



**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**  
**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE NUEVO LEÓN**  
División de Estudios Profesionales

**TRABAJO DE TITULACION:**  
**OPCION TESIS**

**“Reducción de concentración de cadmio (Cd) y  
cobre (Cu), en sistema hidropónico utilizando frijol  
(*Phaseolus vulgaris*) y girasol (*Helianthus  
annuus*)”**

<b>ALUMNO(S):</b>	Aida Victoria Camacho Anléhu
<b>NO. CONTROL:</b>	13480338
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería Ambiental
<b>DIRECTORA TESIS:</b>	Dra. Beatriz Eugenia Moreno Martínez, (ITNL)
<b>ASESOR EXTERNO:</b>	Dra. Virginia Ramírez Salas, (ITCM)
<b>EMPRESA:</b>	Instituto Tecnológico de Nuevo León

# ***Dedicatorias***

***A mi madre,***

Una gran guerrera, quien me enseñó a no rendirme jamás, a ser perseverante, paciente y dedicada. Ella fue mi mayor ejemplo.

***A mi padre,***

Mi Ángel guardián, quien siempre está siempre presente.

***A mis hijos, Fernando y Andrés,***

Porque ellos son el motor que me impulsa a seguir y mi fuente de felicidad.

A mis hermanos, familia y amigos, gracias por su apoyo incondicional a lo largo de este tiempo. . .

***¡Gracias, muchas gracias!!***

# *Agradecimientos*

## *A Dios*

Por darme la fortaleza y capacidad de seguir preparándome en el conocimiento académico.

## *A mi madre*

Por apoyarme siempre en el camino de la vida y desde donde está, continúa cuidándome.

## *A mis hijos:*

Fernando y Andrés, hermanos y amigos; por brindarme la fe y fuerza de espíritu para continuar y finalizar lo que me he propuesto.

Especialmente a la Dra. Betty, Maestras Gricelda y Ceci por su confianza y generosidad al compartir sus conocimientos conmigo.

Mención aparte, mi agradecimiento a Isabel, compañera y amiga de carrera, por su apoyo incondicional, paciencia y asesoría a lo largo de la carrera, y a todos mis compañeros que siempre atendieron mis dudas computacionales.

¡Muchas Gracias!!!

Aida.

# Resumen

---

Actualmente la contaminación por metales pesados, es uno de los factores más dañinos para nuestra salud y el medio ambiente. Diversos estudios e investigaciones han originados tecnologías y mecanismos para restaurarlo, como, por ejemplo: la fitorremediación

La fitorremediación es una tecnología nueva para restaurar y minimizar suelos y aguas contaminados. El presente trabajo muestra la reducción de metales pesados, como cadmio (Cd), y cobre (Cu) por medio de adsorción en semillas de frijol y girasol en un sistema hidropónico. De manera más completa, la fitorremediación representa una tecnología sustentable que utiliza las plantas para reducir a concentración de contaminantes, a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a un sistema de raíz. Estos procesos conducen a la reducción, mineralización, degradación, volatilización y estabilización de los diversos contaminantes (Núñez et al, 2004). Según sea el proceso del que se trate, se ha definido diferentes mecanismos o estrategias de fitorremediación entre las que se incluye, a rizodegradación, fitodegradación y fitoestabilización, entre otras.

Se realizaron arreglos hidropónicos donde se evaluaron las capacidades de absorción de metales teniendo como plantas receptoras a las plantas de frijol y girasol, se evaluaron y se detectó que la planta que soporta la concentración de metales fue la planta de frijol, por lo que, el ensayo con la planta de girasol dio lugar a realizar de nueva cuenta el ensayo, considerando únicamente a la planta del frijol. Se sembraron semillas de frijol y se germinaron, se pusieron en contacto con la solución hidropónica y absorbieron gran cantidad de solución contaminada con cadmio en un arreglo hidropónico y en otro arreglo hidropónico con cobre, dejando así un arreglo hidropónico control. Los resultados mostraron que la planta de frijol tiene gran resistencia a la presencia de cobre, no así para la de cadmio.

# Abstract

---

Actually, pollution by heavy metals, is a damage and dangerous to our health and environmental. Several investigations and projects has been created new technologies and mechanism to restore, like for example: fitorremediation.

Fitorremediation es a new technology to restore and minimize wasted lands and wáter. The present investigation shows the reduccion of heavy metals like cadmium (Cd), and copper (Cu), through adsortion of beans and sunflowers seeds in an hidroponic system. In this complete sense, fitorremediation represents an sustentable technologie that use plants to reduce the contaminants concentration, as of biochemistral process for plants and microorganism related to roots system. This process going to the reduction, mineralization, degradation, volatilization and stabilyzation to the differents contaminants (Núñez et al, 2004). In other words, the case of treatment, definded differents mechanism or strategies of fitorremediation, includes rizodegradation, fitodegradation and fitostabilization, among other things. It was acchieve hidroponics arrangements, where evaluate the absortion capacities of metals to the receptors plants of bean and sunflower, and detected que the bean plant was very strong to the contaminants concentration, so, the test of the sunflower plant, going the test again with the bean plant, considering testing only the bean. Sow and germinate seeds of beans, putting in a hidroponic solution contact and absorbing too much of hidroponic solution and contaminated with cadmium, in other hidroponic arrangement with copper and other arrangement, the control. Performances showing that the bean is a resistant to the copper, not to resistant to the cadmium.

# Resumen

---

Actualmente la contaminación por metales pesados, es uno de los factores más dañinos para nuestra salud y el medio ambiente. Diversos estudios e investigaciones han originados tecnologías y mecanismos para restaurarlo, como, por ejemplo: la fitorremediación

La fitorremediación es una tecnología nueva para restaurar y minimizar suelos y aguas contaminados. El presente trabajo muestra la reducción de metales pesados, como cadmio (Cd), y cobre (Cu) por medio de adsorción en semillas de frijol y girasol en un sistema hidropónico. De manera más completa, la fitorremediación representa una tecnología sustentable que utiliza las plantas para reducir a concentración de contaminantes, a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a un sistema de raíz. Estos procesos conducen a la reducción, mineralización, degradación, volatilización y estabilización de los diversos contaminantes (Núñez et al, 2004). Según sea el proceso del que se trate, se ha definido diferentes mecanismos o estrategias de fitorremediación entre las que se incluye, a rizodegradación, fitodegradación y fitoestabilización, entre otras.

Se realizaron arreglos hidropónicos donde se evaluaron las capacidades de absorción de metales teniendo como plantas receptoras a las plantas de frijol y girasol, se evaluaron y se detectó que la planta que soporta la concentración de metales fue la planta de frijol, por lo que, el ensayo con la planta de girasol dio lugar a realizar de nueva cuenta el ensayo, considerando únicamente a la planta del frijol. Se sembraron semillas de frijol y se germinaron, se pusieron en contacto con la solución hidropónica y absorbieron gran cantidad de solución contaminada con cadmio en un arreglo hidropónico y en otro arreglo hidropónico con cobre, dejando así un arreglo hidropónico control. Los resultados mostraron que la planta de frijol tiene gran resistencia a la presencia de cobre, no así para la de cadmio.

# Abstract

---

Actually, pollution by heavy metals, is a damage and dangerous to our health and environmental. Several investigations and projects has been created new technologies and mechanism to restore, like for example: fitorremediation.

Fitorremediation es a new technology to restore and minimize wasted lands and wáter. The present investigation shows the reduccion of heavy metals like cadmium (Cd), and copper (Cu), through adsortion of beans and sunflowers seeds in an hidroponic system. In this complete sense, fitorremediation represents an sustentable technologie that use plants to reduce the contaminants concentration, as of biochemistral process for plants and microorganism related to roots system. This process going to the reduction, mineralization, degradation, volatilization and stabilyzation to the differents contaminants (Núñez et al, 2004). In other words, the case of treatment, definded differents mechanism or strategies of fitorremediation, includes rizodegradation, fitodegradation and fitostabilization, among other things. It was acchieve hidroponics arrangements, where evaluate the absortion capacities of metals to the receptors plants of bean and sunflower, and detected que the bean plant was very strong to the contaminants concentration, so, the test of the sunflower plant, going the test again with the bean plant, considering testing only the bean. Sow and germinate seeds of beans, putting in a hidroponic solution contact and absorbing too much of hidroponic solution and contaminated with cadmium, in other hidroponic arrangement with copper and other arrangement, the control. Performances showing that the bean is a resistant to the copper, not to resistant to the cadmium.

# ÍNDICE GENERAL

Contenido General .....	i
Dedicatorias .....	i
Índice general .....	v
Índice de tablas .....	
Índice de figuras .....	
Introducción .....	

<b>Capítulo 1: Fundamento Teórico</b>		
1.1	Introducción.....	1
1.2	Problemáticas ambientales.....	3
1.3	Problemática ambiental en regiones productoras de frijol en el noreste de México...	5
1.4	Problemática por contaminación de metales pesados en la atmósfera.....	6
1.5	Emisión de metales pesados que son absorbidos por los alimentos.....	7
1.6	Objetivos.....	9
	1.6.1 Objetivo General.....	9
	1.6.2 Objetivos específicos.....	9
1.7	Justificación.....	10
1.8	El agua.....	12
	1.8.1 Contaminación del agua.....	12
1.9	Contaminación por metales pesado.....	14
	1.9.1 Contaminación por Cadmio.....	14
	1.9.2 Impacto ambiental por cadmio, Cd en los ecosistemas atmosféricos, hídricos Y edáficos.....	14
	1.9.3 Toxicocinética del cadmio.....	15
	1.9.4 Cobre.....	15
	1.9.5 Impacto ambiental por cobre ne sistemas hídricos, edáficos y atm...	17
1.10	Técnicas de remoción de metales.....	18
1.11	Rizofiltración.....	18
1.12	Fitorremediación: diferentes mecanismos.....	19
1.13	Plantas hiperacumuladoras.....	21
1.14	Técnica de hidroponía, sistema NFT .....	25
	1.14.1 Elementos del sistema hidropónico.....	25
	1.14.2 Ventajas de usar sistemas hidropónicos.....	25
	1.14.3 Descripción técnica de hidroponía.....	26
1.15	Frijol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ).....	26
	1.15.1 Taxonomía del frijol.....	29
	1.15.2 Descripción botánica y morfológica del frijol.....	29
	1.15.3 Etapas de desarrollo de la planta de frijol.....	30
1.16	Girasol ( <i>Helianthus annus</i> ).....	31

1.17	Taxonomía del Girasol.....	32
1.18	Antecedentes.....	35
	1.18.1 formas de difusión.....	36
	Factores que afectan la bioadsorción de metales.....	37
1.19	Normatividad en México.....	38
1.20	Concentraciones de cadmio en los diferentes ecosistemas.....	39
<b>Capítulo 2: Metodología</b>		
2.1	Materiales y métodos.....	41
	2.1.1 Materiales.....	41
	2.1.2 Procedimiento para la construcción del sistema hidropónico.....	42
	2.1.3 Diagrama de proceso de sistema hidropónico.....	45
	2.1.4 Solución hidropónica.....	45
	2.1.5 Metales pesados usados.....	46
	2.1.6 Mediciones de flujo y coeficientes de arrastres.....	47
	2.1.7 Mediciones de número de Reynolds en tuberías.....	47
	2.1.8 Coeficiente de arrastre $C_D$ .....	48
<b>Capítulo 3: Resultados</b>		
3.1	Formulaciones.....	49
	3.1.1 Formulación 1.....	50
	3.1.2 Formulación 2.....	55
	3.1.3 Formulación 3.....	58
	3.1.4 Formulación 4.....	59
	Conclusiones.....	60
	Bibliografía.....	61

## 1. Introducción

La contaminación por metales pesados es un problema que ha ido en aumento debido principalmente a actividades antrópicas. Entre las principales fuentes de contaminación se encuentran la minería, la metalúrgica, la agricultura, los vehículos automotores y el aporte natural en ciertos acuíferos. En México, existen reportes de la presencia de metales pesados en ríos, lagos, cultivos, suelos y aire de zonas urbanas, así como en ambientes costeros y marinos, donde se ha detectado la acumulación de metales tóxicos en tejidos de peces y moluscos de consumo humano (Villanueva y Botello 1992, García-Hernández et al. 2007, González-Dávila et al. 2012)

Cada metal y cada elemento químico contaminante tienen un mecanismo de acción y un lugar de acumulación preferido. El más conocido es el plomo que afecta varios sistemas, por tanto, en el sistema nervioso llega a dañar a las neuronas especialmente las del cerebro. El plomo afecta también a la médula ósea y otro lugar donde es frecuente encontrarlo es el riñón, específicamente en sistema tubular de las nefronas. Otro metal pesado es el cadmio que también afecta al riñón y otro que no es exactamente un metal, pero es un contaminante, es el arsénico que tiene efecto directo en las mitocondrias. Los daños en sí son muy diversos dependiendo de cada metal, pero en general se puede decir que hay lesión celular.

El cadmio no se encuentra en el ambiente como un metal puro; es más abundante en la naturaleza en forma de óxidos complejos, sulfuros y carbonatos en el cinc, plomo y menas de cobre. Es relativamente barato, ya que se trata de un subproducto del procesamiento de metales más valiosos, como el cinc y el cobre. Sus variadas aplicaciones en la galvanoplastia, la galvanostegia y la galvanización, así como su uso en plásticos, pigmentos para crear tintes, pinturas, y cerámica, y baterías de níquel y cadmio, se deben a su gran resistencia a la corrosión y a sus propiedades electroquímicas. Los metales pesados constituyen un riesgo considerable para la salud por el contacto frecuente laboral y ambiental. Los efectos tóxicos del cadmio se manifiestan especialmente en los huesos y riñones y las

personas que tienen bajas reservas de hierro son particularmente vulnerables a estos efectos adversos.

Es de interés informar y hacer notar los efectos provocados por este metal ubicado entre los más peligrosos, según la Agencia Estadounidense para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades, así como continuar impulsando la educación para la salud con el fin de evitar la contaminación ambiental por cadmio.

Por otro lado, otro metal contaminante en grandes acumulaciones o exposiciones es el cobre. Se ha comprobado que el cobre es un material de gran beneficio para el hombre a través de la historia. El cobre ha sido moldeado para fabricar muchos instrumentos tales como cazuelas, armas y joyería. En años recientes, se han fabricado cañería y artefactos de plomería con el cobre y sus aleaciones. Aunque estas aplicaciones del cobre a los sistemas de distribución de agua han sido muy beneficiosas para el hombre, el agua puede reaccionar con el cobre y disolver pequeñas cantidades de cobre dentro del suministro de agua. Los individuos que ingieren esta agua pueden ser expuestos a niveles elevados de cobre. Aunque nuestra dieta requiera de 1,000 microgramos de cobre diariamente, niveles elevados del cobre ingerido pueden ser dañinos. Niveles elevados de cobre durante 14 días o más, pueden conllevar a problemas de salud tales como daño permanente de los riñones y el hígado en niños de menos de un año de edad. En los adultos, los altos niveles de cobre pueden causar trastornos digestivos tales como náuseas, vómitos, diarrea y calambres estomacales. Las personas afectadas con la enfermedad de Wilson, un trauma genético que afecta aproximadamente una de cada 30,000 personas en el mundo.

La EPA de los Estados Unidos ha establecido que el nivel máximo de contaminantes (MCL por sus siglas en inglés) para el cobre es de 1.3 miligramos por litro (ml/L), el cual también puede reportarse en partes por millón (ppm.) El MCL representa el nivel en que la EPA de los Estados Unidos cree que una persona puede ingerir un contaminante en particular durante su vida sin incrementar los riesgos de salud

Una vez expuesto la problemática existente con los metales pesados Cadmio y cobre, los cuales son objeto de nuestra investigación, es de suma importancia mencionar que muchos de los cultivos en México están expuestos a ser contaminados por estos materiales y posterior a su cosecha son consumidos por el ser humano. En esta investigación se estudió el efecto del cadmio y el cobre en plántulas de frijol. El frijol considerado uno de los alimentos básicos de la dieta de los mexicanos puede ser susceptible de contaminación. El estudio se llevó a cabo utilizando un sistema hidropónico bajo la técnica de NFT (Nutrient Film Technique), por su maniobrabilidad y efectividad y así comprobar que sea viable el cultivo de este alimento por una vía más controlada y más sana. Varias estaciones experimentales agrícolas desarrollaron los métodos necesarios para el cultivo hidropónico de gran escala y la sustitución del suelo por una solución nutritiva.

Últimamente, se ha detectado mayor contaminación en las aguas y el suelo, debido a la diversidad de sustancias que contienen Plomo Pb, Cobre Cu y Cadmio Cd. Aunado a la descomposición de otras sustancias, pero también existen alternativas para remediar esta contaminación. La rizofiltración es una muy buena alternativa, ya que las raíces de las plantas seleccionadas absorben y acumulan los nutrientes que pudiesen diluir parte de los contaminantes. Debido a que los sistemas hidropónicos demuestran ser costosos en el tiempo, la mayoría de los planes a gran escala fueron abandonados. El objetivo de esta investigación es evaluar el comportamiento del frijol cuando está expuesto a condiciones de estrés por presencia de metales pesados, cadmio y cobre y así determinar la concentración absorbida por el proceso de rizofiltración en un sistema hidropónico NFT.

## 1.2. Problemáticas ambientales

En la presente investigación se enlistan diversas problemáticas que justifican el presente trabajo. En México, el cultivo del frijol junto con el maíz, representa toda una tradición productiva y de consumo, cumpliendo diversas funciones de carácter alimentario y socioeconómico que le han permitido trascender hasta la actualidad. Su presencia a lo largo de la historia de México, lo han convertido no sólo en un alimento tradicional, sino también en un aspecto de identificación cultural,

comparable con otros productos como el maíz y el chile, los que son básicos para explicar la dieta alimentaria de ayer, hoy y muy probablemente del futuro. Se trata de uno de los cultivos de mayor importancia en el país ya que representa para la economía de los productores una fuente importante de ocupación e ingreso, a la vez que es una garantía de seguridad alimentaria. El 68 por ciento de su producción se destina en forma directa al consumo final.

Representando una de las principales fuentes de proteína para amplias capas de la población mexicana. Asimismo, su consumo es generalizado entre amplias capas de la población de ingresos bajos, medios y hasta superiores. Por esto, la importancia de este grano en la dieta actual del país sigue siendo fundamental. El frijol, producto agrícola tradicional de América, es para México uno de sus principales elementos nutricionales y por eso su producción alcanza un 8.3 por ciento de las cosechas mundiales, pero que se ha visto disminuida en los últimos años a raíz de problemas climáticos.

El frijol se cultiva en todas las regiones del país bajo todas las condiciones de suelo y clima. A nivel nacional existen alrededor de 500 mil productores de los cuales se estima que el 75 por ciento destinan una parte de sus cosechas al autoconsumo y el resto a la comercialización. De esta forma, existe un sector poblacional campesino constituido por pequeños propietarios, ejidatarios, comuneros y colonos que siembran frijol y también maíz para su subsistencia. La superficie que se ha destinado en la década de los 90's a la siembra de frijol, representa en promedio el 11.1 por ciento del total nacional. En esta década se ha cosechado en México una superficie de frijol de 1.9 millones de hectáreas en promedio anual, reportando un rendimiento aproximado de 631 kg/ha, el cual puede considerarse bajo y factible de incrementar a corto plazo. A pesar de la importancia nutricional del frijol, el crecimiento de la producción se ha estancado.

La producción de frijol en el ámbito nacional es muy vulnerable a las condiciones climatológicas que prevalecen durante el ciclo productivo, debido a que aproximadamente el 87 por ciento de la superficie destinada a este cultivo se ubica en áreas de temporal.

### 1.3 Problemática ambiental en regiones productoras de frijol en el noreste de México.

El frijol prácticamente se produce en todos los Estados de la República Mexicana; destacando las regiones templada-semiárida y la cálida con invierno seco, tanto por la superficie sembrada como por el volumen de producción. La región templada-semiárida comprende los estados de Chihuahua, Durango, Zacatecas y Guanajuato, en donde se siembra la mayor superficie del cultivo en el país, aportando el 68 por ciento en el ciclo primavera verano. Una de las principales limitantes para la producción en esta región, es la escasa y variable distribución de la precipitación pluvial durante el ciclo vegetativo del cultivo.

Los efectos de sequía son acentuados por el tipo de suelos predominantes, los que son poco profundos, con bajo contenido de materia orgánica y baja capacidad de retención de humedad. En Chihuahua los municipios que destacan en la producción de frijol son el de Cuauhtémoc y Madera, en tanto que, en Durango, lo es el de Guadalupe Victoria, mientras que en Zacatecas son el de Ojo Caliente, Fresnillo y Río Grande. En la Región Cálida con Invierno Seco, se produce frijol bajo condiciones de riego y humedad residual. Los principales estados productores son Sinaloa y Nayarit, que aportan en conjunto el 76 por ciento de la producción nacional del ciclo otoño- invierno; las zonas más productivas se localizan en los Municipios de Culiacán, Guasave y los Mochis en Sinaloa, en Nayarit, el Municipio de Acaponeta, por ello resulta interesante realizar un proyecto de investigación donde la producción de frijol sea de manera hidropónica, donde las cantidades de agua son más controladas.

En cuanto a la humedad del suelo, para obtener un buen rendimiento en la mayoría de los cultivos, se ha señalado que ésta deberá mantenerse cercana a capacidad de campo. En frijol, Siqueira y Palacios (1985) reportaron que, para el desarrollo del cultivo, la humedad residual en campo debe estar entre 40 y 60%, en todas las etapas. Por otro lado, se ha reportado que el rendimiento de grano es la variable más sensible cuando ocurre un déficit de humedad en la fase reproductiva (Calvache et al., 1997; Nielsen y Nelson, 1998).

#### 1.4 Problemática por contaminación de metales pesados en la atmósfera.

El Cadmio y Cobre, son altamente reactivos, principalmente el cadmio, y consecuentemente puede ser tóxico para las células vivas de plantas y humanos. Este metal pesado es un contaminante para el ambiente ya que altera los ciclos naturales. El presente estudio tuvo como propósito, determinar el efecto del cadmio y del cobre en los procesos de imbibición, germinación y crecimiento en el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Las recientes investigaciones sobre la contaminación con plomo y cadmio, y otros metales pesados, en los alimentos (Al-Hossainy et al., 2017; Perryman et al., 2017; Siriangkawut et al., 2017), y sus consecuencias sobre la salud humana como afecciones con lesiones en el embarazo, irritación gastrointestinal, náuseas, vómitos, daños renales, enfisema, y cáncer pulmonar (Antoine, Fung y Grant, 2017; AbuShady et al., 2017; Shakir, Zahraw y AlObaidy, 2017; Amadi, Igweze y Orisakwe, 2017) dejan ver claramente las razones acerca de la preocupación que se ha despertado a nivel mundial sobre esta temática y sobre todo debido a la acumulación progresiva de estos metales en los tejidos de humanos y animales, lo que trae como consecuencia daños a nivel genético molecular (Abarshi, Dantala y Mada, 2017; Al-Gburi, Al-Tawash y Al-Lafta, 2017; Skiba, Kobylecka y Wolf, 2017; Nkansah et al., 2016). Respecto a la entrada del Cadmio en el cuerpo (Díaz García y Arceo, 2017) determina que se hace vía gástrica con un mecanismo de daño que incluye: disfunción por formación de radicales libres, apoptosis o activación por vía de las caspasa.

De acuerdo a Londoño Franco, Londoño Muñoz y Muñoz García (2016), la Organización Mundial de la Salud menciona con respecto al cadmio que la presentación y severidad de los signos, síntomas y alteraciones en el organismo se relaciona con las cantidades, el tiempo de exposición y con la vía de entrada del metal; en exposición crónica se observa anemia, disfunción renal, cálculos renales, osteoporosis, osteomalacia, trastornos respiratorios, hipertensión, trastornos nerviosos (cefalea, vértigo, alteración del sueño, temores, sudoración, paresia, contracciones musculares involuntarias), pérdida de peso y apetito, cáncer de próstata y pulmón; en intoxicación aguda hay neumonitis y edema pulmonar,

gastroenteritis, náuseas, vómito, dolor abdominal, diarrea, fallo renal, y finalmente puede ocurrir aberraciones cromosómicas, efectos teratogénicos y congénitos y que en el riñón (túbulos renales) se puede acumular hasta por treinta años.

Anderson, en 2016 demostró que el incremento de las concentraciones de plomo en la sangre de jóvenes estudiantes universitarios disminuye la vitalidad y la movilidad lineal rápida en sus espermatozoides.

El frijol se ha caracterizado, de acuerdo este estudio como un hiperacumulador de metales pesados, específicamente cobre, esto debido a la resistencia que presentó al estar expuesto a él, aunque esto no significa que sea alentador, ya que el humano consume grandes cantidades de cobre a través de la ingesta de este alimento.

La minería es una de las principales causas de la contaminación ambiental por metales pesados, debido principalmente al manejo inadecuado de sus residuos denominados “jales mineros”, lo que ocasiona problemas de contaminación en estados como Zacatecas, San Luis Potosí, Guerrero y Sonora. (Yañez et al. 2003, Meza-Figueroa et al. 2009, Mireles et al. 2012, Cortés-Jiménez et al. 2013). Reportes indican que en México podrían existir millones de toneladas de jales dispersos en el territorio nacional, de los que todavía se desconocen sus condiciones y su potencial de afectación al ambiente (Ramos-Arroyo y Siebe-Grabach 2006).

### **1.5 Emisión de metales pesados que son absorbidos por los alimentos**

El cadmio es liberado como subproducto de la refinación del zinc (y ocasionalmente plomo); el plomo se emite durante su explotación minera y de fundición, de los gases de escape de los automotores (por combustión de combustibles de petróleo tratados con tetraetilo de plomo) y de antiguas pinturas con plomo; el mercurio se emite durante la expulsión de gases de la corteza terrestre.

Existen varias publicaciones referentes a los danos causados por metales pesados y aun se continúa investigando, para determinar las concentraciones de estos, tanto en aguas de ríos, lagos y mantos acuíferos. Ya que la información actual, tiene como

referencia la EPA y comparado con las normas de otros países, se ha promediado con los diferentes tipos de cada lugar.

Entre los países que se ha encontrado mayor contaminación por metales pesados, esta México y las ciudades de Zacatecas, Hidalgo, Torreón, San Luis Potosí, Querétaro, debido a la actividad minera, se hallaron 5 veces más las concentraciones promedio, emitidas por la normatividad. NOM-147-SEMARNAT-SSA1-2004. Otro de los lugares afectados por la contaminación de metales pesados es el municipio de Zimapán en el estado de Hidalgo, considerado un distrito minero desde 1576 (Ongley et al. 2007) y donde hasta la década de los 40 se encontraban en activo cerca de 40 hornos de fundición (Armienta et al. 1997b). Las altas concentraciones de arsénico presentes en el acuífero de Zimapán, exceden hasta 10 veces los estándares establecidos por la Organización Mundial de la Salud (Ongley et al. 2007). En un estudio reciente realizado en la ciudad de San Luis Potosí, se determinó la cantidad de As, Cd, Pb y Hg en suelo. Se encontró que en todos los sitios estudiados la concentración de As rebasó los límites permitidos por las normas (Pérez-Vázquez et al. 2015).



**Figura 1.1** Pedreras en Monterey a principios del siglo XX.

## 1.6 Objetivos

### 1.6.1 Objetivo General

Evaluar el comportamiento de las plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) cuando están expuestas a metales pesados, específicamente Cobre y Cadmio. Remover metales pesados a partir de técnicas de fitorremediación en sistemas hidropónicos a partir de plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) y Girasol (*Helianthus Annus*).

### 1.6.2 Objetivo específico

1. Implementar la técnica de hidroponía por sistema NFT (Nutrient Film Technique).
2. Cuantificar la concentración de metales pesados tales como Cadmio (Cd) y Cobre (Cu), en frijol y girasol, con la finalidad de evaluar el poder de biorremediación de las plantas antes citadas.
3. Establecer un modelo matemático para la concentración de estos metales, según parámetros permisibles.
4. Caracterizar físico-químicamente de las plántulas de absorción y adsorción por medio de la espectrofotometría UV-Vis.

### 1.7 Justificación.

Hoy en día, la hidroponía ha avanzado gracias al desarrollo del análisis químico, y lo ha hecho hasta tal punto que muchos la consideran una esperanza para el futuro de la humanidad. Los países menos desarrollados podrían aprovechar el gran potencial de la hidroponía para acabar con los problemas de escasez de suelo para uso agrícola y de sobrepoblación, en su mayoría sumida en una pobreza no ajena a las hambrunas. Es importante mencionar la problemática mundial de las aguas contaminadas, y mantener el compromiso para disminuir la contaminación por metales pesados en áreas libres de agentes contaminantes, remediar lo que ya se encuentra contaminado usando diversas técnicas tal como la in situ y ex situ. Una forma de minimizar esta contaminación de sistemas hídricos y edáficos es por medio de la fitorremediación, específicamente la rizofiltración.

Existen diversos tipos de cultivos y así mismo de hortalizas que tienen la capacidad de almacenar en su estructura física grandes cantidades de metales pesados. El estado de Nuevo León es una zona altamente industrial, sobresaliendo la industria siderúrgica y metalúrgica, las cuales, son un problema en términos ambientales, debido a la gran producción de agentes contaminantes como partículas de metales, las cuales siguen un patrón de suspensión en el aire, y posteriormente, su precipitación hacia suelos, infiltrándose en los horizontes de este último hasta llegar a los mantos freáticos, y también vasos acuíferos superficiales.

Una vez que las partículas alcanzan un tamaño adecuado, precipitan, contaminando el suelo, cambiando sus parámetros físicos y químicos, tales como pH, composición, textura, temperatura, porosidad, por citar algunas. Algunos de los metales pesados más tóxicos que se transfieren en el estado de Nuevo León son el Cadmio, plomo y cobre. En este estudio, se analiza la forma de contaminación y grado de toxicidad en las plantas y en el agua mediante un ensayo hidropónico. Actualmente los sistemas hidropónicos son utilizados para cosechar hortalizas, cuya finalidad es variada. Sin embargo, el presente trabajo de investigación pretende proponer la técnica de rizofiltración como técnica de biorremediación de ecosistemas contaminados por metales pesados, para ello se proponen las plantas

de girasol y frijol cultivado en hidroponía y en suelo sin restricciones de humedad y fertilidad; dicha comparación permitirá probar la bondad de la hidroponía, puesto que, frecuentemente se señalan altos rendimientos con este sistema de cultivo, de acuerdo con Yoshida (1972) puede lograrse mediante una apropiada combinación de la variedad, el ambiente y las practicas agronómicas. En la figura 1.2 Se observa el arreglo hidropónico que se construyó para llevar el estudio antes mencionado



**Figura 1.2** Arreglo hidropónico para evaluar el comportamiento hiperacumulador de las plántulas de frijol, en presencia de cadmio y cobre.

Actualmente los índices de contaminación en el estado de Nuevo León indican la presencia de metales pesados en la atmosfera. Existen investigaciones del área cercana a la zona de Nuevo León, tales como las ciudades de Durango, Torreón, San Luis Potosí, que indican la presencia en la atmosfera de metales como arsénicos, cadmio, cobre, zinc, plomo. Siendo los más tóxicos el cadmio y el

arsénico. En este trabajo de investigación se analizan los efectos adversos de la interacción entre el cadmio y el cobre en los ecosistemas mediante ensayos hidropónicos.

## 1.8 El agua

Es esencial para todo ser vivo y es un recurso renovable, pero finito; su distribución en el planeta es de 97%, en los océanos, 2.5 % es agua dulce y .5% se encuentra en los glaciares. Anualmente se evaporan 505,000 Km<sup>3</sup> de agua de los océanos, la cual se precipitan en los mismos océanos, dando como resultado no poder utilizarse como recurso de agua dulce. El ciclo del agua es importantísimo y consta de diferentes etapas, tales como, evaporación, condensación, precipitación e infiltración. Las industrias requieren en mayor o menor medida agua para sus procesos y los vertidos son una fuente de contaminación, ya que se realizan muchas veces sin tratamiento. El origen de la emisión de muchos microcontaminantes es industrial. Las aguas de refrigeración de las industrias producen contaminación térmica, ya que retornan al medio acuático a mayor temperatura en grandes cantidades, causando una disminución de la solubilidad del oxígeno.

La minería es una industria extractiva que requiere grandes volúmenes de agua y que trae aparejados problemas de acidificación.

### 1.8.1 Contaminación del agua.

La evolución de la medicina detecta que las enfermedades generalmente se contraen por la ingestión de agua contaminada y prevé el control bacteriológico que debe añadirse al tratamiento de las aguas para ser potables, sumando un proceso más al sistema de desinfección para eliminar los organismos patógenos. En México las filtraciones han sido de uso corriente desde el siglo XVII, empleando la decantación, con posterior filtrado de arena y grava, cuando la fuente es por manantiales o ríos, pero cuando es por lagunas o jagüeyes, se realiza una filtración mediante plantas acuáticas, carbón o también con filtros de acción gravitacional. Finalmente, si es para ingestión, hervir el agua ha sido y será el mejor método potabilizador. Los sistemas de ablandamiento fueron introducidos en el siglo XIX, sobre todo para procesos industriales que requerían de aguas con menor contenido de sólidos disueltos y compuestos orgánicos difíciles de separar por métodos

simples de filtración. Actualmente se aplican técnicas de ablandamiento muy eficaces como membranas sintéticas por nanofiltración, microfiltración, ultrafiltración y ósmosis inversa. En 1999, la Comisión Nacional del Agua analizó 478 cuerpos de agua; lagos, lagunas; presas, ríos; arroyos; mares y depósitos subterráneos; con resultados alarmantes: Más del 50% de ellos tenían algún grado de contaminación; de igual manera, el estudio anterior determinó que 20 de las 37 cuencas hidrográficas en que se divide la República Mexicana se encuentran en situación grave; entre ellas:

- a) Pánuco
- b) Lerma
- c) Yaqui
- d) Mayo
- e) Bravo
- f) Culiacán
- g) Fuerte

La contaminación de estas cuencas se debe principalmente a los productos generados en los asentamientos humanos, tanto urbanos como rurales, y a la actividad de los corredores industriales y las zonas agrícolas y ganaderas donde no existe control sobre los desechos que se arrojan a las aguas.

El deterioro de la calidad del agua es un gran problema que va en aumento, y es considerado uno de los principales problemas ambientales (Salgot et al., 1999). Las principales causas, tanto para el agua dulce como la salada, son los vertidos incontrolados de las aguas residuales urbanas e industriales, muchas veces sin tratamiento, así como las prácticas agrícolas deficientes. La contaminación atmosférica, la acumulación de sustancias químicas en suelos y sedimentos, el exceso de bombeo de aguas subterráneas, la minería y otras industrias de extracción, la destrucción de zonas pantanosas, también contribuyen a su deterioro. Se puede considerar que casi todos los usos pueden contaminar el recurso

convertirlo en no disponible para otros usos, siendo indispensable un tratamiento (Escobar y Schafer, 2010).

### 1.9. Contaminación por metales pesados

Actualmente la contaminación por metales pesados se ha incrementado debido al desarrollo industrial que conlleva residuos que no son tratados previamente a desecharlos en la red de distribución del agua.

Se ha visto reflejado que la contaminación en las aguas con estos metales se ha incrementado por todos los productos que se utilizan, no se tiene la cultura de la prevención o cuidado que deben tener al desecharlos, ya sea en los drenajes o ríos. Sin embargo, ya se tiene un avance respecto a esto y se experimenta con productos biodegradables o que no tengan tanto impacto al ambiente.

Utilizando fertilizantes o pesticidas de origen natural, evitando en lo posible contaminar más. Los metales más comunes que encontramos son los siguientes:

#### 1.9.1 Cadmio (Cd)

Metal tóxico que se origina en la refinación del zinc; también proviene de operaciones de electrodeposición y por tanto contamina el aire y el agua. Contenido en algunos fertilizantes que contaminan el suelo. El cadmio puede causar lesiones renales importantes. Es un metal pesado que lo transporta la sangre y se acumula en los riñones obstaculizando la filtración de tóxicos por este. También es capaz de dañar los pulmones de forma severa (sobre todo cuando se trata de un fumador).

El cadmio afecta al sistema nervioso central (SNC), el sistema inmunitario y la integridad del ADN de las células. La aplicación de ciertos fertilizantes o de excremento de animales en el suelo destinado al cultivo de alimentos puede aumentar su nivel de cadmio lo cual, a su vez, causa un aumento en el nivel de cadmio de los productos. El cadmio no se encuentra en cantidades preocupantes en el agua; sin embargo, puede contaminarla cuando ésta viaja a través de las tuberías (que muchas veces están soldadas con materiales que lo contienen) o cuando entra en contacto con desechos químicos. Los efectos del Cd en la salud,

pueden ser cuando la población vive cerca de o trabaja en la industria de refinerías, vertederos de residuos peligrosos, y pueden verse reflejados en: 1.9.1.1 diarreas, dolor de estómago, vómitos severos 1.9.1.2 Fractura de huesos 1.9.1.3 Daño al sistema nervioso central 1.9.1.4 Daño al sistema inmune 1.9.1.5 Desórdenes psicológicos 1.9.1.6 Posible daño en el ADN o desarrollo de cáncer.

### **1.9.2 Impacto ambiental por cadmio, Cd en los ecosistemas atmosféricos, hídricos y edáficos.**

En la actualidad 25,000 toneladas de cadmio al año son liberadas al ambiente de forma natural, la mitad de estos son liberados en ríos a través de la descomposición de rocas y alguno que otro por fuegos forestales o volcánicos. El cadmio de las corrientes residuales puede entrar a través del aire por quemas de residuos urbanos, se utiliza en los fertilizantes y se acumula en las plantas, causando un daño potencial en los animales que se alimentan de plantas diversas, las vacas tienen grandes cantidades de cadmio en sus riñones. Cuando las concentraciones de Cadmio son altas, el suelo puede influir en el crecimiento de microorganismos y resultar amenazado todo el ecosistema del suelo. Igualmente, en los ecosistemas marinos, bioacumularse en los mejillones, ostras, gambas, langostas y peces. La susceptibilidad al cadmio de cada organismo puede variar ampliamente en los seres acuáticos. Los animales que comen o beben cadmio tienen la presión sanguínea alta, daños en nervios, cerebro y en el hígado.

### **1.9.3 Toxicocinética del cadmio (Cd)**

Una vez absorbido por la sangre, la mayoría del Cd es transportado vinculado a proteínas, como la albumina y la metaloteína, tras la absorción se almacena principalmente en el hígado y los riñones. En caso de cese a la exposición, la carga de cadmio en el hígado, tiende a disminuir trasladándose a los riñones. El cadmio tiene una vida media extremadamente larga (15 a 30 años) por lo que puede detectarse mucho después de la exposición.

### 1.9.4 Cobre (Cu)

El cobre es una sustancia muy común que ocurre naturalmente y se extiende a través del ambiente a través de fenómenos naturales, los humanos usan ampliamente el Cobre. En suelos ricos en Cobre sólo un número pequeño de plantas pueden vivir. Por esta razón no hay diversidad de plantas cerca de las fábricas de Cobre, debido al efecto del Cobre sobre las plantas, es una seria amenaza para la producción en las granjas. Es un mineral muy importante para el desarrollo de la vida humana y se deben cuidar los aportes de este elemento, pero en su justa medida. Las dosis altas de cobre se consideran metales pesados y provocan serios desórdenes en la salud, como anemias, problemas estomacales, daño en los riñones y en el hígado. Los síntomas de un exceso de cobre, puede ser irritación de nariz, boca y ojos, dolores de cabeza y mareos.

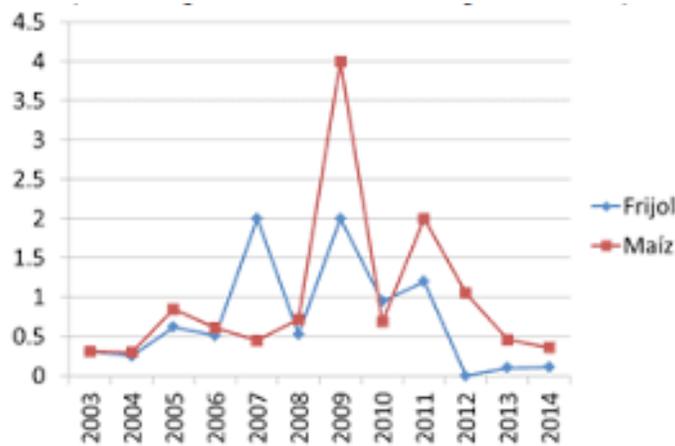
La mayoría de los compuestos de cobre (Cu), se depositarán y se enlazarán en los sedimentos del agua como del suelo y los compuestos solubles causan una amenaza a la salud por medio de las aplicaciones de agricultura. También en algunas casas donde las tuberías son de cobre, con el tiempo ocurre la corrosión y los habitantes pueden verse afectados por irritación en la nariz, boca y ojos, así como dolores de cabeza y estómago, mareos, vómito y diarreas. La exposición prolongada de este metal puede afectar al hígado y riñones, inclusive la muerte. Aun no se ha determinado que sea cancerígeno. Artículos científicos han indicado que la unión entre exposiciones de largo término y concentraciones elevadas de cobre causa disminución en la inteligencia de los adolescentes.

En cuanto al impacto ambiental, los ríos están depositando lodos en sus orillas que están contaminados con cobre, debido al vertido de aguas residuales. El cobre es liberado por actividades antropogénicas y procesos naturales, en las tormentas de polvo, aerosoles marinos, incendios forestales y la descomposición de la vegetación. El cobre no se rompe en el ambiente, por lo que se puede acumular en plantas y suelo, cuando este es encontrado. En suelos ricos en cobre, y un número pequeño de plantas puede vivir.

**1.9.5 Impacto ambiental por Cu. El Cu en los ecosistemas atmosféricos, hídricos y edáficos.**

La contaminación en ecosistemas hídricos y edáficos por cobre son principalmente agua sobreexplotada y contaminada, alto consumo de energía eléctrica. Y la baja producción agrícola y pecuaria que esto genera, principalmente por actividades mineras para la explotación de cobre, plata, oro, plomo y zinc. La infertilidad edáfica, por contaminación de metales. Disminución de actividades agrícolas y ganaderas por cambio de uso de suelo; por las transnacionales mineras. El gobierno argumenta que la minería genera mayor desarrollo y generación de empleos.

En el territorio zacatecano uno de los principales efectos del impacto ambiental por la megaminería ha sido la intensificación del despojo hídrico, expresado en dos modalidades: la sobreexplotación de mantos acuíferos y contaminación del agua, así como la mayor generación de residuos sólidos que produce cualquier actividad productiva en la entidad, generando también repercusiones desfavorables en la producción agrícola. Lo que a su vez ocasiona problemas de salud como cáncer, diabetes y enfermedades renales.



**Figura 1.3** Rendimiento de cosecha de frijol y maíz, en el municipio de Mazapil, Zac. 2003-2014. (Cifras expresada en toneladas por hectárea)

Fuente: Basado en Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, (2014)

### 1.10 Técnicas de remoción de metales: Fitorremediación y sus mecanismos

La Fitorremediación o fitorrecuperación es una técnica de reciente aplicación que utiliza la capacidad que poseen ciertas plantas para acumular metales pesados y/o radionucleótidos en sus partes verdes como una forma rápida y barata de eliminar, disminuir o transformar este tipo de contaminantes. Las técnicas de fitorrecuperación no utilizan reactivos químicos peligrosos, ni afectan negativamente a la estructura del suelo sino todo lo contrario, ya que establecen una cubierta vegetal que evita la erosión del mismo. Este método se probó satisfactoriamente para eliminar iones radioactivos en las lagunas contaminadas en el accidente de la planta nuclear, en Chernóbyl, utilizando girasol.

El proceso a través el cual una planta actúa, sobre un contaminante en particular, depende del grado de contaminación, de las características físico-químicas y del sitio contaminado. Es una alternativa sustentable, ya que permite utilizar las propiedades fisicoquímicas de las plantas y sus nutrientes. La fitorremediación puede aplicarse tanto in situ como ex situ, incluyen la rizo filtración, la Fitoextracción, Fitovolatilización y la Fitoestabilización.

### 1.11 Rizofiltración

La rizofiltración o rizodegradación, se lleva a cabo en el suelo que rodea a las raíces y en aguas y efluentes acuosos. Las sustancias excretadas naturalmente por éstas, suministran nutrientes para los microorganismos, mejorando así su actividad biológica. Hay una diversidad en las plantas y muchas tienen abundantes raíces que pueden ser adsorbentes y absorbentes, esto facilita para que se acumulen los contaminantes a tratar. Dependiendo de los agentes contaminantes, esto ha tenido, aunque también tiene sus desventajas, en cuanto a suelos y aguas contaminadas por hidrocarburos, pero la mayor ventaja, entre otras y más eficaz económicamente hablando es esta. Los manglares y humedales en nuestro país, son un claro ejemplo de rizo filtración, ya que se observan todos los organismos o microorganismos atrapados en las raíces. Se han construido humedales, que son sistemas pasivos de poca profundidad, (menos de 1 m), plantando micrófitos acuáticos, para remover

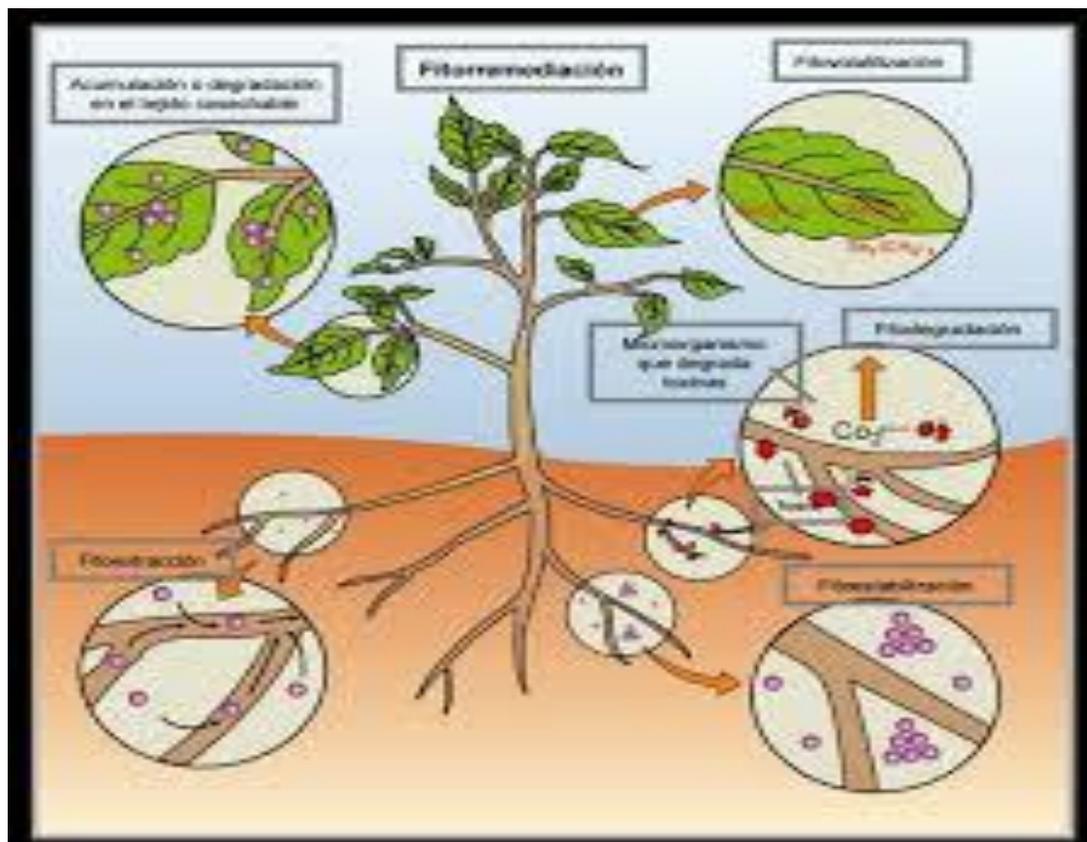
todo tipo de agentes contaminantes, como el arsénico, plomo, resultando en un alto costo, ya que se requiere de personal capacitado, mantenimiento y operación.

### 1.12 Fitorremediación, diferentes mecanismos

Existen plantas hiperacumuladoras que acumulan en sus tejidos aéreos (0% peso seco), 1 de Mn o Zn, .1 de Cu, Co, Ni, Cr y Pb y .01 de Cd (Wensel, y col, 2003). Cada especie vegetal tiene sus propiedades tales como, su grado de tolerancia, su capacidad de absorber, acumular y/o degradar contaminantes (Meagher, 2000, Vangrosveld, y col, 2009). De tal manera que un proceso efectivo puede ser útil para la remoción de contaminantes, y otros no, como por ejemplo la fitoextracción o Fitoestabilización puede ser utilizada para remoción de metales pesados o sales de un suelo, pero no para la limpieza de ciertos hidrocarburos y explosivos, para los que la fitorremediación y fitovolatilización serían más efectivos.

- a) **Fitovolatilización.-** Se produce a medida que los árboles y otras plantas en crecimiento absorben agua junto con contaminantes orgánicos e inorgánicos. Algunos de estos pueden llegar hasta las hojas y evaporarse o volatilizarse en la atmósfera (Prasad y Freitas, 2003).
- b) **Fitodegradación.-** En este proceso los contaminantes son metabolizados dentro de los tejidos vegetales y las plantas producen enzimas como la dehalogenasa y la oxigenasa, que ayudan a catalizar la degradación (Singh y Jain, 2003).
- c) **Fitoestabilización.-** Este proceso reduce la movilidad de los contaminantes y evita su migración a las aguas subterráneas o al aire (Barton et al., 2005 Méndez y Maier, 2008,).
- d) **Fitoextracción o fitoacumulación.-** Una vez completado el desarrollo vegetativo de la planta el siguiente paso es cortarlas y proceder a su incineración y traslado de las cenizas a un vertedero de seguridad. La fitoacumulación se puede repetir ilimitadamente hasta que la concentración remanente de metales en el suelo esté dentro de los límites considerados como aceptables (Kumar et al., 1995).

e) **Rizofiltración.**- Es una técnica de fitorremediación que usa raíces de plantas para descontaminar agua superficial, subterránea o efluentes líquidos contaminados con metales pesados, toxinas orgánicas, entre otros elementos. La rizofiltración es una de las opciones que presenta mejor relación de costo-beneficio respecto a otros métodos empleados para el tratamiento de efluentes líquidos. En la figura 1.4 se observan las diferentes clases de fitorremediación en función de su mecanismo de absorción.



**Fig. 1.4** Mecanismos de absorción y transporte de materiales en una planta.

### 1.13 Plantas hiperacumuladoras.

Muchas especies toleran las elevadas concentraciones de metales en el suelo porque restringen su absorción y/o translocación hacia las hojas, lo que les permite mantener concentraciones constantes y relativamente bajas en la independientemente de la concentración metálica del suelo en un intervalo amplio (estrategia de exclusión según Baker, 1981). Sin embargo, otras absorben los metales activamente a partir del suelo y los acumulan en formas no tóxicas en su biomasa aérea (estrategia acumuladora).

Una respuesta intermedia es la que presentan las plantas indicadoras, cuya concentración metálica refleja la del suelo (Baker, 1981). Entre las acumuladoras se han reconocido diferentes grados de acumulación metálica, desde pequeñas elevaciones sobre el nivel de fondo hasta concentraciones excepcionalmente elevadas de metales pesados como el Ni, Zn y Co en su biomasa aérea sin mostrar ningún síntoma visible de toxicidad.

Algunas de estas plantas, no pueden completar sus ciclos vitales cuando crecen en suelos “normales” y se denominan plantas hiperacumuladoras. El término “hiperacumuladora” fue acuñado por Brooks y Reeves para referirse a plantas desarrolladas en campo capaces de acumular  $>1.000 \text{ mg Ni kg}^{-1}$  de materia seca en algún tejido de su biomasa aérea (Brooks et al., 1977). De forma general, las hiperacumuladoras alcanzan concentraciones de metales en hojas entre 10 y 100 veces las concentraciones “normales” (Chaney et al., 2000).

Actualmente se utiliza el término hiperacumuladora de metales para designar plantas que acumulan  $>10.000 \text{ mg kg}^{-1}$  de Mn y Zn,  $>1.000 \text{ mg kg}^{-1}$  de Co, Cu, Pb, Ni, As y Se y  $>100 \text{ mg kg}^{-1}$  de Cd. En la figura 10.2 se observa el comportamiento de plantas en respuesta a la concentración de los metales a los cuales está expuesta biomasa aérea independientemente de la concentración metálica del suelo en un intervalo amplio (estrategia de exclusión según Baker, 1981). Sin embargo, otras absorben los metales activamente a partir del suelo y los acumulan en formas no tóxicas en su biomasa aérea (estrategia acumuladora). Una respuesta intermedia es la que presentan las plantas indicadoras, cuya

concentración metálica refleja la del suelo (Baker, 1981). Entre las acumuladoras se han reconocido diferentes grados de acumulación metálica, desde pequeñas elevaciones sobre el nivel de fondo hasta concentraciones excepcionalmente elevadas de metales pesados como el Ni, Zn y Co en su biomasa aérea sin mostrar ningún síntoma visible de toxicidad. Algunas de estas plantas, no pueden completar sus ciclos vitales cuando crecen en suelos “normales” y se denominan plantas hiperacumuladoras.

El término “hiperacumuladora” fue acuñado por Brooks y Reeves para referirse a plantas desarrolladas en campo capaces de acumular  $>1.000 \text{ mg Ni kg}^{-1}$  de materia seca en algún tejido de su biomasa aérea (Brooks et al., 1977). De forma general, las hiperacumuladoras alcanzan concentraciones de metales en hojas entre 10 y 100 veces las concentraciones “normales” (Chaney et al., 2000). Actualmente se utiliza el término hiperacumuladora de metales para designar plantas que acumulan  $>10.000 \text{ mg kg}^{-1}$  de Mn y Zn,  $>1.000 \text{ mg kg}^{-1}$  de Co, Cu, Pb, Ni, As y Se y  $>100 \text{ mg kg}^{-1}$  de Cd. En la figura 10.2 se observa el comportamiento de plantas en respuesta a la concentración de los metales a los cuales está expuesto.

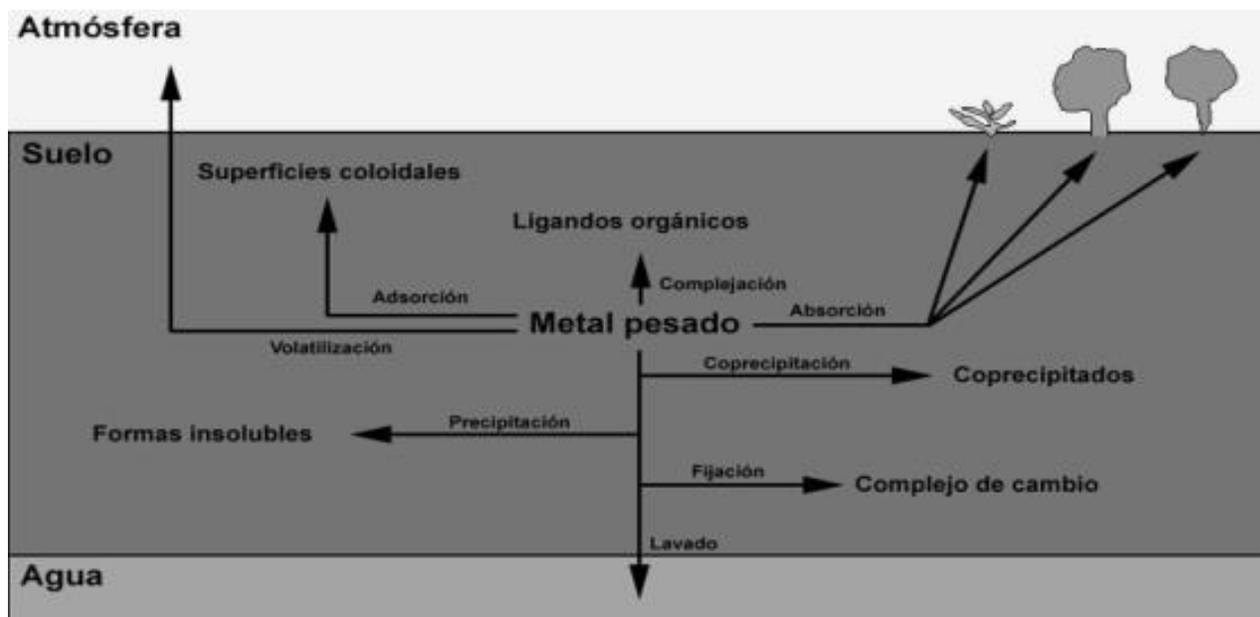
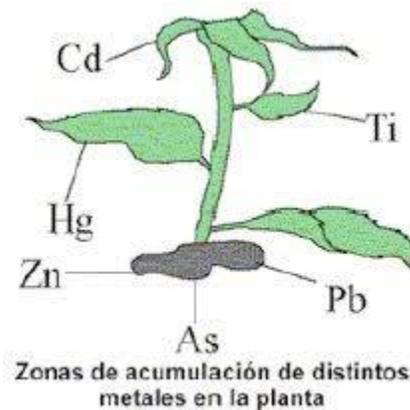
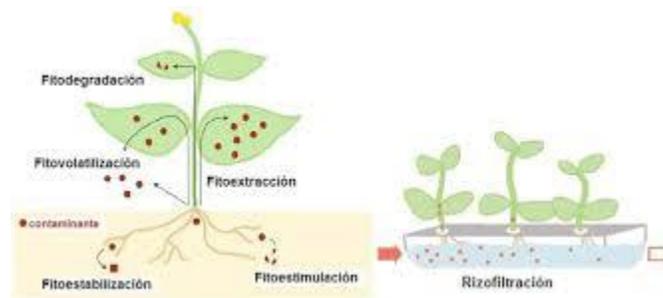


Figura 1.5. Mecanismos de una planta hiperacumuladora. Relación metal- planta.



**Fig. 1.6** Respuestas típicas de las plantas frente a la presencia de metales pesados en el suelo

A continuación, se muestra la figura 1.7 en donde se presenta de forma sencilla la manera en que un agente contaminante viaja a través de las partes que integran a la planta, en punto rojo se simula la trayectoria de los agentes contaminantes, los cuales fueron absorbidos por los mecanismos de transporte de masa, cabe mencionar que la fuente de agentes contaminantes puede ser, a causa de la contaminación de los diferentes tipos de ecosistemas, tanto atmosférico, edáfico e hídrico.



**Fig. 1.7** Transporte de agentes contaminantes a través de diversos mecanismos de transporte de materia.

La contaminación del agua, suelo y sedimentos es una consecuencia de una sociedad cada vez más industrializada. Los contaminantes que se liberan al

medioambiente son tanto de naturaleza orgánica (compuestos xenobióticos tóxicos y persistentes, como los compuestos aromáticos policíclicos, múltiples pesticidas o compuestos organoclorados) como inorgánica (por ejemplo, los metales pesados). Se estima que en Europa occidental existen más de 140.000 puntos potencialmente contaminados y que el coste asociado a su limpieza es de millones de euros (Barceló y Poschenrieder, 2003). Hasta la actualidad, las autoridades medioambientales han abordado este problema promoviendo métodos de descontaminación basados en técnicas de ingeniería civil (como lavado, solidificación/estabilización u oxidación/reducción química de los contaminantes, tratamientos electrocinéticas, excavado, etc.) aplicada in situ o ex situ. Estas técnicas convencionales son caras, y viables sólo para áreas contaminadas relativamente pequeñas. En las últimas tres décadas la comunidad científica ha desarrollado técnicas basadas en procesos biológicos asociados a las plantas. Este tipo de tecnología verde se conoce como fitorremediación, fitolimpieza o fitocorrección (Baker et al., 1994; Baker et al., 2000; Brooks, 1998; Chaney et al., 1997; Cunningham et al., 1995; McGrath y Zhao, 2003; Pilon-Smits, 2005; Salt et al., 1998; Vassilev et al., 2004) y constituye una alternativa económica para la eliminación de los contaminantes del suelo, que posteriormente pueden ser reciclados o vertidos de una forma segura. Se estima que el coste de las técnicas de fitorremediación, es entre 10 y 1.000 veces menor que las técnicas tradicionales (Barceló y Poschenrieder, 2003).

En la actualidad existe todo un conjunto de técnicas en el campo de la fitorremediación que son aplicables tanto a contaminantes orgánicos como inorgánicos. El uso de plantas hiperacumuladoras ha dado lugar a la técnica conocida como fitoextracción natural; el cultivo de estas especies permite que el metal pesado sea extraído del suelo por la absorción vegetal y la siega posterior de su biomasa aérea. Una importante limitación de la aplicación práctica de la mayoría de las especies hiperacumuladoras en la fitoextracción es su escasa biomasa y crecimiento lento, ya que la capacidad de extracción de metal de una cosecha (rendimiento metálico) es el producto de la biomasa aérea y el contenido de metal (Baker et al., 2000; McGrath et al., 2002).

### 1.14 Técnica de Hidroponía, sistema NFT (Nutrient Film Technique)

La técnica hidropónica de cultivo con flujo laminar de nutrientes, NFT (Nutrient Film Technique) se desarrolló para aumentar la productividad del sector de producción hidropónica. La característica más importante de la técnica hidropónica es que en ninguna de las etapas de crecimiento se requiere del suelo como soporte o fuente de nutrimentos del cultivo; la planta toma los nutrimentos directamente del agua, donde se encuentran disueltos. La principal ventaja del sistema es que puede adaptarse a cualquier espacio, condición climática y economía. A continuación, se listan los elementos necesarios para su desarrollo, así como las ventajas y algunas de las desventajas que presenta.

#### 1.14.1 Elementos del sistema hidropónico

- a) Material vegetal (hortalizas)
- b) Contenedor o recipiente
- c) Sustrato
- d) Solución nutritiva

#### 1.14.2 Ventajas de usar sistemas hidropónicos.

- a. No depende de fenómenos meteorológicos.
- b. Permite cultivar la misma especie ciclo tras ciclo.
- c. Rinde varias cosechas al año.
- d. Presenta buen drenaje.
- e. Mantiene el equilibrio entre aire, agua y nutrimentos.
- f. Mantiene la humedad uniforme y controlada.
- g. Ahorra en el consumo de agua.
- h. Facilita el control de pH.
- i. Permite corregir deficiencias y excesos de fertilizante.
- j. Admite mayor densidad de población.
- k. Logra productos de mayor calidad.
- l. Rinde más por unidad de superficie.
- m. Acorta el tiempo para la cosecha.
- n. Reduce los costos de producción.

- o. Facilita la limpieza e higiene de las instalaciones.
- p. No requiere mano de obra calificada.

### 1.14.3 TÉCNICA DE HIDROPONIA

#### 1.14.3.1 Ventajas

- a) Reduce la contaminación del ambiente y los riesgos de erosión.
- b) Elimina el gasto de maquinaria agrícola.
- c) Recupera la inversión con rapidez.
- d) Manejo controlado de sustratos y fertilizantes.

#### 1.14.3.2 Desventajas

- a) En cultivos comerciales, precisa tener conocimientos acerca de las especies que se siembran y de química inorgánica.
- b) Inversión inicial relativamente alta.
- c) Requiere mantenimiento y cuidado de las instalaciones, solución nutritiva, materiales, etcétera.

### 1.15 Frijol (*Phaseolus vulgaris*)

Los frijoles pertenecen a la familia de las leguminosas (*leguminosae* o *Fabaceae*), junto con los chícharos, habas, soya, mezquites, huizaches y alrededor de 19,400 especies. En el mundo se conocen alrededor de 150 especies de frijoles, de las cuales 50 se encuentran en México con gran variedad de tamaños, colores y requerimientos ecológicos. Se conocen con los nombres de frijol, poroto, alubia, caraota y judías. En náhuatl se les llamaba etl o etle. Constituyen uno de los alimentos principal en la dieta de la población mexicana. Se distribuyen desde México hasta Argentina. Fueron domesticados en Mesoamérica hace alrededor de 8,000 años. Las plantas de frijol son hierbas rastreras y tre 1.15 Frijol (*Phaseolus vulgaris*)

Se distribuyen desde México hasta Argentina. Fueron domesticados en Mesoamérica hace alrededor de 8,000 años. Las plantas de frijol son hierbas

rastreras y trepadoras con foliolos de tres hojas tres hojas. El color de sus flores tiene tonalidades rosas, lilas, y violetas. Sus semillas, lo que se conoce como frijol propiamente, tiene forma de riñón y crecen en una vaina comestible como legumbre (ejotes, del náhuatl exotl). Estas plantas tienen en sus raíces, nódulos con bacterias fijadoras de nitrógeno. El frijol contiene carbohidratos, alto contenido de proteínas, fibra, grasa y minerales. (Calcio y hierro) y vitaminas complejo B como el niacina, riboflavina, ácido fólico y tiamina. En la figura 10.3 se observa la variedad de frijoles existentes, tanto domesticados como silvestres. En la figura 10.4 se observa una planta típica de frijol.

En México y un gran número de países del mundo, el frijol es un cultivo importante por la superficie sembrada y por ser un componente primordial en la alimentación humana. En nuestro país el frijol ocupa el segundo lugar por superficie cosechada, después del maíz.

En los últimos 12 años, la información estadística registra una producción nacional de 1.12 millones de toneladas en promedio anual, con fluctuaciones al alza en 2002, 2003 y 2006, con una producción promedio anual de 1'400,000 toneladas de grano y a la baja en 2006 y 2011, años en que la cosecha promedio anual fue de 697,335 toneladas. Se sabe que el cultivo de frijol es de temporal, y debido al cambio climático su producción ha disminuido y se ha tenido que importar, para cubrir la demanda de consumo. También se han creado variedades, adoptado estrategias y proyectos, para lograr su producción, aun en condiciones climáticas adversas. El Proyecto Frijol fue financiado en los años de 2001 a 2006 conjuntamente por la Universidad de Guadalajara, el Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología (COECYTJAL), la fundación Produce Jalisco (FUNPROJAL) y la empresa Productos Verde Valle, S.A. de C.V. En los años de 2007 a 2013, por la UDG y SAGARPA-SNICS a través del programa denominado Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SINAREFI). En la siguiente figura, 10.4 se muestran las diversidades de frijol en México.



**Fig. 1.6** Planta de frijol (*Phaseolus vulgaris*)

El cultivo del frijol se considera uno de los más antiguos. Debido al interés del hombre por esta leguminosa, la selección hecha por las culturas precolombinas generó un gran número de diferentes formas y en consecuencia también de diferentes nombres comunes dentro de los que destacan los de frijol, poroto, alubia, judía, frijol, nuña, habichuela, vainita, caraota y feijao.



**Fig. 1.7** Variedades de frijol

### 1.15.1 Taxonomía del frijol, (*Phaseolus vulgaris*)

El tallo principal es vigoroso y presenta 5 a 10 internudos comúnmente cortos. La altura de las plantas varía normalmente entre 30 y 50 cm (aunque existen casos de plantas enanas con 15 a 25 cm de altura). El crecimiento de la planta se detiene una vez aparece la inflorescencia que se ubica en la punta del tallo principal y en las ramas laterales. La etapa de floración es rápida y la madurez de las vainas ocurre en forma bastante concentrada. A continuación, se cita la tabla 10.1 que muestra la taxonomía de la planta del frijol.

Tabla 1.1 Descripción taxonómica de la planta de frijol.

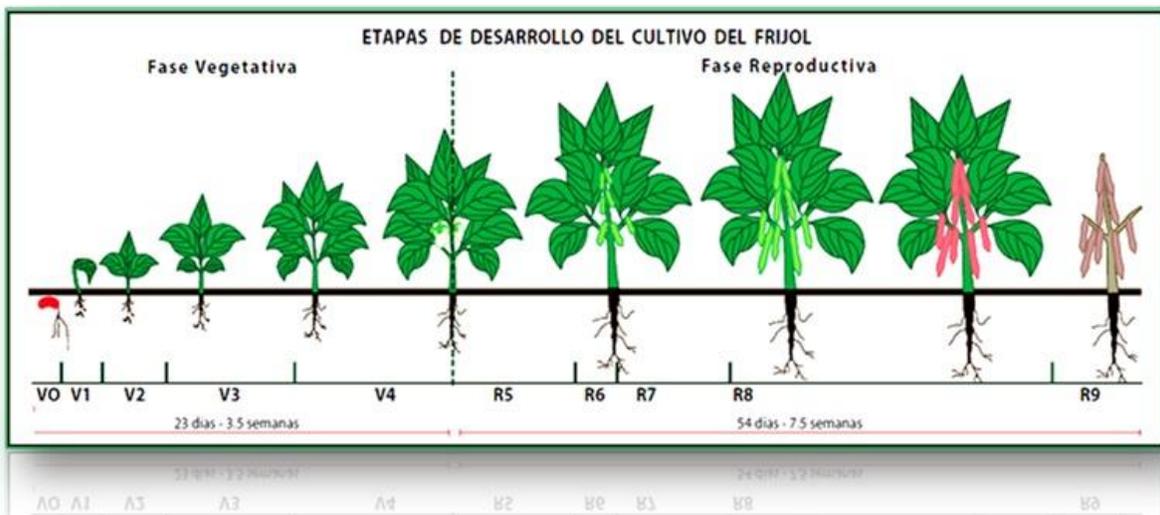
<b>Reino</b>	Plantae
<b>Subreino</b>	Embriobonta
<b>División</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Magnoliopsida
<b>Orden</b>	Fabales
<b>Familia</b>	Fabaceae
<b>Genero</b>	<i>Phaseolus</i>
<b>Especie</b>	<i>Phaseolus vulgaris</i>

### 1.15.2 Descripción botánica y morfológica del frijol, (*Phaseolus vulgaris*)

La planta de frijol se desarrolla de forma adecuada en temperaturas promedio entre 15 y 27°C, considerando que largos periodos con altas temperaturas aceleran el crecimiento de las plantas y las bajas lo retardan, causando daños irreversibles cuando son extremas. Teniendo en cuenta que el frijol es una especie de días cortos, la siembra en épocas adecuadas permite limitar la influencia de días de más de 6 horas de luz, que podrían retardar su proceso de floración y madurez

**1.15.3 Etapas del desarrollo de la planta de Frijol, (*Phaseolus vulgaris*)**

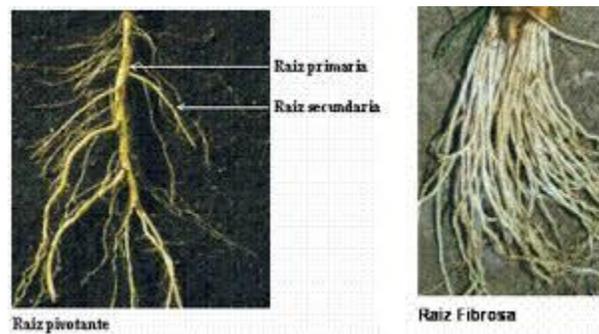
La planta de frijol es una enredadera que alcanza entre cincuenta y setenta centímetros de altura. Sus raíces están bien desarrolladas, con una principal o pivotante y muchas otras secundarias; pero tiene tallos delgados y débiles, a veces rayados de púrpura. Sus hojas son trifoliadas, (formadas por tres folíolos) es decir, dispuestas de tres en tres, uno central y dos laterales con bordes ovales y una punta al final. La inflorescencia corresponde a un racimo principal compuesto de racimos secundarios su flor es blanca y pequeña con dos pétalos alargados y ondulados y en su base hay dos bractéolas verdes, tiene nueve estambres soldados en la base y un estambre libre llamado vexilar. El fruto es una vaina suavemente curvada y dehiscente; esto significa que se abre naturalmente cuando está madura. Esta vaina puede medir de diez a 12 centímetros y es de color verde morado o casi negra. En su interior, las semillas o frijoles pueden ser oblongas, ovales o redondeadas, según la variedad, poco comprimidas y de color rojo, amarillo, café o negro. A continuación, se observa la figura 10.6 donde se muestra el proceso de crecimiento de la planta de Frijol, (*Phaseolus vulgaris*).



**Figura. 1. 9** Etapas de desarrollo del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*)

A continuación, en la figura 1.10 se aprecian las dimensiones de la raíz de la planta de frijol. La sensibilidad de las especies vegetales a los metales pesados varía considerablemente a través de reinos y familias, siendo las plantas vasculares ligeramente más tolerantes (Rosa et al., 1999). Las diferentes respuestas de las

plantas vasculares a metales pesados pueden ser atribuidas a factores genéticos y fisiológicos (Calow, 1993).



**Figura. 1.10** Diferentes tipos de raíz desarrolladas en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*)

### 1.16 Girasol (*Helianthus Annus*)

El girasol es una planta domesticada importante; su forma silvestre es originaria del norte de México y oeste de E.U.A. En esta región acompaña a las carreteras y vías de ferrocarril con grandes poblaciones, también puede ser una maleza agresiva. En el sur es más bien una planta ocasional, encontrándose frecuentemente también en las orillas de las vías de comunicación. Además del girasol amarillo, también existen versiones naranjas, rojo oscuro, color crema, y marrones. En cuanto a la forma, se pueden encontrar girasoles con flores grandes y pequeñas, con una sola fila de pétalos o con varias. A todas las especies englobadas en el género *Helianthus* se les denomina indistintamente girasol. El género abarca de 50 a 60 especies, de las cuales poco más de 50 son originarias de Centroamérica y Norteamérica.

Aunque hasta hace poco se pensaba que el origen del girasol se ubicaba en el norte de México y el oeste de Estados Unidos, recientes descubrimientos arqueológicos de un fruto (aquenios) en Tabasco y tres en Morelos han dejado al descubierto que la procedencia del girasol es de Mesoamérica.

El nombre del girasol proviene de la propiedad que tiene de girar hacia el Sol para captar mejor su luz (heliotropismo).



**Fig. 1.11** Girasoles

Es una planta que se renueva anualmente. Su altura puede ir de poco más de un metro hasta los tres metros. Los tallos y las hojas son erectos y largos, y poseen pelos toscos. Las cabezuelas están compuestas de numerosas flores sésiles dispuestas en un disco o copa y protegidas por brácteas. Las flores exteriores son amarillas, mientras que las internas son cafés. Las anteras maduran antes de que el estigma sea receptivo; la reproducción es cruzada y las abejas son los principales polinizadores. Los frutos son de color crema con finos trazos verticales de color oscuro; tienen dos escamas y su largo fluctúa de 3.5 a 5.5 mm.

### **1.17 Taxonomía del girasol**

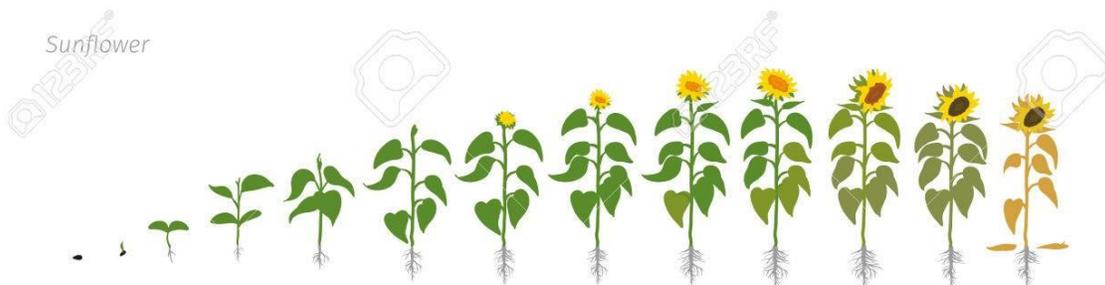
El girasol es una planta anual de gran desarrollo en todos sus órganos. Pertenece a la familia de Asteraceae y al género *Helianthus*, el cual comprende aproximadamente 68 especies que se concentran en Norteamérica, donde el más importante es el *Helianthus annuus*. Su raíz es pivotante, formada por un eje principal y abundantes raíces secundarias que en conjunto pueden llegar a alcanzar los 4 metros de profundidad. Su tallo es erecto, vigoroso, macizo y cilíndrico. La altura está comprendida entre 60 y 220 cm. Y el diámetro del tallo va de 2 a 6 cm dependiendo de la especie. Las hojas son alternas, grandes y trinervadas muy

pecioladas y de formas variables. El número de hojas por planta varía de 12 a 40 según las condiciones del cultivo y la variedad.

**Tabla 10.2** Descripción taxonómica de la planta de girasol

<b>Reino</b>	Plantae
<b>Subreino</b>	Asteroidea
<b>División</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Magnoliopsida
<b>Orden</b>	Asterales
<b>Familia</b>	Astereacea
<b>Genero</b>	Heliantus
<b>Especie</b>	Heliantus Annuus

La inflorescencia, llamada también capítulo o cabeza, está formada por dos tipos de flores que se encuentran insertadas en un receptáculo rodeado por brácteas protectoras, Ver figura 10.10 en cote transversal de una planta de girasol. Las primeras, llamadas flores liguladas, son estériles y poseen una corola semejante a un pétalo, hay un número que de 30 a 70 y están dispuesta radialmente en una o dos filas. Su color puede variar de amarillo a anaranjado. Las segundas, denominadas tubulosas, llevan órganos de reproducción y están situadas en arcos espirales que parten del exterior hacia el centro del disco. En la figura 10.9 se puede apreciar el proceso de crecimiento para el girasol.



**Fig. 1.12** Proceso de crecimiento del girasol

**Tabla 10.3** Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos en actividades minero-metalúrgicos

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el promedio anual
pH		6-9	6-9
Sólidos totales en suspensión	mg/L	50	25
Aceites y grasas	mg/L	20	16
Cianuro total	mg/L	1	0.8
Arsénico total	mg/L	0.1	0.08
Cadmio total	mg/L	0.05	0.04
Cromo hexavalente	mg/L	0.1	0.08
Cobre total	mg/L	0.5	0.4
Hierro (disuelto)	mg/L	2	1.5
Plomo total	mg/L	0.2	0.16
Mercurio	mg/L	0.002	0.0016
Zinc	mg/L	1.5	1.2

\* D.R. © TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 9(1):45-47, 2006

Estos datos fueron tomados en estudios, de la \*Universidad Nacional Autónoma de México, en una investigación de las aguas contaminadas residuales con metales pesados, con giro industrial y los tomamos como referencia, para el presente trabajo. Y según análisis de las concentraciones en los suelos superficiales de México, los resultados de estos, muestra la preocupante situación ambiental de los citados metales y se buscan las medidas necesarias para contrarrestar dicha contaminación.

**Tabla 10.4** Análisis de concentración de cadmio (Cd)

Rangos característicos	Promedio Aritmético Datos	Promedio Geométrico Rango	Promedio Geométrico Datos	Mediana Datos	Concentración característica
0.00 15.00	4.21	7.50	0.84	1.02	3.39
15.00 22.00	15.83	18.50	15.55	15.00	16.22
0.40 158.00	57.40.	79.20	23.41	44.00	51.00

**Tabla 10.5** Análisis de concentración de cobre (Cu)(ppm)

Rangos característicos	Promedio Aritmético Datos	Promedio Geométrico Rango	Promedio Geométrico Datos	Mediana Datos	Concentración característica
00.00 70.00	11.81	35.00	3.61	4.20	4.20
00.00 128.00	61.37	64.00	39.97	62.80	39.97
00.00 334.00	218.17	167.00	212.17	202.00	167.00

Tabla 10.6 Concentración de metales

	Zn	Pb	Cu	Cd
Pre-antropogénico	114.50	8.10	28.90	1.00
Tránsito ligero	335.50	354.10	61.70	1.40
Tránsito pesado	741.70	1188.90	98.20	1.60

Las altas concentraciones de Pb en los suelos analizados se pueden atribuir, principalmente al uso de gasolina con contenido de plomo. Las concentraciones de Zn, Pb, Cu y Cd son más altas que las reportadas en las zonas urbanas de otras partes del mundo.

## 1.18 Antecedentes

### 1.18.1 La bioadsorción como tecnología para la eliminación de metales pesados en aguas

La bioadsorción es una tecnología de bajo coste, presenta una elevada eficacia, especialmente cuando la concentración de metal en el agua residual es baja, es posible la regeneración de un gran número de bioadsorbentes, utilizándose después en ciclos sucesivos de adsorción-desorción. Puede permitir la recuperación del metal tras un proceso de regeneración, en donde se obtiene una solución concentrada en el compuesto de interés. Al emplearse materiales de diversa procedencia sin tratamiento previo, y en especial sin carbonización previa, el impacto ambiental se reduce considerablemente, frente a los adsorbentes tradicionales como los carbones activados.

Aunque también tiene sus desventajas, ya que las técnicas tradicionales, son conocidas en diferentes sectores industriales y están ampliamente extendidas y esto dificulta la sustitución. Deben seleccionarse los bioadsorbentes, según su disponibilidad en cantidad y bajo coste para conseguir sea aplicada a nivel industrial.

Mecanismos aplicados en la bioadsorción de metales pesados La bioadsorción incluye etapas de transporte como de reacción y pueden clasificarse atendiendo el lugar en el que se desarrollen o según se produzcan en el seno de la disolución o en el interior de la partícula del adsorbente. En el seno de la disolución hasta la

superficie de las partículas de adsorbente hay transferencia de materia externa. En esta etapa, está la fuerza impulsora en la diferencia de concentración en el interfaz solido-líquido que rodea cada partícula y depende de las condiciones hidrodinámicas externas. Mezcla o ausencia de esta, puede ocasionar un flujo global no uniforme, provocado por la existencia de distribución de velocidades y aparición de zonas muertas. En el interior de la partícula hay difusión a través de los poros y es debido al transporte del adsorbato por el interior de poros de gran tamaño (macroporos).

**1.18.1.1 Difusión en la fase adsorbida o difusión superficial.** - Es la difusión en el interior de los poros pequeños (microporos) en los que las moléculas de adsorbato se encuentran bajo la influencia del campo de fuerza de la superficie del adsorbente.

**1.18.1.2 Adsorción.** - Es la última etapa del proceso de bioadsorción global, es la retención de metales en la superficie del sólido.

**1.18.1.3 Retención.** - De los metales se produce por la coexistencia de procesos como intercambio iónico, adsorción y microprecipitación.

**1.18.1.4 Intercambio iónico.** - Consiste en la sustitución de iones presentes inicialmente en la superficie del solido por iones de la misma carga que se encuentran en el seno de la disolución. Este intercambio es por una reacción química reversible y estequiometrica.

**1.18.1.5 Adsorción.** - Es la acumulación de moléculas de soluto en la superficie de un sólido. Existen dos tipos de adsorción: la fisorción, en la que la especie adsorbida mantiene su forma química original y en la que intervienen atracciones de tipo electrostático y fuerzas de van der Waals y la quimisorción, en la que la especie adsorbida cambia de forma química como consecuencia de su interacción con el sólido. La quimisorción es específica y las fuerzas de atracción son de mayor magnitud que en la fisorción.

## 1.18.2 Factores que afectan a la bioadsorción de metales.

### 1.18.2.1 Tipo de material bioadsorbente

La composición y reactividad química de la superficie del adsorbente determina los mecanismos de retención de los adsorbatos y condiciona, en gran medida, su capacidad de eliminación. Las propiedades físicas como, la densidad, porosidad, resistencia mecánica o el tamaño y forma de la partícula condicionan su posible utilización en columnas de lecho fijo. La caracterización de los centros activos del bioadsorbente, atendiendo a grupos funcionales presentes, y la identificación de los mecanismos, de interacción facilitan la optimización de condiciones de operación y la mejora grupos funcionales presentes, y la identificación de los mecanismos, de interacción facilitan la optimización de condiciones de operación y la del rendimiento de la misma. Los grupos funcionales con oxígeno, favorece la bioadsorción con metales pesados, siendo los más comunes los ácidos carboxílicos, fenólicos, fosfatos, sulfatos, amino, amida e hidroxilo (Plette y col., 1996; Cox y col., 1999). Los grupos ácidos carboxílicos y fenólicos pueden disociarse e intercambiar protones por iones metálicos de la disolución si el pH es superior al logaritmo de la constante de disociación del grupo ácido ( $pK_a$ ). Los grupos amino y amida son neutros cuando están desprotonados y cargados positivamente cuando están protonados; por tanto, estos atraen aniones si el pH de la disolución es bajo. Técnicas habitualmente utilizadas para la identificación de los grupos funcionales son: las variaciones potenciométricas, la espectroscopia infrarroja (FTIR) y la difracción de rayos X (DR-X).

### 1.18.2.2 Tamaño de partícula

Afecta tanto a la capacidad de adsorción como a la velocidad de la reacción. Un mayor número de centros activos disponibles para la reacción y una mayor facilidad con que el adsorbato puede acceder a ellos, con una menor limitación a la difusión en el interior de los poros, son las causas del aumento de la capacidad de retención con la disminución del tamaño de la partícula. En la aplicación de la tecnología en columnas de lecho fijo debe tenerse en cuenta que un tamaño de la partícula demasiado reducido puede aumentar considerablemente las pérdidas de presión y hacer inviable la operación.

### 1.18.2.3 Tipo de metal

Las propiedades físicas y químicas de los metales condicionan su comportamiento en disolución que, a su vez, da lugar a una interacción diferente con la superficie del sólido.

### 1.18.2.4 pH de la disolución

Es uno de los factores con mayor influencia sobre la bioadsorción de metales pesados. Es importante destacar que el pH óptimo es diferente para cada sistema de bioadsorción estudiado, tanto del metal, como del bioadsorbente y de la composición de la disolución que contiene el metal a eliminar.

### 1.18.2.5 Fuerza iónica de la disolución

Es función de la concentración de todos los iones presentes en ella, y juega un papel muy importante en la distribución de la carga eléctrica en la interfase sólido-líquida.

## 1.19.1 Normatividad aplicable en México

**1.19.1.1 NOM-001-SEMARNAT:** descargas de aguas residuales a cuerpos de agua (y suelos bajo riego).

**1.19.1.2 NOM-002-SEMARNAT:** descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado y municipales.

**1.19.1.3 NOM-004-SEMARNAT:** Especificaciones de los dos y biosólidos

**1.19.1.4 NOM-087-ECOL-SSA1-2002** (Residuos (Residuos peligrosos; peligrosos; clasificación y manejo).

**1.19.1.5. NOM-147-SEMARNAT/SSA: 1-2004:** Determinación de concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio.

### 1.20 Concentraciones de Cadmio en los diferentes ecosistemas.

En ríos la concentración de Cd disuelto es relativamente alta (10-500 mg/L), encontrándose por lo general unido a materia particulada. En zonas oceánicas abiertas la concentración esta entre 0.05 y 10 mg/L, estos niveles pueden ser superiores en áreas marinas cerradas, especialmente en las desembocaduras de los ríos que están contaminados. La EPA de los Estados Unidos ha establecido que el nivel máximo de contaminantes (MCL por sus siglas en ingles), para el Cu es de 1.3 mg/L, el cual también puede reportarse en partes por millón (ppm). En el agua potable: aquí los niveles fluctúan entre 0.01 y 1.2 mg/L.

**Tabla 10.7** Límites permisibles para metales en sedimentos establecidos por la Norma Oficial Mexicana (NOM) y canadiense (CEQG), y niveles de referencia para Estados Unidos (NOAA, 1999) en mg/Kg.

NORMA	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
<b>NOM</b>	22	37	-	-	23	1600	400	-
<b>CEQG</b>	5.9	0.6	37.3	35.7	0.17	-	3.5	123
<b>ISQG</b>	17	3.5	90	197	0.486	-	91.3	315
<b>PEL</b>								
<b>NOAA</b>	1.1	0.1-0.3	7-13	10-25	0.004-0.051	9.9	4-17	7-38

**NOM:** Norma Oficial Mexicana-147-SEMARNAT/SSA1-2004 que establece criterios para determinar suelos contaminados por metales.

**CEQG:** Guías de calidad Ambiental Canadiense (por sus siglas en inglés, Canadian Environmental Quality Guidelines) para sedimentos de cuerpos de agua continental.

**ISQG:** Guía provisional de Calidad del Sedimento (por sus siglas en inglés, Interium Sediment Quality Guideline).

**PEL:** Nivel de Efecto Probable (por sus siglas en inglés, Probable Effect Level).

**NOAA:** Administración Oceanográfica y Atmosférica de los Estados Unidos de América (por sus siglas en inglés, National Oceanic and Atmospheric Administration), niveles de fondo) Background levels, de la tabla de referencia (Screening Quick Reference Table for inorganics freshwater sediment).

El gobierno de Nuevo León dio a conocer que 20 empresas pedreras que abastecían a la industria de la construcción de dicho territorio, fueron suspendidas debido a que “el avance económico del estado se debe lograr sin afectar al medio ambiente o la salud de los ciudadanos”, pues tal industria contribuía a que la ciudad estuviera (y aun esté) considerada entre las más contaminadas de América Latina.

Al respecto, aseveró que la Secretaría de Desarrollo Sustentable estatal está por concluir estudios con asesoría de especialistas de Estados Unidos, para hallar una vía que permita disminuir la contaminación, que ya ha alcanzado más de 100 puntos Imeca en el área metropolitana de Monterrey.

Esta área de la citada urbe actualmente es una de las más contaminadas de América Latina, según la Organización Mundial de la Salud, pues el 60 por ciento de los días se registran concentraciones de contaminantes que sobrepasan la Norma Oficial Mexicana.

---

## Capítulo 2

### 2.1 Metodología: Materiales y Métodos.

#### 2.1.1 Materiales

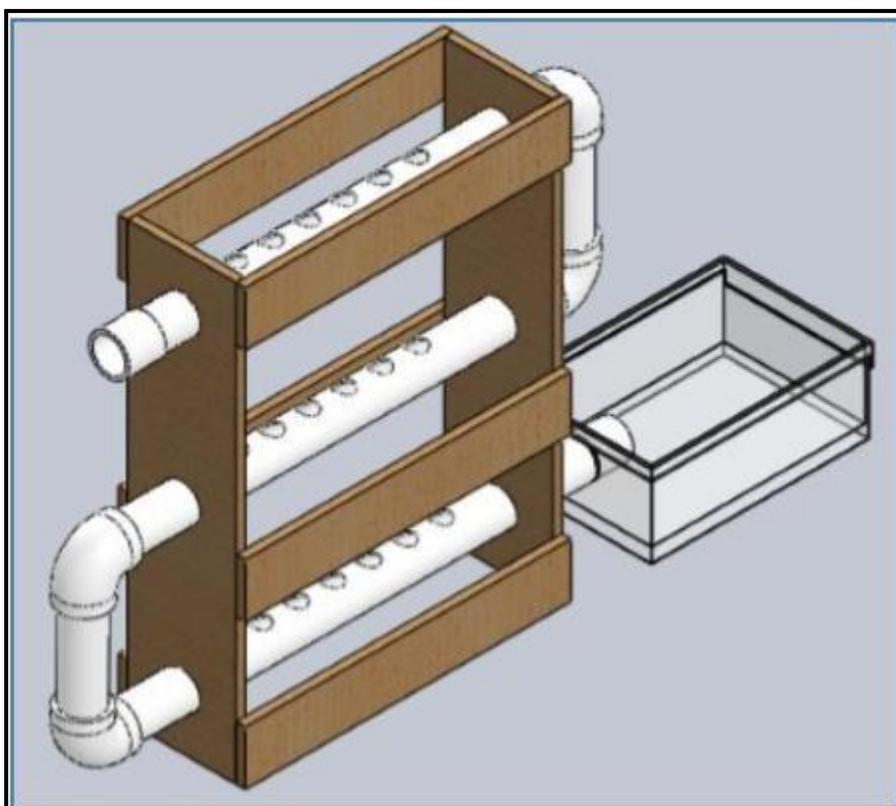
Para desarrollar el proyecto de investigación sobre rizofiltración se consideró la siguiente metodología: (i) *Diseñar un sistema hidropónico vertical por medio de la técnica NFT.*, (ii) *Sembrar plántulas de Girasol y Frijol*, (iii), *esperar a que el experimento se lleve a cabo utilizando solución hidropónica para el buen desarrollo.*

Los materiales utilizados para el diseño y construcción del sistema hidropónico NFT requirió de los siguientes materiales, los cuales se enlistan a continuación:

- a) Tubos PVC de 3/8"
- b) Codos de PVC
- c) Poliuretano
- d) 3 Estructuras de madera
- e) Pintura
- f) 3 Tubos de Silicón Marca
- g) 1 cinta de aislar 10 m..
- h) 1 cinta de aislar metálica 1 cinta delimitadora naranja 15mts. de longitud.
- i) 3 contenedores grandes de Lt. de capacidad
- j) 3 contenedores medianos de Lt. de capacidad
- k) 5 m de Manguera gruesa transparente
- l) 5 m. De manguera delgada
- m) 3 extensiones eléctricas de 3 y 5 m. de longitud
- n) 1 multi conector
- o) 21 bloques de concreto
- p) Guantes
- q) 3 bombas de acuario de 450l/h
- r) 3 bombas de acuario de 150l/h

### 2.1.2 Procedimiento para la construcción del sistema hidropónico:

El arreglo hidropónico se construyó con material reciclado, específicamente tarimas de madera industriales. Las tarimas se cortaron de manera que quede un cuadro para poder acomodar los tubos de PVC. A continuación, en la figura 11.1 se observa de manera concreta el arreglo hidropónico para llevar a cabo el ensayo de absorción de metales. Este arreglo hidropónico se replicó tres veces. Para el experimento se contaron con tres arreglos hidropónicos.



**Figura 2.1** Arreglo hidropónico vertical, NFT.

Después de haber cortado todas las tarimas, necesitamos medir el diámetro del tubo PVC para así poder empezar a cortar los lados de la tarima con el sacabocados, en nuestro caso fue de 2.5 pulgadas

Al haber cortado los lados de la tarima, se tienen que colocar los tubos PVC para poder medir la distancia que tendrá una plántula de la otra, en cada uno de los tubos

y cortarlos con el sacabocados. Colocarlos en el soporte y fijarlos con cinta adhesiva.

Después de tener ya el soporte de la hidroponía necesitamos colocar las bombas para que este circulando el agua. Colocamos en cada uno de los orificios de los tubos PVC, las plántulas sin que toque el piso del PVC, se colocaran arriba de un material de plástico para que sirva como soporte de la plántula, después de ahí observar el comportamiento de las plántulas con el del agua. Se realizaron tres réplicas del arreglo hidropónico con la finalidad de evaluar en cada arreglo a la planta de Girasol, a la planta de frijol y dejando un arreglo hidropónico como muestra control. En la figura 11.2 se puede observar el conjunto de arreglos hidropónicos.



**Figura 2.2** Arreglo hidropónico para evaluar el comportamiento hiperacumulador de las plántulas de frijol en presencia de cadmio y cobre.

Una vez que los arreglos hidropónicos estaban listos, se procedió a llevar a cabo la germinación de las plántulas de Frijol, las plántulas de Girasol, y finalmente se dejó un arreglo hidropónico para evaluar un grupo control.

La ubicación de las estructuras donde estas fueron colocadas fue en el exterior del laboratorio de Ingeniería Industrial e Ingeniería ambiental, delimitando con la cinta naranja, ya que el Cadmio es tóxico con la finalidad de evitar el riesgo a la población estudiantil del ITNL. Cabe señalar lo siguiente:

**En la estructura #1** se colocó el grupo control o testigo, y únicamente lleva solución hidropónica. Semillas de girasol y frijol (mixto).

**En la estructura #2**, del sistema hidropónico, se colocan 2g de cadmio (Cd) y solución hidropónica, y semillas de girasol.

**En la estructura #3**, 5 mg de cobre (Cu), semillas de frijol y solución hidropónica ya diluida.

Se utilizaron 40 lts de agua potable para los contenedores, se colocan 5mg de Cobre, en los contenedores grandes, 20 lts y en los contenedores medianos 20 lts. Se prepara la solución hidropónica para cada contenedor, 40g en cada uno, según instrucciones del fabricante (1 g/lit de solución nutritiva)

Se sumergieron las bombas en los contenedores, y entraron en funcionamiento para el flujo respectivo.

Se colocaron en los orificios de los tubos PVC las semillas de girasol y frijol, que estaban dentro del poliuretano, en cada estructura, 51 semillas de girasol y frijol. El flujo fue constante y se determina que es flujo laminar, según el No. de Reynolds. Se elabora una bitácora para el registro del desarrollo de las semillas y posteriormente, el desarrollo de las plántulas.

El 23 de febrero se inició el cultivo de las semillas y el funcionamiento del sistema hidropónico. Se efectúan 2 experimentos, el primer experimento, inicio el 16 de marzo y termina el 13 de Abril, se observa que las plántulas de frijol, reaccionan mejor a los reactivos utilizados, en comparación con las de girasol, que no han tenido brotes, confirmando que las semillas ya estaban por caducar, aunado al clima caluroso y a la humedad relativa de estos días. Se preparó solución hidropónica para añadirla a los contenedores, con la finalidad de evitar la evaporación natural.

### 2.1.3 DIAGRAMA DE PROCESO DE PROYECTO HIDROPONICO

Reducción de la concentración de cadmio (cd) y cobre (cu) en sistema hidropónico utilizando frijol (*phaseolus vulgaris*) y girasol (*helliantus annus*)



### 2.1.4 Solución hidropónica.

En sistemas hidropónicos abiertos, la SN debe suministrarse a la planta dos o tres veces al día. En sistemas cerrados (con reciclaje de la SN), es necesario realizar al menos dos riegos. La planta es la que determina la frecuencia de los riegos,

según la acumulación de follaje, las condiciones ambientales y la capacidad de retención del sustrato, entre otros factores. Cuando el cultivo este en una solución sin sustrato o sin movimiento, generalmente se utiliza la SN al 50 Û 100 % de su concentración original. Para esta técnica de producción es indispensable contar con una fuente de oxigenación. Las plantas están constituidas por determinados elementos químicos que se encuentran en el medio que las rodea. Entre el 95 y el 98 % del total del peso de la planta está constituido por H, C, O y N (elementos organogénicos) y el resto, del 2 al 5 %, son cenizas. En las plantas se encuentran muchos elementos químicos, pero solamente algunos de ellos son esenciales para el crecimiento y desarrollo de los vegetales. A fines del siglo pasado prevalecía la idea de que, para el crecimiento normal de las plantas, sólo eran necesarios los elementos nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe) y azufre (S).

**Tabla 2.1** Especificaciones de solución hidropónica.

<b>Especificaciones:</b>	
<b>Marca: Hidro solutions de hortaliza de hoja</b>	
<b>Composición.</b>	
Nitrógeno total (N)	20%
Fósforo (ortofosfato)	5%
Potasio (K)	20%
Magnesio	1%
Quelato de Zinc	0.30%
Quelato de Manganeso	0.40%
Boro	0.02%
Aminoácidos	2.0%

### 2.1.5 Metales pesados utilizados: Cadmio y Cobre

Los metales pesados utilizados fueron Cadmio y Cobre. El cadmio presentó un tamaño de partícula de 5 a 20 mallas, Marca Aldrich. Con apariencia en forma de disco y color plateado, fueron agregados al sistema hidropónico para que fuera

solubilizado. A continuación, se muestra la imagen del cadmio en forma de disco. En la figura 11.2



**Figura 2.4** Cadmio en estado sólido

### **2.1.6 Mediciones de flujo y coeficientes de Arrastre, estudio del fenómeno de transporte en el sistema hidropónico.**

En el análisis de sistemas de fluido, con frecuencia se necesita saber el gasto de un fluido que pasa por un tubo o canal.  $Q$  que es simplemente el volumen de fluido que pasa por un área por unidad de tiempo,  $m^3/s$ . El gasto está relacionado con la velocidad de flujo y con el área de sección transversal del tubo. Considere el flujo idealizado de un fluido en un tubo

### **2.1.7 Mediciones del Número de Reynolds en tuberías.**

Reynolds (1874), estudió las características de flujo de los fluidos inyectando un trazador dentro de un líquido que fluía por una tubería. A velocidades bajas del líquido, el trazador se mueve linealmente en la dirección axial. Sin embargo, a mayores velocidades, las líneas del flujo del fluido se desorganizan y el trazador se dispersa rápidamente después de su inyección en el líquido. El flujo lineal se

denomina Laminar y el flujo errático obtenido a mayores velocidades del líquido se denomina Turbulento

Las características que condicionan el flujo laminar dependen de las propiedades del líquido y de las dimensiones del flujo. Conforme aumenta el flujo másico aumenta las fuerzas del momento o inercia, las cuales son contrarrestadas por la por la fricción o fuerzas viscosas dentro del líquido que fluye. Cuando estas fuerzas opuestas alcanzan un cierto equilibrio se producen cambios en las características del flujo. En base a los experimentos realizados por Reynolds en 1874 se concluyó que las fuerzas del momento son función de la densidad, del diámetro de la tubería y de la velocidad media. Además, la fricción o fuerza viscosa depende de la viscosidad del líquido. Según dicho análisis, el Número de Reynolds se definió como la relación existente entre las fuerzas inerciales y las fuerzas viscosas (o de rozamiento).

#### **2.1.8 Cálculo del Coeficiente de arrastre, $C_d$ , de partículas suspendidas en el sistema hidropónico.**

Todo cuerpo que esté inmerso en la corriente de un fluido estará sometido a fuerzas y momentos de fuerzas que dependen de la forma y orientación con respecto al flujo. La fuerza paralela al flujo se llama *arrastre* o resistencia al aire. Este arrastre tiene signo positivo cuando va en el sentido del flujo. Si un objeto ha de moverse contra el flujo deberá vencer a esta fuerza. Es importante entender que estas fuerzas son definiciones prácticas que representan el efecto de los rebotes y el deslizamiento de las partículas contra la superficie del cuerpo. El arrastre es una fuerza mecánica. Es generada por la interacción y contacto de un cuerpo rígido y un fluido. No es generado por un campo de fuerzas como en el caso de fuerzas gravitacionales o electromagnéticas donde no es necesario el contacto físico. Para que exista arrastre el cuerpo debe estar en contacto con el fluido. Debe haber un movimiento relativo entre el fluido y el sólido. Siendo una fuerza, el arrastre es un vector que va en la dirección contraria al movimiento del cuerpo.

Existen muchos factores que afectan la magnitud del arrastre. La magnitud de la sección efectiva de impacto y la forma de la superficie. Un efecto que produce arrastre es el de roce aerodinámico con la superficie llamado *efecto piel* entre las moléculas del aire y las de la superficie sólida. Una superficie muy suave y encerada produce menos arrastre por este efecto que una rugosa. A su vez este efecto depende de la magnitud de las fuerzas viscosas. A lo largo de la superficie se genera una *capa de borde* formada por moléculas de baja energía cinética y la magnitud de la fricción de piel depende de las características de esta capa. Se encuentra en la vecindad inmediata de la superficie del cuerpo.

Otro efecto muy importante es el de arrastre de forma. La forma de un cuerpo produce una determinada distribución de las presiones debido a las velocidades locales. Integrando estas presiones sobre toda la superficie del cuerpo obtendremos la fuerza de arrastre. Existen otros tipos de arrastre llamados *arrastres inducidos* que son producidos por la dinámica del flujo debido a la forma particular del cuerpo. Los vórtices que se producen en las puntas de las alas de los aviones generan este tipo de arrastre. Las alas muy cortas y anchas tienen grandes arrastres. La formación de ondas de choque al acercarse un cuerpo a la velocidad del sonido en el fluido es fuente también de resistencia al movimiento. Un cuerpo que se mueve en un fluido viscoso con velocidad constante debe estar sometido permanentemente a la acción de una fuerza. Para compensar el trabajo que sobre ella hace esta fuerza debe existir una disipación de energía. Esta resistencia que impide la aceleración del cuerpo se llama *fuerza de arrastre*. Es fundamentalmente la suma de dos fuerzas. La primera es la llamada *arrastre de forma* que resulta de los gradientes de presión que se forman en las partes traseras y delanteras de los cuerpos. La segunda es la *fricción de piel* o *arrastre viscoso*; el origen de esta fuerza se encuentra en las fricciones internas del fluido combinadas por la evidencia experimental que el fluido en contacto con el cuerpo se encuentra en reposo. Las moléculas casi en reposo cerca de la superficie frenan a otras que pasan cerca intercambiando momento. Estas interacciones se realizan dentro de *capas límites*.

# Coeficiente de arrastre (otras figuras)

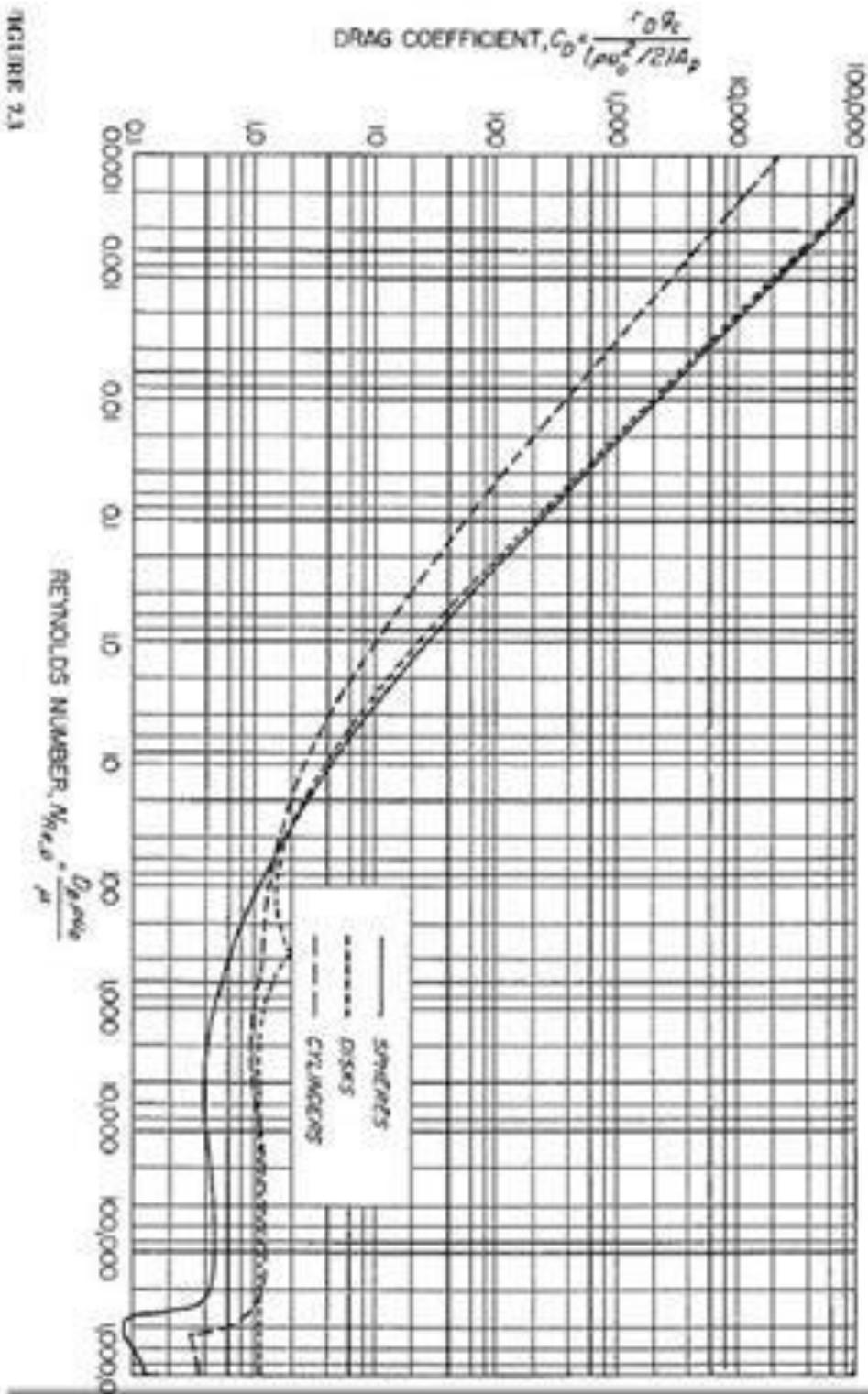


FIGURE 2.1



**CAPITULO 5****RESULTADOS****Tabla de registros y toma de muestras iniciando experimento**

Fecha	Especie	1ra. lectura	2da. lectura	3ra. lectura
16 de marzo	Blanco	309cm <sup>-1</sup> Long onda=.124nm	301Long onda=.123nm	306 Long. onda=.118nm
16 de marzo	girasol	300 Long. onda=.393nm	301Long.onda=207nm	302Long.onda=156nm
16 de marzo	frijol	309Long.onda=.391nm	307Long.onda=.364nm	304Long.onda=280nm
29 de marzo	Blanco	306Long.onda=.893nm	303Long.onda=861nm	301Long.onda=774nm
29 de marzo	girasol	309Long.onda=1.076nm	307Long.onda=.910nm	302Long.onda=.901nm
29 de marzo	Frijol*	306Long.onda=1.778nm	309Long.onda=.429nm	300Long.onda=.182nm
13 de abril	Blanco	307Long.onda=.836nm	302Long.onda=.686nm	309Long.onda=.682nm
13 de abril	girasol	303Long.onda=.331nm	306Long.onda=.242nm	301Long.onda=.579nm
13 de abril	frijol	304Long.onda=.648nm	308Long.onda=.551nm	302Long.onda=1.429nm

**Nota: El experimento #1, tiene una duración de 3 semanas 6 días. Del 16 de marzo al 13 de abril.**

\*Los datos de frijol, se tomaron días después, debido a que no arrojo datos confiables. (4 de abril). Observamos que esta especie tiene más desarrollo y durabilidad en el proceso, comparado con el girasol.

El experimento #2 se realizara con frijol únicamente, debido a las características antes mencionadas.

Se hace una tabla comparativa de las diferentes longitudes de onda, tomando como referencia la de 301 Longitud de onda. En los dos experimentos, concluyendo que si hay absorbancia y en algunas lecturas hay marcada diferencia, ya que se utilizó agua de lluvia y las condiciones climatológicas ayudaron al desarrollo de la plántula y por ende las raíces crecieron.

**Tabla comparativa, tomando como referencia la Long. De onda de 301.  
Tabla de registros y toma de muestras iniciando experimento**

Fecha	Especie	1ra. lectura	2da. lectura	3ra. lectura
16 de marzo	Blanco	309Long onda=.124nm	301Long onda=.123nm	306 Long. onda=.118nm
16 de marzo	girasol	300 Long. onda=.393nm	301Long.onda=207nm	302Long.onda=156nm
16 de marzo	frijol	309Long.onda=.391nm	307Long.onda=.364nm	304Long.onda=280nm
29 de marzo	Blanco	306Long.onda=.893nm	303Long.onda=861nm	301Long.onda=774nm
29 de marzo	girasol	309Long.onda=1.076nm	307Long.onda=.910nm	302Long.onda=.901nm
29 de marzo	Frijol*	306Long.onda=1.778nm	309Long.onda=.429nm	300Long.onda=.182nm
13 de abril	Blanco	307Long.onda=.836nm	302Long.onda=.686nm	309Long.onda=.682nm
13 de abril	girasol	303Long.onda=.331nm	306Long.onda=.242nm	301Long.onda=.579nm
13 de abril	frijol	304Long.onda=.648nm	308Long.onda=.551nm	302Long.onda=1.429nm

**Nota: El experimento #1, tiene una duración de 3 semanas 6 días. Del 16 de marzo al 13 de abril.**

\*Los datos de frijol, se tomaron días después, debido a que no arrojó datos confiables. (4 de abril). Observamos que esta especie tiene más desarrollo y durabilidad en el proceso, comparado con el girasol.

El experimento #2 se realizara con frijol únicamente, debido a las características antes mencionadas.

**Tabla comparativa. Tomando como referencia la Long. De onda desde 301**

Fecha	Especie	1ra. lectura	2da. lectura	3ra. lectura
16 de marzo	Blanco	301Long.onda=.123nm	301Long.onda=207nm	301Long.onda=.242nm
16 de marzo	Girasol	301Long.onda=.774nm	301Long.onda=.617nm	301Long.onda=NR
4 de abril	Frijol	301Long.onda=.845nm	302Long.onda=2.007nm	306Long.onda=1.776nm
29 de marzo	Girasol	302Long.onda=.901nm	NR	
13 de abril	Blanco	301Long.onda=.653nm	301Long.onda=.277nm	301Long.onda=.226nm
13 de abril	girasol	301Long.onda=.579nm		
13 de abril	frijol	301Long.onda=.355nm	301Long.onda=.466nm	301Long.onda=1.295nm

**Observaciones**

Se hace un comparativo con las lecturas obtenidas a lo largo del experimento #1, con las plántulas. Los contenedores tienen ciertas medidas y los niveles de inclinación varían en sus ángulos, aprox. 15°.

**Lecturas experimento #2. Inicia 20 de abril del 2018. Lectura #1, 25 de abril.**

Fecha	Contenedor1 BLANCO	Contenedor 2	Contenedor 3
25 de abril	301Long.onda=.014 nm	304Long.onda=1.811nm	303Long.onda=.804nm
25 de abril	307Long.onda=.307nm	308Long.onda=.504 nm	303Long.onda=1.172nm
25 de abril	307Long.onda=.375nm	308Long.onda=1.590 nm	309Long.onda=.856nm
8 de mayo	309Long.onda=.009nm	307long.onda=2.487 nm	304Long.onda=2.145nm
8 de mayo	304Long.onda=2.656nm	304Long.onda=2.700 nm	303Long.onda=1.654nm
8 de mayo	304Long.onda=1.588nm	309Long.onda=2.733 nm	304Long.onda=2.392nm
22 de mayo	303Long.onda=0.002nm	301 Long.onda=.224nm	309Long.onda=.190nm

**Comparativo con Longitud de onda 301**

Fecha	Contenedor1 Blanco	Contenedor 2	Contenedor 3
25 abril	301Long.onda= .014nm	301Long.onda= N.R	301Long.onda= .391nm
25 abril	301Long.onda= .215nm	301Long.onda= .155nm	301Long.onda= N.R
25 abril	301Long.onda= .051nm	301Long.onda= 1.032nm	301Long.onda= .155nm
8 mayo	301Long.onda= .008nm	301Long.onda= .566nm	301Long.onda= 1.032nm
8 mayo	301Long.onda= N.R	301Long.onda= 1.073nm	301Long.onda= .903nm
8 mayo	301Long.onda= 1.063nm	301Long.onda= .764nm	301Long.onda= 1.021nm
22 mayo	301Long.onda= .001nm	301Long.onda= .224nm	301Long.onda= .093nm
22 mayo	301Long.onda= .427nm	301Long.onda= .669nm	301Long.onda= 1.018nm
22 mayo	301Long.onda= .582nm	301Long.onda= .658nm	301Long.onda= .122nm

La tabla comparativa con la Longitud de onda 301, tomada como referencia, se tomó en base al experimento anterior. Cabe señalar que las condiciones climatológicas fueron mucho más calurosas y húmedas en este experimento. Aparecieron vestigios de plaga, la cual se eliminó con agua jabonosa, aunque las plantas ya se han desarrollado lo suficiente, las hojas muestran un color amarillento y algunas secas. Por lo tanto, se monitorean los tres contenedores y se agregan 20g de solución en 20 l de agua de lluvia, entre los 3 contenedores.

Nota: El experimento 2 concluyó el 22 de Mayo del 2018, con una duración de 4 semanas, 5 días. El clima a lo largo de este tiempo, fue caluroso, (30\*. Humedad relativa 60%); y en la última semana del 17 al 22, lluvioso, con H. relativa a 90% y Temp. Entre 21 y 27\*.

Se procedió a desmontar el sistema hidropónico, y las plántulas de los tres contenedores, se dejaron secar a temperatura ambiente, para posteriormente, se fragmentaron.

### Tablas de mediciones de raíces de frijol (23/Mayo/2018)

Contenedor #1. BLANCO

Espécimen	Longitud en cms.	Observaciones
1	17, 13, 11	Diminutas raíces, entrelazadas
2	10, 7, 8, 8	Tiene residuos de tallo
3	19, 6, 14, 8	Las pequeñas están adheridas
4	14, 4, 5	
5	11, 4, 16, 15	
6	19, 16, 6	En la mayoría de las raíces,
7	21, 8	Están entrelazadas y tienen
8	13, 10, 8, 11	Fragmentos y residuos de
9	11, 6, 9	Tallo de la plántula.
10	22, 7, 9	Adherida al poliuretano
11	17, 8, 12	Adherida lateralmente al
12	12, 5, 7, 12, 3	Poliuretano.
13	20, 11, 13	
14	18, 10, 6	

Tabla Contenedor #2. Cadmio (Cd)

Espécimen	Longitud raíz, en cms	Observaciones
1	4, 9, 3	Las raíces están adheridas
2	6, 3	Al poliuretano, por debajo y lateralmente; no fue posible medir
3	4, 6, 4	
4	5, 4, 4	Todas las raíces. Ya que se encontraron algunos residuos de polvo. Estaban adheridas y entrelazadas.
5	5, 7, 6	
6	6, 5	
7	4, 4	
8	10, 4, 4	
9	4, 4	
10	8, 6, 4	
11	7, 4, 4	
12	4, 4	
13	9, 4, 4	

Contenedor #3. Cobre (Cu)\*

Espécimen	Longitud raíz, en cms	Observaciones
1	27, 10, 23, 21	Mayor longitud y adherencia
2	16,8, 13, 9	
3	20, 14, 8, 18	
4	18, 22, 21, 15	Adherida
5	9, 11, 14, 8	
6	32, 25, 21, 7	Mayor longitud
7	10, 6, 12	
8	7, 3, 17, 10	
9	24, 31, 26, 28	Mayor longitud
10	19, 11, 23, 12	
11	24, 15, 16, 19	Enmarañada
12	6, 10, 23, 14	Adherida
13	23, 10, 14, 22	Adherida lateralmente
14	13, 15, 11, 6	Adherida y enmarañada
15	10,7	

**\*NOTA:** Se observó que en el contenedor #3 (Con cobre), las plántulas se desarrollaron más que en los otros contenedores, concluyendo que a cantidades óptimas, es beneficioso el Cu y no tan toxico, como el Cd del contenedor #2.

**BITACORA CULTIVO DE SEMILLAS DE FRIJOL Y GIRASOL**

FECHA	FRIJOL	GIRASOL	CANTIDAD	CONTENEDOR	DESARROLLO
23 feb	10	6	16	1 (mixto)	Siembra
23 feb	12	11		2	siembra
'23 feb	14	10		3	siembra
2 mzo	2	2	4	1	repuestos
2 mzo	2	5	7	2	repuestos
'2 mzo	1	2	3	3	repuestos

**Solución hidropónica 40 g en cada contenedor. Cambio de agua al contenedor #2. (Mzo 2). Agregue 20 g sol hidrop. (Mzo 7).**

FECHA	FRIJOL	GIRASOL	CANTIDAD	CONTENEDOR	DESARROLLO
28 feb	3			1 y 3	brotos
28 feb	2			mixto	brotos
5 mzo	2	3		2 y 3	3 cms y brote
7 mzo	5			1	5 cms
8 mzo	2	3		2 y 3	7 cms
9 mzo				1	11 cms

**14 de Marzo del 2018. Se añaden 2g de Cd (Cadmio) y 5 mg de Cu (Cobre) a los contenedores 2 y 3, y se monitoreara cada quincena, para observar la adsorción de los metales, con respecto al contenedor 1 (BLANCO, mixto con frijol y girasol).**

FECHA	FRIJOL	GIRASOL	CANTIDAD	CONTENEDOR	DESARROLLO
14 mzo		2	2	3	Brotos
21 mzo	2	3	5	2 y 3	Brotos
22 mzo		2	2	3	1 brote
29 mzo	5	2	7	1,	15 cms, 13 cms (Frijol)
29 mzo		6	13	2	Repuestos de girasol
2 abril	1	3		2 y 3	Repuestos ambas semillas
11 abril	10	15			Nueva siembra
13 abril	3	2	5	1	28,31,32cms (frijol), 10,13cms (girasol)

a	4	1	5	3	30,32,25cms. 8frijol) 8cms (girasol)
---	---	---	---	---	--

**2 de Abril, agregamos sol. Hidropónica 15g en 15L distribuidos en cada contenedor. En el contenedor #1 Blanco, se agregaron 9Lts aprox. Ya que es donde se observa menor cap. Volumétrica por la evaporación y el clima caluroso reinante en estos días. (27\* C Humedad relativa de 70% ).**

**Experimento 2. Inicia 20 de abril de 2018. Preparamos Sol. Hidropónica 40 g en 40 lts de agua (de lluvia). El clima esta húmedo y lluvioso. Temp. 19\* C, hora local 9:30.**

Fecha	Cantidad	Contenedor1 BLANCO	Contenedor2	Contenedor3	Desarrollo
20 abril	51	17	17	17	Nueva siembra
23 abril	42	16	14	12	Brotos
25 abril	42	16	14	12	Plántulas. Aprox. Entre 5 y 12 cms. de longitud
30 abril	44	14			Plántulas. Long. Aprox entre 10 y 25 cms.
30 abril			15		Long. aprox. entre 15 y 30 cms.
30 abril				15	Long. Aprox. Entre 12,15 y 30 cms.
3 mayo	46	14			Algunos brotes
3 mayo			16		Algunos brotes
3 mayo				*16	Algunos brotes
10 mayo	44	13		* 16	Longitud Entre 18, 20 y 26cms

10 mayo			15		Longitud Entre 20 y 30 cms.
10 mayo				*16	Longitud entre 22. 25 y 35cms

**\*Nota: La plántulas con Cu del contenedor 3, son las más desarrolladas, en comparación con el contenedor 2 con Cd y el contenedor 1 (blanco)**

### CALCULOS

Densidad ( $\rho$ )= 0.995 kg/m<sup>3</sup>

DATOS:

H<sub>2</sub>O  $\rho$  = 0.995 Kg/m<sup>3</sup>

Re = V.D.  $\rho$

Temp= 30\* C

Vel. Bomba chica= 150 lts/h

Calculo en el arreglo hidropónico

Flujo volumétrico

$Q = V \cdot A$

$D = 7 \text{ cms } \frac{(1 \text{ m})}{100\text{cms}} = 0.07 \text{ m.}$

$Q = 480 \frac{\text{lts}}{\text{Hr}} \frac{(10^{-3} \text{ m}^3)}{1\text{lt}} \frac{(1 \text{ hr})}{60\text{seg}} = 0.08 \text{ m}^3$

$Q = 0.08 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$

$V = Q/A$

$A = \pi \frac{D^2}{4} = \frac{(3.1416)}{4} \frac{(0.07)^2}{4} = \frac{(3.1416)}{4} \frac{(4.9 \times 10^{-3})}{4} = 3.88 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

**$A = 3.88 \times 10^{-3} \text{ m}^2$**

$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.08 \text{ m}^3}{\text{seg}}$

**$V = 20.61 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$**

$$\text{No. de Re} = \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} = \frac{(0.07 \text{ m}) (20.61 \text{ m}) (0.995 \text{ Kg})}{0.0897 \text{ Kg} \frac{\text{seg}}{\text{seg}}}$$

$$\text{No. de Re} = 16.52$$

Se concluyó que dentro del arreglo hidropónico (estructura de PVC) se presenta un flujo laminar, ya que estos flujos se manifiestan cuando  $\text{Re} \leq 2100$ .

Datos

$$\text{H}_2\text{O } \rho = 0.995 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{H}_2\text{O } \mu = 0.897 \text{ Kg/m} \cdot \text{seg}$$

$$V = 150 \text{ lts/hr}$$

$$D \text{ manguera} = 0.5 \text{ cms}$$

$$(0.5 \text{ cms}) \left( \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cms}} \right) = 5 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\text{Convirtiendo: } 150 \text{ lts} \left( \frac{10 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{1 \text{ Hr}} \right) \left( \frac{1 \text{ m}}{60 \text{ seg}} \right)$$

$$Q = 0.025 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Entonces:

$$A = \pi \frac{D^2}{4} = \frac{(3.1416) (5 \times 10^{-5})}{4} = 1.9635 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

Entonces:

$$V = Q/A = \frac{0.025 \text{ m}^3/\text{seg}}{1.9635 \times 10^{-5} \text{ m}^2} = 1.27 \times 10^3 \text{ m/seg}$$

$$\text{Re} = \frac{D \rho V}{\mu} = \frac{(5 \times 10^{-3} \text{ m}) (0.995 \text{ Kg/m}^3) (1.27 \times 10^3 \text{ m/seg})}{0.897 \text{ Kg/m} \cdot \text{seg}} =$$

$$\text{Re} = 7.043$$

Se concluye que el tipo de flujo que circula a través del depósito en la parte superior, hacia el arreglo hidropónico, contenía un volumen de 20 lts y circulaba a través de

una manguera de diámetro de  $5 \times 10^3$  y presenta una velocidad laminar, ya que  $Re \leq 2100$  es flujo laminar.

**Calculo del No. de Re, en el contenedor inferior, hacia el arreglo hidropónico**

$$Re = \frac{D V \rho}{\mu}$$

$$Q = V A$$

Datos:

$$1.5 \text{ cms} \cdot \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cms}} = 0.015 \text{ m}$$

D

=

1

.

5

c

m

s

Q

=

4

8

0

l

t

s

/

h

r

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{Q}{V} = \frac{480 \text{ lts}}{\text{hr}} \cdot \frac{10^{-3} \text{ m}^3}{1 \text{ lt}} \cdot \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ seg}} \quad Q = 0.08 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Re = \frac{D V \rho}{\mu} \quad A = \frac{(3.1416) (0.015 \text{ m})^2}{4} =$$

$$A = \frac{(3.1416) (2.25 \times 10^{-4} \text{ m}^2)}{4} =$$

$$A = 1.76715 \times 10^{-4}$$

$$Q = V A$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.08 \text{ m}^3/\text{seg}}{1.76715 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 452.71 \text{ m/seg}$$

$$V = 452.71 \text{ m/seg}$$

$$\text{Re} = \frac{D V \rho}{\mu} \quad \text{Re} = \frac{(0.015 \text{ m}) (452.71 \text{ m/seg}) (.995 \text{ Kg/m}^3)}{0.897 \text{ Kg/m}\cdot\text{seg}}$$

$$\text{Re} = 7.53 \text{ Flujo laminar}$$

## Fuentes bibliográficas

- NOM-001-SEMARNAT: descargas de aguas residuales a cuerpos de agua (y suelos bajo riego)
- 2. NOM-002-SEMARNAT: descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado y municipales
- 3. NOM-004-SEMARNAT SEMARNAT: Especificaciones de lodos y biosólidos
- 4. NOM-087-ECOL-SSA1-2002 (Residuos (Residuos peligrosos; peligrosos; clasificación y manejo).
- 5. NOM-147-SEMARNAT/SSA: 1-2004: Determinación de concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio.
  
- Redalyc. Revistas Ciencias marinas. Especiación de metales pesados en la fracción disuelta de las aguas superficiales de la cuenca baja y la pluma del Río Manzanares, Estado Sucre, Venezuela. cmarinas@uabc.mx
  
- Morton-Bermea, Ofelia. Contenido de metales pesados en suelos superficiales de la Ciudad de México Tip Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, vol. 9, núm. 1, 2006, pp. 45-47 Universidad Nacional Autónoma de México Distrito Federal, México.
  
- OLIVARES REUMONT, Susana NIVELES DE CADMIO, PLOMO, COBRE Y ZINC EN HORTALIZAS CULTIVADAS EN UNA ZONA ALTAMENTE URBANIZADA DE LA CIUDAD DE LA HABANA, CUBA Revista Internacional de Contaminación Ambiental, vol. 29, núm. 4, 2013, pp. 285-293 Universidad Nacional Autónoma de México Distrito Federal, México.
  
- Angélica Evelin Delgadillo-López, César Abelardo González-Ramírez, Francisco Prieto-García, José Roberto Villagómez-Ibarra and Otilio Acevedo-Sandoval. FITORREMEDIACIÓN: UNA ALTERNATIVA PARA ELIMINAR LA CONTAMINACIÓN.
  
- [www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188...de](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188...de) ÓR MANCILLA-VILLA - 2012 –
  
- [www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/29704](http://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/29704) de Ó Raúl - 2012 -

- Manejo de cultivo de frijol de temporal biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/944/152.pdf
- Análisis de la producción de frijol de temporal en el Distrito de Rio Grande, Zac. <https://chapingo.mx/revistas/revistas/articulos/doc/rga-1545.pdf>  
<https://www.gob.mx/cms/uploads/.../>
- Panorama Agroalimentario /Frijol 2016. [https://www.gob.mx/cms/uploads/.../Panorama Agroalimentario Frijol 2016](https://www.gob.mx/cms/uploads/.../Panorama_Agroalimentario_Frijol_2016)
- Plantas Hiperacumuladoras de metales pesados <https://es.scribd.com/doc/203544310/Plantas-Hiperacumuladoras-de-Metales-Pesados>
- La hidroponía, cultivos sin suelos <https://www.intagri.com/articulos/horticultura.../la-hidroponia-cultivos-sin-suelo>
- [https://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main\\_page=page&id=101](https://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=101) Que es el sistema NFT
- Curso Hidroponía. Biólogo Julio Contreras Yáñez.
- [noticiassaludables.com/mexico-metales-pesados-peligrosos/](http://noticiassaludables.com/mexico-metales-pesados-peligrosos/) METALES PESADOS EN MEXICO
- Astolfi, S., Zuchi S., Passera, C. (2004). Effects of cadmium on the metabolic activity of Avena sativa plants grown in soil or hydroponic culture. Biol. Plant, 48, 413-418.
- Shariatpanahi, M. and Anderson, A. 1986. Accumulation of Cadmium, Mercury and Lead by Vegetables Following Long-Term Land Application of Wastewater. Sci. Total Environ., 52 (1-2): 41-47.
- S. Tandy, R. Schulin, B. Nowack, The influence of EDDS on the uptake of heavy metals in hydroponically grown sunflowers, Chemosphere 62 (2006)1454–1463.
- I. Alkorta, J. Hernández-Allica, J.M. Becerril, I. Amezaga, I. Albizu, C. Garbisu, Recent findings on the phytoremediation of soils contaminated with environmentally toxic heavy metals and metalloids such as zinc, cadmium, lead and arsenic, Rev. Environ. Health 3 (2004) 71–90 [digital.csic.es/.../Acumulación%20y%20movilización%20de%20metales%20pesados..](http://digital.csic.es/.../Acumulación%20y%20movilización%20de%20metales%20pesados..)
- UV-VIS [https://www.espectrometria.com/espectrometra\\_ultravioleta-visible](https://www.espectrometria.com/espectrometra_ultravioleta-visible)

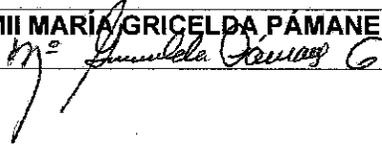
	Nombre del documento: Formato de Anteproyecto de Residencias Profesionales	Código: ITNL-AC-PO-007-01
	Referencia a la Norma ISO 9001:2008 7.5.1	Revisión: 8
		Página 1 de 2

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES**  
Anteproyecto de Residencia Profesional

CARRERA:	Ingeniería Ambiental
NOMBRE DEL RESIDENTE	Aida Victoria Camacho Anléhu
No. CONTROL	13480338
CORREO ELECTRÓNICO: avcam_@hotmail.com	TELÉFONO: 8183625241

NOMBRE DEL PROYECTO	Reducción de concentración de Cadmio (Cd) y Cobre (Cu) en sistema hidropónico utilizando Frijol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) y girasol ( <i>Helianthus annuus</i> )
---------------------	--

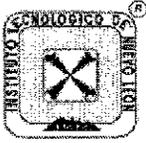
PERIODO DE REALIZACIÓN DE LA RESIDENCIA	enero-junio de 20__ año	agosto-diciembre de 20__ año
---	----------------------------	---------------------------------

EMPRESA / ORGANIZACIÓN / DEPENDENCIA	Instituto Tecnológico de Nuevo León, (ITNL)
NOMBRE Y FIRMA DEL ASESOR(A) EXTERNO	MII MARÍA GRICELDA PAMANES AGUILAR 
SELLO DE LA EMPRESA: (En caso de que no tenga sello deberá presentar la cédula (RFC) que nos indicará que está dada de alta)	

TIPO DE PROYECTO	
Sector social / productivo de bienes y servicios	Veranos científicos o de investigación
Evento Nacional de Innovación Tecnológica	Innovación y desarrollo tecnológico
Proyectos propuestos por la Academia	Diseño y construcción de equipo
Investigación	<input checked="" type="checkbox"/> Otros

RESUMEN DEL ANTEPROYECTO
Objetivo del Proyecto:
<ul style="list-style-type: none"> <li>Implementar la técnica de hidroponía por sistema NFT (Nutrient Film Technique)</li> <li>Cuantificar la concentración de metales pesados tales como Cadmio y cobre en Frijol y Girasol, con la finalidad de evaluar el poder de biorremediación de las plantas antes citadas</li> </ul>
Justificación:
Actualmente los sistemas hidropónicos son utilizados para cosechar hortalizas cuya finalidad es variada. Sin embargo, el presente trabajo de investigación pretende proponer el técnica de rizofiltración como técnica de biorremediación de ecosistemas contaminados por metales pesados, para ello se proponen las plantas de Gisrasol y frijol cultivado en hidroponía y en suelo sin restricciones de humedad y fertilidad. dicha comparación permitirá probar la bondad de la hidroponía, puesto que, frecuentemente, se señalan altos rendimientos con este sistema de cultivo, en especial en hortalizas. Un alto rendimiento de grano en un cultivo, de acuerdo con Yoshida (1972) puede lograrse mediante una apropiada combinación de la variedad, el ambiente y las prácticas agronómicas
Actividades:
Sembrar la semilla de frijol y la semilla de girasol, con la finalidad de que estas crezcan en un medio nutritivo hidropónico, posteriormente se realizarán las actividades de monitoreo de las plántulas y posterior a esto se dosificará en concentraciones conocidas la presencia de cadmio y cobre, para llevar a cabo los procesos de absorción y de adsorción en la raíz de ambas plántulas. Como parte de la caracterización fisicoquímica, se propone la técnica de Ultravioleta visible (UV-VIS)

ALCANCE DEL ANTEPROYECTO
Alcanzar el título de Ing. Ambiental por medio de proyecto de tesis.



**Nombre del documento: Formato de  
Anteproyecto de Residencias Profesionales**

**Código: ITNL-AC-PO-007-01**

**Revisión: 8**

**Referencia a la Norma ISO 9001:2008 7.5.1**

**Página 2 de 2**

**Aida Victoria Camacho Anléhu  
Nombre y firma del residente**

	<b>TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO</b> <b>INSTITUTO TECNOLÓGICO DE NUEVO LEÓN</b>	<b>Fecha de elaboración:</b> <b>2017-07-19</b>	
	<b>Formato para Carta de Presentación y Agradecimiento</b> <b>de Residencias Profesionales</b>	<b>Código:</b> <b>REG-8510-05</b>	<b>Revisión:</b> <b>1</b>

Departamento: GESTION TEC. Y VINC.

**ASUNTO: PRESENTACIÓN DEL ESTUDIANTE  
Y AGRADECIMIENTO**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE NUEVO LEÓN**  
**PRESENTE**

El Instituto Tecnológico de Nuevo León, tiene a bien presentar a sus finas atenciones al (la) C. AIDA VICTORIA CAMACHO ANLÉHU, con número de control 13480338 de la carrera de: Ingeniería Ambiental, quien desea desarrollar en ese organismo el proyecto de Residencias Profesionales, denominado "REDUCCIÓN DE CONCENTRACIÓN DE CADMIO Y COBRE EN SISTEMA HIDROPÓNICO UTILIZANDO FRIJOL Y GIRASOL" cubriendo un total de 500 horas, en un período de cuatro a seis meses.

Es importante hacer de su conocimiento que todos los estudiantes que se encuentran inscritos en esta institución cuentan con un seguro de contra accidentes personales con la empresa AXA SEGUROS, S.A. DE C.V., según póliza No. EH03346A e inscripción en el IMSS.

Así mismo, hacemos patente nuestro sincero agradecimiento por su buena disposición y colaboración para que nuestros estudiantes, aun estando en proceso de formación, desarrollen un proyecto de trabajo profesional, donde puedan aplicar el conocimiento y el trabajo en el campo de acción en el que se desenvolverán como futuros profesionistas.

Al vernos favorecidos con su participación en nuestro objetivo, sólo nos resta manifestarle la seguridad de nuestra más atenta y distinguida consideración.

**ATENTAMENTE**

  
**LIC. MARIA ARMANDINA RAMIREZ OROZCO**  
**Jefe del Departamento de Gestión Tecnológica y Vinculación**



SEP

TNM SES  
 INSTITUTO TECNOLÓGICO  
 DE NUEVO LEÓN  
 GESTIÓN TECNOLÓGICA  
 Y VINCULACIÓN



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
 TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
 INSTITUTO TECNOLÓGICO DE NUEVO LEÓN

SECRETARÍA DE  
 EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP  
 SECRETARÍA DE  
 EDUCACIÓN PÚBLICA

CLAVE PLANTEL: 19DIT0001Z  
 DEPENDENCIA: SERVICIOS ESCOLARES  
 OFICIO: SE-09999/2017  
 EXPEDIENTE: 13480338

ASUNTO: CONSTANCIA DE AVANCE

**A QUIEN CORRESPONDA:**

El que suscribe, Jefe del Departamento de Servicios Escolares de este Instituto Tecnológico, registrado en la Secretaría de Educación Pública SEP-210905-778, hace constar que la C.

**AIDA VICTORIA CAMACHO ANLEHU**

número de control 13480338, es alumna del periodo AGOSTO-DICIEMBRE/2017, cursando el semestre 9 de la carrera de INGENIERIA AMBIENTAL y a la fecha ha acreditado 203 créditos de un total de 260 que integran el plan de estudios IAMB-2010-206. Por lo que su porcentaje de avance es de 78.

A petición de la interesada y para los fines legales a que haya lugar, se extiende la presente en la ciudad de Guadalupe, N. L., a 13 de Septiembre de 2017.

ATENTAMENTE,

  
**MIA. RAUL ROCHA GARZA**  
 JEFE DEL DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES



SEP  
 T N M S E S  
 INSTITUTO TECNOLÓGICO  
 DE NUEVO LEÓN  
 SERVICIOS ESCOLARES

	<b>TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO</b> <b>INSTITUTO TECNOLÓGICO DE NUEVO LEÓN</b>	<b>Fecha de elaboración:</b> <b>2017-07-19</b>	
	<b>Formato de Seguimiento de Residencias Profesionales</b>	<b>Código:</b> REG-8510-08	<b>Revisión:</b> 1

Nombre del Residente:	Aida Victoria Camacho Anléhu	No. de Control:	13480338
Nombre del Proyecto:	Reducción de la concentración del Cd (Cadmio) y Cu (cobre) en sistema hidropónico utilizando semillas de frijol y girasol		
Programa Educativo (carrera)	Ingeniería Ambiental		
Período de realización de la Residencia (Enero-Junio 20__ ó Agosto-Diciembre 20__):	Agosto-Diciembre 2017		

**CALIFICACIÓN PARCIAL** (promedio de ambas evaluaciones)

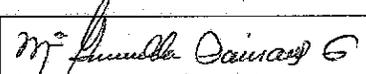
En qué medida el residente cumple con lo siguiente			
		Valor	Evaluación
Evaluación por el asesor externo	Asiste puntualmente en el horario establecido	5	
	Trabaja en equipo y comunica en forma efectiva (oral y escrita)	10	
	Tiene iniciativa para colaborar	5	
	Propone mejoras al proyecto	10	
	Cumple con los objetivos correspondientes al proyecto	15	
	Es ordenado y cumple satisfactoriamente con las actividades encomendadas en los tiempos establecidos	15	
	Demuestra liderazgo en su actuar	10	
	Demuestra conocimiento en el área de su especialidad	20	
	Demuestra comportamiento ético (es disciplinado, acata órdenes, respeta a sus compañeros de trabajo, entre otros)	10	
	<b>Calificación total</b>		<b>100</b>

Observaciones:

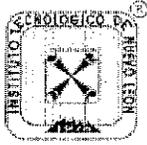
Nombre y firma del asesor externo	Sello de la empresa, organismo o dependencia	Fecha de Evaluación
-----------------------------------	--	---------------------

En qué medida el residente cumple con lo siguiente			
		Valor	Evaluación
Evaluación por el asesor interno	Asiste puntualmente a las reuniones de asesoría	10	10
	Demuestra conocimiento en el área de su especialidad	20	18
	Trabaja en equipo y se comunica en forma efectiva (oral y escrita)	15	12
	Es dedicado y proactivo en las actividades encomendadas	20	16
	Es ordenado y cumple satisfactoriamente con las actividades encomendadas en los tiempos establecidos	20	18
	Propone mejoras en el proyecto	15	15
<b>Calificación total</b>		<b>100</b>	<b>89</b>

Observaciones:

 M. Gricelda Pámanes Aguilar Nombre y firma del asesor interno	 SEP S. E. S. INSTITUTO TECNOLÓGICO DE NUEVO LEÓN DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Sello del Área Académica correspondiente	16- octubre 2017 Fecha de Evaluación
---	--	---

\*\*En caso de ser un proyecto interno solo evaluar la columna correspondiente.



**Nombre del documento: Formato de Seguimiento de Residencias Profesionales**

**Código: ITNL-AC-PO-007-06**

**Revisión: 8**

**Referencia a la Norma ISO 9001:2008 7.5.1**

**Página 1 de 1**

Nombre del Residente:	Aida Victoria Camacho Aniehu	No. de Control: 13480338
Nombre del Proyecto:	Reducción de la concentración de Cd cadmio y Cu cobre en sistema hidropónico utilizando semillas de frijol y girasol	
Programa Educativo (carrera)	Ingeniería Ambiental	
Periodo de realización de la Residencia (Enero-Junio 20__ ó Agosto-Diciembre 20__):	Agosto- Diciembre de 2017	

**CALIFICACIÓN PARCIAL** (promedio de ambas evaluaciones)

**En qué medida el residente cumple con lo siguiente**

		Valor	Evaluación
<b>Evaluación por el asesor externo</b>	<b>Criterios a evaluar</b>		
	Asiste puntualmente en el horario establecido	5	5
	Trabaja en equipo y comunica en forma efectiva (oral y escrita)	10	10
	Tiene iniciativa para colaborar	5	5
	Propone mejoras al proyecto	10	10
	Cumple con los objetivos correspondientes al proyecto	15	15
	Es ordenado y cumple satisfactoriamente con las actividades encomendadas en los tiempos establecidos	15	15
	Demuestra liderazgo en su actuar	10	10
	Demuestra conocimiento en el área de su especialidad	20	20
	Demuestra comportamiento ético (es disciplinado; acata órdenes, respeta a sus compañeros de trabajo, entre otros)	10	10
<b>Calificación total</b>		100	100

Observaciones: \_\_\_\_\_

Nombre y firma del asesor externo	Sello de la empresa, organismo o dependencia	Fecha de Evaluación
-----------------------------------	--	---------------------

**En qué medida el residente cumple con lo siguiente**

		Valor	Evaluación
<b>Evaluación por el asesor interno</b>	<b>Criterios a evaluar</b>		
	Asiste puntualmente a las reuniones de asesoría	10	10
	Demuestra conocimiento en el área de su especialidad	20	18
	Trabaja en equipo y se comunica en forma efectiva (oral y escrita)	15	12
	Es dedicado y proactivo en las actividades encomendadas	20	16
	Es ordenado y cumple satisfactoriamente con las actividades encomendadas en los tiempos establecidos	20	18
Propone mejoras en el proyecto	15	15	
<b>Calificación total</b>		100	89

Observaciones: \_\_\_\_\_

 MII María Gracela Pamanes Aguilar Nombre y firma del asesor interno	 Sello del Área Académica correspondiente	01 diciembre de 2017 Fecha de Evaluación
--	--	---

\*\*En caso de ser un proyecto interno solo evaluar la columna correspondiente.



**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**  
**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE NUEVO LEÓN**

Fecha de elaboración:  
**2017-07-19**

**Formato de Seguimiento de Residencias Profesionales**

Código:  
**REG-8510-08**

Revisión: **1**

Nombre del Residente:	<b>AIDA VICTORIA CAMACHO ANLEHÚ</b>	No. de Control: <b>13480338</b>
Nombre del Proyecto:	<b>“Reducción de concentración de cadmio (Cd) y cobre (Cu), en sistema hidropónico utilizando frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) y girasol (<i>Helianthus annuus</i>)”</b>	
Programa Educativo (carrera):	<b>INGENIERÍA AMBIENTAL</b>	
Periodo de realización de la Residencia (Enero-Junio 20__ ó Agosto-Diciembre 20__):	<b>ENERO JUNIO 2018</b>	

**CALIFICACIÓN PARCIAL** (promedio de ambas evaluaciones)

En qué medida el residente cumple con lo siguiente			
Criterios a evaluar			
		Valor	Evaluación
Evaluación por el asesor externo	Asiste puntualmente en el horario establecido	5	5
	Trabaja en equipo y comunica en forma efectiva (oral y escrita)	10	10
	Tiene iniciativa para colaborar	5	5
	Propone mejoras al proyecto	10	10
	Cumple con los objetivos correspondientes al proyecto	15	15
	Es ordenado y cumple satisfactoriamente con las actividades encomendadas en los tiempos establecidos	15	15
	Demuestra liderazgo en su actuar	10	10
	Demuestra conocimiento en el área de su especialidad	20	20
	Demuestra comportamiento ético (es disciplinado, acata órdenes, respeta a sus compañeros de trabajo, entre otros)	10	10
	<b>Calificación total</b>		<b>100</b>

Observaciones:

<b>Dra. Beatriz Eugenia Moreno Mtz</b>	<b>Ingeniería Industrial</b>	<b>20 de Marzo de 2018</b>
Nombre y firma del asesor externo	Sello de la empresa, organismo o dependencia	Fecha de Evaluación

En qué medida el residente cumple con lo siguiente			
Criterios a evaluar			
		Valor	Evaluación
Evaluación por el asesor interno	Asiste puntualmente a las reuniones de asesoría	10	10
	Demuestra conocimiento en el área de su especialidad	20	20
	Trabaja en equipo y se comunica en forma efectiva (oral y escrita)	15	15
	Es dedicado y proactivo en las actividades encomendadas	20	20
	Es ordenado y cumple satisfactoriamente con las actividades encomendadas en los tiempos establecidos	20	20
	Propone mejoras en el proyecto	15	15
<b>Calificación total</b>		<b>100</b>	<b>100</b>

Observaciones:

<b>Dra. Beatriz Eugenia Moreno Mtz</b>	<b>Ingeniería Industrial</b>	<b>20 de Marzo de 2018</b>
Nombre y firma del asesor interno	Sello del Área Académica correspondiente	Fecha de Evaluación

**\*\*En caso de ser un PROYECTO INTERNO "ITNL" el asesor interno deberá realizar las 2 evaluaciones que aparecen en el formato y SOLO COLOCAR SU NOMBRE Y FIRMAR EN EL RECUADRO DE ASESOR INTERNO. (NO firmar en el recuadro de asesor externo).**



**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**  
**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE NUEVO LEÓN**

Fecha de elaboración:  
 2017-07-19

**Formato de Seguimiento de Residencias Profesionales**

Código:  
 REG-8510-08

Revisión: 1

Nombre del Residente:	AIDA VICTORIA CAMACHO ANLEHÚ	No. de Control: 13480338
Nombre del Proyecto:	"Reducción de concentración de cadmio (Cd) y cobre (Cu), en sistema hidropónico utilizando frijol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) y girasol ( <i>Helianthus annuus</i> )"	
Programa Educativo (carrera)	INGENIERIA AMBIENTAL	
Periodo de realización de la Residencia (Enero-Junio 20__ ó Agosto-Diciembre 20__):	ENERO JUNIO 2018	

**CALIFICACIÓN PARCIAL** (promedio de ambas evaluaciones)

En qué medida el residente cumple con lo siguiente			
Criterios a evaluar		Valor	Evaluación
Evaluación por el asesor externo	Asiste puntualmente en el horario establecido	5	5
	Trabaja en equipo y comunica en forma efectiva (oral y escrita)	10	10
	Tiene iniciativa para colaborar	5	5
	Propone mejoras al proyecto	10	10
	Cumple con los objetivos correspondientes al proyecto	15	15
	Es ordenado y cumple satisfactoriamente con las actividades encomendadas en los tiempos establecidos	15	15
	Demuestra liderazgo en su actuar	10	10
	Demuestra conocimiento en el área de su especialidad	20	20
	Demuestra comportamiento ético (es disciplinado, acata órdenes, respeta a sus compañeros de trabajo, entre otros)	10	10
	<b>Calificación total</b>		<b>100</b>

Observaciones:

Dra. Beatriz Eugenia Moreno Mtz	Ingeniería Industrial	7 de mayo de 2018
Nombre y firma del asesor externo	Sello de la empresa, organismo o dependencia	Fecha de Evaluación

En qué medida el residente cumple con lo siguiente			
Criterios a evaluar		Valor	Evaluación
Evaluación por el asesor interno	Asiste puntualmente a las reuniones de asesoría	10	10
	Demuestra conocimiento en el área de su especialidad	20	20
	Trabaja en equipo y se comunica en forma efectiva (oral y escrita)	15	15
	Es dedicado y proactivo en las actividades encomendadas	20	20
	Es ordenado y cumple satisfactoriamente con las actividades encomendadas en los tiempos establecidos	20	20
	Propone mejoras en el proyecto	15	15
<b>Calificación total</b>		<b>100</b>	<b>100</b>

Observaciones:

Dra. Beatriz Eugenia Moreno Mtz	Ingeniería Industrial	7 de mayo de 2018
Nombre y firma del asesor interno	Sello del Área Académica correspondiente	Fecha de Evaluación

**\*\*En caso de ser un PROYECTO INTERNO "ITNL" el asesor interno deberá realizar las 2 evaluaciones que aparecen en el formato y SOLO COLOCAR SU NOMBRE Y FIRMAR EN EL RECUADRO DE ASESOR INTERNO. (NO firmar en el recuadro de asesor externo)**

	<b>Nombre del documento: Formato para Asignación de Asesor Interno de Residencias Profesionales</b>	<b>Código: ITNL-AC-PO-007-02</b>
	<b>Referencia a la Norma ISO 9001:2008 7.5.1</b>	<b>Revisión: 8</b> <b>Página 8 de 8</b>

Departamento: INGENIERÍA INDUSTRIAL  
 No. Oficio: 008/17  
 Fecha: 21 de Agosto de 2017

**ASUNTO: Asesor interno de Residencias Profesionales.**

**C. M.II. MARÍA GRICELDA PÁMANES AGUILAR**  
**CATEDRÁTICO DEL I.T. DE NUEVO LEÓN**  
**P R E S E N T E.**

Por este conducto informo a usted que ha sido asignado para fungir como Asesor Interno del Proyecto de Residencias Profesionales que a continuación se describe:

a) Nombre del Residente:	AIDA VICTORIA CAMACHO ANLEHU	13480338
b) Carrera:	INGENIERIA AMBIENTAL	
c) Nombre del Proyecto:	REDUCCIÓN DE CONCENTRACIÓN DE CADMIO Y COBRE EN SISTEMA HIDROPÓNICO UTILIZANDO FRÍJOL Y GIRASOL	
d) Periodo de Realización	AGOSTO – DICIEMBRE 2017	
e) Empresa	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE NUEVO LEÓN	

Así mismo, le solicito dar el seguimiento pertinente a la realización del proyecto aplicando los lineamientos establecidos para ello, en el procedimiento del SGC para Residencias Profesionales.

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestro estudiantado.

Atentamente.  
 “Ciencia y Tecnología al Servicio del Hombre”

M.C. BIOL. RODOLFO MAJERA SÁNCHEZ  
 Jefe del Departamento de Ingeniería Industrial



SEP  
 INM SES  
 INSTITUTO TECNOLÓGICO  
 DE NUEVO LEÓN  
 DEPTO. DE INGENIERÍA  
 INDUSTRIAL

c.c.p. Coordinación de Carrera  
 c.c.p. Expediente



**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE NUEVO LEÓN**

Fecha de elaboración:  
2017-07-19

**Formato de Acta de Evaluación Final del Reporte  
Residencia Profesional**

Código:  
Reg-8510-06

Revisión: 1

Nombre del Residente:	Aida Victoria Camacho Anlehu	No. de Control:	13480338
Nombre del Proyecto:	<b>“Reducción de concentración de cadmio (Cd) y cobre (Cu), en sistema hidropónico utilizando frijol (Phaseolus vulgaris) y girasol (Helianthus annuus)”</b>		
Programa Educativo (carrera)	Ingeniería Ambiental		
Periodo de realización de la Residencia (Enero-Junio 20__ ó Agosto-Diciembre 20__):	Enero junio 2018.		

**CALIFICACIÓN FINAL** (promedio de ambas evaluaciones)

En qué medida el residente cumple con lo siguiente			
Criterios a evaluar		Valor	Evaluación
Evaluación por el asesor externo	Portada	2	2
	Agradecimiento	2	2
	Resumen	2	2
	Índice	2	2
	Introducción	2	2
	Problemas a resolver, priorizándolos	5	5
	Objetivos	5	5
	Justificación		
	Marco teórico (fundamentos teóricos)	10	10
	Procedimiento y descripción de las actividades realizadas	5	5
	Resultados, planos, gráficas, prototipos, manuales, programas, análisis estadísticos, modelos matemáticos, simulaciones, normativas, regulaciones y restricciones, entre otros. Solo para proyectos que por su naturaleza lo requieran: estudio de mercado, estudio técnico y estudio económico	45	45
	Conclusiones, recomendaciones y experiencia profesional adquirida	15	15
	Competencias desarrolladas y/o aplicadas	3	3
	Fuentes de información	2	2
<b>Calificación total</b>		<b>100</b>	<b>100</b>

Observaciones:

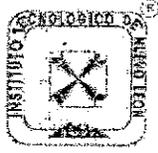
Dra. Beatriz Eugenia Moreno Martínez Nombre y firma del asesor externo	Sello de la empresa, organismo o dependencia	11 de JUNIO DE 2018 Fecha de Evaluación
---	--	--

En qué medida el residente cumple con lo siguiente			
Criterios a evaluar		Valor	Evaluación
Evaluación por el asesor interno	Portada	2	2
	Agradecimientos	2	2
	Resumen	2	2
	Índice	2	2
	Introducción	2	2
	Problemas a resolver, priorizándolos	5	5
	Objetivos	5	5
	Justificación		
	Marco teórico (fundamentos teóricos)	10	10
	Procedimiento y descripción de las actividades realizadas	5	5
	Resultados, planos, gráficas, prototipos, manuales, programas, análisis estadísticos, modelos matemáticos, simulaciones, normativas, regulaciones y restricciones, entre otros. Solo para proyectos que por su naturaleza lo requieran: estudio de mercado, estudio técnico y estudio económico	45	45
	Conclusiones, recomendaciones y experiencia profesional adquirida	15	15
	Competencias desarrolladas y/o aplicadas	3	3
	Fuentes de información	2	2
<b>Calificación total</b>		<b>100</b>	<b>100</b>

Observaciones:

Dra. Beatriz Eugenia Moreno Martínez Nombre y firma del asesor interno	TNM SEP SES	11 de JUNIO DE 2018 Fecha de Evaluación
---	-------------	--

**\*\*Considerar los criterios a evaluar que correspondan a cada programa educativo y de acuerdo a la naturaleza del proyecto**  
**\*\*En caso de ser un PROYECTO INTERNO "ITNL" deberá realizar las 2 evaluaciones (asesor externo e interno) que aparecen en el formato y solo colocar su nombre y firmar en el recuadro de ASESOR INTERNO.**



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE NUEVO LEÓN

Fecha de elaboración:  
2017-07-19

Formato de Cancelación, Extensión o Cambio de  
Nombre de Proyecto de Residencia Profesional

Código: REG-8510-09  
Revisión: 1

JEFATURA DE DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
Presente.-

AT'N. SERVICIOS ESCOLARES

Formato de  
Cancelación, Extensión o Cambio de Nombre de Proyecto de Residencia Profesional

Fecha: 01 DICIEMBRE DEL 2017

1.- Nombre de la estudiante: AIDA VICTORIA CAMACHO ANLEHU.

No. Control: 13480338 Carrera: ING. AMBIENTAL

2.- Nombre del proyecto: REDUCCION DE CONCENTRACION DE CADMIO (Cd) y COBRE (Cu) EN SISTEMA HIDROPONICO UTILIZANDO SEMILLAS DE FRIJOL Y GIRASOL

3.- Nombre del empresa: ITNL

4.- Desviaciones observadas (marca con una X):  
Cancelación del proyecto: \_\_\_\_\_  
Extensión de tiempo:  \_\_\_\_\_  
Cambio de nombre del proyecto: \_\_\_\_\_

(Si cambió el nombre del proyecto poner el nombre actual en la justificación)

5.- Período (indicar el semestre de la cancelación o de la extensión de tiempo):

JUSTIFICACIÓN:  
FALTAN ANALISIS DE LABORATORIO EN UV-VIS Y ESTRUCTURA. ASI MISMO SE SOLICITA EL CAMBIO DE ASESOR INTERNO DEBIDO A QUE EL PROYECTO REQUIERE DE MAS TIEMPO DE INVESTIGACION

Firma del estudiante [Firma]

6.- Autorización:

Nombre y Firma Sello  
M<sup>te</sup> Graciela Pamanes Aguilar

Asesor Interno: MA. GRACIELA PAMANES AGUILAR

Asesor Externo: Dra. Beatriz Eugenia Moreno Mtz. [Firma]

Vo. Bo. Jefe de Carrera del ITNL: BIÓLOGO RODOLFO NASERA SANCHEZ