kabata-Pendias and Pendia1984

b. McNichol, R.D. and Heckett,P,H.T

*Valor critico

Las concentraciones de metales pesados en los tratamientos (Cuemanco con EDTA y Testigo Cuemanco sin EDTA) para *Beta vulgaris L* y *Lolium perenne L*, presentaron concentraciones críticas de Cadmio, tanto la raíz como la parte aérea (Kabata-Pendias y Pendias, 1984). La mayor concentración de este metal fue en la raíz tanto para el tratamiento con EDTA como sin EDTA (Tabla 4), aunque con EDTA se tuvo una mayor concentración en este órgano vegetativo, esto también se puede apreciar en Zhuang *et al.*, (2005) en donde *Vertiveria zizanioides* de la misma familia (Gramineas) que *Lolium perenne L* tuvo una mayor acumulación en raíz, con la adición del agente quelante; *Beta vulgaris L* también presentó una mayor concentración de cadmio en raíz en comparación a la parte aérea. El pH es considerado como el principal factor que controla la asimilación total y relativa del cadmio, sin embargo el cadmio puede llegar a ser móvil en suelos alcalinos, debido a la formación de complejos o quelatos metálicos por adición de EDTA, donde la asimilación del Cadmio por la planta llega a ser independiente del pH (Kabata-Pendias y Pendias, 1992).

El transporte está restringido por sitios de intercambio de compuestos activos, localizados en las paredes celulares, una gran proporción se acumula en el tejido de las raíces y en menor cantidad en la parte alta de la planta (Kabata-Pendias y Pendias, 1992).

El Níquel (tabla 4), presentó concentraciones críticas en ambos tratamientos suelo testigo (cuemanco sin EDTA) y Cuemanco con EDTA y para ambas especies (Kabata-Pendias y Pendias, 1984). Este metal tuvo una mayor concentración en la raíz para ambas especies (*Beta vulgaris L* y *Lolium perenne L*) que en la parte aérea y fue mayor la concentración en donde se adicionó el EDTA. El Níquel es fácilmente adsorbido por las plantas y por lo tanto puede llegar a ser ligeramente toxico, el transporte y almacenamiento parece estar controlado por el pH, aunque la mayoría de las plantas lo acumulan preferentemente en las hojas y en las semillas (Prieto, 2009). Resultado similar se obtuvo con *Datura innoxia* (Jean *et al.*, 2007) donde la mayor acumulación de Níquel fue en raíz y la posible explicación es un secuestro del metal en los sitios de intercambio catiónico en las paredes de los vasos del parénquima, en el xilema de las raíces y la

inmovilización de las vacuolas en las células de la raíz; es decir la capacidad de las paredes celulares permite la unión de los metales pesados a la planta para poder tolerarlos (Jean *et al.*, 2007).

Las concentraciones de cobre en el caso de *Lolium perenne* L (tabla 4), para el testigo con Suelo de Cuemanco sin EDTA fueron valores normales y para el tratamiento con EDTA se encontraron valores críticos para dicho metal (Kabata-Pendias y Pendias, 1984), aunque para ambos tratamientos (Cuemanco sin EDTA y con EDTA) la mayor concentración del metal fue en raíz. Factores como la materia orgánica en el caso de los suelos con EDTA los cuales tienen valores altos (Tabla 1) provoca que se añadan más ligandos para formar complejos metálicos (Sung, 2011); la textura es otro factor que influye en la asimilación del cobre, en la clase textural Franco limosa (Tabla 1), el cobre se encuentra en la forma más asimilable que es Cu^{2+} (Sung, 2011). De acuerdo a Sobrero 2010, si este metal se encuentra entre valores de pH entre 7 y 8 (tabla 1), la solubilidad de las especies aniónicas y catiónicas del cobre decrece, predominando los complejos hidróxido con este metal, sin embargo, dada la gran afinidad de este metal con la materia orgánica, el cobre no se lixivia tan fácilmente del suelo y tiende a acumularse en él. (Sobrero, 2010).

Beta vulgaris L, presentó concentraciones críticas de Cobre para ambos tratamientos (Suelo testigo sin EDTA y con EDTA) de acuerdo con lo establecido por Kabata-Pendias y Pendias (1984), la mayor acumulación del cobre fue en raíz (Tabla 4), resultados similares se observaron en *Lactuca sativa* L, esta hortaliza tuvo una mayor acumulación de cobre en raíz (Sobrero, 2010). El cobre acumulado en las raíces puede estar asociado a la pared celular, teniendo de esta forma baja movilidad hacia otros órganos de la planta. Si bien se moviliza de la raíz hacia la parte aérea, la acumulación en la raíz es mayor (Cheng *et al.*, 2004). La movilidad del cobre es intermedia y se transporta en el xilema principalmente por unión con aminoácidos, siendo baja la posibilidad de traslocarse a otros órganos desde las hojas (Sobrero, 2010).

Las concentraciones de Cromo para *Beta vulgaris L* y *Lolium perenne L*, fueron críticas tanto para la raíz como la parte aérea (Kabata-Pendias y Pendias, 1984); la mayor concentración se presentó en la raíz en los tratamientos con EDTA, en ambas especies (tabla 4). La gran mayoría de los metales tienden a estar más disponibles a pH ácidos, pero el Cromo tiende a estar más disponible a pH alcalinos (Kabata-Pendias, 2000). Resultados similares se tienen con *Solanum lycopersicum* esta hortaliza también concentró la mayor cantidad del metal en su raíz. Vernay (2007) realizó estudios con *Lolium perenne L* en diferentes concentraciones de Cr y observó que la mayor acumulación del metal fue en raíz y que es este el metal que más acumula.

El cromo acumulado en las raíces puede estar asociado a la pared celular, teniendo de esta forma una baja movilidad hacia otros órganos de la planta, si bien se moviliza de la raíz hacia la parte aérea de la planta, la acumulación en la raíz es mayor (Sobrero, 2010).

En la mayoría de los suelos el cromo puede existir en varios estados de oxidación; como es el Cromo (VI) que tiene una mayor movilidad y el Cromo(III) el cual es muy estable y solo es levemente móvil en medios muy ácidos, la presencia de la materia orgánica favorece la reducción de Cromo (VI) a Cromo (III) (Sobrero, 2010). Se ha encontrado que una alta concentración de K en los suelos, permite la absorción del Cromo para las plantas (Sung, 2011), tal es el caso en este trabajo en los suelos con EDTA y sin EDTA, donde se tienen altos niveles de Potasio (Tabla 1) y por lo tanto los valores de Cromo son altos para ambas especies.

El Plomo fue el metal que mayor acumulación presentó en *Lolium perenne L* y *Beta vulgaris L*, aunque la hortaliza tuvo una mayor acumulación y en ambos tratamientos se concentró más el metal en la raíz y en el tratamiento de EDTA; tanto el suelo testigo sin EDTA como con EDTA, presentaron concentraciones críticas (Kabata-Pendias y Pendias, 1984). En el caso de *Lolium perenne L*, se tienen estudios como el de Bidar (2007), donde el comportamiento de esta especie

es muy similar al de este trabajo, la mayor acumulación del metal fue en raíz, esta gramínea lleva a cabo un proceso de Fitoestabilización de los metales en su rizosfera, para evitar la transferencia hacia los brotes (Bidar, 2007). Caso contrario al de este estudio con Shulan (2011) empleó el EDTA en *Loium perenne L* y reportó que este agente quelante es el más eficaz para aumentar la acumulación de Plomo en los brotes de la planta; Shanhyng *et al.*, (2013) realizaron trabajos con esta especie e informó que si se divide la dosis del tratamiento con EDTA, es mejor que si se aplica en una sola, pues esto permite la absorción y translocación del Plomo, esta aportación se debe de tomar en cuenta pues esta planta tiene características que benefician a la fitorremediación, tiene un alto rendimiento, un crecimiento rápido, una mayor acumulación de biomasa y un gran potencial para la recuperación de suelos contaminados con Plomo y Cadmio (Shanhyng *et al.*, 2013).

Se tienen muy pocos estudios relacionados con *Beta vulgaris L*, algunos de estos como el trabajo de Kumar (2008) el cual empleó diferentes especies entre ellas esta hortaliza, en una área expuesta a la contaminación atmosférica por metales pesados, obtuvo como resultado que esta especie acumula una mayor cantidad de Plomo, aunque no indica en que parte de la planta.

Bonilla (2013) realizó un estudio donde incluye a *Beta vulgaris L* y refiere que esta especie no presenta las propiedades de hiperacumuladora, pero si puede acumular Plomo en sus tejidos, además de que si el suelo es rico en nutrientes, como es el caso del suelo de Cuemanco con EDTA (Tabla 1), presentara una mayor absorción del metal, ya que la materia orgánica llega a ser la fase sólida de más influencia en el proceso de adsorción de este elemento (Reyes *et al.*, 2011).

Beta vulgaris L presentó menos porcentaje de supervivencia que *Lolium perenne L* (Gráfica 4), clorosis, presencia de plagas, muy probablemente esto se debió a que la acumulación de Plomo fue mayor para esta especie; Saifulla (2009) propuso un método de aplicación de EDTA dividido en múltiples dosis, el cual proporcionará a

la planta iniciar su propio mecanismo de adaptación y así poder reducir el daño en esta.



Figura 9. Presencia de plaga, clorosis y marchitamiento; debido a la alta acumulación de Plomo en *Beta vulgaris L*

Los órganos vegetales de *Lolium perenne L* (raíz y parte aérea), no presentaron concentraciones críticas de Zinc, de acuerdo a (Kabata-Pendias y Pendias, 1984), la mayor acumulación de este metal fue el tratamiento con EDTA y en raíz y para el suelo testigo sin EDTA fue en la parte aérea. El Zinc es más soluble y por lo tanto más disponible para la planta entre valores de pH entre 5 y 7, en suelos alcalinos como los de este estudio (Tabla 1), el Zinc puede formar compuestos insolubles, por lo que no está disponible para la planta (Shulan, 2010), por ello la adición de agentes quelantes lo hace más disponible. Shulan (2010) trabajó con esta especie e indica que la adición de EDTA aumenta la absorción de metales pesados en los brotes, siendo este el órgano el que más acumula Zinc.

Beta vulgaris L no presentó concentraciones críticas en presencia de EDTA y sin EDTA; sin embargo esta especie tuvo una mayor acumulación de Zinc en el testigo (Cuemanco sin EDTA) y fue la parte aérea la que mayor concentración tuvo (Tabla 4), esto se puede deber a que hay factores que influyen en la disponibilidad del Zinc para la planta como el Fósforo, a altos niveles puede reducir la disponibilidad del metal (Alloway, 2008); en el caso de este estudio el suelo Testigo (Cuemanco sin EDTA) presenta bajos niveles de fosforo comparados con los del suelo con EDTA y por lo tanto se tuvo una mayor concentración de Zinc, tanto en la raíz como en la parte aérea.

12.6 Factor de Traslocación

Tabla 5. Factor de Translocación de *Lolium perenne L* y *Beta vulgaris L* en Suelos de Cuemanco

Metal	<i>Lolium perenne L</i>		<i>Beta vulgaris L</i>	
	S. Cuemanco EDTA Factor de Translocación	S. Cuemanco sin EDTA Factor de Translocación	S. Cuemanco EDTA Factor de Translocación	S. Cuemanco sin EDTA Factor de Translocación
Cadmio	0.36372093	0.98013817	0.40717391	0.64864865
Níquel	0.60269058	0.85300926	0.35076923	0.57588533
Cobre	0.85221675	0.79753086	0.49366391	0.65534726
Cromo	0.56217793	0.69885531	0.38767992	0.65718238
Plomo	0.40196707	0.98431373	0.38337294	0.57142507
Zinc	0.91437356	*1.19071226	0.96960115	*1.07788754

0-0.5 Tolerantes

0.51-0.99 acumuladora

>1 hiperacumuladora*

De acuerdo al factor de translocación, *Lolium perenne L* es tolerante a Cadmio y Plomo, acumuladora de Níquel Cobre y Zinc para el Suelo con EDTA, esta especie en el suelo testigo es acumuladora de Cadmio, Níquel, Cobre, Cromo, Plomo e hiperacumuladora de Zinc.

Beta vulgaris L es tolerante a cadmio, Níquel, Cobre, Cromo y acumuladora de Zinc en el suelo tratado. En el suelo testigo es acumuladora de Cadmio, Níquel, Cobre, Cromo y Plomo e hiperacumuladora de Zinc. El factor de translocación es el cociente entre la concentración del metal en los tallos y las raíces y nos permite conocer si existe un transporte del metal de la raíz al tallo y poder determinar si las especies son acumuladoras, tolerantes o hiperacumuladoras de metales pesados y si se pueden emplear para fitorremediación (Zhang *et al.*, 2006).

XIII. CONCLUSIONES

**Beta vulgaris L* y *Lolium perenne L*, presentaron un alto índice de supervivencia y un alto porcentaje de germinación.

*El crecimiento de *Beta vulgaris L*, y *Lolium perenne L* fue menor con EDTA.

*La materia orgánica nitrógeno, fósforo y potasio, se encontraron en concentraciones altas y el pH mediamente alcalino.

*De acuerdo al factor de translocación ambas especies son acumuladoras para Plomo, Cromo, Cadmio, Níquel, Cobre e hiperacumuladoras de Zinc, en suelo sin EDTA, y tolerantes a Plomo, Cromo, Cadmio, Níquel, Cobre y acumuladoras de Zinc en suelo con EDTA.

*Se observó una disminución en la concentración de metales pesados después de la cosecha para ambos tratamientos (EDTA y sin EDTA).

*La mayor acumulación de Plomo, Cromo, Cadmio, Níquel, Cobre y Zn fue en raíz de *Lolium perenne L* (pasto) y *Beta vulgaris L* (acelga) en suelo con EDTA.

*En suelo sin EDTA, la raíz de las dos especies presentaron la mayor acumulación de Plomo, Cromo, Cadmio, Níquel, Cobre, excepto Zn en acelga.

**Beta vulgaris L* y *Lolium L perenne* tienen la capacidad de actuar como fitoestabilizadoras de metales pesados.

XIV. LITERATURA CITADA

- Aguilera, S. M., Pino, U. I., Reyes de la P, C., Caiozzi, M. M. Efecto de la Materia Orgánica en la Disponibilidad de Fósforo, Hierro, Cobre y Cinc en suelo Osorno. Agricultura técnica. Octubre-Diciembre 1992; 52(4):422-425.
- Alloway, B. (2008). Zinc in soils and crop nutrition. Brussels: International Zinc Association; Paris: International Fertilizer Industry Association. 2^a ed.
- Altieri, M. (2009). La Agricultura Moderna: Impactos ecológicos y la posibilidad de una verdadera agricultura sustentable. Environmental Science, University of California, Berkeley. USA.
- Bernal, M. J. L., (2005). Manual del manejo de pastos cultivados para zonas alto andinas. DGPA, 9.
- Bidar, G., Garcon, G., Pruvot, C., Dewaele, D., Cazier, F., Douay, F., Shirali, P. (2007). Behavior of *Trifolium repens* and *Lolium perenne* growing in a heavy metal contaminated field: Plant metal concentration and phytotoxicity. Environmental Pollution, 147, 546-553.
- Bonilla Valencia, S.M. (2013). Estudio para tratamientos de Biorremediación de suelos contaminados con Plomo, utilizando el método de Fitorremediación. (Tesis Licenciatura). Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito.
- Castillo, F., Huertas, M., Blasco, R. (2005). Biotecnología ambiental. Editorial TÉBAR, S. L. Madrid, 591.

- Cervantes,R. Claudia J.(2005). Evaluacion de la senotoxicidad de suelos mineros de Villa de la Paz-Matehuala. San Luis Potosi, Mexico. Para obtener el grado de Licenciatura en Biología Agropecuaria.
- Cheng, Y., Li, X., Shen, Z. (2004). Leaching and uptake of heavy metals by ten different species of plants during an EDTA-assisted phytoextraction process. *Chemosphere*, 57,187-196.
- Fernández, L. L. C., Rojas, A. N. G., Roldan, C. T., Ramírez, I. M., Zerraga, M. H., Uribe, H. R., Reyes, A. R., Flores, H. D., Arce, O. J. M. (2006). Manual de Técnicas de análisis de suelos aplicados a la remediación de sitios contaminados. Instituto Mexicano del Petróleo. Secretaria de medio ambiente. Instituto Nacional de Ecología, 30.
- Galán, H. E y Romero, B. A. (2008).Contaminación de Suelos por Metales Pesados. *Revista de la Sociedad Española de Mineralogía Sevilla, España*, 10,49, 50.
- García, Z. M., (2013). Cultivos herbáceos intensivos. E.T.S.I.I.A.A. de Palencia-Universidad de Valladolid, 4.
- Gonzales, N.V., Leal, M., Lillo, J., De Bustamante, I., Palacios, D, P. (2010). Guía de caracterización edáfica. Gobierno de España: Editorial Tragua, 11-12.
- Grasso, R., Muguiro, A., Ferratto, J., Mondino, M.C., Longo, A. (2006). Manual de Producciones hortícolas. Gobierno de la Pampa, 43,44.
- Guanilo Urbano, R. (2006). Revegetación y evaluación de Nutrientes y Metales pesados encontrados en la vegetación de las canchas de desmonte de la unidad productiva UCHUCCHACUA-Compañía de minas

Buenaventura S.A.A. (Tesis Licenciatura). Universidad Nacional Agraria, La Molina.

- Hannaway, D., Fransen, S., Cropper, J., Teel, M., Chaaney, M., Griggs, T., Halse, R., Hart, J., Cheeke, P., Hansen, D., Klinger, R & Lane, W. 1999. Consultado El 12 de Marzo Del 2013. Disponible En <http://www.eesc.orst.edu/agcomwebfile/edmat>.
- Harvey, P., Campanela, B., Castro, P., Harms, H., Lichtfouse, E., Schäffner, A., Smrcek, S., y Werck, D. (2002). Phytoremediation of polyaromatic hydrocarbons, anilines and phenols. *Environmental Science Pollution Research, Int.* 9, 29-47.
- HeePark. y Lamb Dane. (2011). Role of organic amendments on enhanced bioremediation of heavy metal (loid) contaminated soils. *Journal of Hazardous Materials*, 185, 549–574.
- Helgersma, A. & J, Hassink. (1997). Effects of white clover (*Trifolium repens* L.) on plant and soil nitrogen and soil organic matter in mixtures with perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Plant and Soil*, 197(2), 177-186.
- Hernando Costa, J., López La fuente, A. (2007). Degradación de suelo por contaminación y su repercusión en la salud humana. In *Contaminación y salud*. Edited by Villarejo. Real Academia Nacional de Farmacia, 47-68.
- Ivanov V, B, Bystrova EI, Seregin IV. (2003). Comparative impacts of heavy metals on root growth as related to their specificity and selectivity. *Russian Journal of Plant Physiology*, 50:398-406.
- Jean, L., Bordas, F., Gautier, M. C., Vernay, P., Hitmi, A., Bollinger, J. C. (2007). Effect of citric acid and EDTA on chromium and nickel uptake and

translocation by *Datura innoxia*. Environmental Science Pollution Research, 153, 555-563.

- Jordán, L. A. (2005-2006). Manual de edafología. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la Universidad de Sevilla, 91
- Kabata-Pendias, A., Pendias, H. (1992). Trace elements in soils and plants. 2a. Edición, CRC Press.
- Kabata-Pendias, A., Pendias, H. (1984). Trace elements in soils and plants. 2a. Edición, CRC Press.
- Kumar, Sharma, R., Madhoolika, Agrawal., M, Marshal, Fiona. (2008). Heavy metal (Cu, Zn, Cd and Pb) contamination of vegetables in urban India: A case study in Varanasi. Chemosphere, 254-263.
- Martínez, C. J., (2009). Siembra de Hortalizas. Capítulo 2. Facultad de Agronomía, UANL.
- Meagher, R.B. (2000). Phytoremediation of toxic elemental and organic pollutants. Current Opinion in Plant Biology 3, 153-162.
- Mench, M., Schwitzguébel, J., Schroeder, P., Bert, V., Gawronski, S. y Gupta, S. (2009). Assessment of successful experiments and limitations of phytotechnologies: contaminant uptake, detoxification and sequestration, and consequences for food safety. Environmental Science and Pollution Research 16, 876-900.

- Méndez, R. F., Gisbert, B. J., García, D. J., Márquez, M. A. Relación estadística entre metales Pesados y propiedades de suelos de cultivo regados con aguas residuales no depuradas., *Interciencia*. 2003; 28(5)
- NOM-021-RECNAT-2000. Establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. *Estudios, muestreo y análisis*, 13, 14.
- Novotny, V. (1995). Diffuse sources of pollution by toxic metals and impact on receiving waters. In *Heavy Metals*. Springer-Verlag, Berlin, 33-52.
- Núñez, L., Meas, Y., Ortega, B. y Olgúin, J. (2004). Fitorremediación fundamentos y aplicaciones. *Ciencia*, 69-82.
- Orozco Verdezoto V. P. (2008). Biorremediación de vegetación contaminada con Petróleo por derrames en el campamento guarumopetroproduccion. Facultad de Ciencias Del Ecuador, pdf.
- Peralta, P.M., Volke-Sepulveda, T.L. (2012). La defensa antioxidante de las plantas: Una herramienta clave para la Fitorremediación, *11(1):75-88*.
- Prieto, M. J., Gonzales, R. C.A., Román, G. A.D., Prieto, G.F. (2009).contaminación y fitotoxicidad en Plantas por Metales Pesados provenientes de Suelos y Agua. *Tropical and Subtropical Agro ecosystems*, 10, 29-44.
- Quevedo, A. y Gil, O. (1998). Efecto de la intensidad de luz, método de conservación y tiempo de almacenamiento en la germinación de *Crotonlechleri* Muell Arg. *Folia Amazónica*. 9(1-2): 45-62.
- Radojevic, M., Bashkin, V., N. 1999. *Practical environmental analysis* The Royal Society of Chemistry.U.K;466.

- Reyes, GM, Barreto, L. Efecto de la Materia Orgánica del Suelo en la retención de contaminantes. *Épsilon*. Enero-Junio 2011;(16): 31-45.
- Rico, M, F., López, C, R. (2001). Daños a la Salud por Contaminación Atmosférica IMSS., Coordinación General de Investigación y Estudios Avanzados, 92-97.
- Rzedowski, G. C. de y Rzedowski, J. (2001). Flora fanerogámica del Valle de México. 2a ed. Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán, México.
- Saifulla, E.M., Quadir, M., de Caritat, P., Tack, f. M. G., Laing, G. D., Zia, M. H. (2009). EDTA-assisted Pb phytoextraction. *Chemosphere*, 74: 1279-1291.
- Salt, D.E., Smith, R.D., Raskin, I. (1998). Phytoremediation. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 49: 643-68.
- Sanzano, A. (1998). El Fosforo del suelo. Cátedra de Edafología. FAZ. UNT
- Shanying, H., Qiuling, W., Zhenli, H. (2013). Effect of DA-6 and EDTA alone or in combination on uptake, subcellular distribution and chemical form of Pb in *Lolium perenne*. *Chemosphere*, 93, 2782-2788.
- Shen, Z.G., Li, X.D., Wang, C.C., Chen, H.M., Chua, H. (2002). Lead phytoextraction from contaminated soils with high biomass plant species. *Journal Environmental Quality*, 31, 1893–1900.
- Shulan, Z., Fei, L., Lian, D. (2011). EDTA-assisted phytoextraction of heavy metals by turfgrass from municipal solid waste compost using permeable barriers and associated potential leaching risk. *Bioresource Technology*, 102, 621-626.

- Serrano, M, J. (2006).Protección Ambiental y Producción Más Limpia. Editorial Academia. La Habana Cuba, 6.
- Sobrero, M.C. (2010). Estudio de la Fito toxicidad de Metales Pesados y del herbicida Glifosato en ambientes acuáticos. Bioensayos con Plantas Vasculares como organismo diagnóstico. (Tesis Doctoral). Universidad Nacional de la Plata.
- Sung, M., Lee, C.Y., Lee, S.Z. (2011).Combined mild soil washing and compost assisted phytoremediation in treatment of silt loams contaminated with copper, nickel, and chromium. Journal of Hazardous Materials, 190,744-754.
- Vassil, A.D., Kapulnik, Y., Raskin, I., Salt, D.E. (1998). The role of EDTA in lead transport and accumulation in Indian mustard. Plant Physiol. 117, 447–453.
- Vernay, Philippe., Gauthier-Moussard, Cecile., Hitmi, Adnane.(2007). Interaction of bioaccumulation of heavy metal chromium withwater relation, mineral nutrition and photosynthesis in developed leaves of *Lolium perenne* L. Chemosphere 1563–1575.
- Viñas, M., Sabuté, J., Espuny, M., Solares, A. (2005).Bacterial community dynamics and polycyclic aromatic hydrocarbon degradation during bioremediation of heavily creosote contaminated. Soil Applied Environmental Microbiology, 71: 7008-7018.
- Virkutyte, J., Sillanpä, M. y Latostenmaa, P. (2002). Electrokinetic soil remediation Critical overview. Science of the Total Environment, 289, 97–121.

- Volke, S. T., Velasco, T. J. A. (2001). Tecnologías de Remediación para Suelos Contaminados. Instituto Nacional de Ecología. 31-56.
- Zhang, X.H., Lin, A. J., Chen, B. D., Wang, Y. S., Smith, S. E., Smith, F. A. 2006. Effects of *Glomus mosseae* on the toxicity of heavy metals to *Vicia faba*. Journal of Environmental Science, 18, 721–726.
- Zhuang, P., Ye, Z. H., Lan, C. Y., Xie, Z. W., Shu, W. S. (2005). Chemically assisted phytoextraction of heavy metal contaminated soils using three plant species. Plant and Soil 276:153–162.

Mediografía:

- <http://www.xochimilco.df.gob.mx/turismo/cuemanco.html> Consultado: Marzo 29, 2012.
- Semarnat, 2012. http://semarnat.gob.mx/temas/internacional/frontera2012/Documentos/1_Programa_Frontera_2012_esp.pdf. Consultado: Marzo 29, 2012.
- OMS, 2008 http://www.int/water_sanitation_health/dwq/guidelines/es/ Consultado: Dic, 2008.

XV. ANEXO



