

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

**FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS
NATURALES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE
RECURSOS NATURALES**



“CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL *Helianthus annuus* EN SUELOS AGRÍCOLAS CONTAMINADOS CON CADMIO”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

AUTORES:

REATEGUI BARBOZA LUCERITO JAHIRA
REÁTEGUI MORALES CAROLINA PAOLA

ASESOR:

Ing. AMERICO CARLOS MILLA FIGUEROA

Callao, 2018
PERÚ

DEDICATORIA

A todos los que estuvieron involucrados en este proyecto, principalmente a Dios y a nuestros padres por el esfuerzo brindado durante todo este tiempo, y la dedicación y apoyo de nuestro asesor.

AGRADECIMIENTO

Principalmente a Dios, nuestros padres y todas las personas que hicieron posible este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	10
ABSTRACT.....	11
INTRODUCCIÓN	12
CAPITULO I.....	15
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.1 Identificación del problema.....	15
1.2 Formulación del problema.....	17
1.3 Objetivos de la Investigación.....	18
1.3.1. Objetivo General.....	18
1.3.2. Objetivos Específicos	18
1.4 Justificación	18
CAPITULO II.....	21
MARCO TEÓRICO	21
2.1 Antecedentes de la investigación.....	21
2.2 Marco conceptual.....	23
2.2.1. <i>Helianthus annuus</i> (“girasol”)	23
2.2.2. Cadmio.....	33
a) Propiedades fisicoquímicas del cadmio.....	33
b) Movilidad del cadmio.....	34
c) Fuentes de generación de cadmio.....	37
d) Cadmio en el suelo.....	40
e) Ingreso, transporte y acumulación de cadmio.....	45
2.2.3. Tolerancia de las plantas frente al Cadmio.....	49
2.2.4. Toxicología del Cadmio.....	50
a) Toxicología ambiental.....	51
b) Toxicología clínica humana.....	52
2.2.5. Fitorremediación	54

a)	Fitodegradación.....	55
b)	Fitoestimulación.....	55
c)	Fitovolatilización.....	56
d)	Fitoestabilización.....	56
e)	Fitoextracción.....	56
2.2.6.	Espectrofotometría	60
2.2.7.	Factores de concentración	63
2.3	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	67
2.3.1.	Plantas hiperacumuladoras de metales	67
2.3.2.	Metal esencial	68
	CAPÍTULO 1	
	2.3.3. METAL NO ESENCIAL	
	68	
2.3.4.	Suelos	69
2.3.5.	Suelo agrícola	70
2.3.6.	Fitorremediación	71
2.3.7.	Fitotoxicidad	71
2.3.8.	Toxicidad	71
2.3.9.	Espectrofotometría	71
2.3.10.	Fertilizante	72
2.4	NORMATIVA	72
2.4.1	Normativa Nacional	72
2.4.2	Normativa Internacional	73
CAPITULO III	74
VARIABLES E HIPÓTESIS	74
3.1	Variables de la investigación	74
a)	Variable independiente: Girasol.....	74
b)	Variable dependiente: Cadmio en el suelo.....	75
3.2.	Hipótesis General	76
CAPITULO IV	77
MARCO METODOLOÓGICO	77

4.1 Tipo de investigación	77
4.2 Diseño de la investigación	77
4.3 Área de estudio	77
4.3.1. Localización y descripción del suelo a utilizar	77
4.4. Población y muestra	78
4.4.1. Población	78
4.4.2. Muestra	79
4.5. Materiales e Insumos	80
4.6. Procedimiento de recolección de datos	80
4.6.1 Análisis Cuantitativos de acumulación de cadmio	80
4.6.2. Análisis de crecimiento	80
4.6.3. Plan de análisis estadístico de datos	81
4.7. Análisis a realizar	84
4.7.1. Análisis fisicoquímicos de suelos	84
4.7.2. Preparación de los medios contaminantes	85
a) Preparación de soluciones de contaminantes	85
b) Contaminación del suelo con distintas dosis de cadmio	86
4.7.3. Preparación de las semillas de girasol	87
a) Desinfección de la semilla	87
b) Germinación de la semilla de girasol	88
c) Trasplante de girasol al medio contaminado	89
4.7.4. Seguimiento de las unidades experimentales	91
4.7.5. Tratamiento	91
CAPITULO V	93
RESULTADOS	93
5.1. Crecimiento vegetal	93
5.2. Análisis de Biomasa	94
5.2.1. Peso de material	94
5.3. Evaluación características morfológicas	95
5.3.1. Longitud de la raíz	95

5.3.2.	Altura de la planta	97
5.3.3.	Hojas verdes	99
5.4.	Análisis de Acumulación de Cadmio	100
5.4.1.	Tejido vegetal del girasol	100
5.4.2.	En el suelo	101
5.5.	Factor de Bioconcentración y Traslocación	102
CAPITULO VI		105
DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS		105
6.1.	Contrastación de la hipótesis con resultados	105
6.1.1	Crecimiento vegetal	106
6.1.2	Acumulación de cadmio	107
6.1.3	Comportamiento del cadmio en el suelo	108
6.1.4	Factor de Bioconcentración y Traslocación	109
6.2	Contrastación de resultados con otros resultados similares	110
CAPITULO VII		112
CONCLUSIONES		112
CAPITULO VIII		114
RECOMEDACIONES		114
CAPITULO IX		115
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		115
CAPITULO X		127
ANEXOS		127

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N°2.1. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA.....	24
TABLA N°2.2. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE CADMIO.....	33
TABLA N°3.1. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	76
TABLA N°4.1 PERIODO DE MUESTREO.....	79
TABLA N°4.2. TABLA ANOVA.....	83
TABLA N°5.1. MEDIAS DE PESO SECO A DIFERENTES DOSIS DE CADMIO....	94
TABLA N°5.2. LARGO DE LA RAÍZ OBTENIDO EN DOSIS DE CADMIO.....	96
TABLA N° 5.3. ALTURA DE LA PLANTA EN PRESENCIA DE DOSIS DE CADMIO	97
TABLA N° 5.4. FACTOR DE BIOCONCENTRACIÓN Y TRASLOCACIÓN A LOS 45 DÍAS	103
TABLA N° 5.5. FACTOR DE BIOCONCENTRACIÓN Y TRASLOCACIÓN A LOS 75 DÍAS.....	104
TABLA N° 6.1. ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) PARA CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN PLANTAS DE GIRASOL.....	105

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO N°5.1. MEDIAS DEL PESO SECO DE MATERIAL EN PRESENCIA DE CADMIO	95
GRÁFICO N°5.2. EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN LA ELONGACIÓN DE LAS RAÍCES	96
GRÁFICO N°5.3. EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN EL CRECIMIENTO DE TALLOS A LOS 75 DÍAS	97
GRÁFICO N°5.4. EFECTO DE LAS CONCETRACIONES DE CADMIO EN LA ALTURA DE LAS PLANTAS A LOS 75 DIAS.....	98
GRÁFICO N°5.5. CANTIDAD DE HOJAS VERDES DEL GIRASOL EXPUESTO A LAS DOSIS DE CADMIO.....	99
GRÁFICO N°5.6. PORCENTAJE DE ACUMULACIÓN DE CADMIO A LOS 45 DÍAS.....	100
GRÁFICO N°5.7. PORCENTAJE DE ACUMULACIÓN DE CADMIO A LOS 75 DÍAS.....	101
GRÁFICO N°5.8. PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE LAS CONCETRACIONES INICIALES DE CADMIO EN LAS DOSIS EVALUADAS	102

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N°2.1. FENOLOGÍA DE LA PLANTA DEL GIRASOL.....	32
FIGURA N°2.2. FLUJO DE CADMIO EN EL AMBIENTE	36
FIGURA N°2.3. FUENTES DE GENERACIÓN DE CADMIO (%).....	39
FIGURA N°2.4. MECANISMOS DE INGRESO, SECUESTRO Y TRASLOCACIÓN DE CD EN LA RAÍCES	47
FIGURA N°2.5. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL MECANISMO DE FOTORREMEDIACIÓN.....	55
FIGURA N°2.6. FITOACUMULACIÓN DE CONTAMINANTES.....	57
FIGURA N°2.7. PROCESO IMPLICADO EN LA FITOEXTRACCIÓN DE CONTAMINANTES DEL SUELO.....	59
FIGURA N°2.8. ESPECTRO DE ABSORCIÓN DE DOS COMPUESTOS DIFERENTES	61
FIGURA N°2.9. COMPONENTES DE UN ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA.....	62
FIGURA N°2.10. ESQUEMA DEL PERFIL DEL SUELO.....	70
FIGURA N°4.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	78
FIGURA N°4.2. PLÁNTULAS SEMBRADAS A DISTINTAS DOSIS DE CADMIO ..	79

ÍNDICE DE FOTOS

FOTO N°4.1. PREPARACIÓN DE SOLUCIONES CONTAMINANTES.....	85
FOTO N°4.2. PREPARACIÓN DEL SUELO A CONTAMINAR	87
FOTO N°4.3. SEMILLAS EN SOLUCIÓN DE NACLO (10%).....	88
FOTO N°4.4. PREPARACIÓN DE SEMILLEROS PARA GERMINACIÓN.....	89
FOTO N°4.5. TRASPLANTE DE PLÁNTULAS DE GIRASOL A MEDIOS CONTAMINADOS.....	90
FOTO N°4.6. EXTRACCIÓN DE PLANTAS DE GIRASOL EN LOS MEDIOS CONTAMINADOS	92
FOTO N°5.1. ETAPAS DE CRECIMIENTO DEL GIRASOL.....	93

ANEXOS

ANEXO N°4.1. ANÁLISIS DE SUELO	127
ANEXO N°4.2. FICHA TÉCNICA DEL SUSTRATO PREMIX N°3.....	128
ANEXO N°5.1 ANÁLISIS DE LA CONCENTRACIÓN FINAL DE CADMIO EN EL SUELO.....	129
ANEXO N°5.2 RESULTADOS DE ABSORCIÓN DE CADMIO POR EL GIRASOL	132

RESUMEN

El presente estudio se realizó con el propósito de evaluar la capacidad de acumulación del cadmio en el *Helianthus annuus* (girasol) y así poder determinar su eficacia para ser considerado como especie fitorremediadora de suelos contaminados con cadmio.

El girasol fue seleccionado por su alta asimilación de cadmio, reportada con anterioridad en la literatura verificada. De acuerdo a la metodología realizada se determinó que la acumulación de cadmio fue significativamente mayor en la zona radicular de la planta para los tres tratamientos de dosis de 10, 80 y 160 ppm.

Debido a los resultados obtenidos, el girasol puede participar como planta fitoestabilizadora de suelos contaminados con cadmio, por su tolerancia e hiperacumulación de estos metales en el tejido vegetal, por la alta generación de biomasa; considerando su disposición final ambientalmente adecuada y que se prevenga su consumo.

ABSTRACT

The present study has been realized for the purpose of determining the accumulation capacity of cadmium in the *Helianthus annuus* “sunflower” and thus calculates its effectiveness in order to be considered as a phytoremediation species of soils contaminated with heavy metals such as the one mentioned.

The sunflower was selected for its high assimilation of cadmium, previously reported in the verified literature. According to the methodology, it was determined that the accumulation of cadmium was also greater in the root zone of the plant for the treatments of doses of 10, 80 and 160 ppm.

Because of the results obtained, the sunflower can as a phytostabilizing plant in soils contaminated with cadmium, due to its tolerance and hyperaccumulation of these metals in the plant tissue, the high generation of biomass and provided a final environmentally adequate disposal is accomplished and prevented their consumption.

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas medioambientales a nivel mundial es la progresiva degradación de los recursos naturales generada por la diversidad de contaminantes tóxicos orgánicos e inorgánicos, en el aire, agua, suelo y subsuelo, procedentes de diversas actividades naturales y antropogénicas, generando así un irremediable deterioro en la calidad del ambiente (Pineda, 2004).

El suelo puede estar expuesto a degradación por sustancias nocivas que se almacenan e incluso influyen negativamente en su comportamiento ocasionado la disminución del rendimiento de los cultivos con posibles cambios en la composición de sus tejidos con riesgo para la salud de los consumidores al ingresar determinados elementos a la cadena trófica (Porta A. , 1994).

El cadmio (Cd) es un metal pesado de color blanco-plateado, con características de maleabilidad y ductilidad; poco abundante en la corteza terrestre, cuyos valores naturales en el suelo varían entre 0.1 a 0.2 ppm. (Pinto et al., 2003). Además, dicho metal es uno de los mayores contaminantes del ambiente y altamente tóxico para el hombre. Su presencia en el ambiente se debe principalmente a actividades antropogénicas como la industria,

minería, fundición y uso de fertilizantes fosfatados; es así que los altos contenidos de Cd en el suelo pueden provocar problemas de toxicidad en plantas, animales y humanos.

Desde el punto de vista biológico, se han planteado posibles soluciones a la contaminación del ambiente, como es el caso de la fitorremediación, la cual consiste en la captación de metales contaminantes por las raíces de las plantas y su acumulación en tallos y hojas, las plantas seleccionadas se pueden utilizar para extraer los metales de suelo, de agua y de sedimentos, incluyendo el retiro de elementos radiactivos, y la mineralización posible de los compuestos orgánicos tóxicos. El éxito de la fitorremediación depende de identificar las especies vegetales que toleren el estrés, que acumulen los metales pesados y produzcan cantidades grandes de biomasa. (Hong-Yun P, 2005).

En general, las plantas que acumulan más de 1000 mg/kg de Cd, se llaman los hiperacumuladoras; se reporta que algunas especies pertenecientes a las Asteraceas, que toleran altos niveles de metales pesados en comparación con otros grupos taxonómicos; debido a lo mencionado se les consideran especies fitoremediadoras. *Helianthus annuus* "girasol" pertenece a dicha familia, posee una facilidad de manejo en su cultivo, se adapta fácilmente a un amplio intervalo en la variación de temperatura. La

época de la siembra es variable y depende de las características climatológicas de cada región. Sin embargo, se considera como una planta anual, con un desarrollo vigoroso en todos sus órganos, dentro de esta especie existen numerosos tipos o subespecies cultivadas como plantas ornamentales, oleaginosas y forrajeras. (Pineda, 2004).

El girasol tiene la capacidad de acumular altas concentraciones de uranio y cadmio en sus tejidos (principalmente tallo y raíz) con una razonable tolerancia (Simona J, 2006) es por esta razón que el girasol se emplea en los procesos de fitorremediación acumulando y reciclando dichos metales excesivos de los suelos y promoviendo la limpieza ambiental. (Lin J, 2003).

En el presente estudio se han elegido para el ensayo el cultivo del *Helianthus annuus*, y tal como se menciona en los antecedentes expuestos, como planta con potencial para fitoacumular cadmio en sus tejidos y así dar una solución ambientalmente amigable a la gran problemática de los suelos contaminados.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Identificación del problema

La contaminación de suelos por metales pesados es hoy en día uno de los problemas medioambientales que está recibiendo mayor atención en los últimos años, debido a que dan lugar a una pérdida irreversible de los recursos naturales así como sus posibles efectos tóxicos en los animales y seres humanos.

La mayor parte de los metales pesados en el suelo es generada por actividades antropogénicas como la industria, refinerías, aguas residuales, procesos nucleares y de la manufactura de una gran variedad productos como baterías, componentes eléctricos, aleaciones de metales, plaguicidas, fertilizantes, entre otros (Alloway, 1995; Chaney, 1994).

La conservación del suelo y especialmente los suelos agrícolas es fundamental para provisión de alimentos afianzando así la seguridad alimentaria. De acuerdo a lo que informa el Ministerio de Agricultura (Minagri) "El Perú posee una superficie de 128.5 millones de hectáreas, de las cuales solo 7.6 millones tienen capacidad para cultivos agrícolas, es decir, el 6% de todo el

territorio sirve para la siembra de productos destinados a la alimentación” (Gestión, 2010). A pesar de la escasez del recurso, hay una constante pérdida de tierra fértil, entre las causas se encuentra la contaminación por metales.

Una de las mayores fuentes de contaminación de suelos agrícolas es el uso de fertilizantes fosfatados derivados de la roca fosfórica, los cuales aporta cadmio al suelo (McLaughlin et al., 1996), por presentarlo como constituyente en su elaboración (Iretskaya & Chien, 1999), quedando así metales como impurezas o trazas en el suelo (Carbonell et al., 1999). Otra fuente de contaminación son las actividades mineras, las cuales si no cuenta con un manejo adecuado y responsable generan contaminación al suelo y pudiendo afectar los cultivos.

El ingreso de cadmio al suelo, aunque sea en muy bajas concentraciones y contar con movilidad reducida, supone un riesgo para la salud pública y el medio ambiente ya que este elemento se caracteriza por ser bioacumulable, persistente y tóxico, acumulándose en los diferentes cultivos, lo que supone su entrada a la cadena alimentaria y por consiguiente supone un peligro para la salud humana (Sarria & Sánchez).

La Organización mundial de la salud (OMS, 1987); define a un suelo contaminado de cadmio cuando este sobrepasa el límite

máximo permisible, que es 0.5 ppm o mg/kg, siendo potencialmente peligroso para la salud humana.

Debido a los problemas de contaminación en suelos, se recurre a diversas técnicas de remediación durables y con un costo beneficio positivo. Una de las técnicas más innovadoras que se presenta hoy en día para poder resolver de manera sostenible y económica es la fitoremediación, destacando la fitoextracción que “consiste en emplear plantas que posean diferentes mecanismos para asimilar los metales del suelo; uno de ellos es la hiperacumulación que incluye el transporte del metal desde el suelo al tejido joven” (Chaney et al., 1995).

Existen muchos estudios acerca de la fitorremediación de especies vegetales incluidas las de consumo directo. El girasol, considerado como planta ornamental y de aprovechamiento con sus semillas y aceites, cuenta con la capacidad de acumular metales excesivos de los suelos, promoviendo así la limpieza ambiental.

1.2 Formulación del problema

¿Tiene el *Helianthus annuus* capacidad de absorción de cadmio en los suelos agrícolas?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

Evaluar la capacidad de absorción de cadmio por el *Helianthus annuus* (“girasol”).

1.3.2. Objetivos Específicos

- a) Determinar la cantidad de cadmio que puede absorber las raíces y parte área del *Helianthus annuus*.
- b) Determinar el factor de bioconcentración y traslocación de cadmio en *Helianthus annuus*.
- c) Evaluar la tolerancia del desarrollo morfológico del *Helianthus annuus* a las dosis de cadmio expuesto desde el trasplante hasta el tercer mes de crecimiento.

1.4 Justificación

Existe clara evidencia de la problemática ambiental derivada de la contaminación de suelos, ocasionada principalmente por procesos agrícolas y mineros mal controlados. Además, se conocen especies de plantas con capacidad de absorción y retención de contaminantes del suelo, como algunos metales pesados. Entre las especies reportadas se encuentran la familia de las Asteraceas, tolerando altos niveles de metales pesados en

comparación con otros grupos taxonómicos, dentro de dicha familia pertenece el *Helianthus Annuus*.

Las tecnologías tradicionales para la remediación de suelos contaminados utilizan métodos de ingeniería y tratamientos químicos. Gadd (1993) afirma “Los insumos que se usan bajo ciertas concentraciones empiezan a ser tóxicos para los organismos vivos. Normalmente dichas técnicas en su mayoría el suelo contaminado es excavado y sustituido con suelo nuevo”.

Por ello, se busca utilizar técnicas de remediación biológicas menos invasivas y costosas; la fitorremediación es considerada a menudo como una alternativa para las tecnologías de remediación convencionales por ser económicamente sostenible y respetuosa con el medio ambiente (Kumar P et al., 1995).

Dentro de las técnicas de fitorremediación se encuentra la fitoextracción, la cual consiste primero en elegir la especie más apropiada que será cultivada en un suelo contaminado; luego de haberse llevado a cabo la extracción del contaminante por la planta, se retirará la cosecha, ahora convertida en biomasa enriquecida por el metal pesado que contaminaba el suelo. Posteriormente, se llevará a cabo el tratamiento de la cosecha; por compostaje, compresión o tratamientos termales por ejemplo, para reducir el volumen y/o el peso de biomasa. Por último ésta

materia prima se procesará como si se tratara de un residuo peligroso, o se reciclará para recuperar los elementos que podrán tener valor económico (Vangronsveld et al., 2009).

Es importante destacar que la finalidad de la fitorremediación además de reducir o eliminar las sustancias contaminantes, es recuperar la capacidad y salud de la superficie en la que se aplica así como sus propiedades físicas y químicas de manera sostenible (Eco Inventos, 2018).

La siguiente investigación tiene como objetivo determinar si el girasol cuenta con la capacidad de absorber cadmio en suficientes cantidades para que pueda ser considerado como especie fitoremediadora en suelos agrícolas contaminados o que puedan tener indicios de contaminación.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Se han realizado diversas investigaciones acerca de la capacidad de acumular y tolerar altos niveles de metales pesados de algunas especies pertenecientes a la familia Asteraceas (Daivies et al 2001), debido a los resultados de dichos estudios se les han propuesto como especies fitoremediadoras. El *Helianthus annuus* (“girasol”), pertenece a dicha familia y es reportado por su alta capacidad radicular, la cual puede extraer entre el 10 al 25% de los metales del suelo. Además, dichas investigaciones muestran que los niveles de crecimiento de esta especie en medios contaminados fueron superiores a los niveles de crecimiento de plantas que crecen bajo condiciones no contaminadas (Mani et al., 2007).

El girasol absorbe los metales pesados en mayor cantidad en sus raíces que en sus brotes si se cosecha la biomasa entera de la planta, por lo que se considera una planta hiperacumuladora favorable en la fitoextracción para Cd, Zn, Pb y elementos radiactivos (Christie et al., 2004; Reeves, 2003; Davies et al.,

2001). También se ha reportado como hiperacumuladora para Cr (III) y Cr (VI) (De la Rosa et al., 2008). Debido a lo mencionado, la hiperacumulación evidentemente presupone tolerancia a la exposición. Sin embargo, es también muy sensible a concentraciones muy elevadas de metales, especialmente del cromo (VI), mostrando signos de fitotoxicidad (Shahandeh & Hossner, 2000).

En la tesis de doctorado “Capacidad del girasol (*Helianthus annus L.*) para absorber cadmio de suelos contaminados en ambiente controlado-Puno” de la doctora María Elena Suaña Quispe demuestra al girasol como una especie potencial de rizofiltración, pues se obtuvo un 5.716% de absorción en la zona radicular y como potencial de planta hiperacumuladora de cadmio.

En la tesis de maestría denominada “Fitoextracción en suelos contaminados con cadmio y zinc usando especies vegetales comestibles” elaborado por la Ing. Margarita Beltrán Villavicencio, Se confirmó la hipótesis de que las especies vegetales comestibles, tales como la lechuga (*Lactuca sativa*), el calabacín (*Cucurbita moschata*) y el girasol (*Helianthus annus*), son tolerantes a la presencia de Cd y Zn e hiperacumuladores de Cd, por lo que pueden participar en el proceso de fitoextracción en

sitios contaminados con Cd y Zn. Asimismo, se demostró que las tres especies vegetales comestibles usadas, traslocan el Cd y el Zn hacia los tallos y las hojas; incluso se observó la presencia de Cd y de Zn.

El estudio de Zhao et al (2006), se demostró que la fitoextracción de zinc y cadmio por *Thlaspi caerulescens* es sólo eficiente en suelos moderadamente contaminados, ya que el factor de bioconcentración de zinc varía desde 30 en suelos moderadamente contaminados, hasta 1 cuando la planta crece en suelos con una alta contaminación de zinc.

2.2 Marco conceptual

2.2.1. *Helianthus annuus* (“girasol”)

Girasol, es el nombre común de las hierbas anuales (florecen en verano y otoño) que forman el género *Helianthus*, de la familia de las Asteraceae (Compositae). En la Tabla N° 2.1 se detalla la clasificación taxonómica.

De acuerdo a su descripción botánica, el género, cuenta con unas 67 especies, se considera nativo de Norteamérica y Sudamérica. 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 (Moody et al., 1994).

TABLA N° 2.1
CLASIFICACIÓN TAXÓNOMICA

Reino	Vegetal
División	Angiospermae
Clase	Dicotiledónea
Orden	Esterales
Familia	Asteraceae
Genero	<i>Helianthus</i>
Especie	<i>H.annusL.</i>

Fuente: Cronquist, 1998

En la antigüedad, la planta 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. 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 respiratorias (Holt, 1992).

a) Partes del girasol

- Raíz

Cuenta con una raíz pivotante (principal); se forma por un eje principal dominante y abundantes raíces secundarias de grandes dimensiones, pudiendo alcanzar en algunos casos los 4 m de altura. La raíz crece con mayor rapidez al iniciarse al desarrollo de la planta (Martinez et al, 2017).

- Hojas

Las hojas son alternas, grandes, trinervadas, muy pecioladas, de forma variables, acuminadas, dentadas, con velloso áspera en el haz y el envés, que miden de 15mm a 40 mm y pudiendo llegar en algunos ejemplares hasta más de 20cm (Infoagro, pág.1).

La posición de las hojas en tallo es la siguiente: en los primeros 2 o 3 pares son apuestas y los demás son alternas. El número de hojas por planta varía entre 12 y 40, según las condiciones del cultivo y las peculiaridades individuales de la variedad. En función de la fertilidad del

suelo, la superficie foliar de una planta madura abarca de 3000 a 6000 cm², y el contenido de clorofila es aproximadamente 16.5 mg/10 g de hojas frescas (Ortegón et al, 1993).

- Tallo

Presenta un único tallo áspero, vellosa sin ramificación, pudiendo alcanzar los 3 m de longitud (Infoagro, pág. 1). Al llegar a la madurez se inclina en la parte terminal a consecuencia del peso de la inflorescencia. El diámetro varía entre 2 y 6 cm, con mayor grosor en la parte inferior del tallo (Ortegón et al, 1993).

- Inflorescencia

La inflorescencia (llamada capitulo o cabeza) está formada por un numero de flores que fluctúa entre 500 y 1500. Su borde se compone de brácteas protectoras que forman el involucre. El conjunto toma la forma de un disco que constituye el receptáculo. El receptáculo es un disco plano, cóncavo o convexo, el cual tiene insertadas las flores en la cara superior y las brácteas en el borde. En plena floración es semicarnoso y succulento. En el

receptáculo hay dos tipos de flores: liguladas y tubulosas. (Ortegón et al, 1993).

Las flores son exclusivamente de color amarillo, con diámetros de hasta 30 cm (Moody et al., 1994), presentando mínimas variaciones de la tonalidad (Infoagro, pág. 1).

- Fruto

Una vez fecunda la flor, el ovario se transforma en fruto y el ovulo en semilla. En botánica el fruto del girasol se llama aquenio, el cual es seco, indehiscente y se compone por el pericarpio y la semilla. Comúnmente se le denomina “semilla” o “grano”. El pericarpio (cáscara) es seco, fibroso y está separado de la semilla (almendra) a la cual protege. Su color puede ser blanco, estriado (negro y blanco), negro, pardo o rojizo, pero el color más común es el negro (Ortegón et al, 1993).

b) Requerimientos edafoclimáticos

- Nutrientes

La relación de nutrientes primarios como nitrógeno (N), fósforo (P_2O_5) y potasio (K_2O) requerida no debe

alejarse de la siguiente fórmula: 2.5 N: P₂O₅: 2.5 K₂O
(Hanna, 1999).

- Suelo

Es un cultivo poco exigente en el tipo de suelo, aunque crece mejor en los arcillo-arenosos y ricos en materia orgánica, sin embargo es esencial que el suelo tenga un buen drenaje. El girasol es muy poco tolerante a la salinidad, y el contenido de aceite disminuye cuando esta aumenta en el suelo. En suelos neutros o alcalinos la producción de girasol no se ve afectada, ya que no aparecen problemas de tipo nutricional (Ortegón et al, 1993).

- Temperatura

Es un factor muy importante en el desarrollo del girasol (Porta et al., 1999) crecen bien en climas cálidos, con temperaturas entre 18 °C a 25 °C y con máximas de 35 °C. Si la temperatura es muy alta durante la floración y llenado del grano, provoca una importante pérdida en la producción final, tanto en peso como en contenido graso. La temperatura óptima del suelo para la siembra varía entre 8 y 10°C (Ortegón et al, 1993).

- Fotoperíodo y luz

Las diferencias en cuanto a la aparición de hojas, fecha de floración y a la duración de las fases de crecimiento y desarrollo son atribuidas al fotoperíodo. Durante la fase reproductiva el fotoperíodo deja de tener influencia y comienza a tener importancia la intensidad y la calidad de la luz, por tanto un sombreo en plantas jóvenes produce un alargamiento del tallo y reduce la superficie foliar (Ortegón et al, 1993).

- Humedad

Durante la época de crecimiento activo y sobre todo en el proceso de formación y llenado de las semillas el girasol consume importantes cantidades de agua. El consumo de agua será máximo durante el periodo de formación del capítulo, ya que el girasol toma casi la mitad de la cantidad total de agua necesaria (Ortegón et al, 1993).

c) Etapas fenológicas del girasol

En la Figura N° 2.1 se muestra las etapas y estadios fenológicos del girasol. Las cuales se detallan a continuación:

i. Etapa de siembra y emergencia

Considera como uno de los momentos más importantes del cultivo debido a que se logra la correcta implementación del desarrollo del cultivo (Boletín Pionner).

ii. Etapa de emergencia y floración

Comienza con la emergencia de la plántula y termina cuando el ápice comienza a diferenciar inflorescencias. Esta etapa se caracteriza por un activo crecimiento de las raíces, significativamente mayor a la parte aérea. Finaliza con el cambio de ápice de vegetativo a reproductivo, proceso que ocurre unos 20 a 30 días después de la siembra cuando las plantas tienen unas 6 hojas expandidas. Se puede observar que los 2 o 3 primeros pares de hojas se disponen de

forma opuesta, y los siguientes de modo alterno (Boletín Pionner).

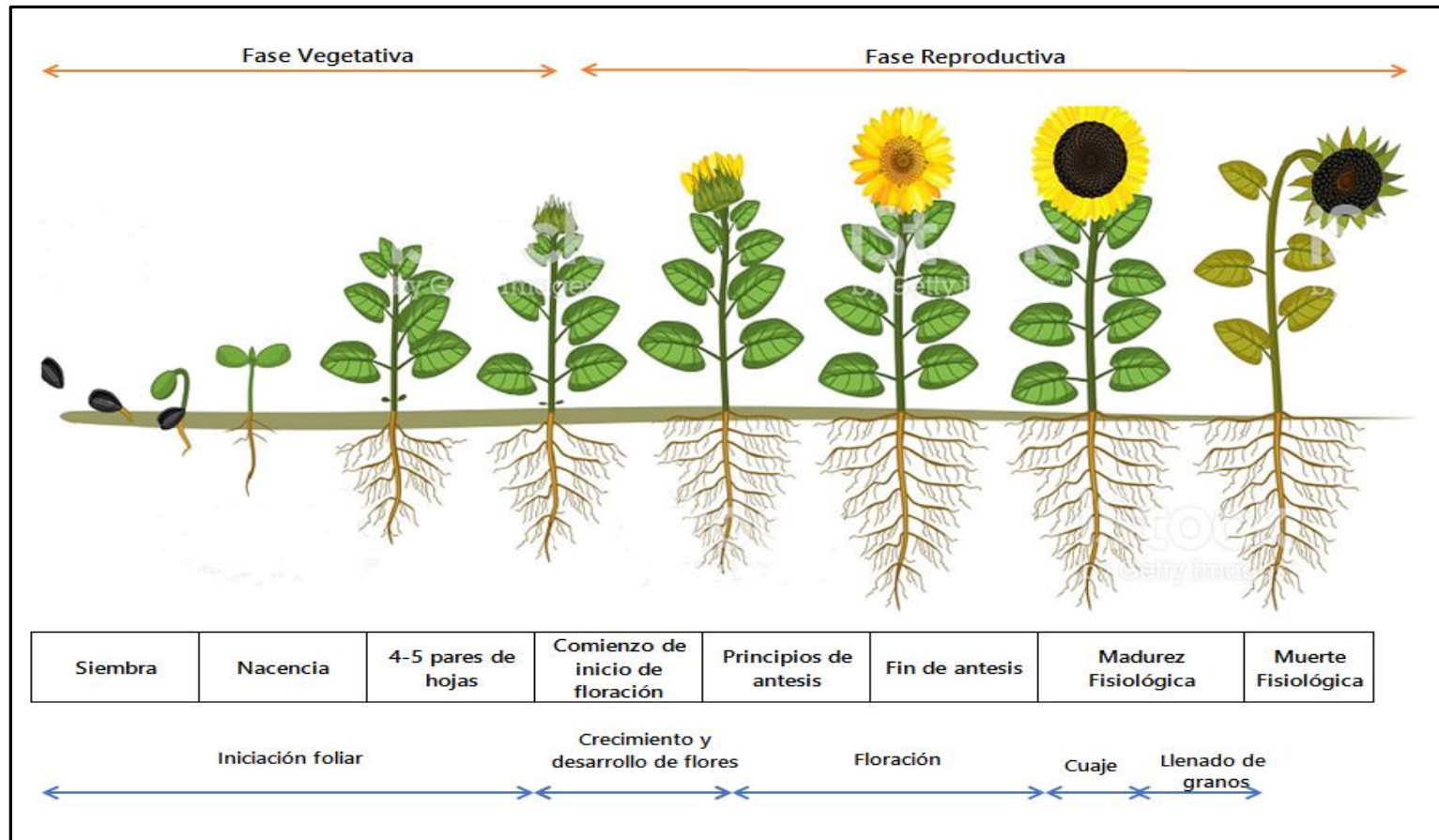
iii. Etapa de iniciación floral-Floración

En esta etapa se diferencian las flores, además continua el activo desarrollo de raíces y se produce la expansión foliar. Este periodo culmina al comenzar la floración (al iniciarse la antesis de las flores), la duración depende de la temperatura y fotoperíodo. A mayor temperatura aumenta la tasa de diferenciación floral pero se acorta el tiempo durante el que ocurre este proceso (Boletín Pionner).

iv. Etapa Floración- Madurez Fisiológica,

Durante el período de floración que dura entre 7 y 10 días, se define el número de granos fijos y se produce la acumulación de carbohidratos, ácidos grasos y proteínas en los granos, determinándose el peso de los mismos y su porcentaje de aceite (Boletín Pionner).

FIGURA N° 2.1
FENOLOGÍA DE LA PLANTA DE GIRASOL



Fuente: Trápani, 2003

Elaboración propia

2.2.2. Cadmio

a) Propiedades fisicoquímicas del cadmio

El cadmio es un elemento no esencial y poco abundante en la corteza terrestre, cuyos valores naturales en el suelo varían entre 0.1 a 0.2 ppm (Pinto et al., 2003). En la tabla N°2.2 se describen las propiedades fisicoquímicas del cadmio.

TABLA N° 2.2
PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL CADMIO

Símbolo químico	Cd
Grupo	II B (metales no ferrosos),
Valencia	2
Estructura	Cristalina hexagonal.
Forma	Blanco, metal blando
Características	Maleable, dúctil y flexible
Punto de fusión	321°C
Punto de ebullición	765°C
Numero atómico	48
Peso atómico	112.41
Densidad	8.64 g/cm ³

Fuente: Stoeppler, 1991.

b) Movilidad del cadmio

El comportamiento químico del cadmio se asemeja al del zinc, pero es mucho más afín al azufre y más móvil en ambientes ácidos. En el medio natural el cadmio se encuentra con valencia 2+(divalente), por lo que en solución forma especies químicas tales como cloruro de cadmio (CdCl^+), hidróxido de cadmio (CdOH^+), carbonato hidrogenado de cadmio (CdHCO^{3+}), tetracloruro de cadmio (II) CdCl_4^{2-} , monohidroxodicadmio II ($\text{Cd}(\text{OH})^{3-}$) y $\text{Cd}(\text{OH})_4^{2-}$ y quelatos orgánicos (Kabata-Pendias, 2000). La solubilidad de las sales de cadmio en agua es muy variable; los halogenuros, el sulfato y el nitrato son solubles mientras que el óxido, el hidróxido y el carbonato son prácticamente insolubles (Badillo Germán, 1985).

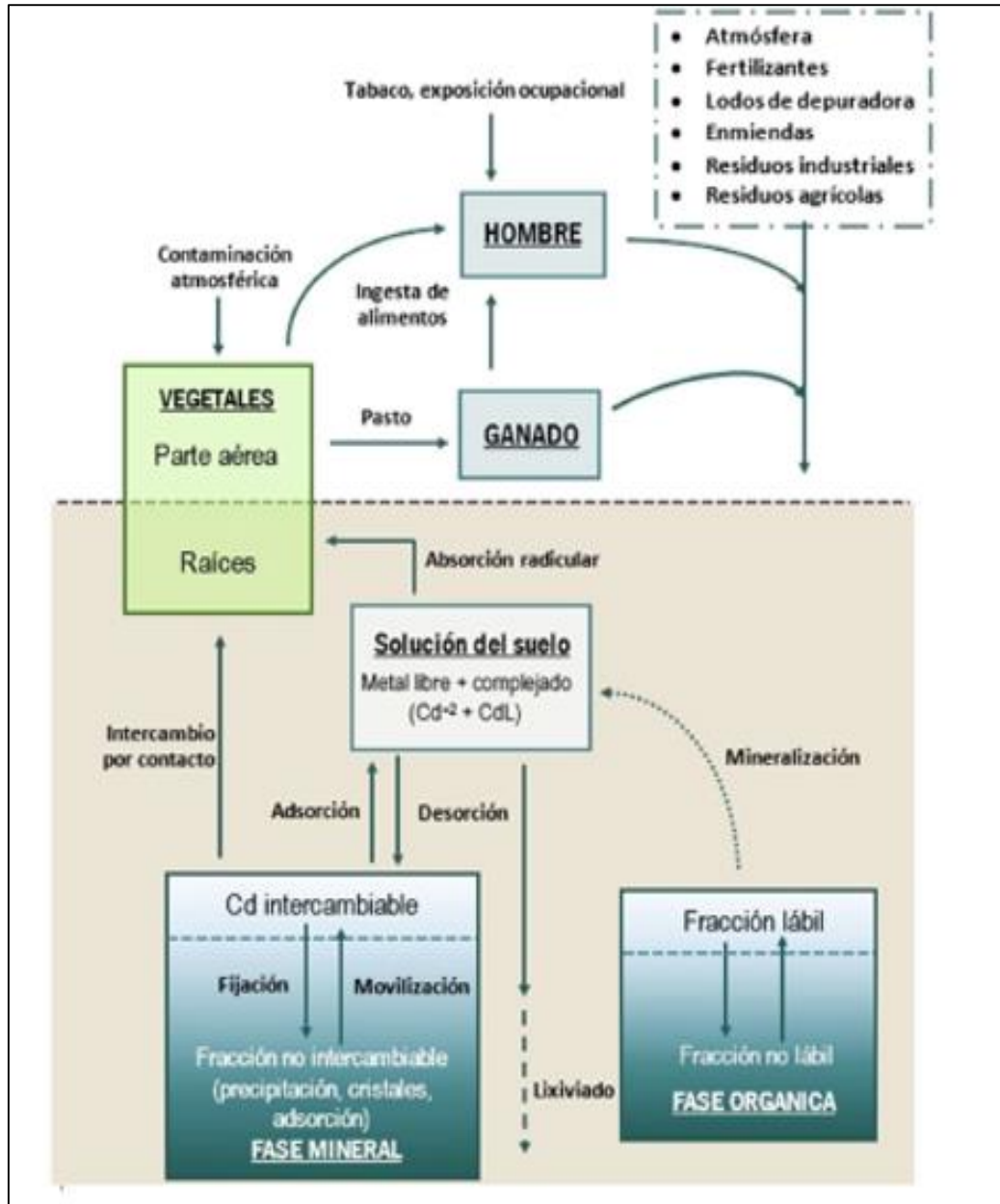
Bajo condiciones extremas de oxidación, o durante su refinado y fundición, el cadmio da lugar a óxido de cadmio (CdO), que también constituye un peligro para la salud. (Badillo, 1985). También puede encontrarse en el aire como cloruro o sulfato en forma de partículas o vapores, como resultado de procesos a altas temperaturas. Dichos compuestos pueden recorrer grandes distancias en la

atmósfera para ser depositados sobre la superficie del suelo o de las masas de agua (ATSDR, 2012).

En la Figura N°2.2 se ilustra la circulación de cadmio en el sistema suelo-planta y su interacción con el ambiente, el cual se considera un sistema abierto, debido a que se encuentra sujeto a aportes, tales como contaminantes, fertilizantes y pesticidas, lodos depurador, residuos industriales y agrícolas, así como también a pérdidas, mediante lixiviación, erosión o volatilización.

El cadmio puede encontrarse en el suelo bajo diferentes formas, soluble en la solución del suelo, como ion intercambiable de los coloides que integran el complejo de cambio (Fase mineral), formando complejos con la materia orgánica, adsorbidos por minerales (Fase orgánica) o bien como constituyentes de los minerales secundarios del suelo. Se incorpora a la planta a través de las raíces, las cuales pueden ser consumidas por el ganado que a su vez es consumido por el ser humano, además dicho metal puede movilizarse a aguas superficiales o subterráneas, así incorporarse a las cadenas tróficas.

FIGURA N° 2.2
FLUJO DE CADMIO EN EL AMBIENTE



Fuente: McLaughlin y Singh, 1999

c) Fuentes de generación de cadmio

En las últimas décadas la contaminación ambiental por cadmio ha aumentado como consecuencia del incremento de la actividad industrial que ha tenido lugar a finales del siglo XX y principios del siglo XXI, afectando de forma progresiva a los diferentes ecosistemas (Pinto et al., 2004). Entre los factores antropogénicos de contaminación de cadmio se encuentran los siguientes:

- Emisiones atmosféricas

En forma de polvo y vapores, provenientes de explotaciones mineras, ya que el cadmio se extrae como subproducto del Pb, Zn, Cu y otros metales, de fundiciones de metales y de plantas incineradoras y emisiones industriales procedentes de la producción de pigmentos para cristales, anticorrosivos, baterías de Ni/Cd, e insecticidas (McLaughlin & Singh, 1999).

- Fertilizantes Fosfatados

En pasadas investigaciones (Charter et al., 1993; Mermut et al., 1996; Mortvedt, 1996) se concluyó que el uso de fertilizantes fosfatados es la principal fuente de contaminación de cadmio en suelos agrícolas, en

gran medida a las rocas fosfóricas, que son la materia prima de todos los fertilizantes fosfáticos, los cuales generalmente contienen concentraciones de metales superiores al promedio de la corteza terrestre. Los metales permanecen en una proporción importante en los fertilizantes industriales y posteriormente son aplicados al suelo junto con el fósforo. De acuerdo a la gráfica N°2.4 representa la fuente con mayor aporte de cadmio con 34%.

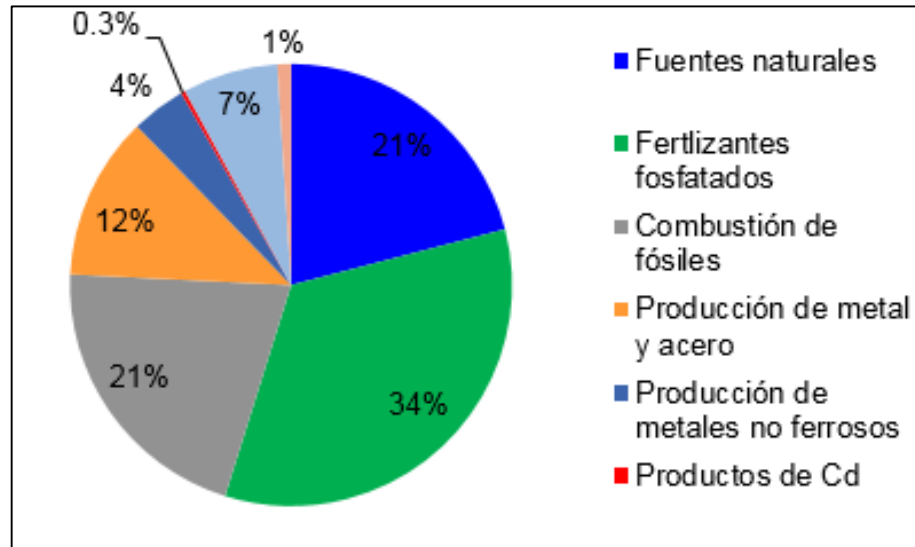
- Aguas residuales urbanas

Los lodos procedentes de aguas residuales por su contenido de nutrientes son usados en la fertilización de algunos cultivos. La aplicación continua en áreas agrícolas puede generar la acumulación de metales pesados que pueden estar presentes en los lodos.

- Contaminación accidental

Ocurre eventualmente debido a la contaminación de tierras por procesos industriales, residuos de la minería y corrosión de estructuras galvanizadas (Aguilar et al., 2003).

FIGURA N° 2.3
FUENTES DE GENERACIÓN DE CADMIO (%)



Fuente: Regoli, 2005

Existe preocupación de que la utilización de fertilizantes fosfatados aumentaría lentamente el contenido de Cd en la tierra cultivable y que esto pudiera dar lugar, con el tiempo, a que exista un nivel que exceda los niveles aceptables en los productos agrícolas (Abanto Aguirre, 2016).

Si bien el empleo actual de fertilizantes no presenta ningún peligro inmediato, el desarrollo de procesos para la eliminación del cadmio debe ser objeto de prioridad, ya que en los últimos años la presencia de Cd en los suelos y el riesgo de ingreso de este elemento a la cadena alimenticia, ha generado mundialmente una preocupación creciente, debido al efecto

tóxico de este elemento en humanos y animales (McLaughlin & Singh, 1999).

d) Cadmio en el suelo

El cadmio está normalmente presente en el suelo a concentraciones menores de 1 mg/Kg de Cd (1ppm), generalmente entre 0.1 o 0.15 y 0.2 mg/Kg (Boudene, 1978); mientras que en los lugares contaminados se ha encontrado por arriba de 16 mg/Kg de Cd (Galvao y Corey, 1987).

La concentración media de cadmio en suelos de países europeos varía entre 0.06-0.5 mg/kg. En áreas contaminadas puede ser incluso 100 veces mayor al promedio anterior. Hay evidencias de que la aplicación de fertilizantes fosfatados aumenta la presencia de cadmio en el suelo de 0.3 a 38 gr por hectárea al año (Repetto, M; 1995; pág. 396)

Químicamente, el cadmio puede estar en las siguientes formas en el suelo:

- Solución del suelo

Esta ocupa el espacio poroso y baña la superficie de las partículas orgánicas e inorgánicas y el sistema

radicular. El Cd se encuentra en dicha solución en forma iónica (Cd^{2+}) principalmente y es fácilmente disponible para su absorción por las plantas y organismos del suelo. Algunas plantas pueden absorber grandes cantidades de este elemento originando problemas de toxicidad para la planta y el consiguiente paso a través de la cadena trófica. La concentración de Cd en la solución del suelo es relativamente baja en torno a $6 \mu\text{g/L}$ en suelos no contaminados, alcanzándose valores de hasta $400 \mu\text{g/L}$ en suelos contaminados (Sarria & Sanchez).

- Adsorbidos en el complejo de cambio

Las partículas coloidales, del tipo arcillas y materia orgánica, poseen una carga superficial predominantemente negativa que atrae a los iones cargados positivamente desde la solución del suelo, creando densas capas de iones adsorbidos a la superficie de los coloides (adsorción no específica). Dicha adsorción está condicionada, entre otros, por la concentración de los cationes en solución, y de esta

forma el Cd puede quedar retenido en la superficie coloidal (Sarria & Sanchez).

- Complejado

El ion Cd^{2+} puede formar complejos con los grupos OH de la materia mineral, como los oxihidróxidos de Fe y Mn y las arcillas presentes en el suelo. Este proceso es pH-dependiente, de forma que las condiciones ácidas promueven la desorción y liberación del metal a la solución del suelo, mientras que a pH mayores la retención del metal esta favorecida. El ion Cd^{2+} también puede formar quelatos con la materia orgánica del suelo. Los principales grupos funcionales de la materia orgánica implicados en la formación de dichos complejos metálicos son los grupos carboxílico, fenólico y alcohólico. La acidificación del suelo juega un papel muy importante ya que una disminución del pH implica la ruptura metal-grupo funcional, liberándose el Cd^{2+} a la solución del suelo (Sarria & Sanchez).

- Precipitado

El Cd puede precipitar desde la solución del suelo como carbonatos, fosfatos, hidróxidos, humatos, fulvatos etc., extrayendo el metal de la solución del suelo de forma más permanente. Además, en condiciones anaerobias, el Cd puede precipitar con el sulfuro de hidrógeno que se forma por la reducción biológica de los iones sulfato. Para los hidróxidos, esta precipitación tendrá lugar cuando la concentración del ion metálico y los aniones excedan el valor del producto de solubilidad del Cd (Sarria & Sanchez).

- Fijado a la estructura mineral

La liberación a la solución del suelo va a requerir la ruptura de la estructura mineral por alteración química (Sarria & Sanchez).

De acuerdo a los estudios (Holmgren et al., 1993; Christensen) la absorción de cadmio por los cultivos depende de diferentes factores del suelo entre los que se podría indicar:

i. Acidez del suelo

La mayor absorción se encuentra fuertemente relacionada con la acidez. El efecto del pH se debe a que el cambio en la acidez del suelo provoca la liberación de algunos cationes adsorbidos en las partículas del suelo, estos cationes a su vez pueden reaccionar con otros modificando su disponibilidad para las plantas.

ii. Contenido de cadmio en el suelo

A mayor contenido de cadmio hay mayor absorción de este elemento por la planta.

iii. Temperatura del suelo

A mayor temperatura hay mayor absorción porque hay mayor velocidad de reacciones y mayor solubilidad.

iv. Unión de los minerales del suelo

A mayor unión, menor absorción del cadmio por el cultivo.

v. Contenido de humus en el suelo

A mayor humus, mayor CIC, por lo que habría menor cadmio en solución, lo que permite menor absorción.

e) Ingreso, transporte y acumulación de cadmio

Según los estudios (Poschenrieder et al. 1989; Sandalio et al. 2001; Singh & Tewari 2003), cuando el cadmio se integra en el suelo y por movilización ingresa a la planta, se produce la interferencia en la entrada, transporte y utilización de elementos esenciales (calcio, magnesio, potasio y fosforo) y del agua, provocando desequilibrios nutricionales e hídricos en la planta. Además, provoca modificaciones en la apertura estomática (Sandalio et al. 2001), desequilibrios en el metabolismo del cloroplasto como la inhibición de la síntesis de clorofila y reduciendo la actividad de enzimas implicadas en la fijación de CO₂ (Ali et al. 2000; Maksymiec et al. 2007; Sandalio et al. 2001), reducción de la actividad ATPasa de la membrana plasmática (Astolfi et al. 2005).

Por ser un metal no esencial se asume que no existen mecanismos de entrada específicos para el cadmio. Entre las

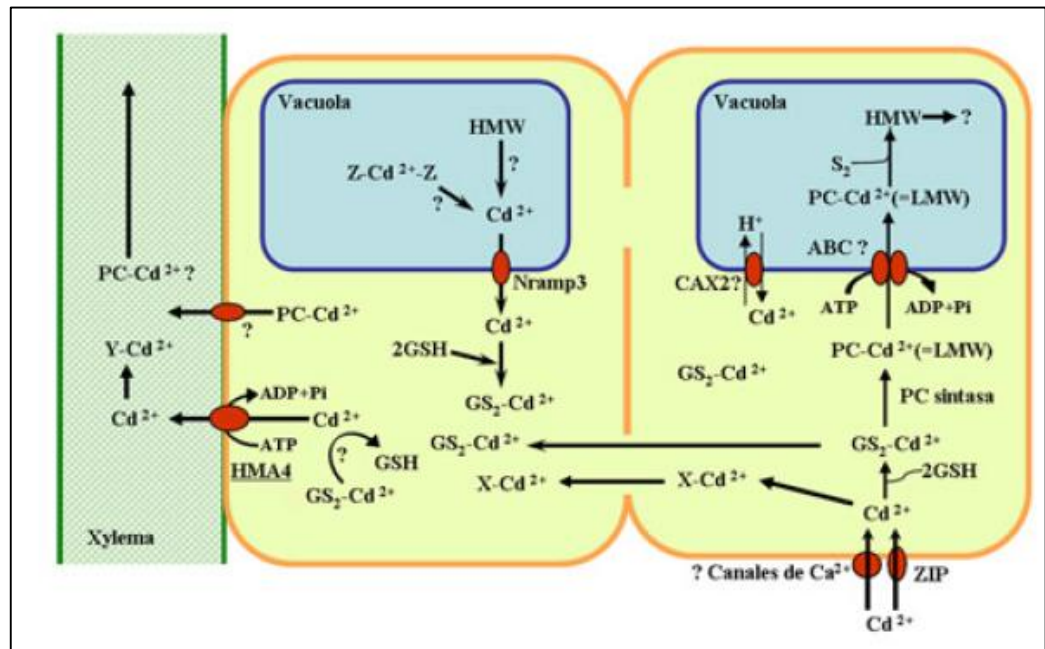
proteínas responsables de la entrada de cadmio a la célula de la planta cabe destacar el transportador específico de calcio LCT1 (Clemens et al. 1998), y la proteína IRT1, perteneciente a la familia de transportadores de Zn y Fe (ZIP). Otra familia de transportadores implicados es la Nramp, localizada en la membrana de la vacuola, por lo que probablemente tenga una función en la movilización del metal y no en el ingreso del mismo a la raíz (Thomine et al. 2003).

Una vez dentro de la célula el cadmio puede coordinarse con ligandos de S como glutatión (GSH) o fitoquelatinas (PCs) y ácidos orgánicos como el citrato (Clemens 2006; Domínguez-Solís et al. 2004). Otras posibles moléculas responsables de la quelación del cadmio son pequeñas proteínas ricas en cisteína denominadas metalotioneínas (MTs).

En la planta, el cadmio se acumula preferentemente en la raíz secuestrado en la vacuola de las células, y solo una pequeña parte es transportada a la parte aérea de la planta concentrándose en orden decreciente en tallos, hojas, frutos y semillas (Hale & Chan, 2004). Una vez en la raíz, el cadmio puede pasar al xilema a través del apoplasto formando complejos (Clemens et al 2002).

En la Figura N°2.4 se muestra un esquema de los mecanismos de del ingreso del cadmio a través de las células, secuestro y traslocación en las raíces.

FIGURA N°2.4
MECANISMOS DE INGRESO, SECUESTRO Y
TRASLOCACIÓN DE Cd EN RAÍCES



Fuente: Clemens, 2006

Para Abanto (2016), la absorción por medio de las raíces es la ruta más importante para el ingreso de los metales pesados a la planta, y hay tres mecanismos distintos por los cuales se puede dar el movimiento de los iones contaminantes:

i. Intercepción radicular

Al ir aumentando el sistema radicular de una planta se va incrementando su volumen radicular y por ello se intercepta un volumen cada vez mayor de solución suelo (fase líquida del suelo en la cual se encuentran disueltos los elementos nutritivos y a disposición de los cultivos). De esta forma, la raíz entra en un contacto más íntimo con los iones que están unidos por cargas electrostáticas a las arcillas o a la materia orgánica. Este mecanismo tiene una mayor importancia para nutrientes de baja actividad iónica, es decir para aquellos nutrientes que son menos solubles en agua.

ii. Flujo de masas

El cual consiste en el movimiento del agua y de los nutrientes de la solución suelo a la raíz. Este proceso se debe a la pérdida de agua por la transpiración de la planta, lo cual crea una fuerza de succión por la diferencia de presión de agua entre el interior y exterior de la planta.

iii. Difusión

Proceso espontáneo por el que ocurre un movimiento de los iones por una gradiente de potencial químico de una solución de mayor concentración a una menor concentración. Este mecanismo es importante para iones de alta energía.

2.2.3. Tolerancia de las plantas frente al Cadmio

Las plantas han desarrollado distintas estrategias para evitar la toxicidad de metales pesados (Benavides et al. 2005). La clorosis es uno de los síntomas más extendidos de la toxicidad por cadmio producida por una deficiencia en hierro.

En general, la tolerancia a metales viene determinada por la reducción del transporte del mismo al interior de la célula y/o una mayor capacidad para secuestrar estos metales. La raíz constituye una de las principales barreras de defensa mediante la inmovilización del Cd por pectinas de la pared celular. Los carbohidratos extracelulares (mucílago y calosa) de la raíz también pueden intervenir en la inmovilización del metal (Benavides et al. 2005).

La acumulación del metal en los tricomas de la superficie foliar también es un mecanismo de inmovilización y defensa

celular (Salt et al. 1995). Otro mecanismo consiste en la reducción del transporte o aumento de la extrusión del Cd por transportadores de cationes de la membrana plasmática (Thomine et al. 2000). Una vez dentro de la célula, el Cd u otros metales, pueden ser secuestrados por ácidos orgánicos, aminoácidos, fitoquelatinas y metalotioneínas, y posteriormente compartimentalizados en la vacuola para prevenir su toxicidad. Las fitoquelatinas constituyen uno de los principales mecanismos de defensa frente a metales pesados. Su síntesis tiene lugar a partir del glutatión y se induce en presencia de metales pesados (Clemens, 2006). Plantas que sobreexpresan la enzima fitoquelatina sintasa muestran una mayor tolerancia frente al Cd (Pomponi et al. 2006).

2.2.4. Toxicología del Cadmio

Uno de los mayores agentes tóxicos asociado a contaminación ambiental e industrial es el cadmio, pues reúne tres de las características más temidas de un tóxico:

- Efectos adversos para el hombre y el medio ambiente.
- Bioacumulación.
- Persistencia en el medio ambiente.

a) Toxicología ambiental

El cadmio presente en el ambiente se origina por fuentes naturales y fuentes antropogénicas; siendo la actividad volcánica la mayor fuente de origen natural de este metal pesado alojándose en la superficie terrestre y rocas sedimentarias, donde puede ser liberado por la erosión natural del ambiente (PNUMA, 2010). El cadmio de origen antropogénico es consecuencia de su emisión a la atmósfera por diferentes industrias principalmente la fundición de zinc, el reciclaje de batería de níquel-cadmio y de aleaciones de cadmio; posteriormente se distribuye los distintos componentes ambientales (Repetto,págs. 394-395).

El transporte a los diferentes medios ambientales se realiza a través del aire, en el que persiste por un periodo relativamente corto (días-semana). De la atmósfera, el metal se deposita sobre la tierra en forma de polvos diversos como deposición seca (0.1 a 500 mg Cd/m²-año) o húmeda (0.02 a 3 mg Cd/m²-año), generalmente presente en los horizontes superficiales. Posteriormente es absorbido por partículas del suelo; pueden al mismo tiempo incorporarse a estructuras biológicas o llegan incluso a disolverse en el agua del suelo. Este cadmio en estado disuelto es móvil pudiendo ser

arrastrado por los ríos hacia el mar y en algunos casos es absorbido por las plantas y filtrado por el subsuelo contaminado incluso las aguas subterráneas (Repetto,1995)

b) Toxicología clínica humana

Las principales vías de exposición para los seres humanos resultan ser algunos puestos de trabajos (fundidores, soldadores, etc), así como el consumo de tabaco. Siendo la dieta la principal fuente de exposición al cadmio para no fumadores ni trabajadores expuestos (Hernández, 2014).

Repetto (1995) calculó que más de 80% del cadmio ingerido proviene de cereales especialmente arroz y trigo, verduras de hoja y tubérculos principalmente papas y zanahorias, cuyas concentraciones se encuentran entre 10 y 100 µg /kg. Los valores más altos se dan en los moluscos y mariscos, con concentraciones de cadmio mayores de 1 mg/kg (pág.397).

La absorción por vía inhalatoria depende de la solubilidad y del tamaño de las partículas. El 15% de las partículas de cadmio en el aire es absorbido por los humanos, en comparación con el 40% de la absorción de partículas por el humo de cigarrillos. Una vez absorbido por los pulmones o el

tracto gastrointestinal (por ingesta de alimentos con cadmio), el cadmio es transportado por la sangre al hígado y otras partes del cuerpo (Repetto, 1995).

La intoxicación por cadmio se manifiesta por una variedad de patologías que incluyen: disfunción y lesión renal, neurotoxicidad , daños pulmonares, disfunciones sexuales, carcinogénesis, mutagénesis ,teragénesis y enfermedades óseas tales como osteoporosis y fracturas óseas espontáneas (Repetto, 1995).

Satarug (2010) asegura que la enfermedad “itai-itai” producida por Cd en Japón es un ejemplo de enfermedad ósea originada por la exposición crónica de la población al cadmio vía alimentos y agua.

El Cd también se considera un disruptor endocrino debido a su capacidad de unirse a los receptores celulares estrogénicos y mimetizar las acciones de los estrógenos y además existe evidencia de que la exposición a Cd puede conducir al desarrollo de cáncer de próstata y mama (Gallagher, 2010).

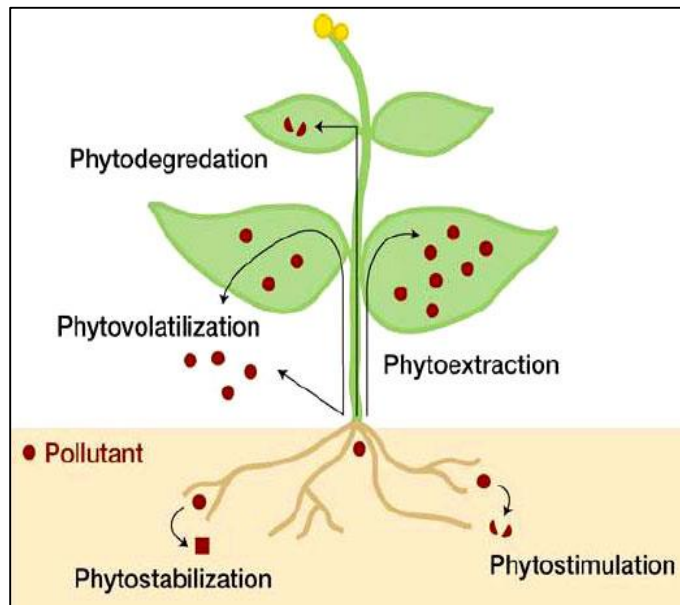
De acuerdo a la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria ha establecido una ingesta semanal tolerable (TWI) de cadmio de 2,5 ug por kg de peso corporal (EFSA, 2011). Esto se traduce, en una persona de 60 kg, en una TDI (ingesta diaria tolerable) de 21,4 µg. La exposición al cadmio a través de los alimentos oscila entre 2,04 y 3,66 µg/kg de peso corporal por semana (EFSA, 2012).

2.2.5. Fitorremediación

La fitorremediación (phyto = planta y remediación= mal por corregir), es uno de los procesos que utiliza plantas para remover, transferir, estabilizar, concentrar y/o destruir contaminantes (orgánicos e inorgánicos) en el agua, suelo, lodos y sedimentos, y puede aplicarse tanto in situ como ex situ. (Agúdelo, Macías, & Suárez, 2005). Es decir, la fitorremediación son técnicas que se emplean para la disminución de un contaminante usando plantas o cultivos.

Los métodos empleados son la fitodegradación, fitoestimulación, fitovolatilización, fitoextracción, fitoestabilización y rizofitrición (Mulas Fernández; pág. 40).

FIGURA N°2.5
REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LOS
MECANISMOS DE FITORREMEDIACIÓN.



Fuente: Pilon-Smits, 2005

a) Fitodegradación

Consiste en la transformación química de los contaminantes mediante procesos metabólicos internos o externos que conduce a su degradación completa o parcial, su inmovilización y/o inactivación (Mulas Fernández; pág 38).

b) Fitoestimulación

También denominada rizodegradación, consiste en la degradación del contaminante en la zona radicular mediante el uso de microorganismos que degradan los contaminantes

usándolos como fuente de energía y/o carbono o como resultado colateral de la actividad de enzimas segregados para hidrolizar otras sustancias –cometabolismo- (Mulas Fernández; pág 40).

c) Fitovolatilización

Es el proceso por el cual las plantas y la actividad microbiana asociada, a través de enzimas especializados, pueden transformar, degradar y finalmente volatilizar los contaminantes desde el suelo (Torres & Zuluaga, 2009, pág 61) o del agua y su liberación a la atmósfera durante la transpiración generalmente en formas volátiles menos tóxicas.

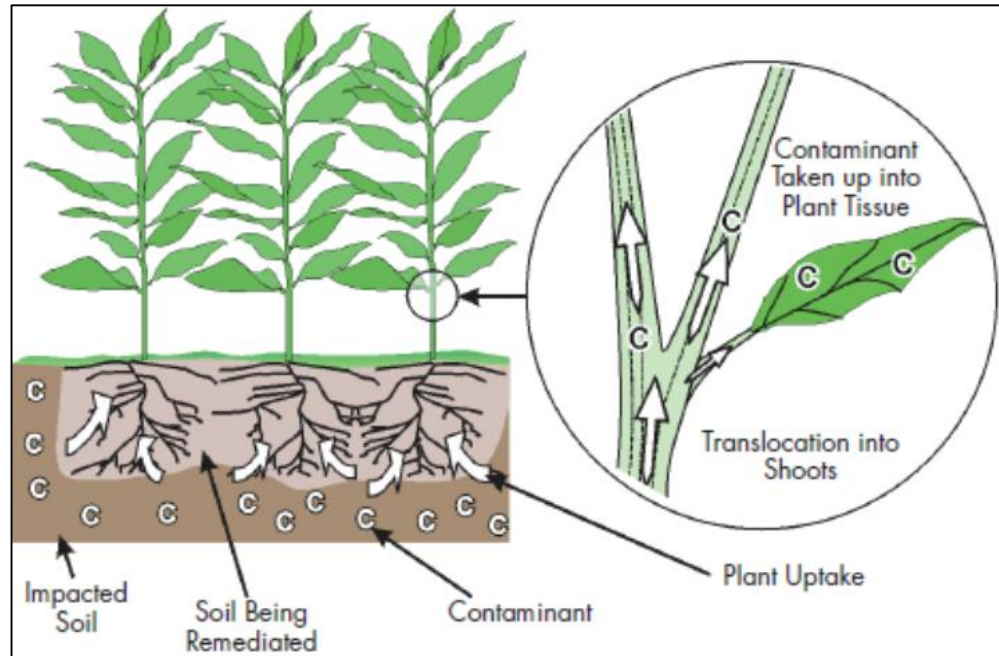
d) Fitoestabilización

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 rizosfera (Mendez & Maier, 2008).

e) Fitoextracción

Conocida también como fitoacumulación. Consiste básicamente en la captación de metales por las raíces de las plantas y su acumulación en tallos y hojas (EPA, 1996).

FIGURA N°2.6
FITOACUMULACIÓN DE CONTAMINANTES



Fuente: Phytotechnology Technical and Regulatory Guidance Document, 2011, pág. 8

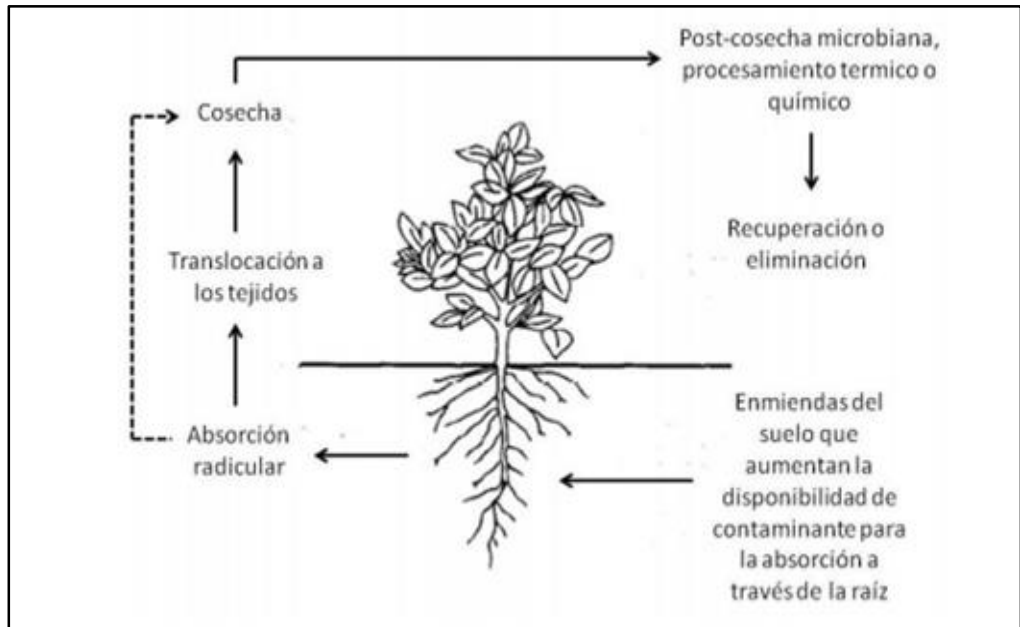
Un punto importante a considerar en el uso de la técnica de fitoextracción, es la recuperación de metales del tejido de la planta o si se requiere la disposición de los residuos. Algunas consideraciones de diseño incluyen el “factor de acumulación” (relación del metal en el tejido de la planta con respecto al metal en el suelo) y la productividad de la planta (kg de masa seca que es cosechable cada estación) (Beltrán, 2001).

Se selecciona un tipo de planta, según los metales presentes y las características del lugar y se plantan. Después de un tiempo, se cortan y se incineran o se deja que se transformen en abono vegetal para reciclar metales. Este procedimiento se puede repetir el número de veces que sea necesario para reducir la concentración de contaminantes del suelo a límites aceptables (Beltrán, 2001).

Si se considera la incineración de las plantas, los residuos deben colocarse en un confinamiento controlado, pero la cantidad de ceniza será sólo alrededor del 10 % del volumen de los residuos que habría que eliminar si se excavara el suelo contaminado para tratarlo (EPA, 1996).

En la Figura N° 2.7 se ilustra el proceso implicado en la fitoextracción de contaminantes.

FIGURA N°2.7
PROCESO IMPLICADO EN LA FITOEXTRACCIÓN
DE CONTAMINANTES DEL SUELO



Fuente: Cunningham, 1995

a) Alcances de la fitoextracción

De acuerdo Schnoor (1997) para que el tratamiento sea eficiente, se requiere una planta o cultivo debe cumplir los requisitos siguientes:

1. Crecimiento de más de 3 toneladas/ ha año de tejido vegetal en base seca.
2. Fácil de recolectar

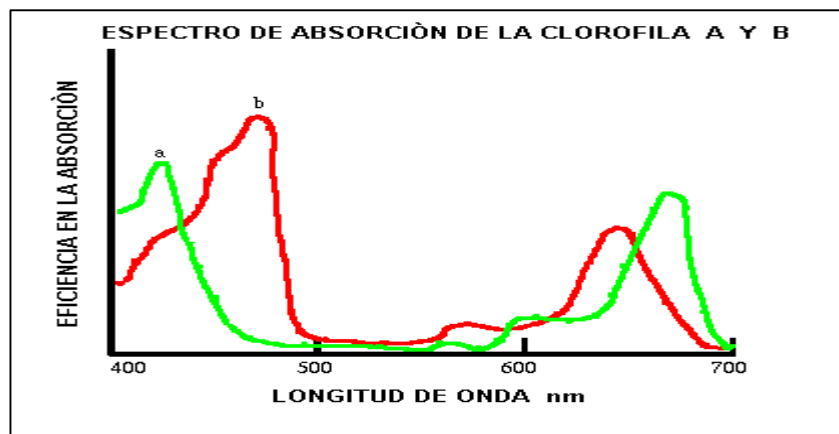
3. Acumuladora de grandes concentraciones del metal en la parte cosechable (>1000 mg de metal/kg, en base seca). Si la planta acumula niveles de metal 10 veces mayores a los que presenta el suelo, puede lograr una limpieza entre 3 a 5 años. Por ejemplo, si el suelo tiene una concentración de 500 mg de metal por kg, entonces la concentración en la planta debe ser aproximadamente 5000 mg/kg en masa seca.

2.2.6. Espectrofotometría

La espectrofotometría de absorción atómica, es una técnica para determinar la concentración de un elemento metálico determinado en una muestra en una solución. Teniendo como fundamento la absorción de radiación de una longitud de onda determinada para cada sustancia cuenta con su propio espectro de absorción, el cual es una curva que muestra la cantidad de energía radiante absorbida (Rocha Castro, 2000).

Se emplea en el análisis de aguas, análisis de suelos, bioquímica, toxicología, medicina, industria farmacéutica, industria alimenticia, industria petroquímica, etc. (Guerra Garcia, 2012).

FIGURA N° 2.8
ESPECTRO DE ABSORCIÓN DE DOS
COMPUESTOS DIFERENTES



Fuente: Hernández,2014

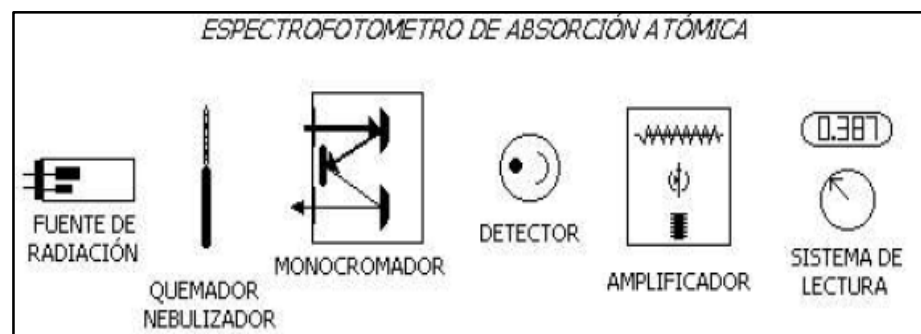
De acuerdo a Antuña (2007) los componentes básicos de cualquier espectrofotómetro son:

- Una fuente de radiación que emita una línea específica para efectuar una transición en los átomos del elemento analizado.
- Un nebulizador, que por aspiración de la muestra líquida, forma pequeñas gotas para una atomización más eficiente.
- Monocromador, el cual permite separar las longitudes de onda de la radiación lumínica, que puede ser un prisma o una rejilla de difracción, y una rendija de

salida para seleccionar la longitud de onda con la cual se desea iluminar la muestra.

- Detector, el sistema de detección recibe la energía lumínica proveniente de la muestra y la convierte en una señal eléctrica proporcional a la energía recibida. La señal eléctrica puede ser procesada y amplificada, para que pueda interpretarse a través del sistema de lectura que una vez procesada es presentada al analista de diferentes maneras (por ejemplo, valores de absorbancia).

FIGURA N°2.9
COMPONENTES DE UN ESPECTROFOTÓMETRO
DE ABSORCIÓN ATÓMICA.



Fuente: Antuña, 2007

2.2.7. Factores de concentración

Existen ciertos factores que permiten conocer la capacidad que tienen las plantas para absorber y traslocar metales del suelo a la parte aérea (Lokeshwari & Chandrappa, 2006).

a) Factor de Bioconcentración (BCF).

También conocido como Índice de Bioconcentración (BF), Coeficiente de Absorción Biológica (BAC), Coeficiente de Transferencia (TC), Factor de Concentración (Cf) o Coeficiente de Bioacumulación (BAC); se utiliza para medir la capacidad de captación de un metal por una planta (raíz y parte aérea) con relación a su concentración en el suelo.

Para las plantas, el BCF se utiliza como una medida de la eficiencia de acumulación de metales en biomasa, donde valores > 1 indican que las especies son potencialmente acumuladora, valores mayores > 10 son plantas hiperacumuladora y aquellas especies exclusoras poseen BCF menores que 1, tanto menores cuanto mayor es su capacidad de exclusión (Audet & Charest., 2007).

Existen dos factores de bioconcentración, los cuales son:

i. Factor de bioconcentración en la raíz de la planta.

También conocida como Root accumulation factor (RAF). Se calcula como la relación entre la concentración de metales en la raíz de la planta respecto a la concentración de metales en el suelo (Yoon, 2006).

$$\text{BCR raiz} = \frac{[\text{metal}] \text{ raíz}}{[\text{metal}] \text{ suelo}}$$

Dónde:

BCF raíz = Factor de bioconcentración en las raíces de la planta.

[Metal] raíz = Concentración del metal solo en la raíz de la planta en mg/Kg.

[Metal] suelo = Concentración del metal en el suelo en mg/Kg.

ii. Factor de bioconcentración en la parte aérea de la planta.

Es la proporción del elemento contenido en la parte aérea de la planta con respecto al suelo (Vyslouzilova, 2003).

$$\text{BCF aérea} = \frac{[\text{metal}] \text{ aérea}}{[\text{metal}] \text{ suelo}}$$

Dónde:

BCF aérea = Factor de bioconcentración en la parte aérea de la planta.

[Metal] aérea = Concentración del metal solo en la parte aérea de la planta en mg/Kg.

[Metal] suelo = Concentración del metal en el suelo en mg/Kg.

b) Índice de traslocación (TF).

Es el cociente entre la concentración del metal en los órganos aéreos y raíz (Olivares & Peña, 2009). Factores de traslocación mayores a la unidad sugieren gran capacidad para transportar metales desde las raíces a los vástagos, explicada en su mayor parte por eficientes sistemas de transporte de metales (Zhao, 2002) y probablemente, por secuestro de metales en las vacuolas de las hojas y en el apoplasto (Lasat, 2000).

$$TF = \frac{[metal] \text{ aérea}}{[metal] \text{ raíz}}$$

Dónde:

TF = Factor de traslocación

[Metal] raíz = Concentración del metal solo en la raíz de la planta en mg/Kg.

[Metal] aérea = Concentración del metal solo en la parte aérea de la planta en mg/Kg.

Si el $TF > 1$ significa que la planta traslada eficazmente los metales pesados de la raíz a la parte aérea de la planta (Baker y Brooks, 1989), por lo que su potencial es la de hiperacumular metales en la parte aérea, además de ser usada con fines de fitoextracción.

Si el $TF < 1$ significa que la planta no traslada eficazmente los metales pesados a la raíz a la parte aérea de la planta, por lo que su potencial es la de fitoestabilizar metales en sus raíces (Audet, P & C. Charest., 2007).

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

2.3.1. Plantas hiperacumuladoras de metales

En relación a los diversos estudios (Robinson et al., 2003; Chaney et al., 2000; Chaney et al., 1994; Baker y Brooks, 1989; Brooks et al, 1979), las plantas emplean diferentes mecanismos para asimilar los metales del suelo, uno de ellos, la hiperacumulación; una definición propone que si una planta contiene más de 0.1% de Ni, Co, Cu, Cr y Pb o 1% del Zn en sus hojas sobre una base del peso seco, ésta puede ser llamada una “hiperacumuladora”, independientemente de la concentración del metal en el suelo.

Las plantas hiperacumuladoras de metales pueden ser usadas en actividades de remediación en el ambiente, además que constituyen un importante recurso biológico en las futuras revegetaciones y fitorremediaciones de áreas contaminado con metales pesados. Sin embargo, las aplicaciones máximas todavía no se han logrado, una razón importante es la falta de conocimientos de los mecanismos moleculares y procesos biológicos involucrados que permiten tolerar, la adquisición, el transporte y acumulación de los metales en las planta, incluso que se puedan alimentar de los metales (Lovley, 1997).

La acumulación de metales puede beneficiar a las plantas en su capacidad de reproducción ya que reduce las mordidas de insectos y de organismos dañinos (Beltrán, 2001).

2.3.2. Metal esencial

Los metales esenciales, son elementos necesarios en pequeñas cantidades en el organismo, para la utilización de los macronutrientes, y si no se consumen pueden producirse alteraciones de la salud. La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera los siguientes elementos como esenciales para la salud humana: sodio (Na), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), cobalto (Co), cobre (Cu) y zinc (Zn).

2.3.3. Metal no esencial

Los metales considerados no esenciales, son tóxicos aun en bajas concentraciones y sus efectos en dosis elevadas pueden ser fatales; se incluye al arsénico (As), cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb) etc. (Díaz-Baéz, Bustos & Espinoza ,2004, pág. 22). Cuando estos metales son absorbidos en pequeñas cantidades existe la posibilidad de eliminarlos a través de la orina, jugos gástricos, etc. La gravedad de este efecto

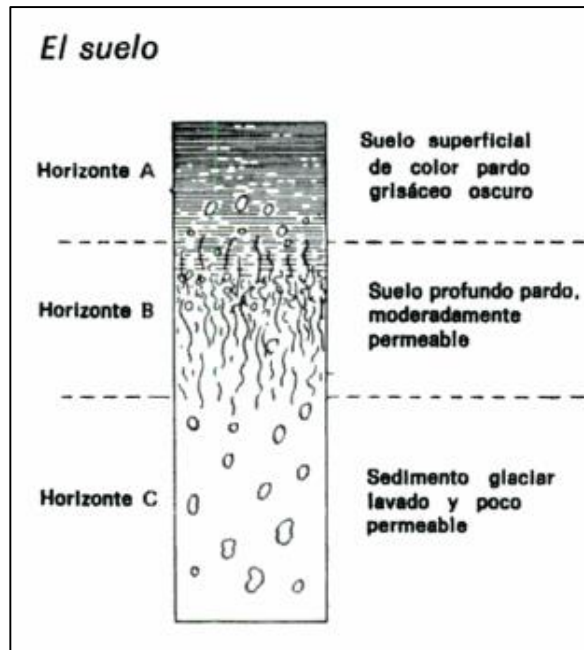
dependerá de la naturaleza, cantidad y forma química de los metales, de la concentración del metal en el alimento y de la resistencia del organismo a los efectos sinérgicos o antagónicos a otros contaminantes químicos (Anónimo, 2003).

2.3.4. Suelos

Para la agencia FAO (Food Agriculture Organization), se define al suelo como una capa delgada que se ha formado muy lentamente, a través de los siglos, con la desintegración de las rocas superficiales por la acción del agua, los cambios de temperatura y el viento. Está compuesto por minerales, materia orgánica, diminutos organismos vegetales y animales, aire y agua (2018).

En la Figura N° 2.10 se ejemplifica el esquema del perfil del suelo, indicando sus horizontes.

FIGURA N°2.10
ESQUEMA DEL PERFIL DEL SUELO



Fuente: Thompson & Troeh, 2002

2.3.5. Suelo agrícola

En el Estándar de Calidad para Suelo aprobado por Decreto Supremo N°002-2013-MINAM-ECA-Suelo, se define como suelo agrícola, aquel suelo dedicado a la producción de cultivos, forrajes y pastos cultivados y también aquel suelo con aptitud para el crecimiento de cultivos y el desarrollo de la ganadería. Esto incluye tierras clasificadas como agrícolas, que mantienen un hábitat para especies permanentes y transitorias,

además de flora y fauna nativa, como es el caso de las áreas naturales protegidas.

2.3.6. Fitorremediación

“Opción de bajo costo de remediación para sitios con contaminación dispersa sobre un área grande en concentraciones pequeñas” (EPA, 2016).

2.3.7. Fitotoxicidad

“Se refiere al deterioro que sufren las plantas frente a un elemento tóxico que es absorbido y metabolizado” (Nilo, 2003).

2.3.8. Toxicidad

“La toxicidad es el grado en el que una sustancia química o biológica puede dañar un organismo vivo. Puede hacer referencia al daño causado a órganos, tejidos, células o a todo el organismo” (EUPATI, 2015).

2.3.9. Espectrofotometría

“La espectrometría es la técnica espectroscópica para tasar la concentración o la cantidad de especies determinadas. En

estos casos, el instrumento que realiza tales medidas es un espectrómetro o espectrógrafo” (Morral, 2003).

2.3.10. Fertilizante

Los fertilizantes o abonos son sustancias de origen animal, mineral, vegetal o sintético, que contienen gran cantidad de nutrientes y se utilizan para enriquecer y mejorar características físicas, químicas y biológicas del suelo o sustrato (Hydro Environment, 2018).

2.4 NORMATIVA

2.4.1 Normativa Nacional

- Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM. En donde se indica que la concentración máxima permisible en suelos, teniendo que Eca en suelos de uso agrícola es 1.4 mg/kg MS, y para suelos de uso industrial o extractivo es de 22 mg/kg MS.

2.4.2 Normativa Internacional

- Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. Establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario berilio cadmio, cromo, hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo selenio, talio y/o vanadio.
- EPA United States Environmental Protection Agency. (1992). Guide to site and soil description for hazardous waste site characterization. Vol 1: metals. Washington.
- Según Canadian Council of Ministers of the Environment, CCME, el valor aceptado de cadmio para suelos agrícolas es de 1,4 mg/kg de suelo (García Nieto et al., 2011).

CAPITULO III

VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1 Variables de la investigación

Las variables que intervinieron en el presente estudio son de tipo cuantitativo, las cuales son las siguientes:

- a) Variable independiente: Girasol

Definición Conceptual:

Es una planta cultivable que pertenece al género *Helianthus*, de la familia de las Asteraceae (Compositae).

Definición Operacional:

(x): Girasol

Se expresará mediante indicadores:

Absorción del Cd en raíces.....X₁

Absorción del Cd en parte aérea.....X₂

b) Variable dependiente: Cadmio en el suelo

Definición Conceptual:

El cadmio es un metal pesado de color blanco plateado, maleable y dúctil, que se obtiene casi exclusivamente como subproducto en el refinado de los minerales de zinc.

Definición Operacional:

(y): Cadmio

Se expresará mediante indicadores:

Dosis de Cd N°1.....Y₁

Dosis de Cd N°2.....Y₂

Dosis de Cd N°3.....Y₃

TABLA N° 3.1
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable		Dimensiones	Indicador
Independiente	X: <i>Girasol</i>	Zona radicular Zona no radicular(tallo, hojas y flor)	x ₁ : Acumulación de Cd en las raíces x ₂ : Acumulación de Cd en la parte aérea.
Dependiente	Y: <i>Cadmio</i>	Concentración de Cd en el suelo	y ₁ : Dosis N°1 y ₂ : Dosis N°2 y ₃ : Dosis N°3

Fuente: Elaboración propia

3.2. Hipótesis General

“El *Helianthus annuus* tiene capacidad de absorción de cadmio en los suelos agrícolas”.

CAPITULO IV

MARCO METODOLÓGICO

4.1 Tipo de investigación

La consideración tomada para realizar la presente investigación consiste en un método de investigación de análisis experimental de tipo explicativo.

4.2 Diseño de la investigación

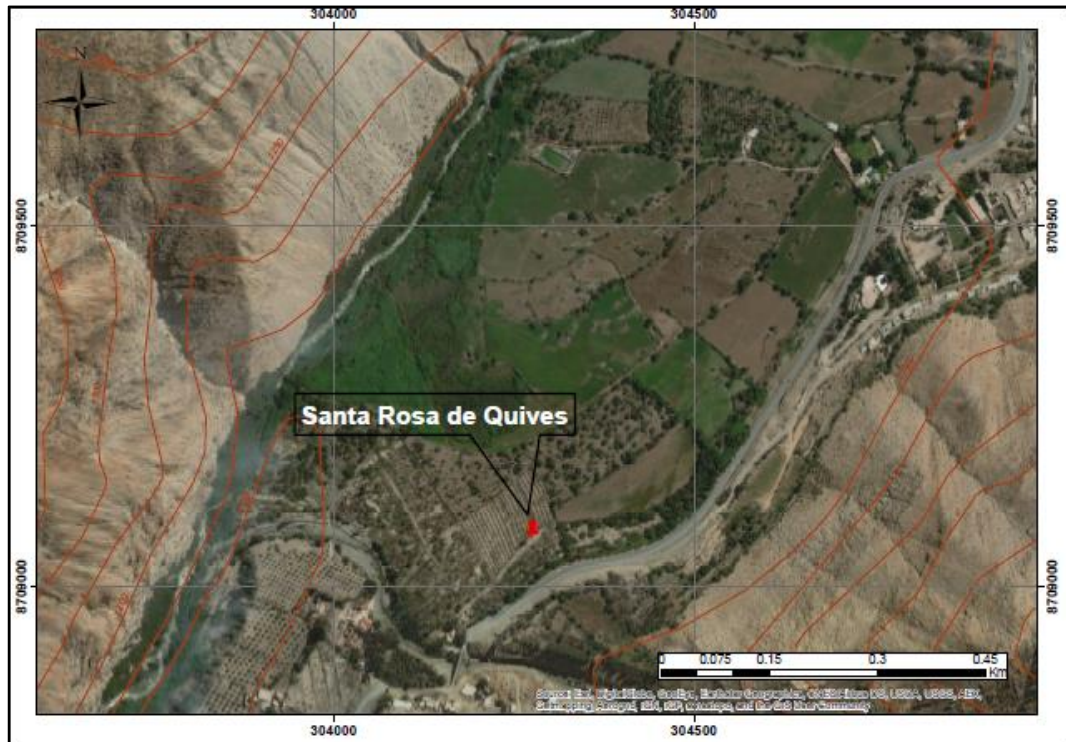
El presente diseño de investigación es correlacional, debido a que se cuenta con una relación existente entre dos variables.

4.3 Área de estudio

4.3.1. Localización y descripción del suelo a utilizar

En la presente investigación se recolectarán muestras de suelos seleccionados completamente al azar a lo largo de la zona agrícola del distrito de Santa Rosa de Quives, provincia de Canta, Región de Lima. Se eligió dicha área de interés debido a la presencia de minería artesanal en la zona. Las coordenadas en datum WGS 84-Zona 18S, en donde se recolectaron las muestras de suelo fueron E: 304276; N: 8709077.

FIGURA N°4.1
UBICACIÓN GEOGRÁFICA



Fuente: Imagen satelital de Google Earth

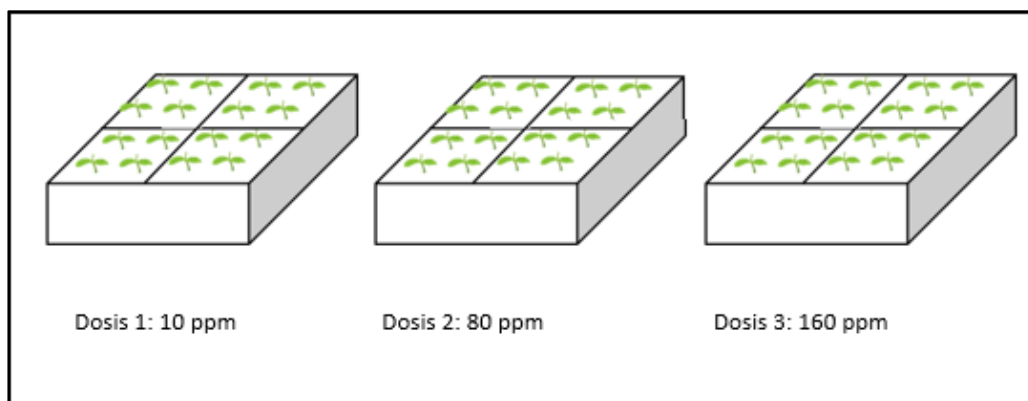
Elaboración propia

4.4. Población y muestra

4.4.1. Población

En total fueron 4 tratamientos de los cuales 3 consistió en adicionarle dosis de metal con 3 repeticiones cada uno; el otro tratamiento fue el blanco. A cada tratamiento con dosis de metal se plantaron 4 plántulas de girasol, sumando así 48 plántulas, adicionalmente la muestra testigo que fueron 4 plántulas sin repetición. El total de todo el proyecto fue de 52 plántulas.

FIGURA N°4.2
PLANTULAS SEMBRADAS A DISTINTAS DOSIS DE Cd



Elaboración Propia

4.4.2. Muestra

De acuerdo con el ciclo biológico del girasol, se planteó que la toma de muestras sería en el día 30, día 45 y día 75, en total se realizaron 3 muestreos. En la Tabla N°4.1 se detalla el periodo de muestreo.

TABLA N° 4.1
PERIODO DE MUESTREO

Planta de estudio	Tiempo de germinación (días)	Ciclo biológico (días)	Muestreo (días)		
			1	2	3
Girasol (<i>Helianthus annuus</i>)	10	60 - 75	30	45	75
			1	2	3

Fuente: Beltrán, 2001
Elaboración Propia

4.5. Materiales e Insumos

Los materiales e insumos que se utilizaron fueron los siguientes:

- Un semillero de 60 orificios
- Sustrato Premix N°3
- Semillas de girasol
- Cloruro de cadmio monohidratado ($\text{CdCl}_2\text{H}_2\text{O}$)
- Envases de plástico de 1L
- Balanza analítica
- Piceta
- Tierra
- Madera
- Bolsas ziploc
- Cámara fotográfica
- Rotulador
- Plástico negro
- Agua destilada

4.6. Procedimiento de recolección de datos

4.6.1 Análisis Cuantitativos de acumulación de cadmio

Los análisis cuantitativos para determinar la concentración de metal en las raíces y las hojas del girasol se realizó a través del método de espectrofotometría de absorción atómica.

4.6.2. Análisis de crecimiento

Se tomaron las medidas de longitud de raíz (en centímetros), tallo (en centímetros), peso fresco (en gramos) y peso seco (en gramos) de las raíces y el tallo. Cada alteración morfológica como

clorosis, quemaduras, deformación de hojas, etc., también se anotó.

4.6.3. Plan de análisis estadístico de datos

Los datos se procesaron estadísticamente utilizando promedio. La prueba estadística que se realizó para comprobar la hipótesis fue el análisis de las varianzas (ANOVA) de un factor, la cual sirve para comparar varios grupos en una variable cuantitativa.

a) Formulación de hipótesis

Hipótesis nula: $H_0: \mu_1 = \mu_2$

H_0 : *El Helianthus annuus (girasol) tiene capacidad de absorber cadmio en el suelo.*

Hipótesis alternativa: $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ ó $\mu_1 > \mu_2$ ó $\mu_1 < \mu_2$

H_a : *El Helianthus annuus (girasol) no tiene capacidad de absorber cadmio en el suelo.*

b) Nivel de significancia

El nivel de significancia es de $\alpha = 0.05$, es decir, se restringe la prueba al 5% de probabilidad de rechazar una hipótesis verdadera.

c) Estadística de Prueba

La metodología para realizar el ANOVA tradicional parte de descomponer la variación total de la muestra, en dos componentes: variación inter grupos y variación intra grupos.

$$\text{Variación Total} = \text{Variación Inter grupos} + \text{Variación Intra grupos}$$

Variación Total:

$$SC_{total} = \left(\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n Y_{ij}^2 \right) - \frac{Y^2}{N}$$

Variación Inter-grupos:

$$SC_{tratamiento} = \left(\sum_{i=1}^k \frac{Y_i^2}{n} \right) - \frac{Y^2}{N}$$

Variación Intra-grupos:

$$SC_{error} = \left(\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n Y_{ij}^2 \right) - \frac{Y^2}{N} - \left(\sum_{i=1}^k \frac{Y_i^2}{n} \right) - \frac{Y^2}{N}$$

Dónde

k= número de muestras por cada nivel

n = Numero de tratamientos por cada nivel

N = Numero de tratamientos en total

Y_i =totales

Y =Promedios

Y_{ij} = el i-ésimo valor de la muestra j-ésima;

Finalmente, en la tabla N° 4.2 se muestra la Tabla Anova, para el cálculo de la comprobación de la hipótesis.

TABLA N°4.2
TABLA ANOVA

Fuente de Variación	Grados de libertad (gl)	Suma de Cuadrados (SC)	Varianza de cuadrados medios (CM)	Estadística de prueba (Fo)
Entre tratamientos	k-1	$SC_t = \left(\sum_{i=1}^k \frac{Y_i^2}{n} \right) - \frac{Y^2}{N}$	$CM_t = \frac{SC_t}{k-1}$	$F_0 = \frac{CM_t}{CM_e}$
Dentro tratamientos	N-k	$SC_e = \left(\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n Y_{ij}^2 \right) - \frac{Y^2}{N} - \left(\sum_{i=1}^k \frac{Y_i^2}{n} \right) - \frac{Y^2}{N}$	$CM_e = \frac{SC_e}{N-K}$	
Total	N-1	$SC_{tot} = \left(\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n Y_{ij}^2 \right) - \frac{Y^2}{N}$		

d) Criterio

Se rechaza la hipótesis nula si:

$$F_0 < F_{k-1; n-k; \alpha}$$

Indicando que la diferencia entre los dos tratamientos no es estadísticamente significativa con un nivel de significancia α .

4.7. Análisis a realizar

4.7.1. Análisis fisicoquímicos de suelos

De las muestras de suelo que se recolectaron se mezcló homogéneamente con el fin de formar una muestra compuesta, de la cual se extrajo aproximadamente 1 Kg. Esta muestra obtenida se secó al ambiente bajo sombra y se almacenó en bolsas de polietileno (ziploc) debidamente selladas y etiquetadas a una temperatura de 5°C, hasta su análisis fisicoquímico; así como la determinación de cadmio presente en dicha muestra.

Las características fisicoquímicas iniciales que se evaluaron de la muestra de suelo fueron: textura, conductividad eléctrica, potencial de hidrógeno (pH), contenido de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico (CCI) y humedad del suelo; y los nutrientes que se van a medir serán nitrógeno, fósforo y

potasio. En el Anexo N°4.1 se muestra los análisis iniciales del suelo.

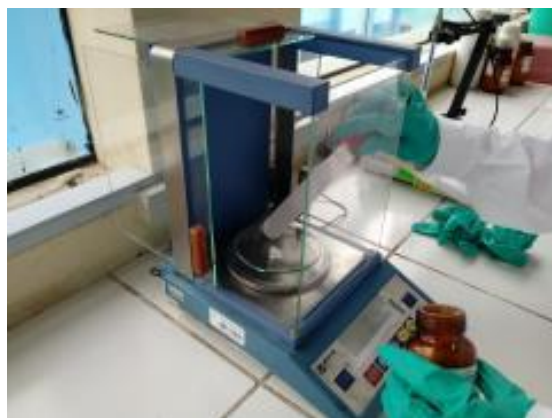
4.7.2. Preparación de los medios contaminantes

De los resultados obtenidos, la muestra de suelo presentó valor de 0.53 mg/kg de cadmio (Ver Anexo N°4.1) muy por debajo del ECA para suelo agrícola (1.4mg/kg); por lo que se procedió a realizar la contaminación del suelo con distintas dosis de cadmio.

a) Preparación de soluciones de contaminantes

Se realizó la preparación de 1L de solución de cloruro de cadmio monohidratado ($\text{CdCl}_2\text{H}_2\text{O}$) a diferentes dosis de 10ppm, 80ppm y 160 ppm.

FOTO N°4.1 PREPARACIÓN DE SOLUCIONES CONTAMINANTES



b) Contaminación del suelo con distintas dosis de cadmio.

La cantidad de suelo que se extrajo fue aproximadamente de 98Kg, los cuales se contaminaron con tres dosis distintas, considerando que el cadmio está normalmente presente en el suelo a concentraciones menores de 1 mg/Kg (Boudene, 1978).

Las dosis de cadmio se definieron con base al ECA suelo y en los criterios interinos de restauración de metales pesados de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente de México (PROFEPA-SEMARNAP, 2000), para uso agrícola (20 mg/kg) e industrial (100 mg/kg), Asimismo, se consideró los estudios reportados, donde se indica al girasol como planta acumuladora de concentraciones medias a altas.

Con dicha información se consideró realizar la contaminación del suelo agrícola con 3 dosis. La primera dosis fue de 10 mg/Kg, la segunda dosis fue de 80 mg/Kg y la tercera de 160 mg/Kg. Previamente se construyeron bandejas de madera de 30 x 30 x 20 cm, siendo un total de 14 bandejas, en las cuales se agregaron las dosis mencionadas y una muestra testigo (sin suelo contaminado con cadmio).

FOTO N°4.2
PREPARACION DEL SUELO A CONTAMINAR



(a)



(b)

4.7.3. Preparación de las semillas de girasol

a) Desinfección de la semilla

Antes de su germinación, las semillas se desinfectaron en superficie, por inmersión en alcohol al 70% por un minuto, a continuación se sumergieron en hipoclorito de sodio al 10% por quince minutos, posteriormente la semilla se enjuagó 3 o 4 veces con agua destilada (Chico-Ruiz,2012) ,debido a que esta agua tiene una electroconductividad (EC) igual a cero, lo que significa que no será conductora de la electricidad ni cuenta con elementos minerales (sales) ; no se optó por usar el agua del grifo ya que contiene trazas de cloro lo que podría ser un poco perjudicial durante la siembra.

FOTO N°4.3
SEMILLAS EN SOLUCION DE NaClO (10%)



b) Germinación de la semilla de girasol

El sustrato empleado para la germinación fue “Premix N°3” (ver Anexo N°4.2.), este se depositó en la bandeja de semillero de medidas 27.5 x 35.5 x 7.5 cm, consta de 35 orificios, por cada orificio se colocó 2 semillas, las cuales se mantuvieron húmedas con agua destilada hasta los 20 días, periodo necesario para su germinación.

FOTO N°4.4
PREPARACION DE SEMILLEROS PARA GERMINACIÓN



(a)



(b)



(c)



(d)

c) Trasplante de girasol al medio contaminado.

Se seleccionaron plántulas con características semejantes en tamaño, color, diámetro del tallo y número de hojas. Posteriormente, se trasladaron a las bandejas de madera (30 x 30 x 20 cm) las cuales inicialmente se le añadieron un aproximado

de 7 Kg de suelo en cada una y se realizó la contaminación con el metal de acuerdo a las 3 dosis indicadas.

Las plántulas de girasol fueron plantadas a una profundidad de 2.5 cm respetando el espacio requerido para el desarrollo óptimo, el cual es de 25 a 30 cm de separación entre ellas.

FOTO N°4.5
TRASPLANTE DE PLANTULAS DE GIRASOL
A MEDIOS CONTAMINADOS



(a)



(b)



(c)



(d)

4.7.4. Seguimiento de las unidades experimentales

La frecuencia de riego de plántulas trasplantadas fue interdiaria; además se reportaron cambios en la coloración de las hojas, clorosis, altura del tallo y hojas de las plántulas trasplantadas y semillas germinadas.

4.7.5. Tratamiento

A los 30 días del trasplante de las plántulas a los cajones de madera, se extrajeron 4 muestras de girasol de cada concentración, de 10ppm, 80ppm y 160ppm, es decir se obtuvieron en este primer análisis 12 plantas de girasoles. Posteriormente, se procedió a realizar la extracción manual de todas las plántulas, se lavó cuidadosamente separándose la parte aérea y radicular, se enjuagaron con agua potable para eliminar los residuos de suelo. Luego se secó bajo sombra y se midió la longitud de la raíz más larga, seguidamente se colocaron en bolsas ziploc y se enviaron al laboratorio para el análisis de la concentración de cadmio. Se realizó el mismo procedimiento, a los 45 y 75 días del trasplante.

FOTO N°4.6
EXTRACI3N DE PLANTAS DE GIRASOL
EN LOS MEDIOS CONTAMINADOS



(a)



(b)



(c)



(d)

CAPITULO V

RESULTADOS

5.1. Crecimiento vegetal

Se evidenció el crecimiento vegetal después de su siembra en un medio contaminado hasta la culminación de su ciclo fisiológico.

FOTO N°5.1

ETAPAS DE CRECIMIENTO DEL GIRASOL



15 días



30 días



45 días



60 días



75 días

5.2. Análisis de Biomasa

El análisis de biomasa se desarrolló utilizando los datos de peso de material seco y longitud de raíz recolectados.

5.2.1. Peso de material

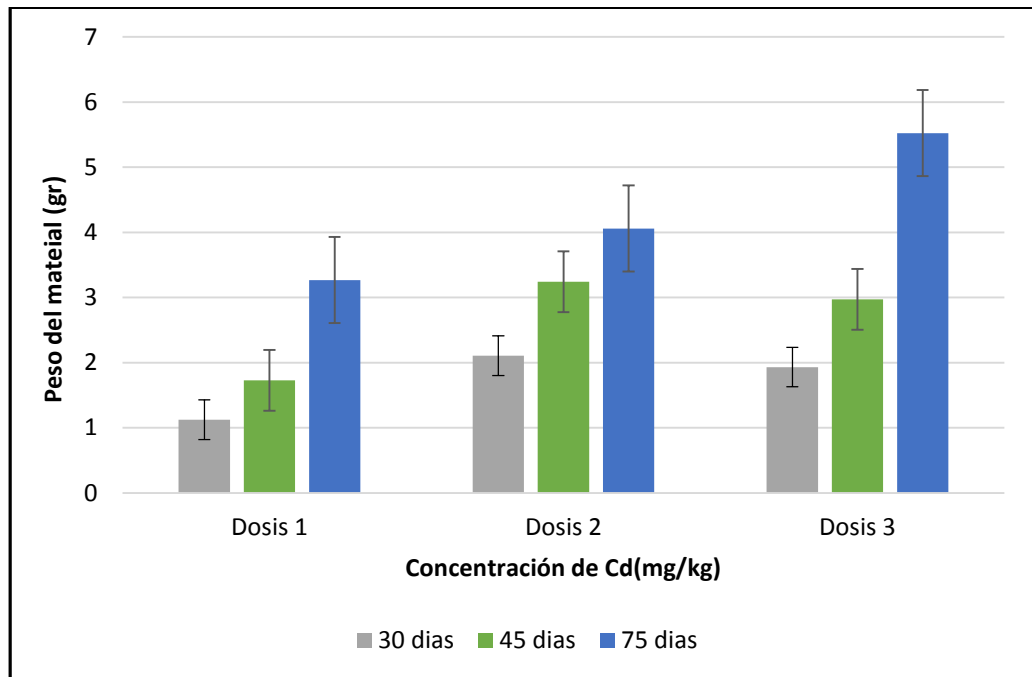
Los datos de peso de material seco se analizaron mediante un Anova simple a las medias.

TABLA N° 5.1
MEDIAS DE PESO SECO A DIFERENTES DOSIS DE CADMIO

Días	Dosis 1 (10ppm)		Dosis 2 (80 ppm)		Dosis 3 (160 ppm)	
	N° datos	Peso seco (gr)	N° datos	Peso seco (gr)	N° datos	Peso seco (gr)
30	4	1.1241±0.086	4	2.1069±0.075	4	1.9322±0.085
45	4	1.729±0.23595	3	3.2413±0.76198	4	2.972±0.255865
75	3	3.268±0.71735	4	4.059±0.68266	4	5.525±1.04018

El siguiente gráfico muestra el Anova simple realizado a las medias de peso del material seco.

GRÁFICO N° 5.1
MEDIAS DEL PESO SECO DE
MATERIAL EN PRESENCIA DE Cd



5.3. Evaluación características morfológicas

5.3.1. Longitud de la raíz

Se midió la longitud de la raíz (cm) inmediatamente después de haber sido extraídas de los medios contaminados. En la Tabla N° 5.2, se presentan los resultados; con dichos resultados se realizaron los gráficos N°5.2 y N°5.3 donde se muestra la elongación de las raíces en presencia de las dosis de cadmio; así como la elongación con respecto a la muestra testigo al final del trabajo.

TABLA N° 5.2
LARGO DE LA RAÍZ OBTENIDO
EN DOSIS DE CADMIO

Días	Dosis 1 (10ppm)		Dosis 2 (80 ppm)		Dosis 3 (160 ppm)	
	N° datos	Peso seco (gr)	N° datos	Peso seco (gr)	N° datos	Peso seco (gr)
30	4	8.5±0.6454	4	9.37±0.6454	4	10.38±0.6455
45	4	11.5±1.708	4	12.47±4.491	4	12.72±2.175
75	4	22.5±4.50	4	22±2.517	4	24.25±0.250

GRÁFICO N° 5.2
EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE Cd EN LA
ELONGACIÓN DE LAS RAICES

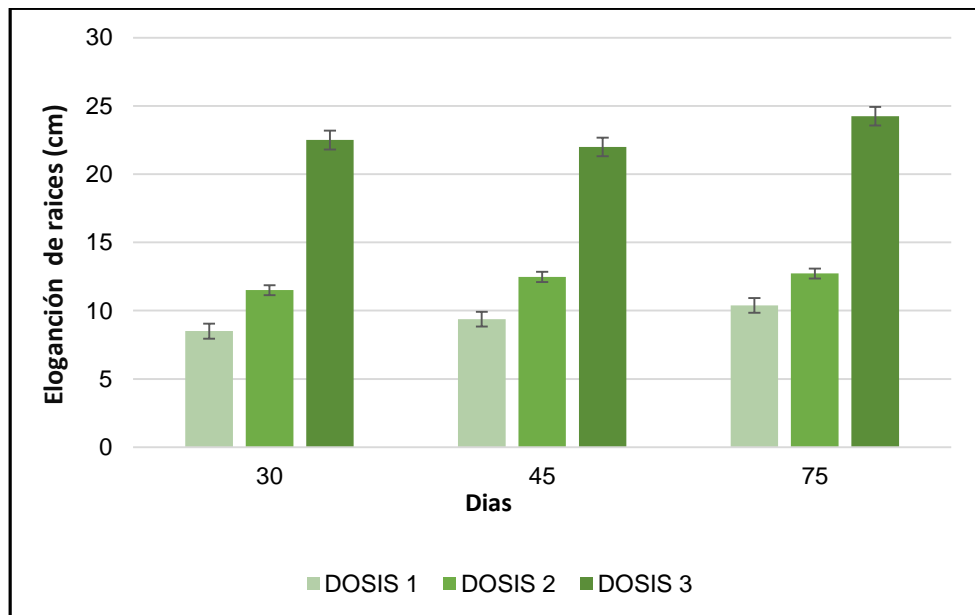
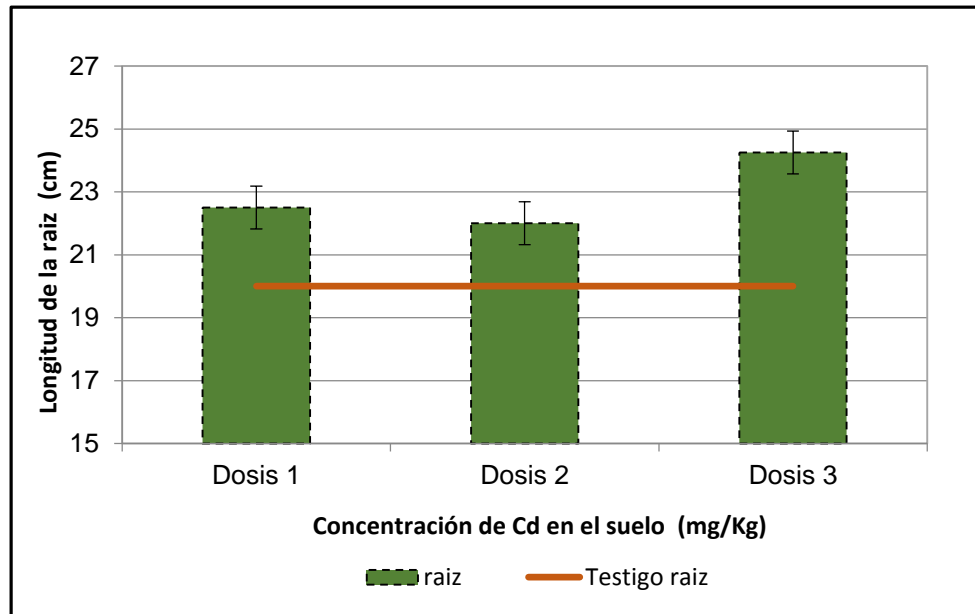


GRÁFICO N° 5.3
EFEECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE Cd EN LA
ELONGACIÓN DE LAS RAICES A LOS 75 DÍAS



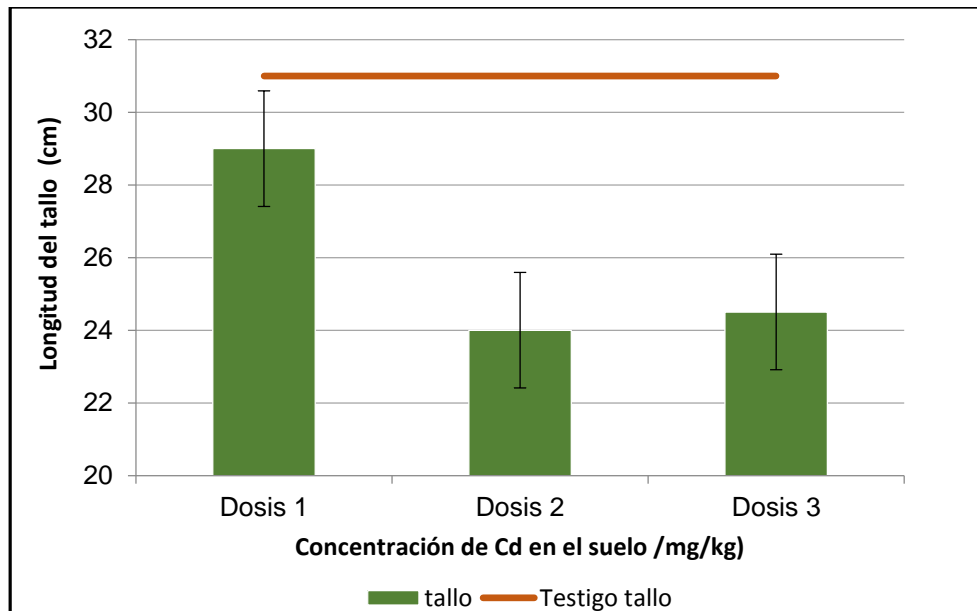
5.3.2. Altura de la planta

Se midió la altura de las plantas (cm) inmediatamente después de haber sido extraídas de los medios contaminados. En la Tabla N° 5.3, se presentan los resultados y en el Gráfico N°5.4 se representa el efecto de la concentración del metal en la altura de las plantas a los 75 días.

TABLA N° 5.3
ALTURA DE LA PLANTA EN PRESENCIA
DE DOSIS DE CADMIO

Días	Dosis 1 (10ppm)		Dosis 2 (80 ppm)		Dosis 3 (160 ppm)	
	N° datos	Largo	N° datos	Largo	N° datos	Largo
30	4	23±3.162	4	24.75±2.869	4	29.75±1.601
45	4	20±1.472	4	20.34±3.391	4	28.4±2.780
75	4	29±2.915	4	23.67±0.882	4	24.5±3.304

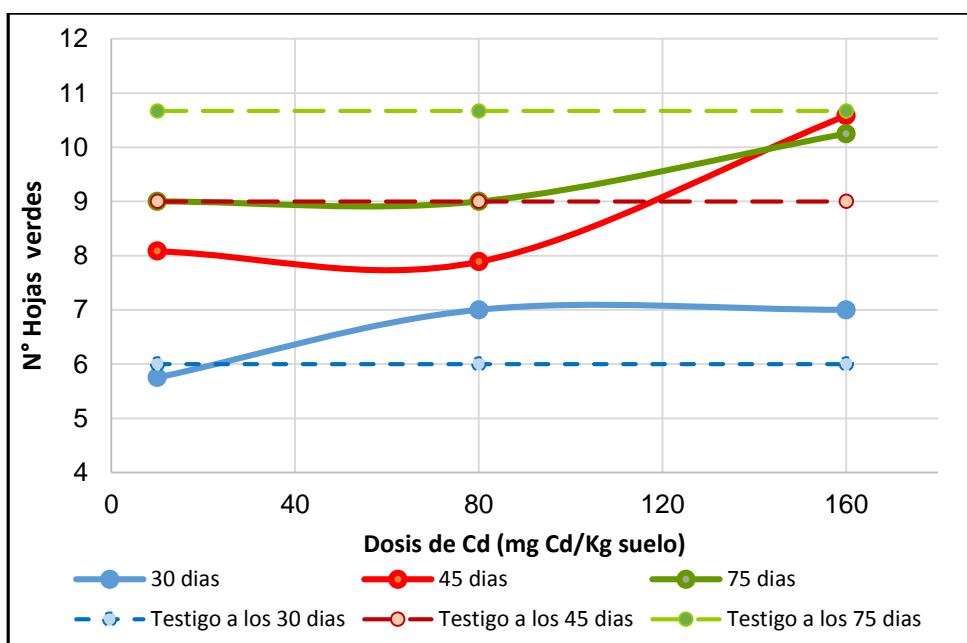
GRÁFICO N° 5.4
EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE Cd EN LA
ALTURA DE LAS PLANTAS A LOS 75 DÍAS



5.3.3. Hojas verdes

Se evaluó visualmente el cambio de coloración de las hojas de girasol expuestas a las distintas dosis con respecto a la muestras testigo. En el Gráfico N°5.5 se muestra la media de número de hojas verdes del girasol expuesto a las concentraciones de cadmio con respecto a la muestra testigo.

GRÁFICO N° 5.5
CANTIDAD DE HOJAS VERDES DEL GIRASOL
EXPUESTO A LAS DOSIS DE CAMBIO



5.4. Análisis de Acumulación de Cadmio

5.4.1. Tejido vegetal del girasol

Se ilustran los resultados de acumulación de cadmio en la planta de girasol a los 45 días y 75 días del análisis. En el Anexo N°5.2 se muestran los resultados de acumulación del cadmio en el girasol.

GRÁFICO N° 5.6
PORCENTAJE DE ACUMULACIÓN DE
Cd A LOS 45 DÍAS

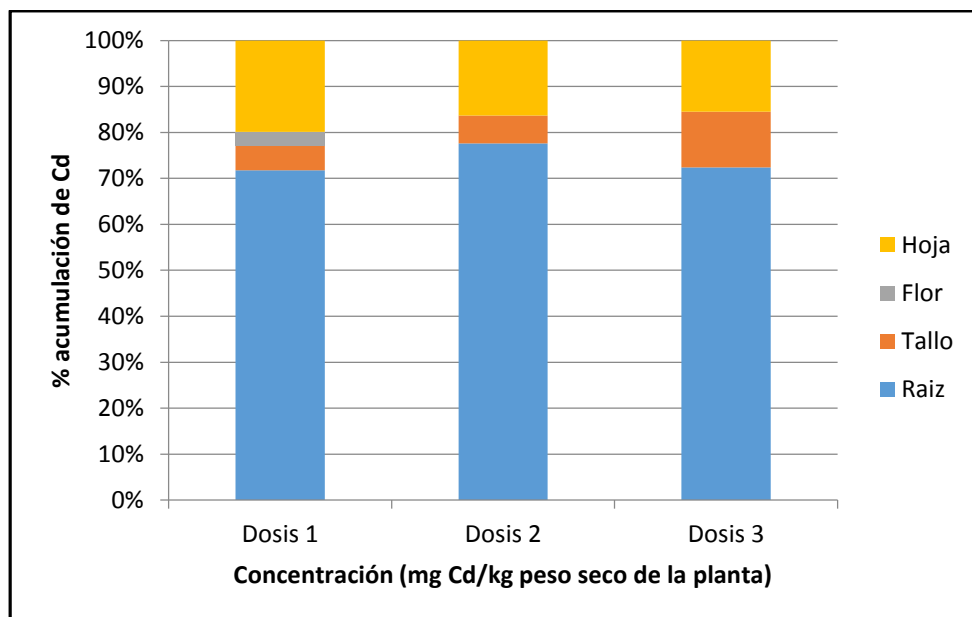
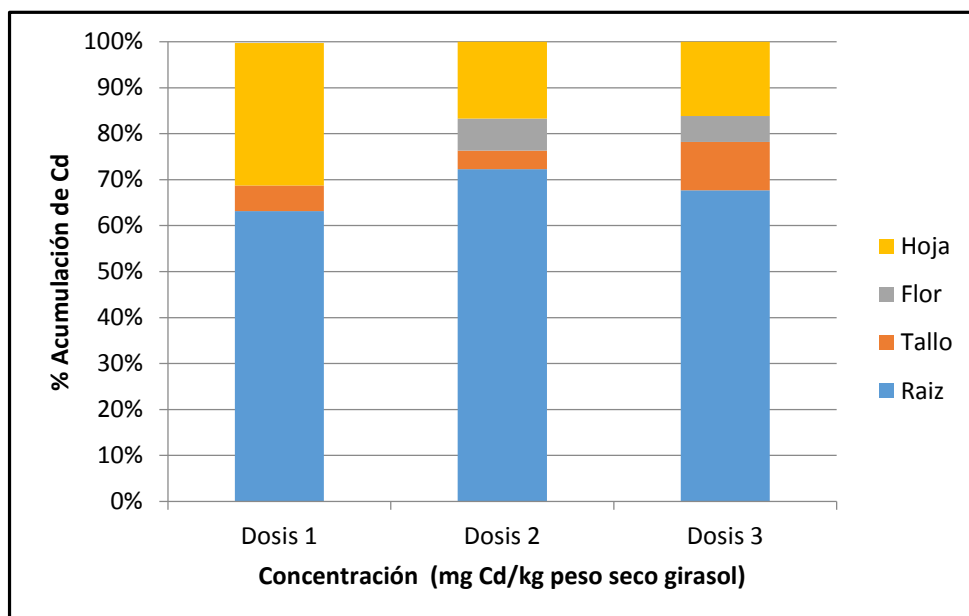


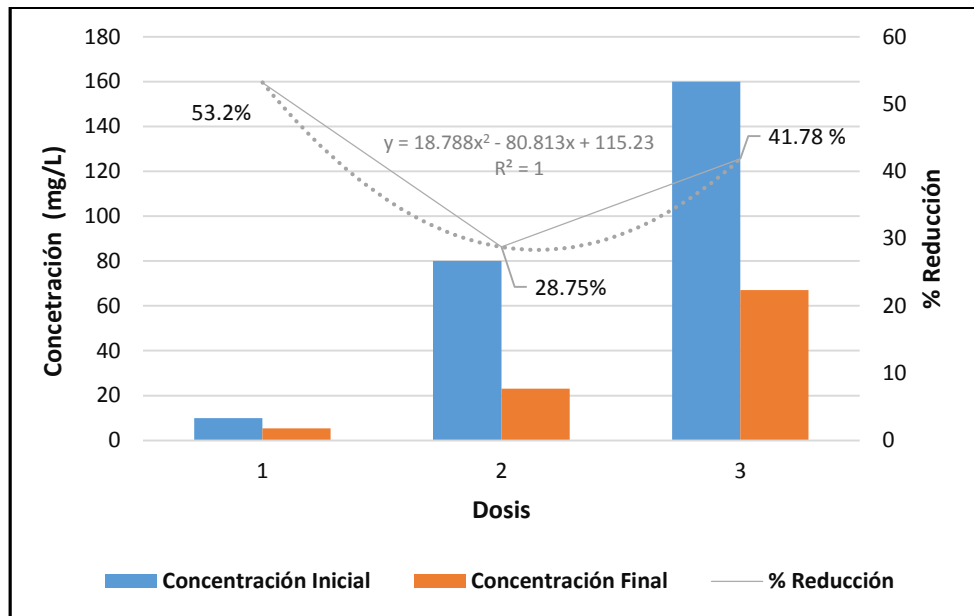
GRÁFICO N° 5.7
PORCENTAJE DE ACUMULACIÓN DE
Cd A LOS 75 DÍAS



5.4.2. En el suelo

En el siguiente gráfico se ilustra los resultados de cuantificación de cadmio en el suelo luego de culminar la investigación (ver Anexo 5.1).

GRÁFICO N° 5.8
PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES
INICIALES DE CADMIO EN LAS DOSIS EVALUADAS



5.5. Factor de Bioconcentración y Traslocación

Se determinó los factores de bioconcentración en la raíz y parte aérea a los 45 y 75 días de ensayo.

TABLA N°5.4
FACTOR DE BIOCONCENTRACIÓN Y TRASLOCACIÓN
A LOS 45 DIAS DEL ENSAYO

Muestra	Factor de Bioconcentración (BCF)		Índice de Translocación
	BCF raíz	BCF aérea	
D1.1	3.024	1.724	0.57
D1.2	3.792	0.711	0.188
D1.3	3.454	0.741	0.215
D1.4	1.596	1.127	0.706
Promedio	2.9665	1.07575	0.41975
D2.1	1.744	0.526	0.302
D2.2	2.606	0.617	0.237
D2.3	1.550	0.558	0.360
D2.4	N.D	N.D	N.D
Promedio	1.966	0.567	0.299
D3.1	1.020	0.536	0.525
D3.2	1.506	1.005	0.667
D3.3	1.614	0.355	0.220
D3.4	0.686	0.418	0.609
Promedio	1.207	0.578	0.505

TABLA N°5.5
FACTOR DE BIOCONCENTRACIÓN Y TRASLOCACIÓN
A LOS 75 DIAS DEL ENSAYO

Muestra	Factor de Bioconcentración (BCF)		Índice de Traslocación (TF)
	BCF raíz	BCF aérea	
D1.1	2.837	1.134	0.57
D1.2	1.343	0.696	0.188
D1.3	0.273	0.766	0.215
D1.4	N.D	N.D	N.D
Promedio	1.48433333	0.86533333	0.32433333
D2.1	9.517	2.491	0.262
D2.2	6.526	2.145	0.329
D2.3	8.053	2.220	0.276
D2.4	5.060	2.208	0.436
Promedio	7.289	2.266	0.326
D3.1	17.366	4.368	0.252
D3.2	16.982	6.463	0.381
D3.3	16.982	6.463	0.381
D3.4	10.356	8.337	0.805
Promedio	15.422	6.408	0.454

CAPITULO VI

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

6.1. Contrastación de la hipótesis con resultados

Para la verificación de la hipótesis, se siguió la metodología descrita en la sección 4.6.3 y se obtuvo los siguientes datos:

TABLA N°6.1
ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) PARA
CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN PLANTAS DE GIRASOL

Fuente de variación	Suma de Cuadrado (SC)	Grados de libertad	Varianza de cuadrados medios (CM)	Estadística de prueba F_0
Entre tratamientos	153994.628	2	76997.314	11.5991686
Dentro tratamientos	53105.4019	8	6638.17524	
Total	207100.030	10		

Se calcula el $F_{2, 8, 0.05}$ en las tablas de distribución de Fischer y se obtiene el valor de 4.46

Como $F_0=11.5991 > F_{2, 8, 0.05}=4.46$

Se rechaza la hipótesis nula, lo que indica que la diferencia entre los dos tratamientos es estadísticamente significativa con un nivel de significancia 0.05.

Por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa, lo que significa que el girasol tiene la capacidad de absorber concentraciones de cadmio en sus componentes, siendo la raíz la que presenta mayor contenido de cadmio en las tres dosis.

6.1.1 Crecimiento vegetal

Respecto a la generación de biomasa, el gráfico N°5.1, evidencia un aumento del peso seco a los 75 días con respecto a los 30 días, a causa del desarrollo fisiológico del girasol. Además, para el tratamiento con dosis alta presenta un aumento significativo del peso seco con respecto a las demás dosis, lo que puede indicar que se generó mayor tejido vegetal.

En los gráficos N°5.2 y N°5.3, se evidencia que la elongación de raíces en las tres dosis es relativamente mayor en comparación con la muestra testigo, esto es debido a que la raíz constituye la primera barrera de defensa frente a contaminantes y por ende genera mayor desarrollo. Asimismo, la elongación es mayor conforme aumenta las dosis. Sin embargo, no se evidencia una diferencia significativa.

Con respecto al crecimiento de la planta, en el gráfico N° 5.4 se puede apreciar claramente la inhibición del crecimiento de los tratamientos al final del ensayo. La muestra testigo fue el de mayor altura con 31 cm en comparación con las demás dosis cuyas alturas promedio alcanzo los 24 cm, puesto que el testigo no estuvo expuesto a contaminantes y por ende se desarrolló normalmente. Adicionalmente, se verificó el crecimiento del tallo entre los tratamiento y se obtuvo que en la dosis baja alcanzó un mayor crecimiento seguido de la dosis alta y media.

Se interpreta que el girasol expuesto a dosis bajas es más tolerante en su crecimiento en presencia del cadmio, en comparación con los otros tratamientos donde la inhibición del crecimiento fue superior por la adición de mayores concentraciones de cadmio; cabe recalcar que el principal síntoma de contaminación de cadmio es la disminución de crecimiento de las plantas.

6.1.2 Acumulación de cadmio

Con respecto a la acumulación de cadmio en el girasol (ver gráficos N°5.6 y N°5.7) se muestra que las raíces han acumulado un porcentaje mayor (más del 70%) del resto de las partes de la planta, seguido de las hojas (aproximadamente 15%) y finalmente el tallo (menos del 5%). Debido a que el cadmio está restringido

por sitios de intercambio de compuestos activos, localizados en las paredes celulares de las raíces.

Las concentraciones de cadmio en la etapa para cada dosis se concentraron principalmente en la raíz para la dosis de 10 ppm: 14.84 mg Cd/kg tejido seco, en las hojas con 7.343 mg Cd/kg de tejido seco, seguido por los tallos con 1.31 g Cd/kg de tejido seco; para la dosis de 80 ppm: 72.89 mg Cd/kg tejido seco, en las hojas con 16.815 mg Cd/kg de tejido seco, seguido por las flores con 7.05 mg Cd/kg y tallos con 4.0825 g Cd/kg de tejido seco; con respecto a la dosis de 160 ppm: 154.215 mg Cd/kg tejido seco, en las hojas con 36.8075 mg Cd/kg de tejido seco, seguido por los tallos con 24.075 mg Cd/kg y flores con 12.786 g Cd/kg de tejido seco.

6.1.3 Comportamiento del cadmio en el suelo

El análisis de la caracterización del suelo muestra los valores de un suelo franco arenoso con pH de 7.54, porcentaje de materia orgánica de 1.32 y conductividad de 1.54 $\mu\text{sc}/\text{cm}$. Estos resultados son importantes conocerlos debido a que a mayor acidez de los suelos, la absorción y remoción de metales pesados es más elevada por el girasol según estudios (Chaney, 1997).

Tal como se evidencia en el gráfico N°5.8, en las tres dosis la concentración inicial de cadmio disminuye luego de 75 días. Para

el tratamiento con menor dosis; la concentración de cadmio se redujo en más del 50% en el tratamiento con menor dosis; sin embargo para la dosis media la reducción (menor al 30%) no fue considerable y para el tratamiento con dosis alta aumenta el porcentaje de extracción aumenta en un 41 %, lo que puede atribuirse a que esta especie realmente siguió generando tejido vegetal por lo que continuó el proceso de extracción del metal.

6.1.4 Factor de Bioconcentración y Traslocación

A los 45 días de realizar el análisis se obtuvo que los valores de BCF son mayores a uno para los tres tratamientos, siendo el de menor dosis (10ppm) el que presentó valores mayores de BCF, los cuales son $BCF_{raiz} = 2.966$, $BCF_{aérea} = 1.07575$, lo que indica que se logró concentrar cadmio en la parte aérea de la planta con respecto al suelo. Para los tratamientos de dosis media y alta el BCF aéreo no fue mayor a uno, lo que sugiere que el metal se acumula en mayores cantidades en la raíz y no en la parte aérea.

Al final del ensayo, se pudo evidenciar que los tratamientos con dosis media (80 ppm) y alta (160 ppm) son los que obtuvieron un BCF mayor a uno; siendo el tratamiento de dosis alta el que mostró un BCF significativamente superior a la dosis media, con valores de $BCF_{raiz} = 15.422$, $BCF_{aérea} = 6.408$, lo cual se puede

interpretar que el girasol se comporta como una planta hiperacumuladora para dosis de 160 ppm. El tratamiento de menor dosis (10ppm) sólo obtuvo BCF de la raíz mayor a uno con valor de 1.48, indicando que posiblemente no haya acumulación de metales en la biomasa.

Con respecto al Índice de Traslocación ningún tratamiento mostro TF mayor a uno (ver tabla N°5.5). Una baja traslocación de Cd en el *Helianthus annuus* indica que la planta no transfiere cadmio de sus raíces a sus brotes posiblemente debido a la alta toxicidad del metal.

Según los resultados obtenidos en los tres tratamientos se tiene un BCF alto y TF bajo, lo que indica que el girasol puede ser utilizado para fitoestabilizar sitios contaminados, es decir se puede utilizar para minimizar la migración de contaminantes en los suelos. Este proceso utiliza la capacidad de las raíces de las plantas para cambiar las condiciones ambientales a través de exudados de las raíces.

6.2 Contrastación de resultados con otros resultados similares

Se han reportado numerosos estudios acerca de la evaluación del girasol como especie fitorremediadora, debido a que tiene la capacidad de acumular altas concentraciones de uranio y cadmio

en sus tejidos (principalmente tallo y raíz) con una razonable tolerancia.

En la investigación de Xiong , se concluye que las plantas crecen mejor en solución de $100 \text{ mmol L}^{-1} \text{ Cd}$ tan que en control, sin embargo presenta signos de toxicidad inducidos por el metal pesados y reducción el rendimiento de brote y raíces cuando se aumenta la dosis de cadmio a doble (Xiong.Y.H, 2004).

En el estudio de efectos del cadmio en el crecimiento del girasol, se determina que dicha especie vegetal expuesta a grandes concentraciones de cadmio como 50 y 500 μM el crecimiento de los brotes y raíces disminuye significativamente así como también el peso seco y húmedo. Para la concentración de 50 μM se mostró que la longitud de las raíces, peso de las raíces y los brotes fue el más sensible en este estudio, es decir el que obtuvo los valores más bajos. (Azavedo, Gomes , Pinto, Fernnades, & Loureiro, 2005)

CAPITULO VII

CONCLUSIONES

1. Se concluye que el *Helianthus annuus* acumula mayores concentraciones de cadmio a nivel radicular con respecto a las hojas, tallos y flor (parte aérea).

2. De acuerdo a los resultados de los factores de bioconcentración, se indica que todos los tratamientos cuentan con BCF mayor a la unidad, siendo la dosis de 160 ppm la que obtuvo los valores más altos; lo que la coloca como una planta hiperacumuladora.

Se muestra bajos índices de traslocación en los tres tratamientos, lo que significa que el girasol no transfiere cadmio de sus raíces a su parte aérea debido posiblemente a la toxicidad del cadmio y evitando así que las concentraciones tóxicas se trasloquen en la parte aérea. Este resultado también indica que hay baja movilidad del cadmio en la planta.

3. El *Helianthus annuus* tolera dosis de cadmio a las cuales ha sido expuesto en la investigación debido a que no se mostraba signos significativos de toxicidad. Sin embargo, se observó una ligera

inhibición en el crecimiento vegetal en las dosis de 80ppm y 160 ppm, posiblemente a las concentraciones que se alcanzaron en el tejido vegetal son fitotóxicas, en comparación con la dosis de 10 ppm cuyo crecimiento fue muy similar a la muestra testigo.

CAPITULO VIII

RECOMEDACIONES

1. Se recomienda realizar el crecimiento del girasol en solución nutritiva suplementada con cadmio con el fin de descartar la interacción del suelo.
2. Realizar pruebas para determinar los efectos tóxicos por la asimilación de cadmio en plantas.
3. Experimentar con más especies vegetales y mayor cantidad de dosis con el fin de generar modelos predictivos.
4. Realizar el último análisis cuando hayan aparecido todas las flores del girasol.

CAPITULO IX

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto Aguirre, M. (2016). *Tesis "Fuentes fosfatas en dos suelos en la concentracion de cadmio foliar en maiz bajo condiciones de invernadero*. Universidad Agraria la Molina.
- Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades. (2012). *Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR)*. Obtenido de <https://www.atsdr.cdc.gov/es/index.html>
- Agúdelo, L., Macías, K., & Suárez, A. (2005). Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos. 2, 001, 57-60. (L. d. Investigación, Ed.)
- Aguilar, J., Dorronsoro, C., Bellver, R., Fernández, E., Fernández, J., García, I., . . . Simón, M. (2003). Contaminación de suelos tras vertido tóxico de Aznacóllar. En Aguilar. Andalucía, España: Universidad de Granada-Consejería de Medio Ambiente.
- Alba, & Llanos. (1990). *El cultivo del girasol*. Madrid: Mundi-Presa.
- Ali, G., Srivastava, P., & Iqbal, M. (2000). Influence of cadmium and zinc on growth and photosynthesis of *Bacopa monniera* cultivated in vitro. *Biologia Plantarum*, 43:599-601.
- Alloway. (1995). En Alloway, *Heavy Metals in Soils* (pág. 12 y 21).
- Alloway, B., & Steinnes, E. (1999). Antropogenic additions of cadmium to soils. En M. y. McLaughlin. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Angle, J., & Heckman, J. (1997). En Angle.
- Anónimo. (2003). *Diario de Ciencias, Tecnología y Producción*. Obtenido de <http://www.diariodeciencias.com.ar/metales-en-alimentos-esenciales-y-pesados-como-se-analizan-espectrometria/>
- Antuña, I. P. (Mayo de 2007). *Monografias.com*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos53/impacto-ambiental-mercurio/impacto-ambiental-mercurio2.shtml>

- Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes (AEFA). (2017).
Obtenido de <https://aefa-agronutrientes.org/glosario-de-terminos-utiles-en-agronutricion/fertilizante>
- Astolfi, S., Zuchi, S., & Passera, C. (2005). Effects of cadmium on H⁺ ATPase activity of plasma membrane vesicles isolated from roots of differentially supplied maize (*Zea mays*.) plants. *Plant Science*, 169:361-368.
- Audet, P., & C. Charest. (2007). Obtenido de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17045709>
- Azavedo, H., Gomes, C., Pinto, G., Fernandes, J., & Loureiro, S. (2005). Cadmium Effects on Sunflowers Growth and Photosynthesis. *Journal of Plant Nutrition*, 28, 2211-2220. Obtenido de *Journal of Plant Nutrition*, 28: 2211–2220,.
- Bach. Montano Chávez, Y. N., & Bach. Medina Marcos, K. (2003). "Determinación de la Bioconcentración y Traslocación de metales en el *Juncus arcticus* a Stupf, de área de pasivo ambiental. Ancash.
- Badillo Germán, J. (1985). Curso básico de toxicología ambiental. 205-229. (I. N. Bióticos, Ed.) Metepec.
- Baker, A., & Brooks, R. (1989). Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements- a review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery* 1,.
- Barton, C. M.-K. (2005). Phytostabilization of a landfill containing coal combustion waste. *Environmental Geosciences*. 12, 251-265.
- Beltrán. (2001). Tesis "Fitoextracción en suelos contaminados con cadmio y zinc". Mexico D.F, Azcapotzalco: Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco.
- Benavides, M. (2005). Cadmium toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plants Physiology*, 17:21-34.
- Boletín Pionner. (s.f.). Fases del desarrollo del girasol y factores predominantes en el crecimiento. *Pionner*, 4.
- Boudene, C. (1978). Food contamination by metals. Inglaterra: Pergamon Press.

- Brooks, R., Morrison, R., Reeves, R., & Dudley. (1979). Hyperaccumulation of nickel by *Alyssum linneaeus* (Cruciferae).
- Calvo de Anta, R. (s.f.). El Conocimiento del Suelo como Principio Básico de la Gestión de Suelos Contaminados.
- Calvo de Anta, R. (1997). El Conocimiento del Suelo como Principio Básico de la Gestión de Suelos Contaminados. *50 Aniversario Sociedad Española de la Ciencia del Suelo. Edafología*, 211-240.
- Carbonell, A., Porthouse, J., Mulbach, C., De Laune, R., & Patrick, J. (s.f.). Metal solubility in phosphogypsum amended sediment under controlled pH and redox conditions. *J. Environ* 28.
- Chaney, R., Ryan, J., Li, Y., & Angle, J. (2000). Transfer of cadmium through plants to the food chain. *J.K. Syers and M. Gochfeld*.
- Chaney, R. (1994). En R. Chaney, *Trace metal movements. Soil Plants system and bioavailability of biosolids applied metal in sewage sludge*.
- Charter, R., Tabatabai, M., & Schaf, J. (1993). Metal contents of fertilizers marketed in Iowa. *Commun. Soil Sci. Plant*(24), 961-972.
- Chico-Ruiz, J., & Lisi Cerna-Rebaza De Chico, M. R.-E. (2012). *REBIOL. Revista Científica de la Facultad de Ciencias Biológicas*, 13 -19.
- Christensen, T., & Haug, P. (1999). Solid phase cadmium and the reactions of aqueous cadmium with soil surfaces.
- Clemens, S. (2006). Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. *Biochimie* 88.
- Cronquist, A. (1998). *Scientific Researcher*. Obtenido de [https://www.scirp.org/\(S\(lz5mqp453edsnp55rrgjct55\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1564967](https://www.scirp.org/(S(lz5mqp453edsnp55rrgjct55))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1564967)
- Cunningham, S., Berti, W., & Huang, J. (1995). Phytoremediation of contaminated soils. *Trends Biotechnol*(13), 393-397.
- Davies, F., Jefferey D, P., Newton, R., Engilla, J., & Saraiva, G. (2001). Mycorrhizal fungi enhance accumulation and tolerance of cadmium in sunflower. *Plant Physiol* 158.
- De la Rosa, G., Cruz Jimenez, G., Cano Rodriguez, I., Fuentes Ramírez, R., & Gardea Torresdey. (2008). Efecto de la edad de la planta y presencia de SS-edds en la tolerancia y absorción de Cr (III) por *Helianthus annuus*. *Rev Mex Ing Quím* 7, 243-251.

- Diario U Chile.* (7 de 9 de 2011). Obtenido de <http://radio.uchile.cl/2011/09/07/los-girasoles-absorben-las-radiaciones/>
- Díaz Baéz, M., Bustos López, M., & Espinoza Ramírez, A. (2004). *Pruebas de Toxicidad cuantica: Fundamentos y métodos.* (Primera). (U. N. Colombia, Ed.) Bogotá, Colombia.
- Eco Inventos.* (5 de Setiembre de 2018). Obtenido de Fitorremediación: Una alternativa natural para recuperar suelos contaminados: <https://ecoinventos.com/fitorremediacion/>
- EPA. (1997). *Technology alternatives for the remediation of soils contaminated with As, Cd,Cr,Hg and Pb.*
- EPA. (2016). Obtenido de Terminos: <https://espanol.epa.gov/espanol/terminos-f>
- (EFSA), E. F. (2011). Obtenido de <https://www.efsa.europa.eu/en/corporate/pub/ar11>
- (EUPATI), A. E. (29 de Octubre de 2015). Obtenido de <https://www.eupati.eu/es/glossary/toxicidad/>
- Fases de desarrollo del cultivo de girasol y los factores determinantes en el crecimiento. (s.f.). *Pionner Argentina S.R.L*, 4.
- Fernández, Rafael Mulas. (s.f.). *STUDYLIB.* (Á. d. Dpto., Productor, & Ciencias Agroforestales Universidad de Valladolid) Obtenido de Máster en Gestión y Tecnología Ambiental Gestión y Tratamiento de Residuos y Prevención de la Degradación de Suelos: <https://studylib.es/doc/7998333/fitorremediacion-de-suelos>
- Fodor, A., Szabó-Nagy, A., & Erdei, L. (1995). The effects of cadmium on the fluidity and H⁺ATPase activity of plasma membrane ecosystems from sunflowers and wheat roots. *Journal of plant physiology* 14, 787-792.
- Food Agriculture Organization (FAO).* (2018). Obtenido de <http://www.fao.org/faoterm/es/>
- Gallagher, C. C. (2010). Environmental cadmium and breast cancer risk. 804-814.
- Galvão , L., & Corey, O. (1987). Cadmio, serie vigilancia 4. *Centro*, 69.

- Ganiveth, M., Angulo, I., & Padilla, L. (2008). Bioacumulación de cadmio en ostras de la bahía de Cartagena. *Ingenierías Universidad de Medellín* 7, 11-20.
- Gestión, D. (30 de Noviembre de 2010). *Gestión*. Obtenido de http://gestion.pe/noticia/677273/http://gestion.pe/noticias-de-asbanc-302?href=nota_tag
- Goldbol , D., & Hutterman, A. (1985). Effect of zinc, cadmium and mercury on root elongation on *Picea abies* (Karst.) seedlings and the significance of these metals to forest die-back. *Environmental Pollution* 38.
- Gouia, H. G. (2000). Effects of cadmium on activity of nitrate reductase and on other enzymes of nitrate assimilation pathway in bean. *Plant Physiology and Biochemistry* . 629-638.
- Gouia, H., Ghorbal, M., & Meyer, C. (2000). Effects of cadmium on activity of nitrate reductase and on other enzymes of nitrate assimilation pathway in bean. *Plant Physiology and Biochemistry* 38.
- Guerra Garcia, C. E. (20 de Febrero de 2012). *Materiales de ingeniería*. Obtenido de <https://materialesdeingenieriacecar.wordpress.com/2012/02/20/ensayos-de-espectrofotometria-de-absorcion-atmica/>
- Hale , B., & Chan, D. (2004). Differential accumulation of Cd in durum wheat cultivars: uptake and retranslocation as sources of variation. *J. Exp. Botany*.(55), 2571–2579.
- Hanna. (1999). *Hanna Instruments, Soil Test Handbook, Soil Science and Management*, . Italia: Hanna Soiltest.
- Hedin , R., & Watzlaf, G. (1994). The effects od Anoxic Limestone Drains on Mine Water Chemistry. *Proceedings of International Land Reclamation and Mine Drainage Conference*, (págs. 185-194). Pittsburgh,PA.
- Hernández Picazo, F. J. (2014). Tesis : "Determinación de Cadmio (Cd) en suelos agrícolas dedicados a la producción de Alfalfa *Medicago sativa* irrigado con aguas residuales". Mexico.

- Holmgren, G., Meyer, G., Chaney, M., & Daniels, R. (1993). Cadmium, lead, zinc and nickel in agriculture soils of the United States of America. *Journal of Environmental Quality* 22, 335-348.
- Holt, G. (1992). *El Jardín del Gourmet. Los Frutos del Huerto a la Mesa*. España : Hermann Blume.
- Hong-Yun P, S.-K. T. (2005). En *Changes of root morphology and Pb uptake by two species of Elsholtzia under Pb toxicity*. (págs. 546-552.). *J Zhejiang University Science*: 6.
- Huaynata Natividad, J. L. (2013). Tesis "Efecto de materia orgánica en la absorción de cadmio por el suelo, en la localidad de Sutupe". Tingo Maria, Huanuco, Perú.
- Hydro Environment*. (2018). Recuperado el 2018, de https://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=249
- Infoagro*. (s.f.). Recuperado el 2018, de <http://www.infoagro.com/herbaceos/oleaginosas/girasol.htm>
- Introducción Teórica: Fundamentos de Espectrofotometría. (2010). Guía de Química II. Obtenido de file:///D:/Documentos/Descargas/Guia_TP_2_Quimica_II_2010.pdf
- Iretskaya, S., & Chien, S. (1999). Comparison of cadmium uptake by five different food grain crops grown on three soils of varying pH. *Community of Soil Science and Plant Analysis*. 30.
- Kabata -Pendias, A. (1995). Agriculture problems related to extensive trace metal contents of soil. Salomons, W.V. Forstner C.P. Mader (eds). *Heavy metals, problems and solutions*.
- Kabata-Pendias. (2000). En *A. t. plants*. 3rd ed, CRC Press.
- Kumar, P., Dushenko, V., Motto, H., & Raskin, L. (1995). Phytoextraction: the use of plants to remove heavy metals from soils. *Environ. Sci. Technol.*(29), 1232-8.
- Lasat, M.M., N.S. Pence, D.F. Garvin, S.D. Ebbs, & L.V. Kochian. (2000). "Molecular Physiology of zinc transport in the zinc hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*".

- Liao, J., Lin, X., Cao, Z., Shi, Y., & Wo. (2003). Interactions between arbuscular mycorrhizae and heavy metals under sand culture experiment.
- Lin J, J. W. (2003). En *Accumulation of copper by roots, hypocotyls, cotyledons and leaves of sunflower(Helianthus annuus L.)*. (págs. 151-155.). Bioresour Technol.
- Lloyd, J., & Lovely, D. (2001). *Microbial detoxification of metals and radio nuclides*. 248-253: Current Opinion in Biotechnology 12.
- Lokeshwari, H., & Chandrappa, G. T. (2006). "Impact of heavy metal contamination of Bellandur Lake on soil and cultivated vegetation" .
- Lovely, D., & Coates, J. (1997). *Bioremediation of metal contamination Curr. Opin. Biotechnol.* 285-289.: 8.
- Maksymiec, W., Wojcik, M., & Krupa, Z. (2007). Variation in oxidative stress and photochemical activity in *Arabidopsis thaliana* leaves subjected to cadmium and excess copper in the presence or absence of jasmonate and ascorbate.
- Mani, D., B. Sharma, & C. Kumar. (2007). Phytoaccumulation, interaction, toxicity and remediation of cadmium from *Helianthus annuus L.* (sunflower). 71-79.
- Manuel Repetto. (1995). *Toxicología Avanzada*. Madrid: Ediciones Diaz de Santos,S.A.
- Martin. (2000). Heavy metals trends in floodplain sediments and valley fill. . Catena 39.
- Martinez Mejía, B., Escamilla Flores, G., Rodríguez Ortega, A., Gómez Mercado, R., & Barrón Yáñez, R. (2017). Evaluación de híbridos de girasol (*Helianthus annuus L.*) en régimen de temporal en el Valle del Mezquital, Hidalgo. (U. P. Madera, Ed.)
- McLaughlin, M., & Singh, B. (1999). Cadmium in soils and plants: a global perspective. En M. McLaughlin, & B. Singh (Edits.). Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- McLaughlin, M., Tiller, K., Naidu, R., & Stevens, D. (1996). The behavior and environmental impact of contaminants in fertilizers. *Australian Journal of Soil Research* 34, 1-54.

- Méndez, M., & Maier, R. (2008). Phytostabilization of Mine Tailings in Arid and Semiarid Environments-An Emerging Remediation Technology. *Environ Health Perspect.* 116, 278-283.
- Mermut, A. R., Jain, J., Song, L., Kerrich, R., & L. Kozak y S. Jana. 1996. Trace element concentrations of selected soils and fertilizers in Saskatchewan, C. J. (s.f.). (25), 845-853.
- Mermut, A., Jain, J., Song, L., & Kerrich, R. (1996). Trace element concentrations of selected soils and fertilizers in Saskatchewan. *Canada J. Environ. Qual.*(25), 845-853.
- Mojiri, A. (2011). The Potential of Corn (*Zea mays*) for Phytoremediation of Soil Contaminated with Cadmium and Lead. *J. Biol. Environ. Sci.* 5, 17-22.
- Morral, D. (2003). Eco Fisiología del Cultivo de Cacao. Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Mortvedt, J. (1996). Heavy metals contaminants in inorganic and organic fertilizers. *Fertilizer Res*(43), 55-61.
- Mulas Fernández, Rafael;. (s.f.). *Study Lib.* (Á. d. Valladolid, Ed.) Obtenido de <https://studylib.es/doc/7998333/fitorremediaci%C3%B3n-de-suelos>
- Nehnevajova , E., Herzig, R., Federer , G., & Erisman, K. (2005). Screening of sunflower cultivars for metal phytoextraction in a contaminated field prior to mutagenesis. (I. J. 7, Ed.) 337-349.
- Nilo, L. (2003). Evaluación del impacto de los fertilizantes fosfatados en la acumulación de cadmio en suelos cultivados con maíz. *Gestión y planificación ambiental* .
- Olivares, E., & Peña, E. (2009). *Scielo.* Obtenido de <http://www.scielo.org.ve/pdf/inci/v34n9/art04.pdf>
- Ortegón , M., A.S, J. Loera G, A. Díaz F, A. Escobedo M, & E. Rosales R. (1993.). El girasol. México, DF, Trillas. .
- Phytotechnology Technical and Regulatory Guidance Document. (Abril de 2011). (*Quinto*). Intestate Techonology and Regulatory Cooperation Work Group.
- Pilon-Smits. (2005). *Phytoremediation Annu Rev Plant Biol* 56, 15–39.

- Pineda, R. (2004). *Presencia de hongos micorrízicos arbusculares y contribución de Glomus intraradices en la absorción y translocación de zinc y cobre en Helianthus annuus L. "girasol" crecido en un suelo contaminado con residuos de mina*. Universidad de Colima-Tecomán. Colima, México.
- Pinto, A., Mota, A., De Varennes, & Pinto, A. (2004). Influence of organic matter on the uptake of cadmium, zinc, copper and iron by sorghum plants. *Science of the Total Environment* 326, 239-274.
- PNUMA. (2010). Análisis del flujo del comercio y revisión de prácticas de manejo ambiental racional de productos de contenido de cadmio, plomo y mercurio en América Latina y Caribe.
- Pomponi, N., Censi, V., Di Girolamo, U., De Paolis, A., Di Toppi, L., Aromolo, R., . . . Cardarelli, M. (2006). Overexpression of Arabidopsis phytochelatase synthase in tobacco plants enhances Cd²⁺ tolerance and accumulation but not translocation to the shoot.
- Porta, A. (1994). Evaluación de la contaminación ambiental mediante indicadores biológicos de tipo molecular., (pág. p.52.). México.
- Porta, J., López-Acevedo, M., & Roquero, C. (1999.). *Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente* (2ª Edición ed.). España: Mundi-Prensa.
- Poschenrieder, C., Günsé, B., & Barceló, J. (1989). Influence of cadmium on water relations, stomatal resistance, and abscisic acid content in expanding bean leaves. *Plant Physiology* 90, 1365-1371.
- PROFEPA-SEMARNAP, P. (Noviembre de 2000). Disposiciones y Procedimientos para la caracterización y restauración de suelos contaminados. México D.F. Obtenido de http://srala.org/wp-content/uploads/2015/11/RemediacionRevitalizacionSitiosContaminados_Mexico2013.pdf
- Reeves, R. (2003). Tropical hyperaccumulators of metals and their potential for phytoextraction. *J Plant Soil* 249, 57-65.
- Regoli, L. (16 de Marzo de 2005). LR/UNECE-LRTP Heavy Metals. *(Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa-Contaminación Transfronteriza del Aire de Larga Distancia por metales pesados)*.

- Repetto, M. (s.f.). En M. Repetto, *Toxicología Avanzada* (pág. 1995). Sevilla: Instituto Nacional de Toxicología.
- Rocha Castro, E. (2000). *Principios Basicos de Espectroscopia*. Mexico: UACH.
- Rubén Hernández Gil, P. (29 de enero de 2014). *Libro Bótanica online*. Obtenido de <http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/fotosintesis/>
- Sabath, E., & Robles-Osorio, M. (2012). Medio ambiente y riñón: nefrotoxicidad por metales pesados. *Departamento de Nefrología*,.
- Salt, D., Prince, R., Pickering, I., & Raskin, I. (1995). Mechanism of cadmium mobility and accumulation in indian mustard. *Plant Physiology*(109), 1427-1433.
- Sánchez , N., Subero, N., & Rivero , C. (s.f.). Determinación de la adsorción de cadmio mediante isotermas de adsorción en suelos agrícolas venezolanos. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*(60), 190-197.
- Sandalio, L., Dalurzo, H., Gomez , M., & Romero-Puertas, M. (2001). Cadmium-induced changes in the growth and oxidative metabolism of pea plants. *Journal of Experimental Botany*(52), 2115-2126.
- Sarria , K., & Sanchez, E. (s.f.). Papel del Suelo en la Toxicidad del Cadmio. (*trabajo de fin de grado*). Madrid: Universidad Complutense.
- Satarug, S. G. (2010). Cadmium, environmental exposure and health outcomes. *Environmental Health Perspectives*, 182-190.
- Schnoor, J. (1997). Phytoremediation. *Department of Civil and Environmental Engineering, University of Iowa*.
- Shahandeh, H., & Hossner, L. (2000). *Internacional Journal of Phytoremediation*.
- Simona J, L. P. (2006). Metal Contamination Effects on Sunflower (*Helianthusannuus L.*) . En *Growth and Protein Expression in Leaves during Development. J Agricul & Food Chemistry* (págs. 8623-8630.).
- Singh, P., & Tewari, R. (2003). . . Cadmium toxicity induced changes in plant water relations and oxidative metabolism of *Brassica juncea L.* plants. *Journal of Environmental Biology*(24), 107-112.

- Spain, A. (2003). Implications of microbial heavy metals tolerance in the environment. *Reviews in undergraduate research*(2), ,1-6.
- Stoeppler, M. (1991). Metals and their compounds in the environment. En S. M., & M. E. (Ed.), *Metals and their compounds in the environment* (págs. 803-851.). New York,: VCH.
- Thomine, S., Wang, R., Ward, J., Crawford, N., Schroeder, J. (2000). Cadmium and iron transport by members of a plant metal transporter family in Arabidopsis with homology to Nramp genes. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 97, 4991-4996.
- Thompson, L., & Troeh, F. (Junio de 2002). Los suelos y su fertilidad. (Cuarta). (J. P. Tomás, Trad.) New York, EE.UU: Reverté. Obtenido de https://books.google.com.pe/books?id=AegjDhEIVAQC&pg=PA3&dq=perfil+de+suelo&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwja_db-0NHeAhUkp1kKHY_fCfUQ6AEIKzAB#v=onepage&q=perfil%20de%20suelo&f=false
- Torres Delgado, K., & Zuluaga Montoya, T. (2009). Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos (tesis de pregrado). Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Trápani, N., López Pereira, M., Sadras, V., & Hall, A. (2003). Ciclo Ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad del girasol.
- Vangronsveld, J., Herzig , R., Weyens, N., Boulet, J., Adriaensen, K., Ruttens, A., . . . Mench, M. (November de 2009). Phytoremediation of contaminated soils and groundwater: lessons from the field. 16(7).
- Vera, L. (22 de Abril de 2015). *Prometeo-Ecuador*. Obtenido de <http://prometeo.educacionsuperior.gob.ec/biosorcion-una-alternativa-para-reducir-la-contaminacion/>
- Vyslouzilova, M, P, Tlustos, O, Szakova, & J., Pablico. (2003). "As, Cd, Pb and Zn uptake by different Salix spp. Grown at soils enriched by high loads of these elements".
- Xiong.Y.H, Y. Z. (2004). Characteristics of Cadmium uptake and accumulation by two constrasting ecotyoes of Sedum Alfredii hance. *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCE AND HEALTH*

Part A-Toxic/Hazardous Substance and Environmental Engineering, Vol A39,Nos 11-12,pp 2925-2940.


Yoon, J.; X. Cao; Q. Zhou ; L.Q. Ma. (2006). Obtenido de <http://lqma.ifas.ufl.edu/publication/yon-06.pdf>

Zhao, F.J, R.E. Hamon, M.J. McLaughlin , & E.Lombi. (2002). "Characteristics of cadmium uptake in two contrasting ecotypes of the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*". *Jornal of Experimetal Botany*, 9.


CAPITULO X

ANEXOS

ANEXO N°4.1 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DEL SUELO



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
 Av. La Molina sin Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fla@lamolina.edu.pe



N° 018485


ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

SOLICITANTE : CAROLINA REATEGUI
 PROCEDENCIA : Carta Yajpo
 RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Montenegro Pizarro
 FECHA DE ANALISIS : La Molina, 28 de diciembre de 2017


Número de muestra	Lote	Campa	CE dB / m	Análisis Mecánico					pH	M.O. %	p ppm	N ppm	Carbón %	Oxígeno Combustible				
				arena %	limo %	arcilla %	materia orgánica	Reacción H+						Ca	Mg	N	K	SR
13405		Suelo	1.94	71.12	19.29	9.40	Frases anexo	7.94	1.22	4820	120.60	3.10	0.80	0.00	0.00	0.28	-	

CD
(ppm)
0.55

Laboratorio de Análisis de Agua y Suelo
 Ing. Mónica Valenzuela Barrantes
 JEFE DE LABORATORIO



ANEXO N°4.2. FICHA TÉCNICA DEL SUSTRATO PREMIX N°3



maruplast
TECNOLOGÍAS EN INVERNADEROS

FICHA TÉCNICA

1.0 NOMBRE COMERCIAL DEL PRODUCTO:
 Producto final: SUSTRATO PREMIX #8
 1.1. Identificación del fabricante:
 Nombre: SUNGRO HORTICULTURE INC.
 Dirección: 15831 N.E. 8TH Street, Bellevue, WA 98008




1.2. Identificación de la empresa importadora:
 Nombre: MARUPLAST INTERNACIONAL E.I.R.L.
 Dirección: Av. Primavera 120 Of. B -404 Surco, Lima - Perú

2.0 INFORMACIÓN SOBRE EL PRINCIPAL COMPONENTE DEL PRODUCTO

<p>Ingredients: Fine Canadian Sphagnum peat moss Fine Vermiculite and Perlite Dolomite Gypsum Proprietary starter nutrient charge with major and minor nutrients Proprietary wetting agent</p>	<p>Uses: Bedding Plants Vegetables Tobacco</p>																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Typical Extractable Nutrient Range *</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>pH</td><td>5.0 - 5.5</td></tr> <tr><td>Ec (mmhos/cm)</td><td>0.3 - .75</td></tr> <tr><td>Nitrate Nitrogen, NO₃-N (ppm)</td><td>5 - 40</td></tr> <tr><td>Ammonium Nitrogen, NH₄ -N (ppm)</td><td>2 - 20</td></tr> <tr><td>Phosphorus, P (ppm)</td><td>5 - 25</td></tr> <tr><td>Potassium, K (ppm)</td><td>25 - 100</td></tr> <tr><td>Calcium, Ca (ppm)</td><td>50 - 190</td></tr> <tr><td>Magnesium, Mg (ppm)</td><td>30 - 100</td></tr> <tr><td>Sulfur, S (ppm)</td><td>40 - 180</td></tr> <tr><td>Manganese, Mn (ppm)</td><td>.3 - 1.5</td></tr> <tr><td>Iron, Fe (ppm)</td><td>0.1 - 1.0</td></tr> <tr><td>Copper, Cu (ppm)</td><td>.005 - .15</td></tr> <tr><td>Boron, B (ppm)</td><td>.05 - 0.3</td></tr> <tr><td>Zinc, Zn (ppm)</td><td>.03 - .5</td></tr> <tr><td>Molybdenum, Mo (ppm)</td><td>.005 - .15</td></tr> </tbody> </table> <p>* Saturated extract procedure (two weeks after production)</p>	Typical Extractable Nutrient Range *		pH	5.0 - 5.5	Ec (mmhos/cm)	0.3 - .75	Nitrate Nitrogen, NO ₃ -N (ppm)	5 - 40	Ammonium Nitrogen, NH ₄ -N (ppm)	2 - 20	Phosphorus, P (ppm)	5 - 25	Potassium, K (ppm)	25 - 100	Calcium, Ca (ppm)	50 - 190	Magnesium, Mg (ppm)	30 - 100	Sulfur, S (ppm)	40 - 180	Manganese, Mn (ppm)	.3 - 1.5	Iron, Fe (ppm)	0.1 - 1.0	Copper, Cu (ppm)	.005 - .15	Boron, B (ppm)	.05 - 0.3	Zinc, Zn (ppm)	.03 - .5	Molybdenum, Mo (ppm)	.005 - .15	<p>Available: Loose Fill - 2.8 cu ft. bags, 51/pallet 80 cu ft. totes and bulk Compressed - 3.8 cu.ft. bales, 30/ pallet 55.5 cu ft. bales, 2 per pallet</p> <p>Average Yield: Loose fill - 2.8 cu ft. and 80 cu ft. respectively Compressed - 7.1 cu ft. and 110 cu ft. respectively</p> <p>Average Shipping Weight 3.8 cu ft. = 48-80 lbs. 55.5 cu. ft. = 800-1200 lbs 2.8 cu ft. = 25-40 lbs 80 cu ft. = 500-800 lbs</p>
Typical Extractable Nutrient Range *																																	
pH	5.0 - 5.5																																
Ec (mmhos/cm)	0.3 - .75																																
Nitrate Nitrogen, NO ₃ -N (ppm)	5 - 40																																
Ammonium Nitrogen, NH ₄ -N (ppm)	2 - 20																																
Phosphorus, P (ppm)	5 - 25																																
Potassium, K (ppm)	25 - 100																																
Calcium, Ca (ppm)	50 - 190																																
Magnesium, Mg (ppm)	30 - 100																																
Sulfur, S (ppm)	40 - 180																																
Manganese, Mn (ppm)	.3 - 1.5																																
Iron, Fe (ppm)	0.1 - 1.0																																
Copper, Cu (ppm)	.005 - .15																																
Boron, B (ppm)	.05 - 0.3																																
Zinc, Zn (ppm)	.03 - .5																																
Molybdenum, Mo (ppm)	.005 - .15																																
<p>Physical Properties</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Tests</th> <th>Standard</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Bulk Density</td><td>7 - 10 lbs./ft³</td></tr> <tr><td>Moisture Percentage</td><td>45 - 55 %</td></tr> <tr><td>Water-holding capacity</td><td>50 - 70% by volume</td></tr> <tr><td>Air Capacity</td><td>8 - 20% by volume</td></tr> </tbody> </table>	Tests	Standard	Bulk Density	7 - 10 lbs./ft ³	Moisture Percentage	45 - 55 %	Water-holding capacity	50 - 70% by volume	Air Capacity	8 - 20% by volume	<p>Testing Method A.S.T.M.D 2978-90 Percent based on weight to weight basis Values at container (8 1/2" azalea pot) capacity of media Values at container (8 1.0" azalea pot) capacity of media</p>																						
Tests	Standard																																
Bulk Density	7 - 10 lbs./ft ³																																
Moisture Percentage	45 - 55 %																																
Water-holding capacity	50 - 70% by volume																																
Air Capacity	8 - 20% by volume																																

Maruplast Internacional E.I.R.L.

**ANEXO N°5.1. ANÁLISIS DE LA CONCENTRACIÓN
FINAL DE CADMIO EN EL SUELO**

 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 228 Lima Email: las-fia@lamolina.edu.pe</p>			 N° 013862					
Análisis de Suelo								
SOLICITANTE	: CÁPOLINA REATEGUI MORALES							
PROYECTO	: TESIS - CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL CINCUECO EN SUELOS AGRÍCOLAS CONTAMINADAS CON CD							
PROCEDENCIA	: Suelo lavado de Costa - Santa Rosa de Oroya							
RESP. ANALISIS	: Ing. Elizabeth Montenegro Torres							
FECHA DE ANALISIS	: La Molina, 23 de mayo de 2018							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Lab.</th> <th>Numero de muestra</th> <th>Ca (ppm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>13862</td> <td>Muestra N°1</td> <td>5.32</td> </tr> </tbody> </table>			Lab.	Numero de muestra	Ca (ppm)	13862	Muestra N°1	5.32
Lab.	Numero de muestra	Ca (ppm)						
13862	Muestra N°1	5.32						
<p>LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO Ing. Msc. Gerardo Viteriano Bizarro JEFE DE LABORATORIO</p> 								



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
Av. La Molina sin Teléfono: 614 7800 Anexo 228 Lima Email: las-fa@lamolina.edu.pe



Análisis de Suelo

SOLICITANTE : CAROLINA BELATSEGUI MONALES
PROYECTO : TESIS - CAPACIDAD DE ASORCIÓN DEL GIRASOL EN SUELOS AGRICOLAS CONTAMINADOS CON COF
PROCEDENCIA : Suelo Irado de Carra - Santa Rosa de Chivay
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Montenegro Peraza
FECHA DE ANALISIS : LA MOLINA, 23 DE mayo de 2014

Numero de muestra		
LAB.	Campo	CD (ppm)
13083	Muestra N°2	23.16

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO
Ing. Wladimir Velazquez Barrantes
JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
Av. La Molina s/n Teléfono: 014 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fia@lamolina.edu.pe



Análisis de Suelo



SOLICITANTE : CAROLINA RESATEGUI MORALES
PROYECTO : TESIS - CAPACIDAD DE ASORCIÓN DEL GRSASOL EN SUELOS AGRICOLAS CONTAMINADOS CON Cd*
PROCEDENCIA : Suelo listo de Cartera - Santa Rosa de Gálvez
RESP. ANALISIS : Ing. Euzabeth Moroney Pizarro
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 23 de mayo de 2019

Número de muestra		
Lab.	Campo	Cd (ppm)
12004	Muestra N°3	67.00

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO
Ing. Msc. Tereza Velázquez Pizarro
Jefe de Laboratorio



ANEXO N°5.2. RESULTADOS DE ABSORCIÓN DE CADMIO POR EL GIRASOL

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE CIENCIAS LABICER (Laboratorio N° 12) ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN															
INFORME TÉCNICO N° 0497 – 18 – LABICER																
1. DATOS DEL SOLICITANTE 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : JAHIRA REATEGUI BARBOZA 1.2 D.N.I : 46846653																
2. CRONOGRAMA DE FECHAS 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 06 / 04 / 2018 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 16 / 04 / 2018																
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANALISIS DE CADMIO EN PLANTA																
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE PLANTA 4.2 CÓDIGO : D1.1																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">CÓDIGO</th> <th>NOMBRE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>D1.1-H</td> <td>Hojas de muestra D1.1</td> </tr> <tr> <td>D1.1-R</td> <td>Raíces de muestra D1.1</td> </tr> <tr> <td>D1.1-T</td> <td>Tallo de muestra D1.1</td> </tr> </tbody> </table>			CÓDIGO	NOMBRE	D1.1-H	Hojas de muestra D1.1	D1.1-R	Raíces de muestra D1.1	D1.1-T	Tallo de muestra D1.1						
CÓDIGO	NOMBRE															
D1.1-H	Hojas de muestra D1.1															
D1.1-R	Raíces de muestra D1.1															
D1.1-T	Tallo de muestra D1.1															
5. LUGAR DE RECEPCIÓN : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS																
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 23 °C; Humedad relativa: 60 %																
7. EQUIPO UTILIZADO : Espectrofotómetro de Absorción Atómica Shimadzu AA-7000 Mufa DAIHAN SCIENTIFIC																
8. RESULTADOS <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">MUESTRA</th> <th style="width: 20%;">Masa de muestra* (g)</th> <th style="width: 20%;">Cadmio (ppm)</th> <th style="width: 40%;">MÉTODO DE REFERENCIA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>D1.1-H</td> <td style="text-align: center;">1.0232</td> <td style="text-align: center;">14.89</td> <td rowspan="3" style="text-align: center; vertical-align: middle;">AOAC 999.11</td> </tr> <tr> <td>D1.1-R</td> <td style="text-align: center;">0.4507</td> <td style="text-align: center;">30.24</td> </tr> <tr> <td>D1.1-T</td> <td style="text-align: center;">0.6897</td> <td style="text-align: center;">2.35</td> </tr> </tbody> </table> <p style="font-size: small; margin-top: 5px;">*Masa de muestra seca</p>			MUESTRA	Masa de muestra* (g)	Cadmio (ppm)	MÉTODO DE REFERENCIA	D1.1-H	1.0232	14.89	AOAC 999.11	D1.1-R	0.4507	30.24	D1.1-T	0.6897	2.35
MUESTRA	Masa de muestra* (g)	Cadmio (ppm)	MÉTODO DE REFERENCIA													
D1.1-H	1.0232	14.89	AOAC 999.11													
D1.1-R	0.4507	30.24														
D1.1-T	0.6897	2.35														
9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.																
Quim. Natalia Chávez LI. Analista LABICER – UNI		M.Sc. Otilia Ache de la Cruz Jefa de Laboratorio Responsable de Análisis COP 202														
(*) El Laboratorio no es responsable del muestreo ni de la procedencia de la muestra.																
INFORME TÉCNICO N° 0497-18- LABICER		Página 1 de 1														



INFORME TÉCNICO N° 0498 – 18 – LABICER

1. DATOS DEL SOLICITANTE
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : JAHIRA REATEGUI BARBOZA
 - 1.2 D.N.I : 46846653
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 06 / 04 / 2018
 - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 16 / 04 / 2018
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANALISIS DE CADMIO EN PLANTA
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE PLANTA
 - 4.2 CÓDIGO : D1.2

CODIGO	NOMBRE
D1.2-H	Hojas de muestra D1.2
D1.2-R	Raíces de muestra D1.2
D1.2-T	Tallo de muestra D1.2

5. LUGAR DE RECEPCIÓN : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 23 °C; Humedad relativa: 60 %
7. EQUIPO UTILIZADO : Espectrofotómetro de Absorción Atómica Shimadzu AA-7000
Muña DAIHAN SCIENTIFIC
8. RESULTADOS

MUESTRA	Masa de muestra* (g)	Cadmio (ppm)	MÉTODO DE REFERENCIA
D1.2-H	0.4845	5.37	AOAC 999.11
D1.2-R	0.3064	37.92	
D1.2-T	0.5069	1.74	

*Masa de muestra seca

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO
 Los resultados de este Informe técnico son válidos solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Quim. Natalia Chávez LL.
 Analista
 LABICER – UNI

M.Sc. Otilia Acha de la Cruz
 Jefa de Laboratorio
 Responsable de Análisis
 COP 202

(*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE CIENCIAS

LABICER (Laboratorio N° 12)

ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



INFORME TÉCNICO N° 0499 – 18 – LABICER

1. DATOS DEL SOLICITANTE
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : JAHIRA REATEGUI BARBOZA
 - 1.2 D.N.I : 46846653
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 06 / 04 / 2018
 - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 16 / 04 / 2018
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANALISIS DE CADMIO EN PLANTA
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE PLANTA
 - 4.2 CÓDIGO : D1.3

CODIGO	NOMBRE
D1.3-H	Hojas de muestra D1.3
D1.3-R	Raíces de muestra D1.3
D1.3-T	Tallo de muestra D1.3

5. LUGAR DE RECEPCIÓN : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 23 °C; Humedad relativa: 60 %
7. EQUIPO UTILIZADO : Espectrofotómetro de Absorción Atómica Shimadzu AA-7000
Mufa DAIHAN SCIENTIFIC
8. RESULTADOS

MUESTRA	Masa de muestra* (g)	Cadmio (ppm)	MÉTODO DE REFERENCIA
D1.3-H	0.8187	6.24	AOAC 999.11
D1.3-R	0.4736	34.54	
D1.3-T	0.9281	1.17	

*Masa de muestra seca

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO
Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Quim. Natalia Chávez LL.
Analista
LABICER – UNI

M.Sc. Otilia Acha de la Cruz
Jefa de Laboratorio
Responsable de Análisis
COP 202

(*) El Laboratorio no es responsable del muestreo ni de la procedencia de la muestra.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE CIENCIAS

LABICER (Laboratorio N° 12)
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



INFORME TÉCNICO N° 0500 – 18 – LABICER

1. DATOS DEL SOLICITANTE
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : JAHIRA REATEGUI BARBOZA
 - 1.2 D.N.I : 46846653
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 06 / 04 / 2018
 - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 16 / 04 / 2018
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANALISIS DE CADMIO EN PLANTA
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE PLANTA
 - 4.2 CÓDIGO : D1.4

CODIGO	NOMBRE
D1.4-H	Hojas de muestra D1.4
D1.4-R	Raíces de muestra D1.4
D1.4-T	Tallo de muestra D1.4
D1.4-F	Flor de muestra D1.4

5. LUGAR DE RECEPCIÓN : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 23 °C; Humedad relativa: 60 %
7. EQUIPO UTILIZADO : Espectrofotómetro de Absorción Atómica Shimadzu AA-7000
Muña DAIHAN SCIENTIFIC

8. RESULTADOS

MUESTRA	Masa de la muestra* (g)	Cadmio (ppm)	MÉTODO DE REFERENCIA
D1.4-H	0.3911	6.32	AOAC 999.11
D1.4-R	0.1667	15.96	
D1.4-T	0.4682	3.74	
D1.4-F	0.3196	1.21	

*Masa de muestra seca

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO
Los resultados de este Informe técnico son válidos solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Quim. Natalia Chávez LI.
Analista
LABICER – UNI

M.Sc. Otilia Acha de la Cruz
Jefa de Laboratorio
Responsable de Análisis
COP 202



INFORME TÉCNICO N° 0501 – 18 – LABICER

1. DATOS DEL SOLICITANTE
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : JAHIRA REATEGUI BARBOZA
 - 1.2 D.N.I : 46846653
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 06 / 04 / 2018
 - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 16 / 04 / 2018
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANÁLISIS DE CADMIO EN PLANTA
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE PLANTA
 - 4.2 CÓDIGO : D2.1

CODIGO	NOMBRE
D2.1-H	Hojas de muestra D2.1
D2.1-R	Raíces de muestra D2.1
D2.1-T	Tallo de muestra D2.1

5. LUGAR DE RECEPCIÓN : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 23 °C; Humedad relativa: 60 %
7. EQUIPO UTILIZADO : Espectrofotómetro de Absorción Atómica Shimadzu AA-7000
Muña DAIHAN SCIENTIFIC
8. RESULTADOS

MUESTRA	Masa de muestra* (g)	Cadmio (ppm)	MÉTODO DE REFERENCIA
D2.1-H	1.6672	29.01	AOAC 999.11
D2.1-R	0.7283	139.50	
D2.1-T	2.3632	13.08	

*Masa de muestra seca

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO
Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Quim. Natalia Chávez LI.
Analista
LABICER – UNI

M.Sc. Otilia Acha de la Cruz
Jefa de Laboratorio
Responsable de Análisis
CQP 202

(*) El Laboratorio no es responsable del muestreo ni de la procedencia de la muestra.



INFORME TÉCNICO N° 0502 – 18 – LABICER

1. DATOS DEL SOLICITANTE
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : JAHIRA REATEGUI BARBOZA
 - 1.2 D.N.I : 46846653
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 06 / 04 / 2018
 - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 16 / 04 / 2018
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANALISIS DE CADMIO EN PLANTA
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE PLANTA
 - 4.2 CÓDIGO : D2.2

CÓDIGO	NOMBRE
D2.2-H	Hojas de muestra D2.2
D2.2-R	Raíces de muestra D2.2
D2.2-T	Tallo de muestra D2.2

5. LUGAR DE RECEPCIÓN : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 23 °C; Humedad relativa: 60 %
7. EQUIPO UTILIZADO : Espectrofotómetro de Absorción Atómica Shimadzu AA-7000
Muña DAIHAN SCIENTIFIC
8. RESULTADOS

MUESTRA	Masa de muestra* (g)	Cadmio (ppm)	MÉTODO DE REFERENCIA
D2.2-H	1.3885	35.99	AOAC 999.11
D2.2-R	0.2507	208.46	
D2.2-T	0.9673	13.38	

*Masa de muestra seca

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO
 Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Quim. Nefelía Chávez LJ.
 Analista
 LABICER – UNI

M.Sc. Otilia Acha de la Cruz
 Jefa de Laboratorio
 Responsable de Análisis
 COP 202

(*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

**INFORME TÉCNICO N° 0504 – 18 – LABICER**

1. DATOS DEL SOLICITANTE
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : JAHIRA REATEGUI BARBOZA
 - 1.2 D.N.I : 46846653
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 06 / 04 / 2018
 - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 16 / 04 / 2018
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANALISIS DE CADMIO EN PLANTA
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE
 - 4.1 IDENTIFICACION DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE PLANTA
 - 4.2 CÓDIGO : D3.1

CODIGO	NOMBRE
D3.1-H	Hojas de muestra D3.1
D3.1-R	Raíces de muestra D3.1
D3.1-T	Tallo de muestra D3.1

5. LUGAR DE RECEPCIÓN : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 23 °C; Humedad relativa: 60 %
7. EQUIPO UTILIZADO : Espectrofotómetro de Absorción Atómica Shimadzu AA-7000
Mufla DAIHAN SCIENTIFIC
8. RESULTADOS

MUESTRA	Masa de muestra* (g)	Cadmio (ppm)	MÉTODO DE REFERENCIA
D3.1-H	0.7937	49.91	AOAC 999.11
D3.1-R	0.3139	163.27	
D3.1-T	1.2023	35.87	

*Masa de muestra seca

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO
 Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Quim. Natalia Chávez LI.
 Analista
 LABICER – UNI

M.Sc. Otilia Ache de la Cruz
 Jefa de Laboratorio
 Responsable de Análisis
 CGP 202

(*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE CIENCIAS

LABICER (Laboratorio N° 12)
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



INFORME TÉCNICO N° 0503 – 18 – LABICER

1. DATOS DEL SOLICITANTE
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : JAHIRA REATEGUI BARBOZA
 - 1.2 D.N.I : 46846653
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 06 / 04 / 2018
 - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 16 / 04 / 2018
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANÁLISIS DE CADMIO EN PLANTA
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE PLANTA
 - 4.2 CÓDIGO : D2.3

CODIGO	NOMBRE
D2.3-H	Hojas de muestra D2.3
D2.3-R	Raíces de muestra D2.3
D2.3-T	Tallo de muestra D2.3

5. LUGAR DE RECEPCIÓN : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 23 °C; Humedad relativa: 60 %
7. EQUIPO UTILIZADO : Espectrofotómetro de Absorción Atómica Shimadzu AA-7000
Muñe DAIHAN SCIENTIFIC

8. RESULTADOS

MUESTRA	Masa de muestra ^a (g)	Cadmio (ppm)	MÉTODO DE REFERENCIA
D2.3-H	0.8053	34.33	AOAC 999.11
D2.3-R	0.3009	123.99	
D2.3-T	1.2529	10.29	

^aMasa de muestra seca

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO
Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Quim. Natalia Chávez LL.
Analista
LABICER – UNI

M.Sc. Otilia Ache de la Cruz
Jefa de Laboratorio
Responsable de Análisis
CGP 202

(*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE CIENCIAS

LABICER (Laboratorio N° 12)
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



INFORME TÉCNICO N° 0505 – 18 – LABICER

1. DATOS DEL SOLICITANTE
1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : JAHIRA REATEGUI BARBOZA
1.2 D.N.I : 46846653
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 06 / 04 / 2018
2.2 FECHA DE EMISIÓN : 16 / 04 / 2018
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANÁLISIS DE CADMIO EN PLANTA
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE
4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE PLANTA
4.2 CÓDIGO : D3.2

CÓDIGO	NOMBRE
D3.2-H	Hojas de muestra D3.2
D3.2-R	Raíces de muestra D3.2
D3.2-T	Tallo de muestra D3.2
D3.2-F	Flor de muestra D3.2

5. LUGAR DE RECEPCIÓN : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 23 °C; Humedad relativa: 60 %
7. EQUIPO UTILIZADO : Espectrofotómetro de Absorción Atómica Shimadzu AA-7000
Muña DAIHAN SCIENTIFIC

8. RESULTADOS

MUESTRA	Masa de muestra* (g)	Cadmio (ppm)	MÉTODO DE REFERENCIA
D3.2-H	1.0769	55.33	AOAC 999.11
D3.2-R	0.2920	240.89	
D3.2-T	1.3738	55.13	
D3.2-F	0.6164	50.31	

*Masa de muestra seca

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO
Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Quim. Nafelía Chávez LI.
Analista
LABICER – UNI

M.Sc. Otilia Acha de la Cruz
Jefa de Laboratorio
Responsable de Análisis
CQP 202

(*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

INFORME TÉCNICO N° 0505-18- LABICER

Página 1 de 1



INFORME TÉCNICO N° 0507 – 18 – LABICER

1. DATOS DEL SOLICITANTE
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : JAHIRA REATEGUI BARBOZA
 - 1.2 D.N.I : 46846653
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 06 / 04 / 2018
 - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 16 / 04 / 2018
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANALISIS DE CADMIO EN PLANTA
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE PLANTA
 - 4.2 CÓDIGO : D3.4

CODIGO	NOMBRE
D3.4-H	Hojas de muestra D3.4
D3.4-R	Raíces de muestra D3.4
D3.4-T	Tallo de muestra D3.4

5. LUGAR DE RECEPCIÓN : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 23 °C; Humedad relativa: 60 %
7. EQUIPO UTILIZADO : Espectrofotómetro de Absorción Atómica Shimadzu AA-7000
Muña DAIHAN SCIENTIFIC
8. RESULTADOS

MUESTRA	Masa de muestra* (g)	Cadmio (ppm)	MÉTODO DE REFERENCIA
D3.4-H	1.2716	50.44	AOAC 999.11
D3.4-R	0.3351	109.76	
D3.4-T	1.7859	16.36	

*Masa de muestra seca

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO
Los resultados de este Informe técnico son válidos solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Quim. Nefelía Chávez LI.
Analista
LABICER – UNI

M.Sc. Otilia Acha de la Cruz
Jefa de Laboratorio
Responsable de Análisis
COP 202

(*) El Laboratorio no es responsable del muestreo ni de la procedencia de la muestra.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE CIENCIAS

LABICER (Laboratorio N° 12)

ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



INFORME TÉCNICO N° 0506 – 18 – LABICER

1. DATOS DEL SOLICITANTE
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : JAHIRA REATEGUI BARBOZA
 - 1.2 D.N.I : 46846653
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 06 / 04 / 2018
 - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 16 / 04 / 2018
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANALISIS DE CADMIO EN PLANTA
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE PLANTA
 - 4.2 CÓDIGO : D3.3

CODIGO	NOMBRE
D3.3-H	Hojas de muestra D3.3
D3.3-R	Raíces de muestra D3.3
D3.3-T	Tallo de muestra D3.3

5. LUGAR DE RECEPCIÓN : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 23 °C; Humedad relativa: 60 %
7. EQUIPO UTILIZADO : Espectrofotómetro de Absorción Atómica Shimadzu AA-7000
Mufa DAIHAN SCIENTIFIC
8. RESULTADOS

MUESTRA	Masa de muestra* (g)	Cadmio (ppm)	MÉTODO DE REFERENCIA
D3.3-H	1.1716	36.53	AOAC 999.11
D3.3-R	0.4754	258.31	
D3.3-T	1.1819	20.28	

*Masa de muestra seca

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO
Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Quim. Natalia Chávez LI.
Analista
LABICER – UNI

M.Sc. Otilia Acha de la Cruz
Jefa de Laboratorio
Responsable de Análisis
CQP 202

(*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.



INFORME TÉCNICO N° 0741 – 18 – LABICER

1. DATOS DEL SOLICITANTE
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : CAROLINA REATEGUI MORALES
 - 1.2 D.N.I : 73973504
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 30 / 04 / 2018
 - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 21 / 05 / 2018
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANALISIS DE CADMIO EN PLANTA
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE PLANTA
 - 4.2 CÓDIGO : B1 (Blanco 1)

CODIGO	NOMBRE
B1-H	Hojas de muestra B1
B1-T	Tallo de muestra B1
B1-R	Raíces de muestra B1

5. LUGAR DE RECEPCIÓN : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 23 °C; Humedad relativa: 60 %
7. EQUIPO UTILIZADO : Espectrofotómetro de Absorción Atómica Shimadzu AA-7000
Muña DAIHAN SCIENTIFIC
8. RESULTADOS

CÓDIGO DE MUESTRA	Masa de muestra* (g)	Cadmio (ppm)	MÉTODO DE REFERENCIA
B1-H	1.0337	1.88	AOAC 999.11
B1-T	3.0642	< 0.008**	
B1-R	0.3796	< 0.008**	

*Masa de muestra seca

**El valor 0.008 representa el Límite de Detección de Cadmio en el equipo

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO
Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Quim. Nefelía Chávez LI.
Analista
LABICER – UNI

M.Sc. Otilia Acha de la Cruz
Jefa de Laboratorio
Responsable de Análisis
COP 202

(*) El Laboratorio no es responsable del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

**INFORME TÉCNICO N° 0742 – 18 – LABICER**

1. DATOS DEL SOLICITANTE
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : CAROLINA REATEGUI MORALES
 - 1.2 D.N.I : 73973504
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 30 / 04 / 2018
 - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 21 / 05 / 2018
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANÁLISIS DE CADMIO EN PLANTA
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE PLANTA
 - 4.2 CÓDIGO : B2 (Blanco 2)

CODIGO	NOMBRE
B2-H	Hojas de muestra B2
B2-T	Tallo de muestra B2
B2-R	Raíces de muestra B2

5. LUGAR DE RECEPCIÓN : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 23 °C; Humedad relativa: 60 %
7. EQUIPO UTILIZADO : Espectrofotómetro de Absorción Atómica Shimadzu AA-7000
Muña DAIHAN SCIENTIFIC

8. RESULTADOS

CÓDIGO DE MUESTRA	Masa de muestra* (g)	Cadmio (ppm)	MÉTODO DE REFERENCIA
B2-H	1.9625	2.43	AOAC 999.11
B2-T	2.8791	< 0.008**	
B2-R	0.4594	< 0.008**	

*Masa de muestra seca

**El valor 0.008 representa el Límite de Detección de Cadmio en el equipo

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO

Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Quim. Natalia Chávez LL.
 Analista
 LABICER – UNI

M.Sc. Otilia Acha de la Cruz
 Jefa de Laboratorio
 Responsable de Análisis
 COP 202

(*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

INFORME TÉCNICO N° 0742-18- LABICER

Página 1 de 1



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE CIENCIAS

LABICER (Laboratorio N° 12)
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



INFORME TÉCNICO N° 0751 – 18 – LABICER

1. DATOS DEL SOLICITANTE
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : CAROLINA REATEGUI MORALES
 - 1.2 D.N.I : 73973504
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 30 / 04 / 2018
 - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 22 / 05 / 2018
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANALISIS DE CADMIO EN PLANTA
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE PLANTA
 - 4.2 CÓDIGO : D1.1

CODIGO	NOMBRE
D1.1-H	Hojas de muestra D1.1
D1.1-T	Tallo de muestra D1.1
D1.1-R	Raíces de muestra D1.1

5. LUGAR DE RECEPCIÓN : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 23 °C; Humedad relativa: 60 %
7. EQUIPO UTILIZADO : Espectrofotómetro de Absorción Atómica Shimadzu AA-7000
Mufa DAIHAN SCIENTIFIC
8. RESULTADOS

CÓDIGO DE MUESTRA	Masa de muestra* (g)	Cadmio (ppm)	MÉTODO DE REFERENCIA
D1.1-H	1.2386	9.02	AOAC 999.11
D1.1-T	2.0515	2.32	
D1.1-R	0.2545	28.37	

*Masa de muestra seca

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO
Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Quim. Natalia Chávez LI.
Analista
LABICER – UNI

M.Sc. Otilia Acha de la Cruz
Jefa de Laboratorio
Responsable de Análisis
COP 202

(*) El Laboratorio no es responsable del muestreo ni de la procedencia de la muestra.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE CIENCIAS

LABICER (Laboratorio N° 12)

ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



INFORME TÉCNICO N° 0743 – 18 – LABICER

1. DATOS DEL SOLICITANTE
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : CAROLINA REATEGUI MORALES
 - 1.2 D.N.I : 73973504
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 30 / 04 / 2018
 - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 21 / 05 / 2018
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANALISIS DE CADMIO EN PLANTA
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE PLANTA
 - 4.2 CÓDIGO : B3 (Blanco 3)

CODIGO	NOMBRE
B3-H	Hojas de muestra B3
B3-T	Tallo de muestra B3
B3-R	Raíces de muestra B3

5. LUGAR DE RECEPCIÓN : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 23 °C; Humedad relativa: 60 %
7. EQUIPO UTILIZADO : Espectrofotómetro de Absorción Atómica Shimadzu AA-7000
Mufa DAIHAN SCIENTIFIC
8. RESULTADOS

CÓDIGO DE MUESTRA	Masa de muestra* (g)	Cadmio (ppm)	MÉTODO DE REFERENCIA
B3-H	3.4068	1.90	AOAC 999.11
B3-T	5.0846	< 0.008**	
B3-R	1.979	1.64	

*Masa de muestra seca

**El valor 0.008 representa el Límite de Detección de Cadmio en el equipo

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO
Los resultados de este Informe técnico son válidos solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Quim. Natalia Chávez LI.
Analista
LABICER – UNI

M.Sc. Otilia Acha de la Cruz
Jefa de Laboratorio
Responsable de Análisis
CQP 202

(*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

INFORME TÉCNICO N° 0743-18- LABICER

Página 1 de 1

**INFORME TÉCNICO N° 0752 – 18 – LABICER**

1. DATOS DEL SOLICITANTE
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : CAROLINA REATEGUI MORALES
 - 1.2 D.N.I : 73973504
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 30 / 04 / 2018
 - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 22 / 05 / 2018
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANALISIS DE CADMIO EN PLANTA
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE PLANTA
 - 4.2 CÓDIGO : D1.2

CODIGO	NOMBRE
D1.2-H	Hojas de muestra D1.2
D1.2-T	Tallo de muestra D1.2
D1.2-R	Raíces de muestra D1.2

5. LUGAR DE RECEPCIÓN : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 23 °C; Humedad relativa: 60 %
7. EQUIPO UTILIZADO : Espectrofotómetro de Absorción Atómica Shimadzu AA-7000
Mufa DAIHAN SCIENTIFIC
8. RESULTADOS

CÓDIGO DE MUESTRA	Masa de muestra* (g)	Cadmio (ppm)	MÉTODO DE REFERENCIA
D1.2-H	1.7447	6.16	AOAC 999.11
D1.2-T	1.9420	0.80	
D1.2-R	0.6624	13.43	

*Masa de muestra seca

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO
 Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Quim. Natalia Chávez L.
 Analista
 LABICER – UNI

M.Sc. Otilia Acha de la Cruz
 Jefa de Laboratorio
 Responsable de Análisis
 CGP 202

(*) El Laboratorio no es responsable del resultado ni de la procedencia de la muestra.



INFORME TÉCNICO N° 0753 – 18 – LABICER

1. DATOS DEL SOLICITANTE
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : CAROLINA REATEGUI MORALES
 - 1.2 D.N.I : 73973504
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 30 / 04 / 2018
 - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 22 / 05 / 2018
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANALISIS DE CADMIO EN PLANTA
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE PLANTA
 - 4.2 CÓDIGO : D1.3

CODIGO	NOMBRE
D1.3-H	Hojas de muestra D1.3
D1.3-T	Tallo de muestra D1.3
D1.3-R	Raíces de muestra D1.3

5. LUGAR DE RECEPCIÓN : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 23 °C; Humedad relativa: 60 %
7. EQUIPO UTILIZADO : Espectrofotómetro de Absorción Atómica Shimadzu AA-7000
Mufa DAIHAN SCIENTIFIC
8. RESULTADOS

CÓDIGO DE MUESTRA	Masa de muestra* (g)	Cadmio (ppm)	MÉTODO DE REFERENCIA
D1.3-H	0.6562	6.85	AOAC 999.11
D1.3-T	0.9501	0.81	
D1.3-R	0.3044	2.73	

*Masa de muestra seca

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO
Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Quim. Natalia Chávez LI.
Analista
LABICER – UNI

M.Sc. Otilia Acha de la Cruz
Jefa de Laboratorio
Responsable de Análisis
COP 202

(*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE CIENCIAS

LABICER (Laboratorio N° 12)
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



INFORME TÉCNICO N° 0754 – 18 – LABICER

1. DATOS DEL SOLICITANTE
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : CAROLINA REATEGUI MORALES
 - 1.2 D.N.I : 73973504
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 30 / 04 / 2018
 - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 22 / 05 / 2018
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANALISIS DE CADMIO EN PLANTA
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE PLANTA
 - 4.2 CÓDIGO : D2.1

CÓDIGO	NOMBRE
D2.1-H	Hojas de muestra D2.1
D2.1-T	Tallo de muestra D2.1
D2.1-R	Raíces de muestra D2.1

5. LUGAR DE RECEPCIÓN : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 23 °C; Humedad relativa: 60 %
7. EQUIPO UTILIZADO : Espectrofotómetro de Absorción Atómica Shimadzu AA-7000
Mufta DAIHAN SCIENTIFIC
8. RESULTADOS

CÓDIGO DE MUESTRA	Masa de muestra* (g)	Cadmio (ppm)	MÉTODO DE REFERENCIA
D2.1-H	0.7840	19.62	AOAC 999.11
D2.1-T	0.9676	5.29	
D2.1-R	0.4216	95.17	

*Masa de muestra seca

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO
Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Quim. Natalia Chávez LI.
Analista
LABICER – UNI

M.Sc. Otilia Acha de la Cruz
Jefa de Laboratorio
Responsable de Análisis
COP 202

(*) El Laboratorio no es responsable del muestreo ni de la procedencia de la muestra.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE CIENCIAS

LABICER (Laboratorio N° 12)
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



INFORME TÉCNICO N° 0755 – 18 – LABICER

1. DATOS DEL SOLICITANTE
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : CAROLINA REATEGUI MORALES
 - 1.2 D.N.I : 73973504
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 30 / 04 / 2018
 - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 22 / 05 / 2018
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANALISIS DE CADMIO EN PLANTA
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE PLANTA
 - 4.2 CÓDIGO : D2.2

CODIGO	NOMBRE
D2.2-H	Hojas de muestra D2.2
D2.2-T	Tallo de muestra D2.2
D2.2-R	Raíces de muestra D2.2

5. LUGAR DE RECEPCIÓN : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 23 °C; Humedad relativa: 60 %
7. EQUIPO UTILIZADO : Espectrofotómetro de Absorción Atómica Shimadzu AA-7000
Mufa DAIHAN SCIENTIFIC
8. RESULTADOS

CÓDIGO DE MUESTRA	Masa de muestra* (g)	Cadmio (ppm)	MÉTODO DE REFERENCIA
D2.2-H	1.9593	16.62	AOAC 999.11
D2.2-T	1.6549	4.83	
D2.2-R	0.7420	65.26	

*Masa de muestra seca

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO
Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Quim. Natalia Chávez LI.
Analista
LABICER – UNI

M.Sc. Otilia Acha de la Cruz
Jefa de Laboratorio
Responsable de Análisis
COP 202

(*) El Laboratorio no es responsable del muestreo ni de la procedencia de la muestra.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE CIENCIAS

LABICER (Laboratorio N° 12)
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



INFORME TÉCNICO N° 0756 – 18 – LABICER

1. DATOS DEL SOLICITANTE
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : CAROLINA REATEGUI MORALES
 - 1.2 D.N.I : 73973504
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 30 / 04 / 2018
 - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 22 / 05 / 2018
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANALISIS DE CADMIO EN PLANTA
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE PLANTA
 - 4.2 CÓDIGO : D2.3

CODIGO	NOMBRE
D2.3-H	Hojas de muestra D2.3
D2.3-T	Tallo de muestra D2.3
D2.3-R	Raíces de muestra D2.3

5. LUGAR DE RECEPCIÓN : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 23 °C; Humedad relativa: 60 %
7. EQUIPO UTILIZADO : Espectrofotómetro de Absorción Atómica Shimadzu AA-7000
Muña DAIHAN SCIENTIFIC
8. RESULTADOS

CÓDIGO DE MUESTRA	Masa de muestra* (g)	Cadmio (ppm)	MÉTODO DE REFERENCIA
D2.3-H	1.5222	19.41	AOAC 999.11
D2.3-T	2.1782	2.79	
D2.3-R	0.5682	80.53	

*Masa de muestra seca

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO
Los resultados de este Informe técnico son válidos solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Quim. Natalia Chávez LI.
Analista
LABICER – UNI

M.Sc. Otilia Acha de la Cruz
Jefa de Laboratorio
Responsable de Análisis
CQP 202

(*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.



INFORME TÉCNICO N° 0757 – 18 – LABICER

1. DATOS DEL SOLICITANTE
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : CAROLINA REATEGUI MORALES
 - 1.2 D.N.I : 73973504
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 30 / 04 / 2018
 - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 22 / 05 / 2018
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANALISIS DE CADMIO EN PLANTA
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE PLANTA
 - 4.2 CÓDIGO : D2.4

CODIGO	NOMBRE
D2.4-H	Hojas de muestra D2.4
D2.4-T	Tallo de muestra D2.4
D2.4-R	Raíces de muestra D2.4
D2.4-F	Flor de muestra D2.4

5. LUGAR DE RECEPCIÓN : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 23 °C; Humedad relativa: 60 %
7. EQUIPO UTILIZADO : Espectrofotómetro de Absorción Atómica Shimadzu AA-7000
Mufla DAIHAN SCIENTIFIC
8. RESULTADOS

CÓDIGO DE MUESTRA	Masa de muestra* (g)	Cadmio (ppm)	MÉTODO DE REFERENCIA
D2.4-H	1.2153	11.61	AOAC 999.11
D2.4-T	1.8748	3.42	
D2.4-R	0.8996	50.60	
D2.4-F	1.4490	7.05	

*Masa de muestra seca

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO
Los resultados de este Informe técnico son válidos solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Quim. Natalia Chávez LI.
Analista
LABICER – UNI

M.Sc. Otilia Acha de la Cruz
Jefa de Laboratorio
Responsable de Análisis
CCP 202

(*) El Laboratorio no se responsabiliza del material ni de la procedencia de la muestra.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE CIENCIAS

LABICER (Laboratorio N° 12)
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



INFORME TÉCNICO N° 0758 – 18 – LABICER

1. DATOS DEL SOLICITANTE
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : CAROLINA REATEGUI MORALES
 - 1.2 D.N.I : 73973504
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 30 / 04 / 2018
 - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 22 / 05 / 2018
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANALISIS DE CADMIO EN PLANTA
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE PLANTA
 - 4.2 CÓDIGO : D3.1

CODIGO	NOMBRE
D3.1-H	Hojas de muestra D3.1
D3.1-T	Tallo de muestra D3.1
D3.1-R	Raíces de muestra D3.1

5. LUGAR DE RECEPCIÓN : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 23 °C; Humedad relativa: 60 %
7. EQUIPO UTILIZADO : Espectrofotómetro de Absorción Atómica Shimadzu AA-7000
Muña DAIHAN SCIENTIFIC
8. RESULTADOS

CÓDIGO DE MUESTRA	Masa de muestra* (g)	Cadmio (ppm)	MÉTODO DE REFERENCIA
D3.1-H	1.5137	28.40	AOAC 999.11
D3.1-T	1.2989	15.28	
D3.1-R	0.4796	173.66	

*Masa de muestra seca

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO
Los resultados de este Informe técnico son válidos solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Quim. Nefelía Chávez LI.
Analista
LABICER – UNI

M.Sc. Otilia Acha de la Cruz
Jefa de Laboratorio
Responsable de Análisis
CQP 202

(*) El Laboratorio no es responsable del material ni de la procedencia de la muestra.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE CIENCIAS

LABICER (Laboratorio N° 12)
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



INFORME TÉCNICO N° 0759 – 18 – LABICER

1. DATOS DEL SOLICITANTE
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : CAROLINA REATEGUI MORALES
 - 1.2 D.N.I : 73973504
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 30 / 04 / 2018
 - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 22 / 05 / 2018
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANALISIS DE CADMIO EN PLANTA
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE PLANTA
 - 4.2 CÓDIGO : D3.2

CODIGO	NOMBRE
D3.2-H	Hojas de muestra D3.2
D3.2-T	Tallo de muestra D3.2
D3.2-R	Raíces de muestra D3.2

5. LUGAR DE RECEPCIÓN : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 23 °C; Humedad relativa: 60 %
7. EQUIPO UTILIZADO : Espectrofotómetro de Absorción Atómica Shimadzu AA-7000
Muñe DAIHAN SCIENTIFIC
8. RESULTADOS

CÓDIGO DE MUESTRA	Masa de muestra* (g)	Cadmio (ppm)	MÉTODO DE REFERENCIA
D3.2-H	2.3387	32.48	AOAC 999.11
D3.2-T	2.2095	32.15	
D3.2-R	0.6948	169.82	

*Masa de muestra seca

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO
Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Quím. Natalia Chávez LL.
Analista
LABICER – UNI

M.Sc. Otilia Acha de la Cruz
Jefa de Laboratorio
Responsable de Análisis
CQP 202

(*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

**INFORME TÉCNICO N° 0761 – 18 – LABICER**

1. DATOS DEL SOLICITANTE
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : CAROLINA REATEGUI MORALES
 - 1.2 D.N.I : 73973504
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 30 / 04 / 2018
 - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 22 / 05 / 2018
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANALISIS DE CADMIO EN PLANTA
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE PLANTA
 - 4.2 CÓDIGO : D3.4

CODIGO	NOMBRE
D3.4-H	Hojas de muestra D3.4
D3.4-T	Tallo de muestra D3.4
D3.4-R	Raíces de muestra D3.4
D3.4-F	Flor de muestra D3.4

5. LUGAR DE RECEPCIÓN : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 23 °C; Humedad relativa: 60 %
7. EQUIPO UTILIZADO : Espectrofotómetro de Absorción Atómica Shimadzu AA-7000
Muña DAIHAN SCIENTIFIC

8. RESULTADOS

CÓDIGO DE MUESTRA	Masa de muestra* (g)	Cadmio (ppm)	MÉTODO DE REFERENCIA
D3.4-H	1.7639	53.87	AOAC 999.11
D3.4-T	2.5215	16.72	
D3.4-R	0.9680	103.56	
D3.4-F	3.0715	12.78	

*Masa de muestra seca

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO

Los resultados de este Informe técnico son válidos solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Quim. Natalia Chávez LI.
Analista
LABICER – UNI

M.Sc. Otilia Ache de la Cruz
Jefa de Laboratorio
Responsable de Análisis
COP 202

(*) El Laboratorio no se responsabiliza del material ni de la procedencia de la muestra.

INFORME TÉCNICO N° 0761-18- LABICER

Página 1 de 1



INFORME TÉCNICO N° 0760 – 18 – LABICER

1. DATOS DEL SOLICITANTE
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : CAROLINA REATEGUI MORALES
 - 1.2 D.N.I : 73973504
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 30 / 04 / 2018
 - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 22 / 05 / 2018
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANALISIS DE CADMIO EN PLANTA
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE PLANTA
 - 4.2 CÓDIGO : D3.3

CODIGO	NOMBRE
D3.3-H	Hojas de muestra D3.3
D3.3-T	Tallo de muestra D3.3
D3.3-R	Raíces de muestra D3.3

5. LUGAR DE RECEPCIÓN : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 23 °C; Humedad relativa: 60 %
7. EQUIPO UTILIZADO : Espectrofotómetro de Absorción Atómica Shimadzu AA-7000
Mufa DAIHAN SCIENTIFIC
8. RESULTADOS

CÓDIGO DE MUESTRA	Masa de muestra* (g)	Cadmio (ppm)	MÉTODO DE REFERENCIA
D3.3-H	2.4353	29.70	AOAC 999.11
D3.3-T	4.7020	7.89	
D3.3-R	1.0743	84.91	

*Masa de muestra seca

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO
 Los resultados de este Informe técnico son válidos solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Quím. Nefelía Chávez LI.
 Analista
 LABICER – UNI

M.Sc. Otilia Acha de la Cruz
 Jefa de Laboratorio
 Responsable de Análisis
 COP 202

(*) El Laboratorio no es responsable del material ni de la procedencia de la muestra.