

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**PROGRAMA DE DOCTORADO**  
**DOCTORADO EN CIENCIA TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE**



**TESIS**

**CAPACIDAD DEL GIRASOL (*Helianthus annuus* L.) PARA ABSORBER  
CADMIO DE SUELOS CONTAMINADOS EN AMBIENTE CONTROLADO-PUNO**

**PRESENTADA POR:**

**MARIA ELENA SUAÑA QUISPE**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE**

**PUNO, PERÚ**

**2017**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
ESCUELA DE POSGRADO  
PROGRAMA DE DOCTORADO  
DOCTORADO EN CIENCIA TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE  
TESIS



CAPACIDAD DEL GIRASOL (*Helianthus annus L.*) PARA ABSORBER  
CADMIO DE SUELOS CONTAMINADOS EN AMBIENTE CONTROLADO-PUNO

PRESENTADA POR:

MARIA ELENA SUAÑA QUISPE

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE



Dr. ALFREDO CÁMAC TORRES

PRIMER MIEMBRO



Dr. JUAN GREGORIO ZAPANA PARI

SEGUNDO MIEMBRO



Dr. GERMÁN BELIZARIO QUISPE

ASESOR DE TESIS

Dr. SABINO ATENCIO LIMACHI

Puno, 26 de julio de 2017

**ÁREA:** Ciencia, tecnología y medio ambiente.

**TEMA:** Capacidad del girasol para absorber cadmio.

**LÍNEA:** Impacto tecnológico y ambiental.

## DEDICATORIA

*A mis padres, por darme la vida y apoyo moral, su dedicación y ejemplo serán siempre mi camino para alcanzar mis sueños.*

*A mis hijos: Hamlet y Jacqueline, siempre son la razón y motivación para seguir adelante, para darles el ejemplo.*

*A Hamlet por brindarme apoyo.*

*A quienes compartieron y compartirán mis sueños.*

*A mis amigos de siempre y aquellos con los que conllevaré la razón de formación académica.*

## AGRADECIMIENTOS

- A mi asesor Dr. Sabino Atencio Limachi por brindarme su conocimiento, amistad y experiencia y sus valiosas sugerencias han contribuido a la mejora de mi trabajo de tesis.
- A los docentes del Doctorado en Ciencia Tecnología y Medio Ambiente de la Escuela de Post- Grado de la UNA - Puno, Alma Mater, por la motivación y enseñanzas impartidas durante mi formación académica.



Maria Elena

**ÍNDICE GENERAL**

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS .....	i
ÍNDICE GENERAL .....	iii
ÍNDICE DE TABLAS .....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	v
RESUMEN .....	vi
ABSTRACT .....	vii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPITULO I: PROBLEMÁTICA DE INVESTIGACION .....	3
1.1. Planteamiento del problema.....	3
1.2. Enunciado del problema.....	4
1.3. Justificación.....	5
CAPITULO II: MARCO TEORICO.....	8
2.1. Marco teorico .....	8
2.2. Antecedentes .....	22
CAPITULO III: METODOLOGÍA.....	38
3.1. Lugar de estudio .....	38
3.2. Métodos .....	38
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	44
4.1. Concentración de cadmio en muestras de suelos.....	44
4.2. Capacidad de absorción de cadmio por el cultivo de girasol.....	46
CONCLUSIONES.....	54
RECOMENDACIONES .....	55

BIBLIOGRAFIA .....	56
ANEXOS .....	65

### ÍNDICE DE TABLAS

1 Fitotecnologías de fitoremediación .....	33
2 Unidades experimentales en el diseño bloque completo al azar .....	42
3 Concentración de cadmio (Cd en mg/kg) en suelos provenientes del centro poblado La Rinconada en la región Puno, 2015.....	44
4 Concentración de cadmio (Cd en mg/kg) en plantas de girasol en suelos provenientes del centro poblado La Rinconada en la región Puno, 2015 .....	49
5 Análisis de varianza (ANVA) para concentración de cadmio (Cd en mg/kg) en plantas de girasol en suelos provenientes del centro poblado La Rinconada en la región Puno, 2015 .....	50
6 Prueba de Tukey para concentración de cadmio (Cd en mg/kg) en plantas de girasol en suelos provenientes del centro poblado La Rinconada en la región Puno, 2015 .....	51
7 Concentración de cadmio absorbido (%) en plantas de girasol en suelos provenientes del centro poblado La Rinconada en la región Puno, 2015 .....	51

## ÍNDICE DE FIGURAS

1	Ubicación de la toma de muestras de suelo, en La Rinconada, Puno, Perú .	..39
2	Concentración de cadmio (Cd) en suelos provenientes del centro poblado La Rinconada en la región Puno, 2015 .....	..45
3	Valores de pH y temperatura en el cultivo de girasol ( <i>Helianthus annus L.</i> ) para nueve meses de desarrollo, Puno 2015.....	..47
4	Altura de plantas de girasol ( <i>Helianthus annus L.</i> ), para dos ambientes de cultivo y nueve meses de desarrollo, Puno 2015 .....	..48
5	Concentración de cadmio (Cd en mg/kg) en plantas de girasol en suelos provenientes del centro poblado La Rinconada en la región Puno, 2015 .....	..49
6	Concentración de cadmio absorbido (%) en plantas de girasol en suelos provenientes del centro poblado La Rinconada en la región Puno, 2015 .....	..52
7	Instalación de invernadero.....	..68
8	Procesos de la etapa de muestras y control de temperatura.....	..68
9	Etapa de suelo con semilla girasol.....	..68
10	Germinación del girasol.....	..69
11	Medición de la germinación del girasol.....	..69
12	Crecimiento del girasol.....	..69
13	Etapa final: crecimiento del girasol.....	..70
14	Análisis del suelo.....	..70
15	Análisis de la organografía vegetal: raíz, tallo y hojas del girasol.....	..71

## RESUMEN

La investigación de la concentración de cadmio con girasol se realiza en la ciudad de Puno, entre el mes de noviembre del 2015 hasta noviembre del 2016. Se aprovecha la capacidad de ciertas plantas en su organografía vegetal, como el girasol para absorber y acumular contaminantes, actualmente los suelos se encuentran contaminados por la actividad minera con diferentes metales, uno de ellos es el cadmio, el estudio tuvo como objetivos determinar la concentración de cadmio en suelos contaminados provenientes del centro poblado La Rinconada Puno y determinar la capacidad de absorción de cadmio por el girasol (*Helianthus annuus* L.) de la raíz, tallo y hoja, se realizó en ambiente controlado al interior del invernadero, comparado con el ambiente del exterior, considerando como factor principal la organografía vegetal de la planta (raíz, tallo y hojas), bloques a dos ambientes de cultivo utilizando 20 maceteros, 10 macetas de girasol con sustrato en el interior del invernadero y 10 con sustrato a la intemperie, el análisis de contenido de cadmio tanto en el suelo como en tejidos vegetales se realizó por el método de absorción atómica en Laboratorios Analíticos del Sur, el diseño experimental que se utilizó fue bloque completo al azar, el análisis estadístico fue análisis de varianza y prueba de rango múltiple de Tukey. Los resultados fueron: La concentración promedio de cadmio en el suelo del invernadero presentó un valor promedio de 24.36 mg/kg, en la intemperie se determinó 21.76 mg/kg, no existiendo diferencia estadística entre ambos ambientes de cultivo ( $p=0.112$ ). En la organografía vegetal, la concentración de cadmio ambiente exterior se obtuvo en hoja una media de 0.21 mg/kg, en raíz 0.88 y tallo 0.29, en ambiente interior hoja 0.29 mg/kg, raíz con 1.80 y tallo 0.27, siendo estadísticamente superior el contenido en la raíz ( $p<0.05$ ). La raíz de plantas de girasol presenta una media de absorción de cadmio de 5.716%, tallo con 1.217% y hojas 0.529% de absorción; encontrando mayor absorción del cadmio, se produce a nivel radicular.

Palabras clave: absorción, ambiente, controlado, cadmio, *Helianthus annuus*.



## ABSTRACT

The investigation of the concentration of cadmium with sunflower is made in the city of Puno, between November 2015 to November 2016. It takes advantage of the ability of certain plants in their plant organography, such as sunflower to absorb and accumulate pollutants, currently the soils are contaminated by mining activity with different metals, one of them is cadmium, the study had as objectives to determine the concentration of cadmium in contaminated soil from the town center La Rinconada Puno and determine the capacity of absorption of cadmium by the sunflower (*Helianthus annus* L.) of the root, stem and leaf, was carried out in a controlled environment inside the greenhouse, compared to the environment outside, considering as a main factor the plant organography of the plant (root, stem and leaves), blocks to two growing environments using 20 pots, 10 sunflower pots with substrate inside the greenhouse and 10 co n substrate outdoors, the analysis of cadmium content in both the soil and plant tissues was performed by the atomic absorption method in Laboratorios Analíticos del Sur, the experimental design that was used was randomized complete block, the statistical analysis was analysis of variance and Tukey's multiple range test. The results were: The average concentration of cadmium in the greenhouse soil showed an average value of 24.36 mg / kg, in the weather 21.76 mg / kg was determined, there being no statistical difference between the two culture environments ( $p = 0.112$ ). In the plant organography, the concentration of cadmium outside environment was obtained in leaves a mean of 0.21 mg / kg, root 0.88 and stem 0.29, indoor environment leaf 0.29 mg / kg, root with 1.80 and stem 0.27, being statistically superior content in the root ( $p < 0.05$ ). The root of sunflower plants presents an average of absorption of cadmium of 5.716%, stem with 1.217% and leaves 0.529% of absorption; finding greater absorption of cadmium, occurs at the root level.

Keys words: absorption, environment, controlled, cadmium, *Helianthus annus*.

## INTRODUCCIÓN

La búsqueda de soluciones para la eliminación de los contaminantes del suelo se está convirtiendo en un objetivo prioritario en la mayor parte de los países, buscar la manera eficaz de preservarla y restaurar los daños causados. La limpieza de suelos contaminados por la actividad industrial requiere cuantiosas inversiones y la fitorrestauración es una alternativa viable en algunos casos. En este proceso se concentran compuestos y elementos contaminantes en la especie vegetal, se metabolizan y transforman en otros compuestos, este mecanismo natural puede tomar mayor tiempo que otros procesos, pero reduce impactos ambientales y costos, al tiempo que mantiene la apariencia natural de la zona afectada. El cadmio se encuentra ampliamente distribuido en la corteza terrestre con una concentración promedio de 0.1 mg/kg. dentro de los rangos mínimos de los estándares de calidad, pero por su abundancia generalmente se obtiene como subproducto del refinado de los minerales de zinc, plomo o cobre, de hecho la minería genera uno de los rasgos distintivos de la sociedad moderna es la creciente generación de contaminantes ambientales, lo que trae consigo daños considerables a la diversidad biológica. Los metales pesados son contaminantes que necesitan especial atención porque pueden permanecer varias décadas en el suelo y concentrarse en las cadenas tróficas, las tecnologías desarrolladas para el saneamiento de ambientes contaminados con los metales que se encuentran en el ambiente natural como por la actividad de absorción de parte de los vegetales conocidos como organismos metaloides, son costosas y requieren un largo período de tiempo para su ejecución. La fitorremediación es una alternativa de la biorremediación que surge recientemente como alternativa ante esta problemática

ambiental, y se basa en el uso de plantas que acumulan concentraciones de metales en sus tejidos para contener, remover o neutralizar contaminantes, mediante mecanismos de captura de metales propios de estas plantas. Con la actividad de absorción potencial que pueda presentar la organografía vegetal para su captación de cadmio pretende el trabajo de investigación responder a la necesidad de brindar mayores conocimientos que aumenten la rentabilidad y eficacia de las plantas, debido a que su aplicación resulta muy importante en la protección del medio ambiente por ello se planteó el presente trabajo de investigación.

Los objetivos fueron:

- Determinar la concentración de cadmio en suelos contaminados en ambiente controlado, provenientes del centro poblado La Rinconada Puno.
- Determinar la capacidad de absorción de cadmio del girasol (*Helianthus annuus L.*) en la raíz, tallo y hojas.

## CAPITULO I

### PROBLEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1. Planteamiento del problema

Los metales están presentes en el suelo como componentes naturales del mismo o como consecuencia de las actividades antropogénicas, generando un irremediable deterioro en el ambiente. Así como el cadmio son altamente tóxicos, contrario a los contaminantes de origen orgánico, no pueden ser degradados química u orgánicamente, por lo que una de las alternativas para la remoción de contaminación con estos iones metálicos es la fitoextracción. Ésta consiste en la absorción y acumulación de metales clasificadas plantas hiperacumuladoras, como el girasol (*Helianthus annuus*).

El éxito va depender que toleren el estrés, acumulen y toleren los metales, produzcan cantidades de biomasa y el girasol, posee una facilidad de manejo en su cultivo, se adapta fácilmente a un amplio intervalo en la variación de temperatura en la época de siembra es variable y depende de las características climatológicas de cada región, es una planta, con un desarrollo vigoroso en todos sus órganos. El girasol es reportado por su capacidad de

acumular metales y responder con biomasa comparado con otras plantas acumuladoras, tiene la capacidad de concentrar metales en sus tejidos, por esta razón se empleó el girasol en el proceso de investigación para promover la limpieza ambiental.

Con los antecedentes expuestos, con la intención de estudiar al girasol *Helianthus annus L.* como planta potencial para fitoacumular cadmio en sus tejidos y conocer la capacidad de absorción en su organografía vegetal, en ambiente controlado (invernadero) y a la intemperie, se planteó traer suelos contaminados de La Rinconada región Puno, como alternativa biológica al problema ambiental.

## 1.2. Enunciado del problema

Se realiza el presente estudio por conocer la capacidad de absorción del metal cadmio de suelos contaminados, de la planta girasol.

Por ello nos planteamos las siguientes preguntas:

General:

¿El girasol (*Helianthus annus L.*) tendrá la capacidad de absorción del metal cadmio en suelos contaminados, en ambiente controlado y a la intemperie?

Específicas:

¿Los suelos de La Rinconada región Puno presentara concentraciones del metal cadmio?

¿El girasol (*Helianthus annus L.*) presentara en la raíz, tallo y hoja absorción de cadmio desuelo contaminado en ambiente controlado y a la intemperie?

### 1.3. Justificación

En los lugares muy contaminados, las especies biológicas endémicas han disminuido o desaparecido, y la entrada de los contaminantes en la cadena trófica ha aumentado su dispersión a sistemas biológicos muy variados, incluidos el hombre. Estas muestras evidentes de deterioro medioambiental, el efecto sobre la salud humana y la creciente presión social han ido creando conciencia en el hombre de la necesidad de su rehabilitación y motivando la búsqueda de soluciones para la eliminación de los contaminantes del suelo convirtiéndose en un objetivo prioritario en la mayor parte de los países industrializados. Por lo cual la humanidad tiene la obligación de pagar a la naturaleza una deuda de gratitud histórica y la necesidad de tomar conciencia de los errores cometidos, así como buscar la manera eficaz de preservarla y restaurar los daños causados (Becerrill *et al.*, 2002).

La limpieza de suelos contaminados por la actividad industrial requiere cuantiosas inversiones y la fitorrestauración es una alternativa viable en algunos casos. En este proceso se concentran compuestos y elementos contaminantes en la especie vegetal, se metabolizan y transforman en otros compuestos. Este mecanismo natural puede tomar un mayor tiempo que otros procesos, pero reduce impactos ambientales y costos, al tiempo que mantiene la apariencia natural de la zona afectada (EPA, 1997). Ejemplos de dos contaminantes de origen industrial que afectan el suelo son el Cd y el Zn.

El cadmio se encuentra ampliamente distribuido en la corteza terrestre con una concentración promedio de 0.1 mg/kg. Por su abundancia, se obtiene como subproducto del refinado de los minerales de zinc, plomo o cobre, de hecho la

minería genera aproximadamente el 65% de los residuos industriales en México (SEDESOL, 1993).

Otras fuentes de contaminación son el empleo de combustibles fósiles, la incineración de residuos (Albert, 1997), el uso de fertilizantes fosfatados, los desechos de la fabricación de cementos, la disposición de residuos sólidos, el depósito de lodos y las aguas residuales industriales (Galvao y Corey, 1987)

Los metales pesados son contaminantes que necesitan especial atención porque pueden permanecer varias décadas en el suelo y concentrarse en las cadenas tróficas. Las tecnologías desarrolladas para el saneamiento de ambientes contaminados con metales pesados son costosas y requieren un largo período de tiempo para su ejecución. La fitorremediación es una vertiente de la biorremediación que surge recientemente como alternativa ante esta problemática ambiental, y se basa en el uso de plantas que acumulan elevadas concentraciones de metales en sus tejidos para contener, remover o neutralizar contaminantes, mediante mecanismos de captura de metales propios de estas plantas y/o por los microorganismos que se desarrollan en la rizosfera. Estudios previos sugieren que los microorganismos rizosféricos poseen mecanismos capaces de alterar la circulación de metales en el medio ambiente, con efectos subsecuentes en el potencial de la planta para su captación en la raíz, (Becerrill *et al.*, 2002).

Los progresos en el campo son limitados por falta de conocimiento de las interacciones complejas en la rizósfera y los mecanismos de plantas hiperacumuladoras que permiten la translocación del metal y su acumulación. Esta revisión responde a la necesidad de brindar conocimientos que aumenten la

rentabilidad y eficacia de estas plantas, debido a que su aplicación resulta muy importante en la protección del medio ambiente (Becerrill *et al.*, 2002).

#### 1.4. Objetivos

##### 1.4.1. Objetivo general

Determinar la capacidad de absorción por el girasol (*Helianthus annus L.*) de suelos que tienen contenido de cadmio del Centro Poblado La Rinconada, región Puno.

##### 1.4.2. Objetivos específicos

Determinar la concentración de cadmio en suelos contaminados en ambiente controlado, provenientes del centro poblado La Rinconada Puno.

Determinar la capacidad de absorción de cadmio del suelo en ambiente controlado por el girasol (*Helianthus annus L.*) en raíz, tallo y hojas.

#### 1.5. Hipótesis

##### 1.5.1. Hipótesis general

Existe capacidad de absorción por el girasol (*Helianthus annus L.*) de suelos que tienen contenido de cadmio del Centro Poblado La Rinconada, región Puno.

##### 1.5.2. Hipótesis específicas

La concentración de cadmio es alta en suelos contaminados en ambiente controlado, provenientes del centro poblado La Rinconada Puno.

Existe capacidad de absorción de cadmio del suelo en ambiente controlado por el girasol (*Helianthus annus L.*) en raíz, tallo y hojas.



## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Marco teórico

##### 2.1.1. Origen de los contaminantes, en los metales pesados

Las concentraciones de metales pesados en los suelos están asociadas a los ciclos biológicos y geoquímicos y pueden alterarse por actividades antropogénicas como las prácticas agrícolas, el transporte las actividades industriales la eliminación de residuos, entre otras. Por otra parte, es bien conocido que los metales pesados son peligrosos porque tienden a bioacumularse en los seres vivos (Navarro *et al.*, 2007).

Se han establecido que los principales factores que influyen en la movilización de metales pesados en el suelo son el pH, el potencial redox, presencia de iones, capacidad de intercambio catiónico, contenido de materia orgánica y textura, entre otras. La contaminación por metales puede producir acidificación, cambios en las condiciones redox, variación en la temperatura y humedad de los suelos. Algunos metales como el cobalto, cromo, hierro, manganeso y cinc, son vitales en procesos metabólicos pues hacen parte de las metaloenzimas, mientras otros como el arsénico, cadmio, mercurio y

plomo no tienen efectos beneficiosos y no se conocen mecanismos de homeóstasis. En los seres humanos, la deficiencia o el exceso de un oligoelemento, puede influenciar la absorción, distribución, metabolismo y eliminación de otros (Martínez y Palacio, 2010).

En el suelo los metales pueden quedar retenidos por procesos de adsorción, de complejación y de precipitación, ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas. También pueden pasar a la atmosfera por volatilización y movilizarse a las aguas superficiales y subterráneas (Lora y Bonilla, 2010).

El cadmio es un metal sin función biológica y puede ser tóxico a niveles relativamente bajos. Este metal es responsable de modificar la composición de las poblaciones microbianas en el suelo y, por ello, de reducir la descomposición de la materia orgánica. Se puede acumular en plantas y en la fauna edáfica o animales superiores a través de pastos o aguas contaminadas (Rábago, 2011).

La absorción de cadmio por las plantas en suelos contaminados y su incorporación a la cadena alimenticia, tiene en la actualidad mucha importancia debido a que este elemento puede alterar el metabolismo humano compitiendo con el hierro, cobre, cinc y manganeso y selenio por ligantes en sistemas biológicos. Además el ión cadmio divalente disminuye significativamente la absorción intestinal del hierro en el cuerpo humano. Cuando se ingiere un alimento contaminado con cadmio el metal se acumula

en los riñones donde su vida media de permanencia es de 18 a 30 años, lo que demuestra la gran dificultad en la eliminación de cadmio por el órgano (Martínez y Palacio, 2010).

El cadmio no tiene función biológica esencial y tanto él como sus compuestos son muy tóxicos para plantas y animales. Se lo encuentra en los suelos como resultado de actividades humanas tales como fundición y refinación de metales, la quema de combustibles fósiles, y la aplicación de fertilizantes fosfatados y lodos de depuradora a los suelos. Su biodisponibilidad en los suelos es generalmente alta en comparación con otros metales como consecuencia de su mayor solubilidad y el predominio de uniones de baja energía con la fase sólida del suelo (Volke *et al*, 2005).

Es relativamente raro en la naturaleza se asocia al zinc. Es de color blanco ligeramente azulado. Peso atómico 112 y densidad relativa 8. Tiene ocho isótopos estables y presenta once radioisótopos inestables de tipo artificial. Naturalmente no se encuentra en estado libre y la greenockita (sulfuro de cadmio) es el único mineral de cadmio. Casi todo el que se produce es obtenido como subproducto de la fundición y refinado de los minerales de zinc. Estados Unidos, Canadá, México, Australia, Bélgica, Luxemburgo y República de Corea son productores importantes (Peris, 2006).

El suelo es uno de los componentes del medio ambiente más involucrado en procesos de polución, ya que actúa como sumidero y, a la vez, fuente de contaminantes. De los constituyentes del suelo, las arcillas han mostrado una alta capacidad de absorción de metales como el Cu y Zn, dependiendo del pH.

La presencia de carbonatos en los suelos también afecta la capacidad retención de metales. Comparando suelos ácidos y suelos calcáreos, observaron la existencia de relaciones entre el incremento del pH y la disminución de la solubilidad de metales (Molina, 2011).

Informaron aumentos en los niveles de cadmio en cultivos que recibieron dosis crecientes de fertilización fosforada. Esto es dependiente del pH, ya que los incrementos del pH favorecen la adsorción de cadmio en el complejo de intercambio y la disminución de cadmio en la solución del suelo. En un estudio de la dinámica de los metales en dos tipos de biosólidos aplicados en suelos, se observó que el cadmio fue el elemento más móvil desde el biosólido al suelo y de éste a la planta y, finalmente, a los granos de cacao (Martínez y Palacio, 2010).

La acumulación de metales en el suelo, no sólo afecta a cultivos y plantas silvestres, sino que en casos extremos provoca la contaminación de aguas subterráneas y superficiales por escorrentía y lixiviación. Muchos de estos elementos son fácilmente asimilados por las plantas y algunos de ellos (Cd, Cu, Ni, Pb y Zn) significan una amenaza para el medio ambiente y la salud, debido a su toxicidad potencial y acumulación en la cadena alimenticia (Galán y Romero, 2008).

Los metales pesados constituyen un grupo de 65 elementos con una densidad mayor de  $5 \text{ g/cm}^3$  y poseen diversas características físicas, químicas y biológicas. Varios elementos resultan esenciales para el crecimiento,

reproducción y/o supervivencia de los organismos vivos; otros, son de gran importancia económica e industrial y pueden ocasionar efectos perjudiciales. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (E.P.A.) ha definido al Hg (un metal traza pesado) como peligroso, una ligera exposición a este metal puede causar daños a la salud humana. Otros nueve metales han sido definidos como posibles elementos peligrosos: Ba, Cd, Cu, Pb, Mn, Ni, Zn, Vn, Sn; su peligrosidad es potencial y deben mantenerse bajo control. Todos estos, excepto el manganeso son metales traza, y todos, excepto el bario, son metales pesados. La fitorremediación constituye un método competitivo y sencillo de limpiar las cada vez más abundantes áreas contaminadas en todo el mundo. La identificación de plantas que germinan en ambientes muy contaminados presenta, frente a otros sistemas complejos de limpieza, un gran interés en la recuperación de suelos y/o aguas, (Camara, 2012).

### **2.1.2. Fitorremediación**

La fitorremediación aprovecha la capacidad de ciertas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos como: metales pesados, metales radioactivos, compuestos orgánicos y compuestos derivados del petróleo. Estas fitotecnologías ofrecen numerosas ventajas en relación con los métodos fisicoquímicos que se usan en la actualidad, por ejemplo, su amplia aplicabilidad y bajo costo, (Delgadillo *et al*, 2011).

Las plantas poseen tres estrategias básicas para crecer sobre suelos contaminados. La primera se presenta en plantas exclusoras de metales, las cuales previenen la entrada de metales o mantienen baja y constante la concentración de estos sobre un amplio rango de concentración de metales en el suelo, principalmente restringiendo la acumulación de los metales en las raíces. La segunda se encuentra en las plantas denominadas indicadoras de metales, que acumulan los mismos en sus tejidos aéreos y generalmente reflejan el nivel de metal en el suelo. Finalmente, la tercera estrategia es la de las plantas acumuladoras, las cuales pueden concentrar metales en sus partes aéreas, en niveles que exceden varias veces el nivel presente en el suelo. Se trata de plantas hiperacumuladoras, capaces de absorber altos niveles de contaminantes y concentrarlos en raíces, tallos y hojas. Es sabido que la tasa de remoción de metales depende de la biomasa cosechada y de la concentración de metal en ésta última. En especies comunes, no-acumuladoras, el bajo potencial para la bioconcentración de metales es frecuentemente compensado por la producción de una biomasa significativa (Carpena, y Bernal, 2007).

Las plantas no acumuladoras tienen una más alta concentración de metal en raíces que en hojas y tallos presentaron un orden general de coeficientes de transferencia entre suelo y planta para la mayoría de los metales biológicamente importantes. El coeficiente de transferencia es la relación entre la concentración del metal en el tejido de la planta y la concentración total del metal en el suelo. Cuando la fuente de metales pesados es el suelo, en general los niveles decrecen en el orden: raíces - tallos- hojas- frutos- semillas. Por ejemplo, plantas jóvenes de girasol (*Helianthus annus L.*)

creciendo en solución nutritiva suplementada con Cd, Cu, Pb y Zn acumularon metales especialmente en las raíces (Navarro *et al.*, 2007).

Las plantas pueden absorber grandes cantidades de metales, pero las raíces generalmente acumulan la mayor parte y, frecuentemente, constituyen el sitio de almacenamiento de ellos. Se evita así que dosis tóxicas se transloquen a los tallos y grano. El transporte a través de la membrana celular de la raíz es un proceso importante que inicia la absorción de metales; la carga eléctrica previene la libre difusión de iones metálicos desde las membranas celulares hacia el citosol sugiere que los estudios sobre la biodisponibilidad potencial de metales deberían considerar los efectos de la rizósfera sobre la solución del suelo, debido a que las propiedades de la solución cambian durante el desarrollo de ésta, y la amplitud de los cambios varía enormemente entre suelos, (Domínguez, 2009).

La capacidad de las plantas para bioacumular metales y otros posibles contaminantes varía según la especie vegetal y la naturaleza de los contaminantes. La absorción de metales, pueden ser atribuidas precisamente a la capacidad de retención del metal, por el suelo de cultivo y a la interacción planta-raíz-metal y al metabolismo vegetal propio. Las aguas del río Bogotá presentaron altos niveles de contaminación, incluyendo metales pesados, sus aguas son utilizadas para el riego de extensiones agrícolas, su objetivo evaluó tratamientos para disminuir la acumulación de cadmio en lechuga. Los tratamientos fueron: (1) crecimiento selectivo de arvenses en las parcelas; (2) aplicación de  $\text{CaCO}_3$  antes de trasplante; (3) incorporación de compost antes de trasplante, y (4) control. Se aplicó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Realizaron mediciones de cadmio en agua, suelo y

lechuga, medidas de crecimiento de la lechuga, el pH y la conductividad eléctrica del suelo encontraron altas concentraciones iniciales de cadmio en suelo (3,97 mg kg<sup>-1</sup>), bajaron significativamente a los 46 días después del trasplante en el tratamiento con arvenses (3,38 mg kg<sup>-1</sup>). El tratamiento con compost disminuyó significativamente la concentración de cadmio en lechuga (0,26 mg kg<sup>-1</sup>) respecto a los otros tratamientos (0,45 - 0,60 mg kg<sup>-1</sup>) y en corto tiempo aumentó significativamente el peso fresco de las lechugas respecto a los demás tratamientos sin fertilizar; no se encontró relación de esta disminución con el aumento del pH (Ruiz, 2011).

### 2.1.3. El girasol

Girasol, es el nombre común de las hierbas anuales (florean en verano y otoño) y vivaces que forman el género *Helianthus*, de la familia de las compuestas (compositae). El género, que tiene unas 67 especies, se considera nativo de Norteamérica, México y Sudamérica, aunque ahora los girasoles son de distribución casi universal. Las formas más altas miden hasta 3 m, pero las hay enanas de 1 m. Las hojas son alternas, acorazonadas, ásperas y peludas. La orientación hacia el sol se debe al crecimiento diferencial del tallo; cuando la iluminación es desigual, en el lado sombreado de la planta se acumula auxina, un regulador del crecimiento vegetal; esta acumulación hace que la parte sombreada crezca más rápidamente que la soleada, y el tallo se inclina hacia el sol, sus flores son de color amarillo y rojo vino, con diámetros de hasta 30 cm (Moody *et al.*, 1994).

El girasol en la antigüedad, era la planta que se cultivaba como ornamental, sin embargo, desde el siglo pasado ha adquirido valor comercial por las semillas. El aceite refinado de girasol es comestible y algunos lo consideran



equiparable por su calidad al de oliva. Sin refinar, se utiliza en la fabricación de jabones y velas. Con el residuo sólido que queda después de extraer el aceite de las semillas se preparan unas tortas usadas como forraje para el ganado. Las semillas crudas se usan en mezclas de alimentación de aves y, tostadas, se destinan también al consumo humano. Se utiliza en muchos países como remedio casero para muchas enfermedades, así, se usan las hojas y flores de la planta contra enfermedades de garganta y pulmonares. En Sudamérica se añade el extracto de flores y semillas al vino blanco como remedio contra enfermedades y para eliminar los cálculos renales y vesiculares. Las raíces de una de las especies, llamada pataca, *Helianthus tuberosus*, son comestibles, y se consumen hervidas, estofadas y horneadas (Holt, 1992)

El girasol crece bien en climas cálidos, con temperaturas de 18 °C a 25 °C con máximas de 35 °C, requieren mucho sol, son susceptibles a las heladas, con un pH del suelo de 6-7, la relación de nutrientes requerida no debe alejarse de la siguiente fórmula: 2.5 N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : 2.5 K<sub>2</sub>O (Hanna, 1999).

Las plantas que pueden crecer y desarrollarse en suelos con altas concentraciones de metales pesados pertenecen a una flora especializada, que coloniza suelos originarios de serpentina o ultramáficos ricos en Ni y calamina (mineral que contiene altas concentraciones de Zn y Cd), naturales o contaminados por la actividad antrópica como la actividad minera. Esas plantas son seleccionadas naturalmente por su alta tolerancia a un determinado metal hipertolerancia, (Diez, 2008).

#### 2.1.4. Plantas con potencial de acumulación de metales pesados

Los metales pesados no pueden ser destruidos no es posible un cambio en la estructura nuclear del elemento, solamente es transformado de un estado de oxidación o complejo orgánico a otro.

Como consecuencia de estos cambios, el metal puede:

- eliminarse por lixiviación,
- ser menos tóxico,
- ser menos soluble en agua hasta precipitar y, por tanto, menos biodisponible,
- ser volatilizado y aislado a partir del área contaminada.

A los metales pesados se le atribuyen determinados efectos de contaminación ambiental y toxicidad. Las altas concentraciones de metales pesados en el suelo pueden provocar cambios evolutivos, debido a sus efectos dañinos. Son potencialmente contaminantes devastadores, ya que contaminan el aire, el agua y el suelo, y son utilizados por las plantas y demás eslabones de la cadena trófica, (García, 2013).

El potencial de empleo de las plantas hiperacumuladoras de metales pesados en el saneamiento de suelos contaminados se encuentra limitado por ciertos factores. Generalmente, acumulan un elemento metálico y no han sido identificadas para otros elementos de interés, la mayoría crece lentamente y produce biomasa reducida; son especies endémicas y poco se conoce sobre ellas, como sus características agronómicas de cultivo y su fisiología. De forma general, los metales de mayor biodisponibilidad para la absorción por las plantas acumuladoras son: el Cd, Ni, Zn, As, Se y Cu. Con un

comportamiento moderado están el Co, Mn y Fe, mientras que el Pb, Cr y U prácticamente no son biodisponibles, (Coto *et al.*, 2005).

El cultivo de girasol es uno de los más importantes en la Argentina, con una superficie de 2,38 millones de has, sembradas en la campaña 2002/2003 y una producción de 3, 800,000 toneladas en el mismo ciclo. Por su germinación a bajas temperaturas (4 a 10 °C) encontró que líneas con 63% o más de ácido linoleico germinaban más rápidamente (Ortiz, 2009).

El girasol (*Helianthus annus L.*) se ubica entre los cultivos productores de aceite más importantes en el mundo, debido a su aceite de alta calidad, contenido de proteína alto, utilización de todas las partes de la planta y a moderados requerimientos de producción en México, el cultivo y la producción de esta oleaginosa se redujeron drásticamente (Olalde *et al.*, 2000).

Utilizó como germinador una placa de gradiente térmico de 1m de longitud modificada de acuerdo a lo propuesto con intervalo de 2 a 42 °C realizado como experimento en condiciones de laboratorio (Hernandez y Paoloni, 1998).

El girasol (*Helianthus annus L.*) es un cultivo oleaginoso tolerante a la sequía con gran potencial para su cultivo en zonas semiáridas como fuente de aceite comestible y por su interés forrajero puede contribuir a aminorar el déficit nacional en grasas alimenticias y a mejorar la vida de los campesinos en zonas agrícolas pobres. La productividad y características morfológicas y fisiológicas de los cultivos (altura, frondosidad, reacción a plagas y factores climáticos, etc) puede ser modificada por cambios nutricionales (fertilización al

suelo o foliar), cambio genético (hibridación y selección o introgresión génica), o cambios en los factores específicos de la regulación del desarrollo fitorregulación, (Silva *et al.*, 2001).

*La Cecropia obtusifolia* es una especie que produce semillas de diferentes tamaños y tonalidades. Como en otras especies, las semillas grandes exhibieron una mayor germinación que las pequeñas. En cuanto al color, las semillas de café oscuro germinaron bien en ambos regímenes de temperatura, mientras que las semillas de color café claro redujeron su germinación a la mitad en el régimen de temperatura más fresco. Dado que las semillas de color café oscuro son las más abundantes, la mayor parte de las semillas que producen los árboles son estables ante variaciones de temperatura, y se espera que dominen el banco de semillas de la especie. En el ambiente más cálido las semillas grandes café claro mostraron mayor germinación que las demás categorías. Sin embargo, en el ambiente más fresco, las semillas grandes café oscuro fueron superiores, evidenciando aptitudes diferenciales entre las combinaciones de tamaño y color de semilla para germinar a distintas temperaturas, (Tenorio *et al.*, 2008).

El factor de bioconcentración (BCF, por sus siglas en inglés) se utiliza frecuentemente para medir la capacidad de extracción del contaminante por parte de las plantas la define como la relación entre la concentración de metal pesado encontrada en la planta respecto a la concentración encontrada en el suelo, como se muestra en la ecuación:

$$BCF = \frac{\text{Concentración del metal en planta}}{\text{Concentración del metal en suelo}}$$

(Chen *et al.*, 2010).

### 2.1.5. El cadmio

El cadmio (*cadmia* en latín y en griego *kadmeia*, significa “calamina”, nombre que recibía antiguamente el carbonato de cinc) fue descubierto en Alemania en 1817 por Friedrich Stromeyer como una impureza en el carbonato de cinc. Desde esa fecha rara vez se utilizó; hasta hace apenas unos 50 años se le encontraron aplicaciones metalúrgicas. Por lo general, el cadmio no se halla en el ambiente como un metal puro, es más abundante en la naturaleza en forma de óxidos complejos, sulfuros y carbonatos en el cinc, plomo y menas de cobre. El cadmio suave y de color blanco plateado es relativamente barato, ya que es un subproducto del procesamiento de metales más valiosos, como el cinc y el cobre. La Agencia Estadounidense para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades, que cataloga los riesgos de los desechos tóxicos de acuerdo con su prevalencia y la gravedad de la intoxicación que originan. Entre los más peligrosos se encuentran el plomo, el mercurio, el arsénico y el cadmio; este último ocupa el lugar número seis de la lista presentada por esa agencia, razón por la cual es de gran interés toxicológico (Dickson, 2013).

El cadmio se usa en pinturas, plásticos, pilas, baterías, abonos, soldaduras, asbestos, pigmentos, barras (reactores nucleares), farmacéutica, fotografía, vidrio, porcelana, etc. Para la mayoría de los seres vivos la principal fuente de exposición al cadmio son los alimentos y el agua, pequeñas partículas de cadmio son absorbidas por el aparato respiratorio, especialmente en trabajadores de la industria del cadmio y en personas expuestas al humo del tabaco. En animales, los rangos de absorción son muy diversos, pero más bajos que en humanos. Las especies con dieta vegetal son los de mayor

acumulación de cadmio, debido a que los alimentos ricos en fibra como cereales, vegetales y papas contribuyen a una mayor exposición (Hernández, 2011).

#### **2.1.6. Los efectos del cadmio en la salud**

El cadmio no se encuentra en el ambiente como un metal puro; es más abundante en la naturaleza en forma de óxidos complejos, sulfuros y carbonatos en el cinc, plomo y menas de cobre. Es relativamente barato, ya que se trata de un subproducto del procesamiento de metales más valiosos, como el cinc y el cobre. Sus variadas aplicaciones en la galvanoplastia, la galvanostelgia y la galvanización, así como su uso en plásticos, pigmentos para crear tintes, pinturas, y cerámica, y baterías de níquel y cadmio, se deben a su gran resistencia a la corrosión y a sus propiedades electroquímicas. Los metales pesados constituyen un riesgo considerable para la salud por el contacto frecuente laboral y ambiental. Entre los más peligrosos se encuentran el plomo, el mercurio, el arsénico y el cadmio. En la población general la comida y los cigarrillos son las principales fuentes de exposición al cadmio, la cual suele ser de carácter crónico. Los efectos tóxicos del cadmio se manifiestan especialmente en los huesos y riñones y las personas que tienen bajas reservas de hierro son particularmente vulnerables a estos efectos adversos. Es de interés informar y hacer notar los efectos provocados por este metal ubicado entre los más peligrosos, según la Agencia Estadounidense para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades, así como continuar impulsando la educación para la salud con el fin de evitar la contaminación ambiental por cadmio, (Pérez *et al.*, 2012).

Estudiaron sobre los metales pesados y el riesgo potencial que pueden representar en la salud del hombre y los animales, incluyendo la cadena trófica. Con el fin de contribuir al conocimiento y sentar bases sobre la situación de estos contaminantes en nuestro medio. Sin lugar a dudas las explotaciones mineras, la contaminación del suelo, el agua, las plantas y animales por cuenta de la industrialización, los fertilizantes, insecticidas químicos y otras actividades propias del desarrollo de las sociedades actuales han propiciado el aumento exagerado de metales pesados: mercurio (Hg), plomo (Pb), arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr), entre otros y como consecuencia directa la contaminación. Además sumado a factores como: el cambio climático, el efecto invernadero, la deforestación, la pérdida de recursos naturales en flora y fauna han aumentado la amenaza de los metales pesados en la naturaleza. El objetivo consistía en examinar los metales pesados en cuanto su origen, distribución, usos generales y principales alteraciones sobre el ambiente, afectando además la salud humana y animal. A fin de propiciar mayor concientización e investigación sobre el tema, que conlleve a la disminución de los riesgos de los metales pesados en los ecosistemas (Molina *et al.*, 2013).

## 2.2. Antecedentes

### 2.2.1. El Cadmio en los suelos

Las fuentes de cadmio para el suelo incluyen los fertilizantes, los desechos de la fabricación de cementos, la disposición de residuos sólidos y las aguas residuales industriales.

En los suelos que se dice que no están contaminados existe alrededor de 1 mg/kg de Cd (1 ppm) mientras que en los lugares contaminados se ha encontrado por arriba de 16 mg/kg de Cd (Galvao y Corey, 1987).

Algunos suelos pueden contener niveles de concentración de cadmio superiores a 27 mg/kg, como resultado del depósito de lodos en suelos, y a 60 mg/kg en los alrededores de las industrias procesadoras de metales (Albert, 1997).

Los lugares que han sido regados con aguas residuales, por varias décadas, las concentraciones medias más altas de cadmio, se encuentran en la parte superficial del suelo, por ejemplo, en Hidalgo, México, se han encontrado concentraciones de entre 4.8 y 7.9 mg/kg de Cadmio (con concentraciones de fondo de entre 1.9 y 2.4 mg/kg) en profundidades de entre 0 y 33 cm del perfil del suelo, en zonas que han sido regadas por más de 40 años con aguas residuales. Las características del suelo juegan un papel importante en reducir o aumentar la toxicidad de los metales en el suelo, comentan que la distribución de los metales pesados en los perfiles del suelo, así como su disponibilidad está controlada por parámetros como propiedades intrínsecas del metal y características de los suelos. Los metales tienden a acumularse en la superficie del suelo quedando accesibles al consumo de las raíces de los cultivos (García y Dorrnsoro, 2002).

Así lo denomina, cuando el contenido de metales pesados en el suelo alcanzan niveles que rebasan los límites máximos permitidos causan efectos inmediatos como inhibición del crecimiento normal y el desarrollo de las



plantas, y un disturbio funcional en otros componentes del ambiente así como la disminución de las poblaciones microbianas del suelo, el término que se usa o se emplea es “polución de suelos” (Iannacone *et al.*, 2000).

En muestras de suelo colocadas en núcleos de PVC, es una espuma de célula cerrada y entrecruzada. Otras características clave que se incluyen resistencia química, baja absorción de agua y una excelente capacidad de aislamiento térmico. (11 cm de diámetro y 40 cm de largo) aplicaron en forma fraccionada 0, 50, 100 y 150 ppm de cadmio e incubaron por cuatro meses manteniendo la humedad a capacidad de campo, evaluaron el contenido de Cadmio-total y Cadmio- intercambiable en la parte superior, media e inferior de los núcleos. Los contenidos de Cadmio- total en el testigo no sobrepasaron el límite permisible de 3 ppm establecido por OMS - FAO, Organización Mundial de Salud -Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. La mayor concentración cadmio - total aplicado y cadmio intercambiable encontraron en la parte superior de los núcleos, lo cual indica baja movilidad del cadmio en el perfil de los suelos evaluados (Insuasty *et al.*, 2006).

### **2.2.2. Absorción y transporte de cadmio en plantas**

El cadmio no es considerado como un elemento esencial para los procesos metabólicos pero sin embargo es absorbido por sistemas de organografía vegetal, acumulado en cantidades apreciables. En cada caso de estudio se comprueba una relación lineal entre el cadmio en la planta y el presente en el medio de crecimiento, el pH es considerado como el principal factor que controla la asimilación total y relativa del cadmio, hay resultados donde

indican que el cadmio llega a ser más móvil en suelos alcalinos; debido a la formación de complejos o quelatos metálicos, también en otros la asimilación del cadmio por la planta llega a ser independiente del pH (Kabata- Pendias y Pendias, 1992).

Observaron que existe una excepción con los girasoles, cuando el pH del suelo se incrementa (pH 6.5-7) no se reduce la asimilación de cadmio ni su transferencia a las hojas. Además del pH, las características del suelo también pueden causar diferencias en la asimilación. En suelos ácidos, la materia orgánica puede controlar fuertemente la solubilidad del cadmio, cuando ésta se incrementa, las formas intercambiables de cadmio también lo hacen. Las especies solubles son las más disponibles para la planta, el cadmio y otros metales pesados se transportan fácilmente dentro de ella en forma de complejos metal orgánico. 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 (Li *et al.*, 1996).

Los valores de pH iniciales promedio en los lotes son de 7,9, 7,6 y 8,5 y los valores después del tratamiento son 7,4, 6,1 y 7,8 lo cual demuestra que el pH disminuyó a través del tiempo teniendo gran influencia en cuanto a la movilidad de los metales en el suelo ya que a medida que este valor fue menor se logró una disminución en la concentración de los metales pesados. Cabe anotar que de igual forma el mantener unos valores de pH altos implica que la movilidad de metales sea baja especialmente en el caso del plomo. En términos generales los valores promedio en los lotes la Laguna, el

Plan y el Churrusco para metales como zinc de 1781,3 mg/kg, 698,4 mg/kg y 2191,8 mg/kg, cobre de 488,2 mg/kg, 355,6 mg/kg y 462,3 mg/kg, manganeso de 46,8 mg/kg, 48,6 mg/kg y 48,3 mg/kg y hierro 198,0 mg/kg, 180,9 mg/kg y 175,8 mg/kg no superaron los límites establecidos para determinarse como nivel de contaminación (Herrera, 2009).

Identificó una amplia diversidad de especies que se emplean para la fitorremediación. Algunas de ellas, debido a su gran capacidad para acumular metales pesados, reciben el nombre de hiperacumuladoras. Por definición, estas plantas deben acumular al menos 100 µg/g (0.01 % peso seco) de Cd y As; 1000 µg/g (0.1 % peso seco) de Co, Cu, Cr, Ni y Pb; y 10 000 µg/g (1.0 % peso seco) de Mn (Watanabe, 1997).

### **2.2.3. Los vegetales como rizofiltrador**

En la cuenca del río Aconcagua, Chile central, recolectaron muestras de suelo contaminados con Cobre; los suelos 1 y 2 del Valle de Catemu y el suelo 3 del Valle de Puchuncaví. En esos suelos, inoculados (M<sup>+</sup>) y no inoculados (M<sup>-</sup>) con Micorrizas Arbustivas, sembraron semillas de girasol. A los 50 días midieron la biomasa seca, colonización micorrízica y concentración de Cobre en los tejidos de las plantas. Los suelos presentaron Cu total 382-7678 mg kg<sup>-1</sup>, y Cu disponible 72-574 mg kg<sup>-1</sup>. El mayor crecimiento de las plantas presentó en los tratamientos M<sup>+</sup> (p ≤ 0.05) respecto a sus testigos M<sup>-</sup>. Hubo una disminución significativa (p ≤ 0.05) en la colonización (67, 32 y 58 %) al aumentar el Cu en el suelo y las plantas M<sup>+</sup> presentaron mayor capacidad para acumular Cu (285-697 mg kg<sup>-1</sup>) en los tres suelos respecto a sus testigos M<sup>-</sup>. La acumulación de Cu fue mayor en

la raíz que en el tejido aéreo. Se concluye que las Micorrizas Arbustivas (*Glomus spp.*) contribuyen al crecimiento y la acumulación de Cu en girasol y favoreciendo los procesos de recuperación de suelos (Castañon *et al.*, 2013).

Estudiaron el efecto de tamaño y color de la semilla de *Cecropia obtusifolia* Bertol en su germinación. Hubo dos tamaños: semillas chicas (1.3 mm longitud) y grandes (1.7 mm longitud); tres colores de la cubierta seminal: negro, café claro y café oscuro; dos temperaturas en cámara de ambiente controlado: 30 °C en el día y 25 °C en la noche, 25 °C en el día y 20 °C en la noche. El diseño experimental fue de bloques completos al azar, con los bloques anidados dentro del factor temperatura. El color y el tamaño influyeron significativamente ( $p \leq 0.05$ ) en la capacidad germinativa, al igual que las interacciones temperatura x color, tamaño x color, y la interacción triple: temperatura x tamaño x color. Las semillas grandes germinaron casi el doble que las pequeñas; las de color café oscuro germinaron bien en ambos regímenes de temperatura. Con temperatura alta la mayor germinación fue en semillas grandes color café claro; con temperatura baja, las semillas grandes color café oscuro germinaron más. Así, las variantes en tamaño y color de las semillas les permiten germinar en distintas condiciones ambientales, (Tenorio *et al.*, 2008).

La acción antrópica puede causar la contaminación de suelos con metales, para la remediación de pequeñas áreas contaminadas, sugirió el uso de plantas ornamentales, inicialmente estudió la capacidad de fitorremediación

de tres especies del género *Pelargonium* en un suelo contaminado con cadmio, zinc, cobre, cromo, níquel y plomo, y se seleccionó la más tolerante (*Pelargonium hortorum*) en sus objetivos fue estudiar en qué fracciones químicas y físicas del suelo se ubican los metales, a partir de cuales los absorbe *Pelargonium hortorum* en que órgano los acumula, incluyendo la influencia de la rizósfera y el estudio de los fenómenos de sinergismo-antagonismo entre metales. La acumulación en planta fue raíces- tallos- hojas- flores. En general, la rizósfera no intervino en la regulación de la disponibilidad de los metales y la capacidad de remoción de las plantas mantuvo estable a lo largo de las cosechas, los parámetros más afectados en la planta fue la formación de nuevas hojas y flores, y el tamaño de las mismas, afectando la calidad comercial del cultivo. La especie estudiada no es hiperacumuladora y su calidad comercial es afectada sólo podría utilizarse con fines de remediación cuando la concentración de metales en el suelo no sea muy elevada (Orroño, 2002).

Lograron determinar las condiciones óptimas para obtener una absorción cuantitativa de Cd (II) y Hg (II) con *Eichhornia crassipes* ( jacinto de agua), siendo los resultados obtenidos, dosis óptima 1ml de A y 0,5 ml de B, pH 5, concentración de Cd (II) y Hg (II) 5 mg/L y porcentaje de absorción máxima en *Eichhornia crassipes*, 16,56 % para el Cd (II) y 15,60 % para el Hg (II) en el sétimo día, demostrando así la efectividad de la técnica de fitorremediación. Por lo tanto, la especie *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) es una planta potencialmente aprovechable para remover cadmio (II) y mercurio (II) en aguas contaminadas; dándole las condiciones óptimas para

realizar el proceso obtienen resultados favorables para la remoción de estos iones metálicos estudiados (Poma y Valderrama, 2014).

En cuanto a desarrollo la Mombasa alcanza una mayor altura, pero menor cobertura de la superficie del suelo y la *Brachiaria decumbens* genera mayor densidad y cobertura en el suelo. El tratamiento con Mombasa demostró una eficiencia para fitorremediación media ya que los resultados obtenidos inicial promedio para cadmio y plomo son 250,8 mg/Kg y 1.135,5 mg/kg para la Laguna , 42,1 mg/kg y 1.256,6 mg/kg para el Churrusco y 123,8 mg/kg y 1.280,3 mg/kg para el Plan y en comparación con los obtenidos al final del tratamiento que para cadmio y plomo son 164,7 mg/kg y 948,6 mg/kg para la Laguna, 0,0 mg/kg y 940,9 mg/kg para el Churrusco 35,8 mg/kg y 985,5 mg/kg para el Plan; lo cual presenta una disminución en la concentración de metales en el suelo. Es importante resaltar que el valor registrado para cadmio en el segundo fue de 0,0 mg/kg ya que los datos obtenidos de medición fueron demasiado bajos para ser detectados por el equipo siendo beneficioso para el suelo, pero sin embargo sigue registrando valores tóxicos para plomo. Además, se evidencia que el primer y tercero siguen obteniendo valores considerados tóxicos tanto para cadmio como para plomo (Acosta y Montilla, 2011).

#### **2.2.4. Actividades del hombre por emitir sustancias al ambiente.**

Uno de los rasgos característicos de la sociedad moderna es la creciente emisión al ambiente de sustancias contaminantes, destacando aquellas que proceden de las actividades industriales, mineras, agropecuarias, artesanales y domésticas. Estos compuestos representan una amenaza para

los seres vivos, por lo que se han desarrollado una serie de métodos para enmendar el impacto causado. Los métodos convencionales suelen ser costosos y pueden afectar de manera irreversible las propiedades del suelo, agua y de los seres vivos que en ellos habitan (Padmavathiamma y Li, 2007).

La limitada eficacia de los tratamientos fisicoquímicos y el aumento de los costos han estimulado el desarrollo de nuevas tecnologías. Por lo que, la fitorremediación representa una alternativa de desarrollo sustentable y de bajo costo para la rehabilitación de ambientes afectados por contaminantes naturales y antropogénicos (Singh y Jain, 2003).

Las plantas realizan la captura de elementos tóxicos mediante diversos mecanismos. Esto ocurre a través de transportadores altamente específicos presentes en sus raíces con una gran capacidad para absorber distintos contaminantes. La técnica de fitorremediación, utiliza la vegetación para la descontaminación *in situ* de suelos y sedimentos contaminados por metales, no bioelementos y contaminantes orgánicos. Se trata de una ecotecnología, basada en la capacidad de algunas plantas para tolerar, absorber, acumular, y transformar, contaminantes del suelo. Al tomar por las raíces el agua y los nutrientes, las plantas también extraen del suelo los contaminantes, dependiendo de la sustancia, podrá almacenarse en las raíces y hojas, o transformarse en sustancias menos perjudiciales en el interior de la planta o en gases no tóxicos que se liberan al ambiente, está siendo aplicada en diversos países para recuperar terrenos contaminados, ya sea por compuestos orgánicos como inorgánicos. Se conocen unas 400 especies de

plantas que pueden acumular selectivamente algunas sustancias tóxicas. La mayoría son muy conocidas, como el girasol, dentro de una lista donde están también el frijol, la mostaza, el tomate, el ayote, el sauce y otros (Llugany *et al.*, 2003).

### 2.2.5. Tipos de contaminantes

La contaminación del ambiente se produce por la incorporación de cualquier tipo de energía, organismo o sustancia, que afecta las características de los ecosistemas, modificando negativamente sus propiedades y su capacidad para asimilarlas o degradarlas. Su entrada se realiza como consecuencia de las actividades antropogénicas, aunque también se puede producir de forma natural. De manera general, los contaminantes se clasifican en: Contaminantes orgánicos: incluyen hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH's), PCB's, dioxinas, hidrocarburos de petróleo, disolventes clorados, compuestos aromáticos que se emplean en la producción de colorantes, explosivos, productos farmacéuticos, plaguicidas (herbicidas, insecticidas y fungicidas), surfactantes, entre otros. En comparación con los compuestos inorgánicos, estos contaminantes son menos tóxicos para las plantas, ya que son menos reactivos y se acumulan en menor proporción, (Perez *et al.*, 2002).

Algunos elementos traza son esenciales para la nutrición y crecimiento de plantas (B, Cu, Fe, Mn, Mo y Zn) y animales (As, Cu, Co, Fe, Mn, Mo, Zn, Cr, F, Ni, Se, Sn y V). La toxicidad de estos elementos depende de la concentración, la forma química y su persistencia. En general, los mecanismos involucrados en la remoción de contaminantes son de tres



tipos: físicos (sedimentación, filtración, adsorción, volatilización), químicos (precipitación, hidrólisis, reacciones de óxido-reducción o fotoquímicas) y biológicos, resultado del metabolismo microbiano, del metabolismo de plantas o de procesos de bioabsorción (Diez, 2008).

Otro fenómeno importante es el relacionado con la atracción electrostática entre las cargas eléctricas de las raíces de las plantas con las cargas opuestas de partículas coloidales, las cuales se adhieren a la superficie de la raíz donde son absorbidas y transportadas a las partes aéreas donde se metabolizan o volatilizan. El tipo de planta y las propiedades físicas y químicas de estos compuestos son parámetros importantes que determinan el destino de los contaminantes (Eapen *et al.*, 2007).

Los metales pesados son aquellos elementos químicos que presentan una densidad igual o superior a  $5 \text{ g/cm}^3$  cuando están en forma elemental o cuyo número atómico es superior a 20 (Prieto *et al.*, 2007).

#### 2.2.6. Tecnologías de fitorremediación

Las fitotecnologías se basan en los mecanismos fisiológicos básicos que tienen lugar en las plantas y en los microorganismos asociados a ellas, tales como: transpiración, fotosíntesis, metabolismo y nutrición.

**Tabla 1.** Fitotecnologías de fitorremediación a partir de mecanismos fisiológicos.

Mecanismos de fitorremediación		
Proceso	Mecanismo	Contaminantes
Fitoestabilización	Complejación	Orgánicos, inorgánicos
Fitoextracción	Hiperacumulación	Inorgánicos
Fitovolatilización	Volatilización a través de las hojas	Orgánicos, inorgánicos
Fitoimmobilización	Acumulación en la rizósfera	Orgánicos, inorgánicos
Fitodegradación	Uso de plantas y microorganismos asociados para degradar contaminantes	Orgánicos
Rizofiltración	Uso de raíces para absorber y adsorber contaminantes del agua	Orgánicos, inorgánicos

Fuente: (Rábago, 2011).

La fitoestabilización permite inmovilizar contaminantes en el suelo a través de su absorción y acumulación en las raíces o bien, por precipitación en la zona de la rizósfera. El proceso reduce la movilidad de los contaminantes y evita su migración a las aguas subterráneas o al aire. Es efectiva en suelos de textura fina con alto contenido de materia orgánica. Se aplica principalmente en terrenos extensos en donde existe contaminación superficial. Esta tecnología tiene como ventajas, sobre otros métodos de remediación de suelos, que es de menor costo, fácil de aplicar y estéticamente agradable. Algunas plantas empleadas con fines de fitoestabilización son: *Hyparrhenia hirta* (Pb); *Zygophyllum fabago* (Zn); *Lupinu salbus* (Cd, As); *Anthyllis vulneraria* (Zn, Pb, Cd); *Deschampsia cespitosa* (Pb, Cd, Zn); *Cardaminopsis arenosa* (Cd, Zn); *Horedeum vulgare*, *Lupinus angustifolius* y *Sécale cereale* (As); *Loliumitalicum* y *Festuca arundinaceae* (Pb, Zn); y *Brassica júncea* (Cd, Zn, Cu, Mn, Fe, Pb) (Padmavathiamma y Li, 2007).

La fitoinmovilización provoca la sujeción y reducción de la biodisponibilidad de los contaminantes mediante la producción de compuestos químicos en la interfaz suelo-raíz, los que inactivan las sustancias tóxicas, ya sea por procesos de absorción, adsorción o precipitación (Carpena y Bernal, 2007).

La fitorremediación es una tecnología barata y con gran potencialidad en el saneamiento y recuperación de suelos, nueve metales han sido definidos como posibles elementos peligrosos: Ba, Cd, Cu, Pb, Mn, Ni, Zn, Vn, Sn; su peligrosidad es potencial y deben mantenerse bajo control. Todos estos, excepto el manganeso son metales traza, y todos, excepto el bario, son metales pesados (Poulin y Gibb, 2008).

En la combinación de los tratamientos realizada, la fitorremediación demostró una eficiencia fitorremediadora alta ya que los resultados obtenidos inicial promedio fueron para cadmio y plomo con 250,8 mg/Kg y 1135,5 mg/kg, lo cual presenta una disminución en la concentración de metales en el suelo. Es importante resaltar que el valor registrado para cadmio fue de 0,0 mg/kg ya que los datos obtenidos de medición fueron demasiado bajos para ser detectados por el equipo siendo beneficioso para el suelo, pero sin embargo sigue registrando valores tóxicos para plomo, se evidencia que siguen obteniendo valores considerados tóxicos tanto para cadmio como para plomo demostrando que de acuerdo a los tratamientos aplicados es más eficiente el realizado con la combinación de semillas ya que fue la que más concentración de metales absorbió aunque estas no se deben considerarse hiperacumuladora si es una buena alternativa para la reducción de metales pesados. Es importante destacar que las dos especies

de gramíneas *Mombasa* y *Brachiaria decumens* toleraron las condiciones de contaminación a las que fueron expuestas y también absorbieron los metales de cadmio y plomo en diferente grado (Acosta y Montilla, 2011).

En el año 2012 en Sangolqui (Ecuador) realizó un estudio sobre la determinación de la capacidad fitorremediadora de cadmio por la planta denominada Camacho (*Xanthosoma undipes koch*) especie vegetal nativa en el área de influencia de Empresa petrolera Petro Ecuador en el distrito amazónico en donde diseñaron dos experimentos uno piloto en campo y otro en un vivero. El experimento consistía en exponer la especie fitorremediadora a diferentes concentraciones de cadmio y luego analizar en el material vegetal y el suelo la concentración de este metal por medio de la absorción atómica por llama; además también se determinó el estrés oxidativo por exposición a este elemento. Los resultados del vivero mostraron una remoción del cadmio en un 79,67% y no se registró ningún síntoma de estrés oxidativo; y para el de campo que se utilizaron dos especies se tuvo que para el maíz fue 59,87% y con Camacho 55,17% del cual se puede decir en definitiva que las dos especies son alternativas para la recuperación de este suelo (Musso, 2012).

En Bogotá en el 2010 la universidad UDCA realizó un estudio sobre la remediación de un suelo contaminado por cadmio y cromo en la cuenca alta del río Bogotá, para lo cual utilizaron lechuga romana y pasto rey grass bajo condiciones de casa de malla o invernadero. En este estudio obtuvieron valores muy representativos en cuanto a la reducción de concentración de elementos contaminantes para *Rye grass*, la aplicación de 6000 kg/ha de

CaCO<sub>3</sub> o de 600 kg/ha de Ca (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> redujo el Cd, a niveles no tóxicos; para Cr, la aplicación de 4000 kg/ha de CaCO<sub>3</sub> o de 400 kg/ha de FeSO<sub>4</sub> rebajó, significativamente, su contenido. Para lechuga, la aplicación de 6000 kg/ha de CaCO<sub>3</sub> o de 2000 kg/ha de diatomácea activada disminuyó, representativamente, el Cd en la planta. Para Cr, el CaCO<sub>3</sub> o el FeSO<sub>4</sub> a niveles de 2000 kg/ha y 400 kg/ha, respectivamente, redujeron significativamente su contenido en la planta (Lora y Bonilla, 2010).



### CAPÍTULO III

#### METODOLOGÍA

##### 3.1. Lugar de estudio

Se tomaron las muestras de suelo al azar del centro poblado La Rinconada, que se encuentra a una altitud de 5100 msnm, en las coordenadas de E 451805.96 y S 8382480.57.

##### 3.2. Métodos

El trabajo se realizó en los meses de Noviembre 2015 hasta Noviembre del 2016, en invernadero y a la intemperie en la ciudad de Puno, se aplicó las semillas de girasol (*Helianthus annuus* L.) el sustrato suelo fueron traídas del centro poblado La Rinconada, en muestras al azar de 0 a 35 cm de profundidad.

##### 3.2.1. Concentración de cadmio en suelos provenientes del Centro Poblado La Rinconada.

Para el experimento se recolectaron dos muestras de suelo que se tomaron de suelo superficial hasta 35 cm de profundidad, 20 kg por muestra, traídas de La Rinconada se transportaron en baldes plásticas al laboratorio de

Biología, se secaron en estufa a 40 °C por 24 h, continuando con su secado durante cuatro días, los suelos se esterilizaron en autoclave, durante 2 horas.

Luego fueron transportados a los Laboratorios Analíticos del Sur- Arequipa para su análisis respectivo, concentración de cadmio (Método de ensayo aplicado \*762 para Cadmio por Absorción Atómica).



**Figura 1.** Ubicación de la toma de muestras de suelo al azar, en La Rinconada, Puno – Perú.

El procedimiento fue el siguiente:

- Secar y tamizar en malla de 2 mm la muestra de suelo.
- Pesar 5 gr de suelo y colocarlos en un contenedor de plástico con tapa de 60 ml de capacidad.

- Agregar 50 ml de ácido nítrico 4 molar (260 ml/litro) en el contenedor de plástico.
- Colocar en baño isotérmico por 12 horas a 70° C.
- Retirar del baño isotérmico y dejar a temperatura ambiente.
- Agitar por una hora en placa.
- Filtrar y recolectar el filtrado.
- Analizar el residuo filtrado por absorción atómica.

Los resultados fueron expresados en mg de cadmio por kg de suelo (mg/kg), para las comparaciones con los estándares de calidad para suelos.

Se distribuyó en dos condiciones experimentales de invernadero y a la intemperie, para luego evaluar la temperatura y el pH de las muestras de suelo, propuesta por (Volke y Velasco, 2002).

### **3.2.2. Determinación de la capacidad de absorción de cadmio en la organografía vegetal (raíz, tallo y hojas).**

Se colocó el sustrato con cadmio en 20 macetas, donde se usaron 60 semillas de girasol (*Helianthus annuus* L.) Se sembraron 1 a 3 semillas de girasol desinfectadas (90% germinación) de 1 kg de suelo por maceta, para garantizar el desarrollo de por lo menos una planta por maceta. Para el trabajo de investigación se repartió 10 maceteros de girasol con sustrato de suelo con presencia de cadmio en ambiente controlado (invernadero) e igual concentración para la intemperie. Una vez por semana en cada planta se procedió a medir la altura, diámetro del tallo y número de hojas.

Se realizó el seguimiento del desarrollo de las plantas girasol, mediante mediciones de su crecimiento hasta el final de su ciclo biológico. Luego



fueron transportados a los Laboratorios Analíticos del Sur- Arequipa para su análisis respectivo, concentración de cadmio (Método de ensayo aplicado \*5054 para Cadmio en matrices complejas por ICP-OES).

El procedimiento fue el siguiente:

- Las partes de la planta de girasol fueron previamente lavados, cortados y secados a 60 °C en la estufa hasta peso constante.
- Las muestras secas fueron maceradas y pesadas (50 g. aprox.), se colocaron 10 g de esta muestra en crisoles de porcelana previamente identificados y lavados con HCl 5 % y agua bidestilada.
- Se carbonizaron las muestras en flama hasta ausencia de humo.
- Se Calcinaron las muestras en una mufla a una temperatura de 600 °C.
- Las cenizas obtenidas de la muestra fueron tratadas con aproximadamente 5 ml de HCl 20% v/v y filtradas, recogiendo el filtrado en un matraz de aforación de 25 ml.
- La muestra se transfirió a un recipiente de polipropileno con capacidad de 50 ml, previamente lavado con agua bidestilada.
- Una vez listas las muestras tuvieron que mantenerse en refrigeración a 4 °C hasta el tiempo de realizar el análisis por absorción atómica.
- Se preparó un blanco reactivo consistente en 5 ml de HCl 20% aforando a 25 ml con agua bidestilada.

Consiste en el uso de seres vegetales para la descontaminación, haciendo uso de los sistemas radiculares de plantas y árboles para la extracción de metales pesados y otros contaminantes de suelo, agua y aire, según (Noguera-Solís, y Huete-Pérez, 2008).

### 3.2.3. Diseño experimental y análisis estadístico

Para la distribución de tratamientos se ha utilizado el diseño de bloque completo al azar (DBCA), considerando como bloques el ambiente de siembra en ambiente controlado (invernadero) y a la intemperie, como fuente principal de análisis fueron raíz, tallo y hojas, la variable de respuesta fue el contenido de cadmio absorbido (Cd).

**Tabla 2.** Unidades experimentales en el diseño bloque completo al azar

Ambiente	Raíz	Tallo	Hojas	Total
Interior	3	3	3	9
Exterior	3	3	3	9
			Total	18

El modelo lineal aditivo fue:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$ : Variable de respuesta (contenido de cadmio)

$\mu$ : Media general

$\tau_i$ : Efecto de la parte de la planta (raíz, tallo y hojas)

$\beta_j$ : Efecto del ambiente de siembra en el invernadero y a la intemperie

$\varepsilon_{ij}$ : Error experimental

El análisis estadístico fue mediante análisis de varianza (ANOVA), para la comparación de los promedios tanto para los bloques como las partes de la

planta, se utilizó la prueba de rango múltiple de Tukey, en ambos casos se utilizó un error  $\alpha=0.05$ .



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Concentración de cadmio en muestras de suelos.

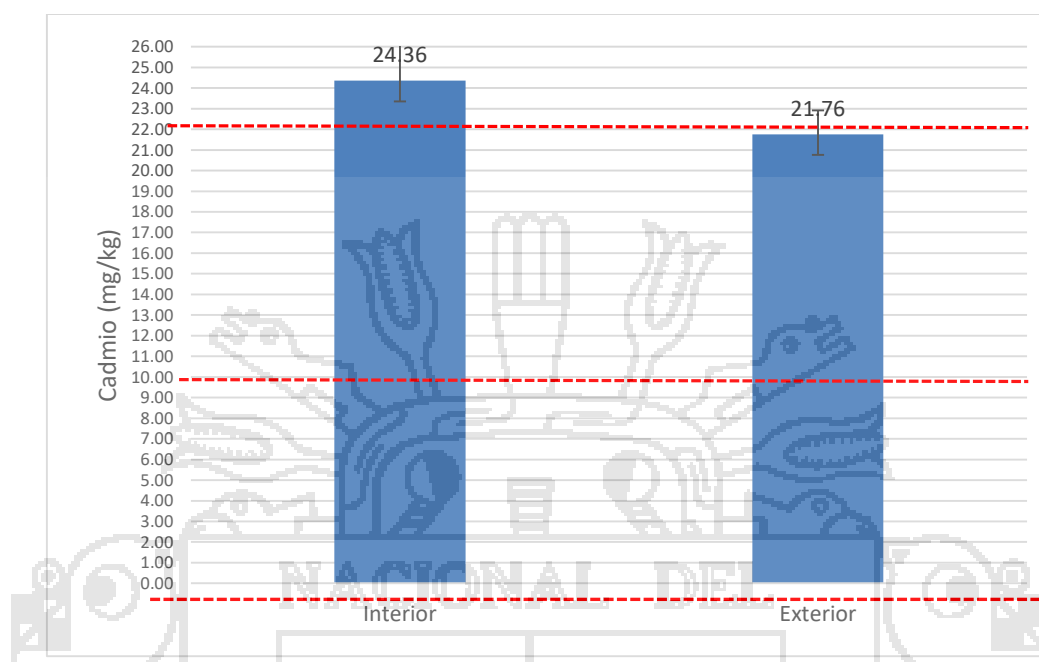
En la Tabla 3 y Figura 2, se presenta los resultados del análisis de contenido cadmio (Cd) para la muestra de suelo provenientes de La Rinconada, se tiene para el interior (invernadero) un valor promedio de 24.36 mg/kg de Cd, mientras que para el exterior se determinó 21.76 mg/kg de Cd, la desviación estándar fue de 1.89 y 1.15 mg/kg respectivamente.

**Tabla 3.** Concentración de cadmio (Cd en mg/kg) en suelos provenientes del centro poblado La Rinconada en la región Puno, 2015

Lugar	Interior	Exterior
Repetición 1	24.898	20.746
Repetición 2	22.254	21.525
Repetición 3	25.926	23.0125
Promedio	24.36	21.76
Desviación estándar	1.89	1.15

Los resultados indican un ligero mayor contenido de cadmio para las muestras del ambiente interior (invernadero) sin embargo, el análisis estadístico señala que no existe diferencia entre ambos promedios ( $p=0.112$ , anexo 2), de lo cual se establece que el cultivo de las plantas de

girasol se realizó con las mismas concentraciones de cadmio en ambos ambientes (interior y exterior).



**Figura 2.** Concentración de cadmio (Cd) en suelos provenientes del centro poblado La Rinconada en la región Puno, 2015

En la Figura 2, se muestra que los valores de contenido de cadmio en la muestra de suelo de La Rinconada supera el estándar de calidad ambiental para suelo agrícola (1.4 mg/kg), así mismo supera el valor para suelo residencial/parques (10 mg/kg), también se tiene que logra superar el valor referencial para suelos comercial/industrial/extractivos (22 mg/kg), de lo cual se establece que la calidad de este suelo no es apta para los diferentes usos de suelo, por lo que no debería ser utilizada para ninguna de las actividades señaladas, entre ellas el uso agrícola.

Los resultados ponen en evidencia que los suelos de la zona de La Rinconada presentan afectación por la actividad minera, considerando que suelos no contaminados contienen alrededor de 1 mg/kg de cadmio, mientras que lugares

contaminados se ha encontrado por encima de 16 mg/kg de cadmio (Galvao y Corey, 1987), nuestros resultados demuestran que el grado de contaminación por el metal cadmio es elevado en suelos del ámbito de toma de muestra, para suelo Comercial/Industrial/Extractivos por el método de ensayo EPA 3050-B EPA 3051 debe contener cadmio total (22 mg/kg MS)<sup>(2)</sup>, según los Estándares de Calidad Ambiental, Ministerio del Ambiente en el Perú, (ECA 2013).

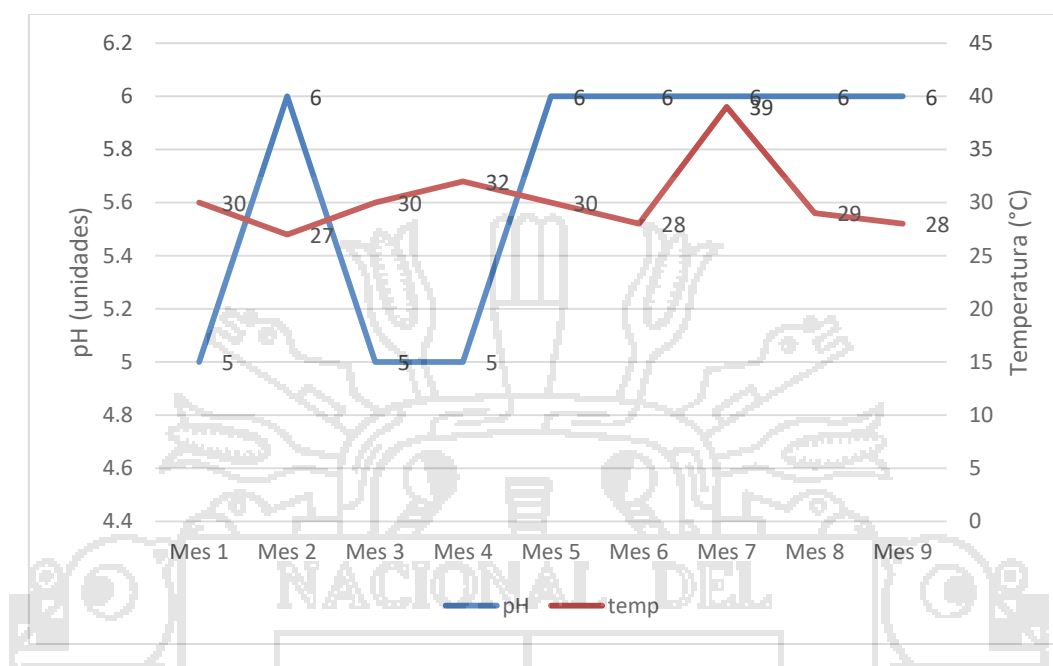
Sin embargo, se señala que algunos suelos pueden contener niveles de concentración de cadmio superiores a 57 mg/kg, como resultado del depósito de lodos en suelos, y a 160 mg/kg en los alrededores de las industrias procesadoras de metales (Albert, 1997), considerando que la muestra de suelo fue tomada en los alrededores de los relaves mineros, es evidente que el contenido de cadmio es elevado, por lo que su utilidad como medio de cultivo ha sido afectada.

#### **4.2. Capacidad de absorción de cadmio por el cultivo de girasol en raíz, tallo y hojas.**

En la Figura 3, se muestra las mediciones del pH del suelo, para los nueve meses de desarrollo de las plantas de girasol, este parámetro se mantuvo entre 5 y 6 unidades y se le puede considerar entre fuertemente ácido y moderadamente ácido, considerando que las plantas pueden desarrollarse entre 5.5 y 7 unidades de pH, podemos considerar que la muestra de suelo de La Rinconada, si bien presenta un pH ácido si puede servir de sustrato para los fines que persiguió el estudio.

##### **a. Potencial de hidrógeno (pH) y temperatura**

La temperatura ambiental del invernadero se mantuvo entre 27 a 39 °C, que se pueden considerar temperaturas relativamente elevadas para el cultivo del girasol.



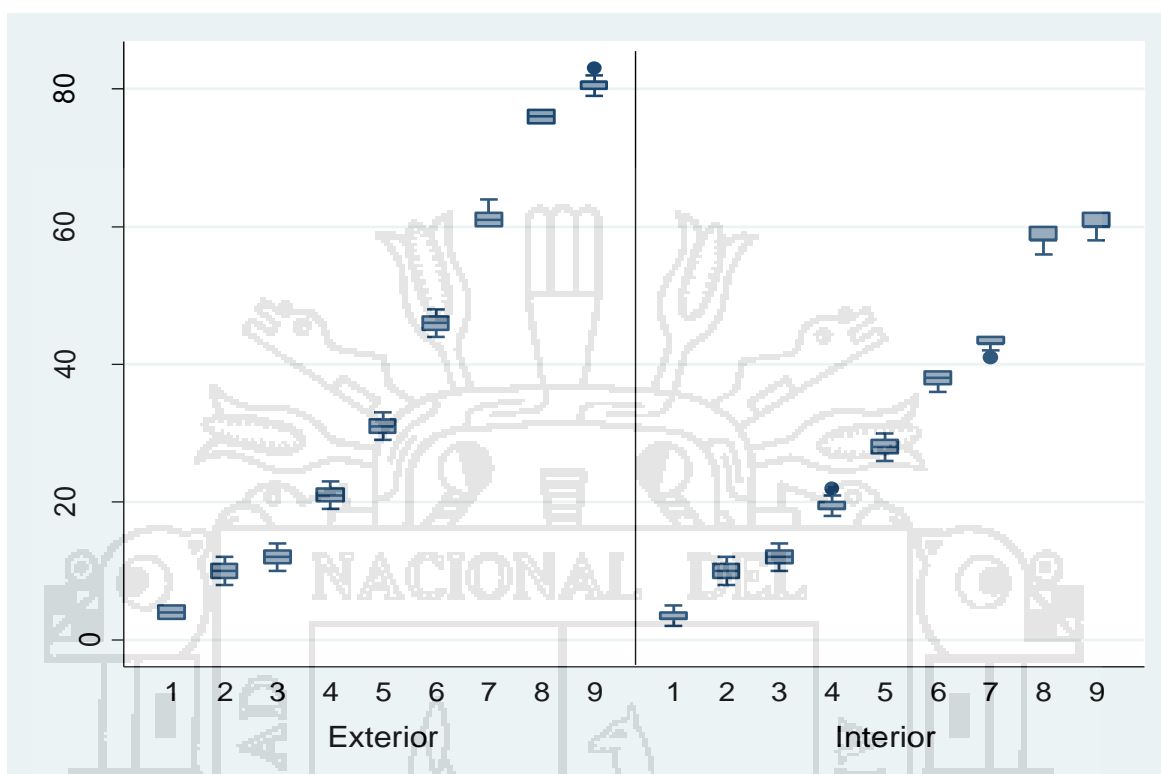
**Figura 3.** Valores de pH y temperatura en el cultivo de girasol (*Helianthus annus L.*) para nueve meses de desarrollo, Puno 2015.

#### b. Altura de planta

En la Figura 4, se muestra el desarrollo de las plantas de girasol en dos ambientes, en el interior (invernadero) las plantas presentaron alturas mínimas de 2 cm hasta un máximo de 62 cm en su máximo desarrollo, mientras que las plantas en el exterior presentaron alturas mínimas de 3 cm y máxima de 83 cm, de los resultados se establece, mayor desarrollo de las plantas que estuvieron expuestas directamente al sol y a temperaturas de ambiente del altiplano.

El análisis estadístico (anexo 2), señala que existe diferencia significativa ( $p=0.001$ ) para la altura de planta, confirmando que las condiciones del

invernadero restringen el desarrollo de las plantas de girasol, al parecer por una temperatura elevada en dichas condiciones.



**Figura 4.** Altura de plantas de girasol, para dos ambientes de cultivo y nueve meses de desarrollo, Puno 2015

En los nueve meses de desarrollo de las plantas girasol existió diferencia significativa porque su crecimiento ha variado dentro del invernadero a ambiente controlado que cuando la especie se encontraba a la intemperie lógicamente la temperatura ha variado, por consiguiente, la altura de la planta a la intemperie se desarrolló mucho más que el que se encontraba dentro del invernadero a temperatura más elevada.

**c. Contenido de cadmio en raíz, tallo y hojas**

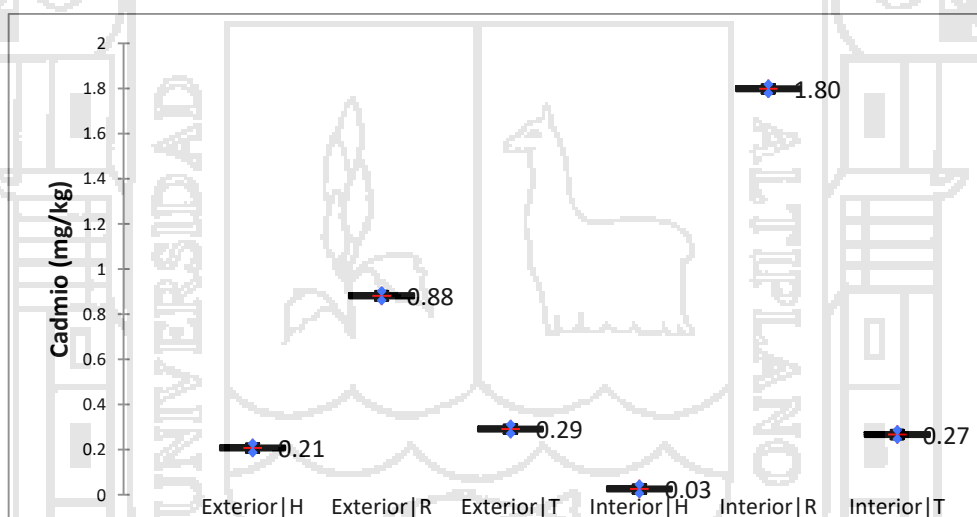
En la Tabla 4 y Figura 5, se expone los resultados del análisis de contenido de cadmio en dos ambientes y tres partes de la planta de girasol, se tiene



una media de 0.697 mg/kg para el ambiente interior (invernadero) y de 0.460 mg/kg en el ambiente exterior; en la raíz de la planta se determinó 1.340 mg/kg, en el tallo 0.279 y en las hojas 0.117 mg/kg de Cd.

**Tabla 4.** Concentración de cadmio (Cd en mg/kg) en plantas de girasol en suelos provenientes del centro poblado La Rinconada en la región Puno, 2015

Ambiente	Exterior			Interior		
Parte	Hoja	Raíz	Tallo	Hoja	Raíz	Tallo
Muestras	3	3	3	3	3	3
Media	0.21	0.88	0.29	0.03	1.80	0.27
D.E.	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02



**Figura 5.** Concentración de cadmio (Cd en mg/kg) en plantas de girasol en suelos provenientes del centro poblado La Rinconada en la región Puno, 2015.

De los resultados se evidencia que en el ambiente interior se observa un ligero mayor contenido de Cd, mientras que respecto a las partes de la planta se obtuvo un mayor contenido de este metal pesado en la raíz, disminuyendo en el tallo y aún en menor contenido en las hojas de las plantas de girasol.

En la Tabla 5 se muestra los resultados del análisis de varianza para un diseño en bloques, para la fuente de variación ambiente no se encontró diferencia estadística ( $p=0.1197$ ), por lo que se considera que el contenido de Cd no es estadísticamente diferente en ambos ambientes de cultivo; para el factor parte de la planta el análisis determinó la existencia de diferencia estadística significativa ( $p=0.0001$ ), de lo cual se interpreta que existe diferencia en el contenido de Cd en las partes de la planta de girasol. De las tres partes de la planta como la raíz, el tallo y la hoja, según la concentración del metal cadmio, la raíz presentó mayor actividad de absorción y concentro.

**Tabla 5.** Análisis de varianza (ANVA) para concentración de cadmio (Cd en mg/kg) en plantas de girasol en suelos provenientes del centro poblado La Rinconada en la región Puno, 2015

F.V	G.L	S.C	C.M	Fc	Pr > F
Ambiente	1	0.00550083	0.00550083	2.75	0.1197
Parte de planta	2	0.15692128	0.07846064	39.18	<.0001
Error	14	0.02803407	0.00200243		
Total corregido	17	0.19045618			
Transformación (log Y+5)		CV%: 2.61			

Para verificar diferencias específicas se procedió con la prueba de rango múltiple de Tukey para la fuente de variación partes de la planta que resulto significativa en el análisis previo.

En la Tabla 6, se muestra los resultados de la prueba de rango múltiple, se evidencia que la raíz de la planta presenta una media de 1.34 mg/kg de contenido de cadmio, el mismo que es estadísticamente superior al resto de partes ( $p<0.05$ ), mientras que en el tallo el contenido de Cd es 0.279 y en hojas 0.117 mg/kg,

estas dos últimas partes no son estadísticamente diferentes respecto a su contenido de Cd ( $p > 0.05$ ).

**Tabla 6.** Prueba de Tukey para concentración de cadmio (Cd en mg/kg) en plantas de girasol en suelos provenientes del centro poblado La Rinconada en la región Puno, 2015

Categoría	Media	Grupos de Tukey
Raíz	1.340	A
Tallo	0.279	B
Hojas	0.117	B

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

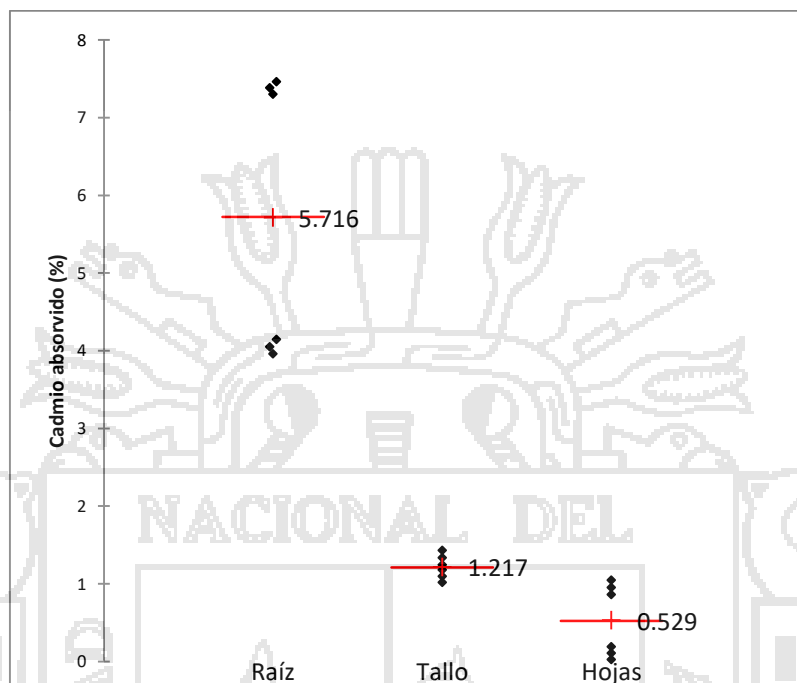
De los resultados del análisis de contenido de cadmio para las tres partes de las plantas de girasol, se concluye que la mayor absorción se produce a nivel radicular, mientras que se observa una translocación de este metal que asciende por el tallo y llega hasta las hojas de la planta.

En la Tabla 7 y Figura 6, se muestra los resultados de absorción de cadmio según las partes de la planta de girasol, se tiene que la raíz presenta una media de absorción porcentual de 5.716%, el tallo con 1.217% y las hojas 0.529% de absorción; de los resultados se evidencia que la mayor absorción del cadmio se produce a nivel radicular, mientras que por el proceso de translocación este metal es trasladado hacia el tallo y las hojas de la planta.

**Tabla 7.** Concentración de cadmio absorbido (%) en plantas de girasol en suelos provenientes del centro poblado La Rinconada en la región Puno, 2015.

Estadística	Raíz	Tallo	Hojas
No. de observaciones	6	6	6

Media	5.716	1.217	0.529
Desviación estándar	1.666	0.139	0.429



**Figura 6.** Concentración de cadmio absorbido (%) en plantas de girasol en suelos provenientes del centro poblado La Rinconada en la región Puno, 2015

Li *et al.* (1996) observaron que existe una excepción con los girasoles (*Helianthus annuus L.*), cuando el pH del suelo se incrementa (pH 6.5-7) no se reduce la asimilación de cadmio ni su transferencia a las hojas y granos, por lo que un pH entre 5 y 6 unidades determinadas en nuestro estudio no limitarían el proceso de absorción de cadmio.

Respecto al transporte del cadmio 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), lo cual explica el mayor contenido de cadmio

en las raíces de las plantas de girasol, mientras que este contenido disminuye en tallo y hojas.

La mayor concentración de cadmio en el suelo se encontró en la parte superior, lo cual indica baja movilidad del cadmio en el perfil de los suelos (Insuasty *et al.*, 2006), esta baja movilidad del cadmio por el riego explica por lo que no determinamos diferencias de su contenido tanto en el interior como exterior del invernadero, es decir las lluvias no afectaron el contenido de cadmio por su baja movilidad en el suelo.

Se conoce que el girasol (*Helianthus annuus* L.) es un rizofiltrador potencial de cadmio, níquel, cobre, cinc, cromo, plomo y radioisótopos y absorbe metales en mayor cantidad en sus raíces que en sus brotes (Llamas y Treviño 2004), nuestros resultados confirman el potencial de esta especie como rizofiltrador, pues obtuvimos un 5.716% de absorción en la zona radicular.

Se han identificado una amplia diversidad de especies que se emplean para la fitorremediación, algunas de ellas, debido a su gran capacidad para acumular metales pesados, reciben el nombre de hiperacumuladoras, por definición estas plantas deben acumular al menos 100  $\mu\text{g/g}$  (0.01 % peso seco) de cadmio (Watanabe, 1997), por lo que nuestros resultados corroboran el potencial del girasol como planta hiperacumuladora de cadmio.

## CONCLUSIONES

- La muestra de suelo proveniente de la zona de La Rinconada en el invernadero presentó un valor promedio de 24.36 mg/kg, y en la intemperie se determinó 21.76 mg/kg de cadmio, no existiendo diferencia estadística entre ambos ambientes de cultivo ( $p=0.112$ ).
- En ambiente exterior se obtuvo en la hoja una media de 0.21 mg/kg de cadmio, en raíz 0.88 y tallo 0.29, en el interior en hoja 0.29 mg/kg de cadmio, raíz con 1.80 y tallo 0.27; siendo estadísticamente superior el contenido en la raíz ( $p<0.05$ ). La raíz de plantas de girasol presenta una media de absorción de cadmio de 5.716%, tallo con 1.217% y hojas 0.529% de absorción; la mayor absorción del cadmio se produce a nivel de la raíz.

## RECOMENDACIONES

- Realizar estudios de identificación con especies vegetales *in situ* de la zona altiplánica con potencial de absorción para metales pesados, para evaluar su posible uso en las condiciones ambientales específicas de La Rinconada.
- Evaluar estudios con otras especies y otras zonas para la absorción de otros metales pesados como plomo, mercurio, arsénico y otros.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acosta de Armas, M., Montilla Peña, J. (2011). Evaluación de la contaminación de Cadmio y Plomo en agua, suelo y sedimento y análisis de impactos ambientales en la subcuenca del río Balsillas afluente del río. Bogotá D.C., Colombia.
- Albert A. L. (1997). Introducción a la Toxicología Ambiental. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. México.
- Camara C. Fitorremediación (2012). Evaluación de la fitorremediación como alternativa de tratamiento sedimentos contaminados con hidrocarburos procedentes de las estaciones de servicio en Risaralda Universidad Tecnológica de Pereira Facultad de Ciencias Ambientales maestría en Ecotoxicología, Colombia.
- Carpena, R. O., y Bernal, M. P. (2007). Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos. Ecosistemas, vol 16 Asociación Española de Ecología Terrestre Alicante, España.
- Castañón Silva Paulina A, Venegas-Urrutia Michael A., Lobos-Valenzuela María G., Gaet- Olivares Hernán J. (2013). Influencia de micorrizas arbusculares *Glomus* spp. En el crecimiento y acumulación de cobre en girasol



(*Helianthus annuus*) en Chile Revista Agrociencia vol.47 N° 4 México. Agua – suelo-clima.

Coto, O.; Marrero, J. A.; Díaz, A.; Batista, R.; Fernández, R. (2005). Rizobacterias aisladas de plantas hiperacumuladoras de Ni en suelos ultramáficos, potencialidades para la restauración ecológica. República Dominicana.

Chen, H.S., Q.Y. Huang, L. Liu, P. Cai, W. Liang y M. Li. (2010). Poultry manure compost alleviates the phytotoxicity of soil cadmium: influence on growth of Pakchoi (*Brassica chinensis* L.). *Pedosphere* 20(1), 63-70. Department of Molecular & Integrative Physiology; 2. Department of Biological Chemistry; 3. Department of Molecular, Cellular and Developmental Biology; The University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109.

Christie, P., X. Li, and B. Chen. (2004). Arbuscular mycorrhiza can depress translocation of zinc to shoots of host plants in soils moderately polluted with zinc. *Plant Soil* 261:209-217.

Delgadillo López Angélica E., González Ramírez César A., Prieto García Francisco, Villagómez Ibarra José R. y Acevedo Sandoval Otilio (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Centro de Investigaciones Químicas. Carr. Pachuca-Tulancingo Km 4.5, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México. C.P. 42184.

Dickson, T.R. (2013). *Química Enfoque Ecológico*. 2 ed. México D.F. (México): Limusa, Noriega Editores, 102 p.

- Diez, L. (2008). Fiotocorrección de suelos contaminados con metales pesados. Evaluación de plantas tolerantes y optimización del proceso mediante prácticas agronómicas. Tesis de doctorado. Universidad de Santiago de Compostela.
- Domínguez, M. G. (2009). Distribución y fitodisponibilidad de metales pesados (Sb, Hg, As) en los jales de la mina de antimonio de Wadley, estado de San Luis.
- Eapen, S., Singh, S., D'Souza, S. F. (2007). Advances in development of transgenic plants for remediation of xenobiotic pollutants. *Biotechnology Advances*.
- Estándares de Calidad Ambiental (ECA) 2013, según el Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, para suelo Comercial/Industrial/Extractivos según el método de ensayo EPA 3050-B EPA 3051 MINAM – PERU.
- Galán Huertos, E., y Romero Baena, A. (2008). Contaminación de suelos por metales pesados. *Revista de la sociedad española de mineralogía*, 48-60.
- Galvao, G. L. A., Corey, G. (1987). Cadmio, Serie de vigilancia 1, O.P.S., OMS, México.
- García, C. (2013). La Jornada. Recuperado el 2 de Mayo de 2014, de Acusan a empresa de contaminar Guanajuato durante tres décadas México.
- García I. Dorronsoro C. (2002). Contaminación por metales pesados. Departamento de edafología y química agrícola de España.

- Hanna Instruments, (1999). Soil Test Handbook, Soil Science and Management, H3896, Hanna Soiltest, Italia.
- Herrera Flores, K. (2009). Evaluación de la contaminación por plomo en suelos del Canton sitio del Niño municipio de San Juan Opico departamento de la libertad San salvador, Salvador.
- Hernández, A. (2011). Determinación de metales pesados en suelos de Natividad Ixtlán de Juárez Oaxaca. Tesis de Licenciatura. Oaxaca (México): Universidad de la Sierra, Facultad de Ingeniería.
- Hernandez L. F., y Paoloni P.J. (1998). Germinación y emergencia de cuatro híbridos de Girasol (*Helianthus annus* L.) con diferente contenido lipídico y en relación con la temperatura Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur 8000 Bahía Blanca. Argentina
- Holt G., (1992). El Jardín del Gourmet. Los Frutos del Huerto a la Mesa, Ediciones Hermann Blume, España.
- Iannacone, J., Alvariño, L., Caballero, C. and. Sánchez, J. (2000). Cuatro ensayos ecotoxicológicos para evaluar lindano y clorpirifos Gayana, 64:139-146)
- Insuasty B, Liliana I; Burbano O, Hernán; Menjivar F, Juan (2006). Movilidad del cadmio en suelos cultivados con trigo en Tangua, Nariño, Colombia Acta Agronómica, vol. 55, núm. 2, Universidad Nacional de Colombia Palmira, Colombia.
- Kabata-Pendias, A., Pendias, H., (1992). Trace Elements in Soils and Plants, 2ª Edición, CRC Press.

- Li, Y. M., Chaney, R.L., Schneiter, A. A., Johnson, B. L., (1996).Effect of field limestone applications on cadmium content of sunflower (*Helianthus annus* L.) leaves and kernels, Pant and soil, 180 (2), 297-302.
- Lora Silva, R., y Bonilla Gutiérrez, H. (2010). Remediación de un suelo de la cuenca alta del rio Bogotá contaminado con los metales pesados de cadmio y cromo. U.D.C.A. Actualidad & divulgación científica.
- Llamasa, Treviño Arjona B. (2004). Aprovechamiento de biosólidos como una fuente de energía ecológica. En: Revista transferencia. Monterrey: Tecnológico de Monterrey. Año 17.No. 68. URL.
- Llugany, M.; Lombini, A.; Poschenrieder, Ch.; Dinelli, E.; Barceló, J. (2003). Different mechanisms account for enhanced copper resistance in *Silene armeria* ecotypes from mine spoil and serpentine sites. Plant and Soil. 251: pp. 55-63.
- Martínez, G., Palacio, C. (2010). Determinación de metales pesados cadmio y plomo en suelos y en granos de cacao frescos y fermentados mediante espectroscopía de absorción atómica de llama. Bucaramanga, Colombia.
- Molina, C., Ibañez, C. y Gibon, F.M. (2013). Proceso de biomagnificación de metales pesados en un lago hiperhalino (Poopó, Oruro, Bolivia): posible riesgo en la salud de consumidores. Ecología, 47(2).
- Moody, M., Beckett, K. A., Clausen R. R., (1994). Guía Completa de las Flores de Jardín, Editorial Blume, España.
- Molina, E. (2011). El análisis de suelos: determina la suficiencia o deficiencia de nutrientes en el suelo. Acoplafor la revista, 42-54.

- Muso Cachumba, J. (2012). Determinación de la capacidad fitorremediadora de cadmio del Camacho (*Xanthosoma undipies* Koch) especie vegetal nativa en el área de influencia de Ep Ecuador en el distrito amazónico. Sangolqui, Ecuador: Escuela politécnica del ejército.
- Navarro-Aviñó, J. P., Aguilar-Alonso, L, López-Moya, J. R. (2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas*. 16: 10-25.
- Noguera-Solís, C. E. y Huete-Pérez, J. A., (2008). Potencial de biodegradación de DDT y sus metabolitos en suelos agrícolas de Chinandega., *Encuentro*, Año XL, No. 81, 2008 pp. 48-69.
- Olalde Gutierrez Víctor M., Escalante Estrada, José A., Sánchez García Prometeo, Tijerina Chavez Leonardo, Mastache lagunas Angel Carreño Román Evaristo. (2000). Crecimiento y distribución de Biomasa en girasol en función del Nitrógeno y densidad de población en clima cálido.
- Orroño Daniela Inés (2002). Acumulación de metales (cadmio, zinc, cobre, cromo, níquel y plomo) en especies del género *Pelargonium*: suministro desde el suelo, ubicación en la planta y toxicidad. Tesis presentada para optar al título de Doctor de la Universidad de Buenos Aires, Área Ciencias Agropecuarias Ingeniera Agrónoma - Universidad de Buenos Aires Lugar de trabajo: Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, FAUBA.
- Ortiz. C. (2009). Fitoextracción de plomo y cadmio en suelos contaminados usando quelite (*Amaranthus hybridus* L.) y micorrizas. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15(2): 161-168.

- Padmavathiamma, P. K., Li, L. Y. (2007). Phytoremediation Technology: Hyperaccumulation Metals in Plants. *Water, Air, Soil Pollution*. 184: 105-126.
- Pérez Vargas, J. G.; García, G.E.; Esparza, F.G. (2002). Papel ecológico de la flora rizosférica en Fitorremediación. *Avance y Perspectiva*. 21: pp. 297-300.
- Pérez García, Perla Esmeralda; Azcona Cruz, María Isabel (2012). Los efectos del cadmio en la salud *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, vol. 17, núm. 3, julio-septiembre, 2012, pp. 199-205 Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado México.
- Peris, M.M. (2006). Estudio de metales pesados en suelos bajo cultivos hortícolas de la provincia de Castellon (España) PhD. Tesis, Ingeniera Química. Valencia (España): Universidad de Valencia, Facultad de Ingeniería.
- Poma Llanto y Victor Raúl; Valderrama Negrón Ana C. (2014). Estudio de los parámetros fisicoquímicos para la fitorremediación de cadmio (ii) y mercurio (ii) con la especie *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) Laboratorio de investigación en biopolímeros y metalofármacos -LIBIPMET, Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Ingeniería. Av. Túpac Amaru 210. Rímac, Lima-Perú.
- Poulin, J., Gibb, h. (2008). Mercurio, evaluación de la carga de morbilidad ambiental a nivel nacional y local. *Carga de morbilidad ambiental*, N° 16.
- Prieto G., F., Martínez P., F.H., Méndez, M.A. and Prieto, M.J. (2007). Presencia de metales pesados en cultivos de Actopan e Ixmiquilpan, Valle del

Mezquital, México, por riego con aguas negras. Revista Latino Americana Recursos Naturales México 3: 100-111.

Rábago Juanaracial, I. (2011). Capacidad de amortiguación de la contaminación por Plomo y Cadmio en suelos de la comunidad de Madrid. Capacidad de amortiguación de la contaminación por Plomo y Cadmio en suelos de la comunidad de Madrid. Madrid, España.

Ruiz Juliana (2011). Evaluación de tratamientos para disminuir cadmio en lechuga (*Lactuca sativa* L.) regada con agua del río Bogotá Facultad de Ciencias, Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia). Revista Colombiana de ciencias hortícolas - vol. 5 - no. 2 - pp. 233-243.

Silva Garza, Mario, Gamez Gonzales Hilda, Zavala García Francisco, Cuevas Hernandez Baltazar, Rojas Garcidueñas Manuel (2001). Efecto de cuatro fitorreguladores comerciales en el desarrollo y rendimiento del girasol Departamento de Botánica F. Ciencias Biológicas UANL.

Singh, O.V., Jain, R. K. (2003). Phytoremediation of toxic aromatic pollutants from soil. Applied and Microbiology Biotechnology. 63: 128-135.

Tenorio Galindo Gabriela, Rodríguez Trejo Dante A. y López Ríos Georgina (2008). Efecto del tamaño y color de la semilla en la germinación de *Cecropia obtusifolia* Bertol (Cecropiaceae) División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México.

Valdés, R.; Balbín, (2008). Fitorremediación para metales pesados. Principios de una tecnología en desarrollo. Conferencia de la Universidad Agraria de La

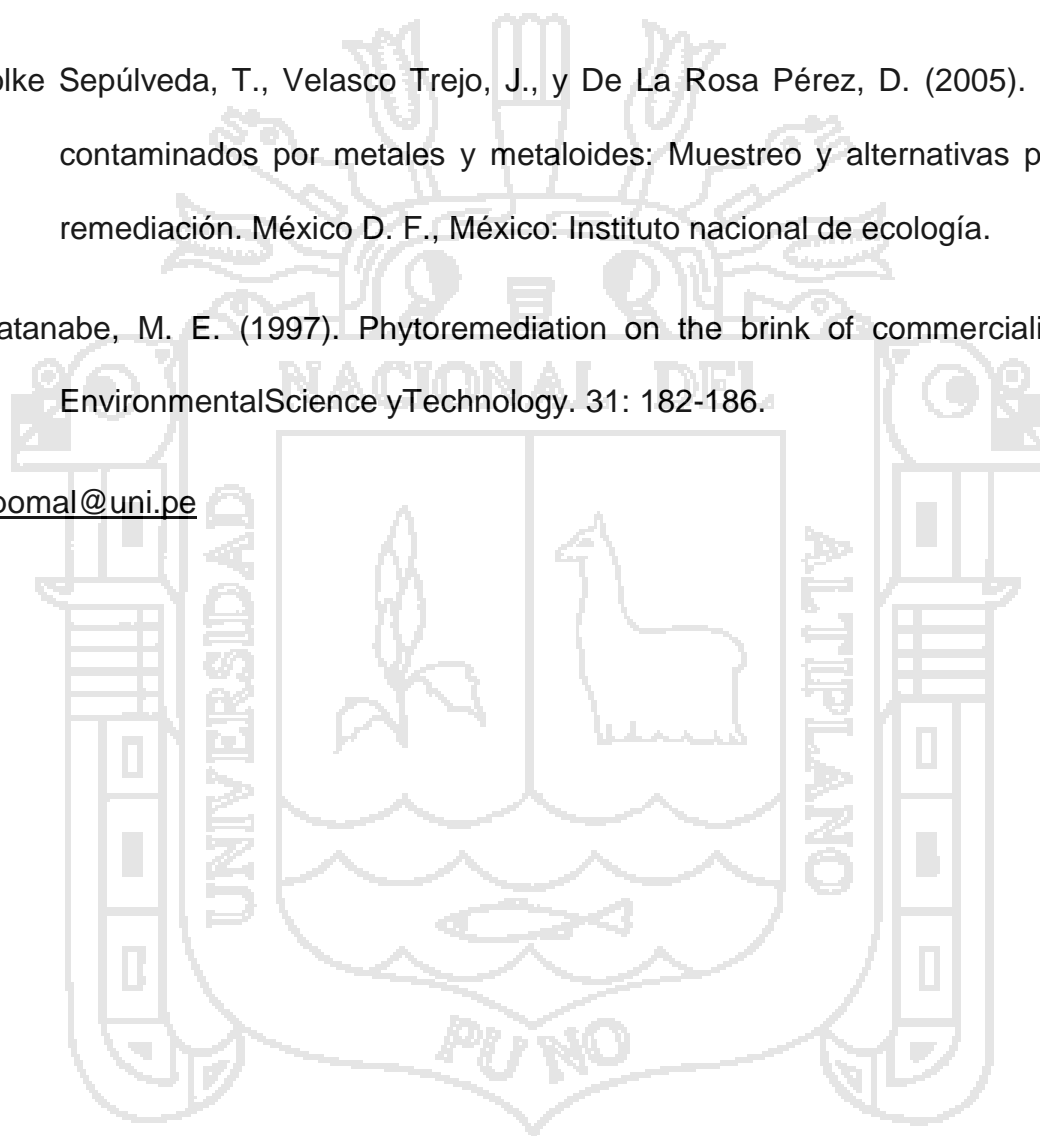
Habana. Fructuoso Rodríguez Pérez. Grupo de Fitorremediación. Red Temática Fitorremediación.

Volke, T., y Velasco, J.A., (2002). Tecnologías de remediación para suelos contaminados, México: Instituto Nacional de Ecología. INE-SEMARNAT, México DF., 2002, pp. 31-64.

Volke Sepúlveda, T., Velasco Trejo, J., y De La Rosa Pérez, D. (2005). Suelos contaminados por metales y metaloides: Muestreo y alternativas para su remediación. México D. F., México: Instituto nacional de ecología.

Watanabe, M. E. (1997). Phytoremediation on the brink of commercialization. Environmental Science y Technology. 31: 182-186.

[vpomal@uni.pe](mailto:vpomal@uni.pe)







**Anexo 1.** Matriz básica de datos de contenido de cadmio

Ambiente	Parte	Cd	Cd%
Invernadero	R	1.798	7.38
Invernadero	T	0.2673	1.10
Invernadero	H	0.0258	0.11
Invernadero	R	1.778	7.30
Invernadero	T	0.2473	1.02
Invernadero	H	0.0058	0.02
Invernadero	R	1.818	7.46
Invernadero	T	0.2873	1.18
Invernadero	H	0.0458	0.19
Intemperie	R	0.8815	4.05
Intemperie	T	0.2908	1.34
Intemperie	H	0.2073	0.95
Intemperie	R	0.8615	3.96
Intemperie	T	0.2708	1.24
Intemperie	H	0.1873	0.86
Intemperie	R	0.9015	4.14
Intemperie	T	0.3108	1.43
Intemperie	H	0.2273	1.04

**Anexo 2. Análisis estadístico**

Análisis estadístico comparando contenido de Cd en suelo (ambiente interior y exterior)

Diferencia	2.598
t (Valor observado)	2.030
t (Valor crítico)	2.776
GDL	4
p-valor (bilateral)	0.112
alfa	0.05

Interpretación de la prueba:

H0: La diferencia entre las medias es igual a 0.

Ha: La diferencia entre las medias es diferente de 0.

Como el p-valor calculado es mayor que el nivel de significación  $\alpha=0.05$ , se puede aceptar la hipótesis nula H0.

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es de 11.22%.

Análisis estadístico comparando la altura de planta (ambiente interior y exterior)

Diferencia	-8.921
t (Valor observado)	-3.916
t (Valor crítico)	1.966
GDL	423
p-valor (bilateral)	0.000
alfa	0.05

Interpretación de la prueba:

H0: La diferencia entre las medias es igual a 0.

Ha: La diferencia entre las medias es diferente de 0.

Como el p-valor computado es menor que el nivel de significación  $\alpha=0.05$ , se debe rechazar la hipótesis nula H0, y aceptar la hipótesis alternativa Ha.

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es menor que 0.01%.



Figura N° 7. Instalación del Invernadero



Figura N° 8 Procesos de la etapa de muestras y su control de temperatura



Figura N° 9 Etapa de suelo con semillas girasol

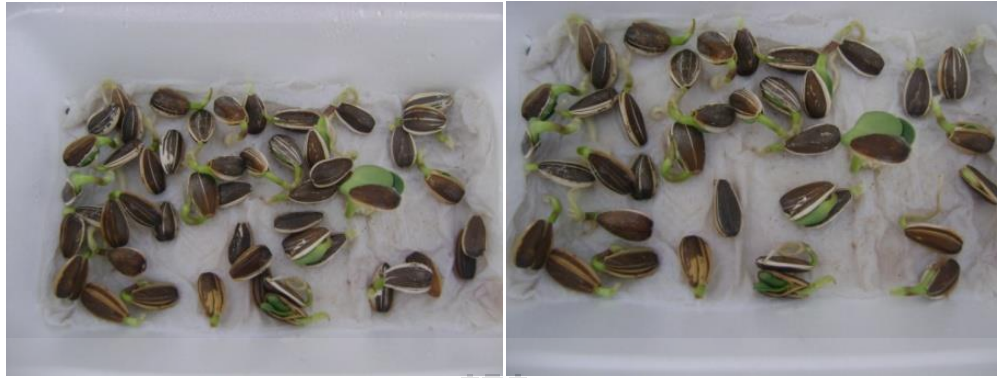


Figura N° 10 Germinación del girasol



Figura N° 11 Medición de la germinación del girasol



Figura N ° 12 Crecimiento del girasol



Figura Nº 13 Etapa final: crecimiento del girasol

**LAS Laboratorios Analíticos del Sur**  
 Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
 Arequipa Perú / Apartado 2102  
 Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

**INFORME DE ENSAYO LAS-16-08370**

Fecha de emisión: 28/11/2016 Pág.: 1/1

Señores: MARÍA ELENA SUANA QUISPE  
 Dirección: JR. CANDELARIA 261 PUNO  
 Atención: MARÍA ELENA SUANA QUISPE  
 Recepción: 19/11/2016  
 Realización: 19/11/2016

Método de ensayo aplicado  
 \*752 Método de Ensayo para Cadmio por Absorción Atómica

Muestra #	Nombre de muestra	Descrip. de muestra	Procedencia de la muestra	*752 Cd ppm
SA16000078	SUELO DEL EXTERIOR DEL INVERNADERO	Suelo Agrícola	PUNO/PUNO	0,746
SA16000079	SUELO DE INTERIOR INVERNADERO	Suelo Agrícola	PUNO / PUNO	24,898

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada. Esta terminantemente prohíbe la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Figura Nº 14 Análisis del suelo

**Laboratorios Analíticos del Sur**  
 Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
 Arequipa Perú / Apartado 2102  
 Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

**INFORME DE ENSAYO LAS-16-08316** Pág: 1/1

Señores: MARIA ELENA SUANA QUISPE  
 Dirección: JR CANDELARIA 2611 PUNO  
 Atención: MARIA ELENA SUANA QUISPE

Producto(s) Declarado(s): Plantas de Girasol  
 Nro de muestras: 6  
 Fecha de recepción: 19/11/2016  
 Fecha de ensayo: 19/11/2016  
 Fecha de emisión: 24/11/2016  
 Condiciones de recepción de la muestra:  
 Observaciones : ----

Método de ensayo aplicado  
 \*5054 Método de Ensayo para Cadmio en matrices complejas por ICP-OES

Cod Int. #	Nombre de muestra	Lugar de muestreo	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	5012 Cd mg/Kg
AL 16000062	RAIZ GIRASOL EXTERIOR	EXTERIOR DEL INVERNADERO/PUNO/PUNO	30/09/16	09:00 a.m.	0,3315
AL 16000063	TALLO GIRASOL EXTERIOR	EXTERIOR DEL INVERNADERO/PUNO/PUNO	30/09/16	09:00 a.m.	0,2908
AL 16000064	HOJAS GIRASOL EXTERIOR	EXTERIOR DEL INVERNADERO/PUNO/PUNO	30/09/16	09:00 a.m.	0,2673
AL 16000065	RAIZ GIRASOL INTERIOR	INTERIOR INVERNADERO/PUNO/PUNO	30/09/16	09:00 a.m.	0,0258
AL 16000067	TALLO GIRASOL INTERIOR	INTERIOR INVERNADERO/PUNO/PUNO	30/09/16	09:00 a.m.	1,7980
AL 16000068	HOJAS GIRASOL INTERIOR	INTERIOR INVERNADERO/PUNO/PUNO	30/09/16	09:00 a.m.	1,4960

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
 Sixto Vicente Juárez Neira  
 Gerente General  
 Ig. Químico CP 15474

\*<Valor numérico = Límite de detección del método, \*<Valor Numérico = Límite de cuantificación del método.  
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.  
 Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Figura N° 15 Análisis de la organografía vegetal Raíz, tallo y hojas del girasol