



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**DETECCIÓN DE URANIO Y TORIO EN RÁBANOS DEL  
ÁREA DE XOCHIMILCO**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
QUÍMICO DE ALIMENTOS**

**PRESENTA**

**LEÓN MENA OSCAR ALEJANDRO**

**TUTOR DE TESIS**

**JUÁREZ SÁNCHEZ FAUSTINO**



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx.**

**2017**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

*Tenemos que obligar a la realidad a que responda a nuestros sueños, hay que seguir soñando hasta abolir la falsa frontera entre lo ilusorio y lo tangible, hasta realizarnos y descubrir que el paraíso perdido está ahí, a la vuelta de la esquina.*

*Julio Cortázar, 1964.*

## **AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS**

Agradezco y dedico este trabajo en este trabajo en especial mis padres por el apoyo incondicional, que durante todo el tiempo de estudiante han estado conmigo, en todo momento que he necesitado de ustedes siempre han estado con su presencia, consejos y cariño. Nunca pensé llegar tan lejos y gracias a ustedes a no dejarme caer mientras todo rededor se va abajo. Me han enseñado la mayor parte de mis valores y principios que hoy me hacen un profesionista. A mis hermanos que he incomodado bastante y con quienes he convivido en mis diferentes etapas de mi existencia.

Su apoyo que generaron en mi desde sus experiencias y opiniones, son parte de mis salidas de todo el mal que pueda tener en mi vida.

Doy un agradecimiento a mi pareja Montserrat con la que he recorrido la mayor parte de la carrera y fue un impulso para concluirla, durante todo el tiempo me produjo confianza en mí.

Siempre generaste en mi la esperanza de un futuro común, no importa hasta donde lleguemos fuiste un pilar para crecer durante mi carrera y esta etapa, falta concluir la tuya.

A mis amigos que siempre me ayudaron en clases, temas escolares y personales, que dejaban de lado un momento las actividades por presentarse conmigo. Es muy breve la cantidad de amigos que están presentes en mi vida pero la amistad que me ofrecen es basta. Espero que este sea nuestro semestre.

Daniel: Eres el amigo que más aprecio porque cuando te he necesitados siempre has aparecido de manera incidental, nunca cuando he querido pero siempre cuando he necesitado a un compañero.

Memo: Has estado presente como uno de mis mejores amigos, en momentos difíciles estuviste presente y muy pocas veces me han servido tus consejos pero me siento mucho estando contigo.

Pablo: Aunque es breve el tiempo que pasamos juntos has podido aclarar mi vida, convivir en tu casa con los chicos siempre hizo más llevadera todas las malas rachas.

**JURADO ASIGNADO:**

**Presidente:** Lucia Cornejo Barrera  
**Vocal:** Faustino Juárez Sánchez  
**Secretario:** Juan Diego Ortiz Palma  
**1er. Suplente:** Luis Alejandro Díaz Flores  
**2do. Suplente:** Elizabeth Reyes López

**SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:**

Laboratorio de radioactividad natural, Instituto de geofísica, UNAM.

**ASESOR DEL TEMA:**

Dr. Faustino Juárez Sánchez

---

**SUSTENTANTE:**

Oscar Alejandro León Mena

---

INDICE	Paginas
Introducción .....	8
Problemática.....	9
Objetivos .....	10
Justificación .....	10
Capítulo 1. Generalidades de rábano.....	11
Hortalizas de raíz .....	11
Rábano (Raphanus sativus L.) .....	11
Chinampas.....	13
Interfase suelo raíz .....	16
Flujo de masa .....	17
Difusión.....	17
Intercepción con la raíz.....	18
Metales pesados .....	18
Capítulo 2. Generalidades de Uranio y Torio .....	20
Uranio .....	20
Torio .....	21
Absorción de Uranio y Torio en plantas.....	22
Fuentes de contaminación de vegetales por Uranio y Torio. ....	24
Fertilizantes.....	24
Obtención de fertilizantes fosfatados .....	25
Espectroscopia de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) .....	27
Capítulo 3. Metodología experimental.....	31
Investigación bibliográfica .....	32
Selección de muestra.....	32
Tratamiento de las muestras .....	33
División del rábano .....	33
Preparación de la muestra. ....	33
Curva patrón.....	34
Capítulo 4. Resultados.....	36
Capítulo 5. Análisis de resultados.....	39
Conclusiones .....	44

Bibliografía .....	45
Anexos.....	48
Anexo A.....	48



## Introducción

En la Ciudad de México, desde tiempo prehispánico, en los islotes creados por los aztecas, conocidas como chinampas, se cultivaron los productos agrícolas que dieron abasto a las necesidades alimenticias de la población.

Posteriormente durante la colonia, se redujo el área destinada a las chinampas con el drenado del gran lago de Tenochtitlan- Texcoco, quedando hasta nuestros días la parte de Xochimilco con una cantidad pequeña de chinampas.

Es en estos lugares en donde se continúa sembrando hortalizas y plantas de ornato. Dado el crecimiento de la población y la disminución de los terrenos de cultivo, es consecuente la reducción en producción de los productos agrícolas en general.

El método tradicional de cultivo en las chinampas involucraba la extracción de lodos de los mismos canales que rodean las chinampas para su uso como enriquecimiento a los cultivos, sin embargo, el desarrollo inmobiliario de la zona, ha producido una alta contaminación de los canales de agua y en consecuencia de los lodos depositados en los mismos, lo que ha llevado a la disminución en la calidad de los nutrientes de dichos lodos, por lo que los campesinos han preferido el uso de fertilizantes inorgánicos los cuales traen consigo trazas de elementos pesados que pueden llegar a ser absorbidos por muchas especies de cultivos.

En México, como en otros países, el consumo de hortalizas se ha incrementado significativamente debido a cambios y nuevos hábitos en la alimentación, este cambio no considera la contaminación natural o antropogénica que pueden asimilar estos productos agrícolas, en el caso de los rábanos, el consumo de estos es generalizado en la población haciendo de ellos un ingrediente tradicional que acompaña a una gran variedad de platillos tradicionales mexicanos.

La presencia de algunos elementos contaminantes, entre los que se encuentran los metales pesados, que se introducen en los ciclos biogeoquímicos a partir de procesos naturales tales como: erupciones o intemperización de rocas y minerales, o de forma antropogénica mediante el uso de fertilizantes, produce que la

concentración natural se incrementa y con ello el riesgo de una posible afectación a los consumidores de estos productos (animales o personas). (Figueruelo & Dávila, 2001).

Se conoce por estudios previamente realizados que algunos metales pesados pueden ser causantes de enfermedades e incluso cambios mutagénicos, por lo que se han elaborado leyes que controlan y regulan la presencia de estos metales pesados, así se tiene que las principales fuentes de contaminación del suelo con metales pesados, de acuerdo con el artículo 6º del Reglamento de la ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, se pueden dividir en:

- Fuentes naturales o endógenas, y se refiere a todos los procesos o fenómenos que se presentan en el suelo, como eventos meteorológicos, geológicos o edafológicos que provocan que los metales contenidos en el material original, queden disponibles para los organismos del suelo, superando las concentraciones iniciales y llegando a concentraciones tóxicas.
- Fuentes exógenas o antropogénicas, como su nombre lo indica, son resultado de las actividades humanas.

## **Problemática**

La incidencia de enfermedades o padecimientos asociados al consumo de productos con contenidos elevados de metales pesados como lo son el uranio y torio, representan un gran riesgo que a largo plazo pueden manifestarse los efectos de los mismos con daños irreversibles o de difícil tratamiento como el cáncer y afectaciones renales, por lo cual es necesario determinar la presencia de estos elementos en productos agrícolas de consumo directo como lo es el rábano.

## Objetivos

- Detectar la ausencia o presencia de uranio y torio en las diferentes secciones de rábano (raíz-interfase-cuerpo-piel-hojas).
- En caso de presentarse uranio y/o torio cuantificar su contenido y distribución en las chinampas seleccionadas del área de Xochimilco, Ciudad de México.

## Justificación

El consumo de rábano por parte de la población es generalizado, pero como sucede en otros productos agrícolas, en México no está regulado el contenido de metales pesados por lo cual es importante realizar un estudio de este tipo ya que las fuentes de los metales pesados pueden ser variados incluyendo las fuentes de agua de riego como son las provenientes de las plantas tratadoras Cerro de la Estrella y San Luís Tlaxialtemalco, que son las encargadas de suministrar agua a los canales de Xochimilco, que además contiene materiales tóxicos como compuestos orgánicos, sintéticos y sales disueltas (Sánchez G., 1980).

Por lo antes expuesto se definió que una de las repercusiones más importantes que generar el riego con efluentes tratados (por alto contenido de metales pesados), es la posibilidad de su transferencia a la cadena alimenticia, por la acumulación en los vegetales regados con aguas negras (Vega Rojas , 2010).

También otra situación que pone en riesgo la salud de los consumidores de hortalizas es el uso desmedido de abonos y fertilizantes químicos que son utilizados con la finalidad de minimizar los tiempos de cosecha logrando así una mayor producción.

## **Capítulo 1. Generalidades de rábano**

### **Hortalizas de raíz**

En las hortalizas de raíz, esta estructura se encuentra muy desarrollada, que actúa como órgano de reserva y tiene la capacidad de dar origen a otra planta si se deja en el suelo. El producto se utiliza en la fase vegetativa y juvenil de la planta, en su etapa de senescencia su calidad disminuye a medida que se aproxima a la floración que tiene lugar en el mismo año, con el tiempo la pulpa de la raíz se va haciendo fibrosa, seca, insípida o agria. En este grupo se encuentran el rábano (Flores Luis & Narvaez Narvaez, 2015).

### **Rábano (*Raphanus sativus* L.)**

El rábano es un cultivo hortícola de rápida maduración que puede ser cultivado tanto en suelos minerales como orgánicos. El producto comestible de esta especie es su raíz engrosada de color rojizo, rosa, blanco o combinado, que se consume fresca en ensaladas la que generalmente alcanza su tamaño a cosecha aproximadamente 20 o 30 días después de haber sido sembrado. No alcanza importancia significativa económica en nuestro país como la de otras hortalizas pero sí es de las más conocidas y más populares en la gastronomía de platillos mexicanos.

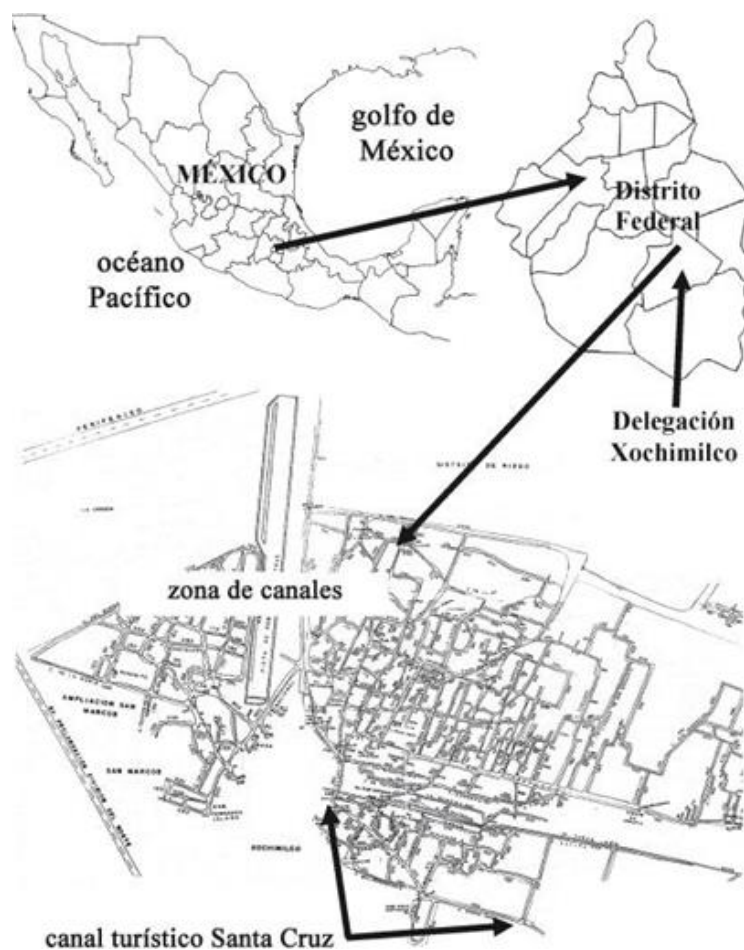
La importancia estriba en su utilización como alimento en ensalada o en encurtidos, además posee principios sulfurados que promueven el apetito (Laguna & Cisne, 2001).

Los rábanos son poco exigentes al tipo de clima y pueden sembrarse durante todas las épocas del año. Pueden cultivarse en clima frío como en cálido, el suelo debe ser suelto arenoso pero con suficiente material orgánico, requiere abundante humedad para un crecimiento rápido (Rosales. , 2004).

En México el cultivo de rábano data de épocas muy antiguas posteriores a la conquista, en las cuales se sembraba todo el año por medio del sistema de chinampas, en la actualidad se siembra en muchas regiones del país, su cultivo

sigue teniendo presencia en la Ciudad de México, en la zona de Xochimilco, manteniendo su forma de cultivo en las chinampas.

Una de las delegaciones con mayor producción de rábano es Xochimilco, aunque su extensión agrícola se ha visto reducida a la zona chinampera que es un área mínima en comparación con otras delegaciones, el método de cultivo utilizado permite en poca extensión de tierra generar grandes cantidades de productos hortícolas y esto permite abastecer a la gran parte de la población de la Ciudad de México.



**Figura 1.** Mapa de la zona de canales de la delegación Xochimilco (Chavarria, et al., 2010)

A continuación se muestra la producción de rábano en la Ciudad de México del área estudiada, presentando de manera significativa su importancia agrícola.

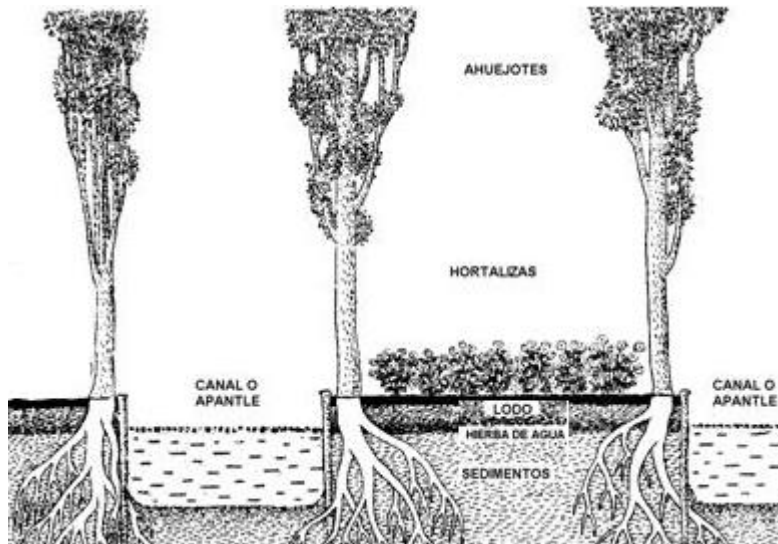
Municipio	Sup. Sembrada	Sup. Cosechada	Producción	Rendimiento	PMR	Valor Producción
	(Ha)	(Ha)	(Ton)	(Ton/Ha)	(\$/Ton)	(Miles de Pesos)
Tlalpan	20	20	137.9	6.9	6,976.79	962.1
Tláhuac	1	1	6.45	6.45	5,136.05	33.13
Xochimilco	9	9	57.5	6.39	7,045.11	405.09
	30	30	201.85	6.73	6,937.43	1,400.32

**Tabla 1.** Tomado de Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, México - © - 2014.

## Chinampas

El valle de México en época prehispánica era abundante en pantanos y humedales, esto originó la construcción de chinampas (islas artificiales), ya que no se tenía la suficiente área de tierra que permitiera llevar a cabo el cultivo para satisfacer las necesidades alimenticias de la población, en estas extensiones, los mexicas lograron cultivar y establecer sus viviendas.

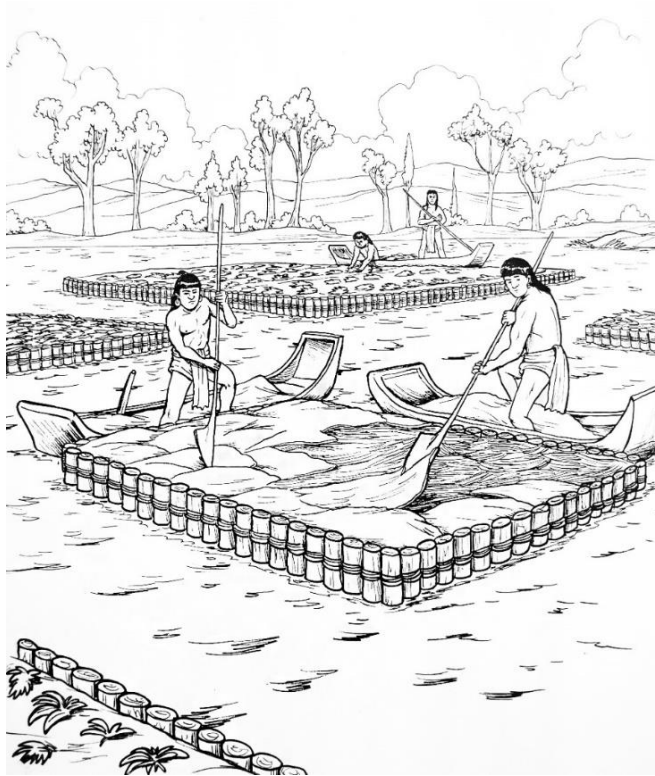
Las chinampas son una forma precolombina de agricultura donde los sedimentos de los canales lacustres, troncos y pasto los cuales se apilan formando islotes que a su vez se encuentran rodeados por canales que proveen de agua a dicho islote.



**Figura 2.** Estructura de las chinampas (NeoMexicanismos, 2016)

Para la construcción de una chinampa comienza ubicando puntos donde la profundidad del canal es baja, en este punto el área se delimita con ramas que sirven como postes o también utilizando carrizos espaciándolas entre 4 a 5 metros entre ellas. Posteriormente el área es rellena con lodo proveniente del fondo de los canales alternando con material orgánica (cañas, tule, lirio o desechos cultivos, madera), este relleno se apila hasta que sobresalga del nivel del agua. Con el lodo que se deposita en las orillas de las chinampas y con plantas acuáticas como el lirio, ninfas o tule, se hacen los almácigos (aglomeraciones de lodo y plantas), en donde se depositan semillas para su germinación y posterior traslado al terreno (Stephan-Otto, 1992).

Por último, alrededor de la chinampa se plantan ahuejotes (*Salix bonplandiana*) para dar soporte (González Carmona & Torres Valladares, 2004).



**Figura 3.** Construcción de chinampas (Olivares, 2017)

Una de las características de las chinampas es un alto rendimiento productivo en poco espacio (González Carmona & Torres Valladares, 2004).

En las chinampas el suelo fértil y agua en abundancia, sumados a la mano del agricultor, se convirtieron en un sistema de producción intensiva (Stephan-Otto, 1992).

La rotación es otra de las características chinamperas. Adquiere importancia ya que las diferentes especies aportan y extraen diferencialmente los nutrientes del suelo. Así, lo que una toma es provisión por otra, sin olvidar la continua aplicación de materia orgánica proveniente de las plantas acuáticas, el lodo, el estiércol y las compostas. Todavía más: la siembra combinada o asociada también beneficia al suelo y facilita el control de plagas (Stephan-Otto, 1992), sin embargo en los últimos años la necesidad de tener un mayor rendimiento en menor tiempo ha provocado el uso de mejoradores de tierra (fertilizantes y plaguicidas) impactando negativamente el sistema ambiental y alterando las condiciones físicas y químicas del suelo generando un daño a los cultivos.



Los elementos presentes en una chinampa están ligados estrechamente por eso cualquier alteración al agua, suelo, la flora, fauna y el manejo que dan los agricultores afectan de manera directa al sistema.

### **Interfase suelo raíz**

La movilidad de nutrimento del suelo hacia la planta, presenta dos fenómenos los cuales son: la disponibilidad de los nutrientes existentes en el suelo y la absorción de ellos por la planta.

La disponibilidad de nutrimento tiene características propias del tipo de suelo que se relacionan directamente con la biodisponibilidad hacia las plantas. Estas propiedades se dividen en condiciones químicas y posicionales. La condición química se relaciona con el contenido de los nutrimentos en el suelo y la naturaleza de sus enlaces químicos con otros iones que están en la matriz del suelo. La condición posicional está referida a la distribución de los nutrientes y su movilidad dentro del suelo (Gálvez Sandoval, 2003).

La conducción de nutrientes suelo-raíz es un proceso llamado flujo total de nutrientes el cual engloba el flujo de masas y difusión. En la absorción de nutrientes hay un intercambio suelo-raíz el cual hace disponible ciertos compuestos del suelo que son modificados por los exudados generados por la misma planta.

La absorción de agua desde el suelo hacia las raíces produce el transporte de nutrientes a través del flujo de masas. Esta absorción de nutrientes descompensa la solución del suelo alrededor de las raíces, por lo que se crea un gradiente de concentración desde el suelo hacia la raíz, alterando el equilibrio entre los iones disueltos en la solución del suelo y aquellos adsorbidos en la fase sólida del suelo (Gálvez Sandoval, 2003).

## **Flujo de masa**

Los compuestos son transportados en forma de iones a la raíz vía flujo de agua. Las plantas transpiran agua lo cual conlleva a la generación de un gradiente que permite el transporte de agua del suelo-raíz-planta.

Si los compuestos se encuentran en forma soluble en agua, serán absorbidos a través de la raíz. Este es un mecanismo importante por medio del cual la planta absorbe nutrientes o iones que son abundantes en el suelo. Los factores que influyen en el flujo de masa son la textura (poca humedad en el suelo disminuye el flujo de masa), el tamaño del sistema de raíces de la planta (profundidad, grosor), la temperatura del suelo (temperaturas frías reducen la transpiración de la planta) (Gálvez Sandoval, 2003).

## **Difusión**

La difusión es la migración espontánea de sustancias de regiones de alta concentración a regiones donde la concentración es más baja. La difusión iónica ocurre en la solución del suelo. Los iones disueltos en la solución del suelo se moverán de zonas de mayor concentración a zonas de menor concentración. El área alrededor de la raíz en una planta con crecimiento activo tiene una baja concentración de nutrientes, así que los nutrientes que se encuentran en la solución del suelo, migrarán hacia el área de la raíz. Los nutrientes que son absorbidos por las raíces de las plantas a través de este mecanismo son el potasio (K) y el fósforo (P), ambos son de baja solubilidad.

El principal factor que influye en la difusión es el gradiente de concentración. El gradiente de concentración es la relación de los compuestos o nutrientes en el suelo, y ésta dado la tortuosidad del suelo, el área de la raíz. La tortuosidad es el camino que los iones toman en la difusión. Una porosidad del suelo grande y una adecuada humedad hacen decrecer la tortuosidad, haciendo que la difusión sea más fácil y ocurra más.

A poros pequeños (suelos arcillosos) y reducida humedad, la tortuosidad se incrementa. La movilidad de los iones o átomos es afectada por la temperatura, el rango de difusión se hace mayor al incrementar la temperatura; así también, a bajas temperaturas la difusión se ve limitada. Las propiedades químicas y físicas del suelo también influyen en la movilidad de iones. A bajos pH la difusión de iones se da más rápidamente que en pH alcalinos (López Domínguez , 2009).

### **Intercepción con la raíz**

El continuo crecimiento de las raíces en el suelo favorece que en todo momento estén interaccionando con los nutrientes y compuestos del suelo durante todo el tiempo que la raíz este en crecimiento

La cantidad de nutrientes absorbidos por intercepción de raíz dependen del volumen de la raíz. Típicamente, no más del 1 % en volumen del suelo está en contacto por las raíces. Los nutrientes como el calcio y el magnesio son comúnmente absorbidos por intercepción con la raíz. La micorriza puede incrementar la superficie de área de las raíces y elevar para la sorción de nutrientes por este mecanismo (López Domínguez , 2009).

### **Metales pesados**

Los metales pesados son los elementos metálicos con peso atómico mayor al del hierro (55,85 g/mol), en total son 59 elementos. Al hacer esta consideración, quedarían fuera numerosos metales con pesos atómicos inferiores que con frecuencia pueden ser metales contaminantes como el Mn (54,44 g/ mol) o el Cr (52,01 g/mol) y otros elementos contaminantes que no son metales como As, F y P. Por ello, se considera mejor hablar de elementos traza para todos aquellos elementos metálicos y no metálicos que pueden constituirse como contaminantes en un suelo, ya que, aunque hay que reconocer que la mayoría de los contaminantes inorgánicos son «metales pesados», a veces, la contaminación del suelo se puede producir por altas concentraciones de otros elementos mayoritarios como Na, Fe o Al.

De todos los elementos traza encontrados en suelos, hay 17 que se consideran como muy tóxicos y a la vez fácilmente disponibles en muchos suelos en concentraciones que sobrepasan los niveles de toxicidad. Éstos son: Ag, As, Bi, Cd, Co, Cu, Hg, Ni, Pb, Pd, Pt, Sb, Se, Sn, Te, Tl y Zn. De ellos, diez son fácilmente movilizados por la actividad humana en proporciones que exceden en gran medida la de los procesos geológicos. Éste es el caso de: Ag, As, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Sn y Tl (Galán Huertos & Romero Baena, 2008)

## Capítulo 2. Generalidades de Uranio y Torio

### Uranio

El uranio está ampliamente disperso por toda la corteza terrestre, se presenta en su gran mayoría en estado no metálico. Es un elemento de mayor masa atómica que existe en la naturaleza encontrándose en bajas cantidades. Existe casi enteramente como  $^{238}\text{U}$  (99.27%) en su estado hexavalente ( $\text{U}^{6+}$ ), como  $^{235}\text{U}$  en cantidades menores (0,72%), y  $^{234}\text{U}$  en cantidades traza (0,0055%).

Generalmente se halla concentrado en rocas ígneas, especialmente en rocas con alto contenido en sílice, rocas metamórficas, granito, lignito y depósitos de fosfatos (Bonotto & Andrews, 2000).

El uranio está presente en un gran número de minerales por su polivalencia y su relativa solubilidad, presenta una gran afinidad por el oxígeno formando predominantemente el uranilo ion ( $\text{UO}_2$ )<sup>2+</sup> por lo que la gran mayoría de sus compuestos minerales presentan esta forma básica, pudiéndose coordinar con otros compuestos del medio presentes en suelos superficiales, sedimentos y sistemas acuosos lo que determina su movilidad, biodisponibilidad, absorción y toxicidad (Corrales González, 1981).

Dependiendo de su estado de oxidación el uranio puede manifestarse en dos formar minerales primarias y secundarias. A continuación se presentan las especies más comunes:

- Primarios: Estos provienen de reacciones hidrotermales, que provienen de capas de profundas de la corteza terrestre.

Uranita  $\text{UO}_2$ ;  $\text{UO}_3$  cristalino

Pechblenda  $\text{UO}_2$ ;  $\text{UO}_3$  variedad en mayor proporción

- Secundarios: Estos se han formado mediante la transformación de los minerales primarios, por reacciones llevadas a cabo de forma natural con elementos o compuestos del medio ambiente. Siendo más comunes las especies fosfatadas (Corrales González, 1981).

Torbernita:  $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2 (\text{PO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$

Autunita:  $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2 (\text{PO}_4)_2 \cdot 12-10 \text{H}_2\text{O}$

Zippeita:  $\text{K}_4(\text{UO}_2)_6 (\text{SO}_4)_3 (\text{OH})_{10} \cdot \text{H}_2\text{O}$

Cuando se incorporan especialmente en formas acuosas y dispuestas en el medio ambiente pueden alcanzar la parte superior de la cadena alimentaria y ser ingeridos por los seres humanos causando trastornos de salud tales como enfermedades renales o hepáticas e incluso la muerte (Favas, et al., 2016).

## **Torio**

El torio está ampliamente distribuido en el medio ambiente, en comparación del uranio la concentración del torio en la corteza terrestre es tres veces mayor se encuentra a niveles de agua, rocas, suelo, plantas y animales (Damas López, 2011). Es un elemento litófilo típico y su comportamiento geoquímico es muy similar a los elementos de tierras raras.

La cantidad de minerales que contienen torio es pequeña en comparación con el uranio, debido principalmente a que el torio no forma minerales secundarios, se presentan en Granitos y Pegmatitas lo mismo que en depósitos derivados de esas rocas.

El torio a comparación del uranio, se presenta en dos formas minerales:

- Torianita:  $\text{ThUO}_2$
- Torita:  $\text{ThSiO}_4$

La absorción que presenta en los vegetales depende de varios factores como lo son: especie de vegetal, el agua con que se riega y tipo de suelo, aunque se ha visto una concentración mucho mayor en raíces que en hojas y semillas.

Hasta ahora se sabe poco sobre la fitotoxicidad del torio. La toxicidad química de los actínidos puede ser similar a la de los metales pesados, sin embargo, una actividad ionizante asociada con la desintegración radiactiva puede resultar en efectos tóxicos (Shtangeeva, et al., 2005).

### **Absorción de Uranio y Torio en plantas.**

Las plantas y los metales interactúan dentro de un sistema abierto y complejo y existen tres factores que determinan la cantidad de un metal que una planta es capaz de absorber: las concentraciones y especies de metales presentes en la solución del suelo, el movimiento de la solución del suelo hacia las raíces de la planta y el transporte del metal de la superficie de la raíz al resto de la raíz y otros órganos de la planta (Bautista Villalobos, 2015).

Los radioisótopos terrestres más comunes son  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  y  $^{40}\text{K}$ . El comportamiento biogeoquímico de uranio y torio, ambos minerales son componentes de la biosfera, y por lo tanto se presentan naturalmente en todos los suelos y plantas, aunque sus concentraciones en las plantas pueden ser bastante bajas (Shtangeeva, 2010).

El estudio de la transferencia de U y Th del suelo a la vegetación comestible a través de la captación por la raíz es muy importante, especialmente considerando la acumulación de estos radionucleidos en las cadenas alimenticias. La comprensión de la movilidad de U y Th en los suelos y su transferencia a diferentes plantas requiere un conocimiento detallado de las interacciones U y Th con el suelo compuesto por componentes abióticos y bióticos.

A pesar de numerosos estudios sobre los contenidos de U y Th en la vegetación, hay poca información relacionada con la velocidad de su captación y almacenamiento por diferentes especies de plantas. Resultados experimentales previos demostraron que la distribución de U y Th en el suelo es altamente variable. Por ejemplo, las concentraciones de actividad de U en el suelo pueden variar alrededor de tres órdenes de magnitud dependiendo de varios factores y por lo tanto

la distribución entre las diferentes partes de la planta serán diferentes (Favas, et al., 2016).

La solubilidad y disponibilidad de los metales para dichas plantas depende de varios factores, estos pueden ser tanto físicos como químicos, entre los que se encuentran la concentración en la que están presentes, su especiación o estado de oxidación, la acidez o alcalinidad del suelo donde crecen, entre otros; siendo determinantes en los procesos de absorción de nutrientes y contaminantes en las plantas.

Generalmente lo que ocurre es que los metales son absorbidos en la planta en lugar de nutrientes esenciales y se acumulan en ella (proceso de translocación) a diferentes concentraciones y en diferentes órganos de la planta (hoja, tallo, raíces); un elemento puede variar su acumulación de una planta a otra, haciendo por ejemplo una acumulación mayor en hoja de cierto metal, a otra que lo hace mayormente en raíz del mismo elemento, esto ocurriendo sobre un mismo sustrato con idénticas condiciones para ambas (González Carmona & Torres Valladares, 2004).

Los efectos de la acumulación de U y Th sobre la distribución de otros oligoelementos y macronutrientes en las plantas puede generar un efecto tóxico para las plantas.

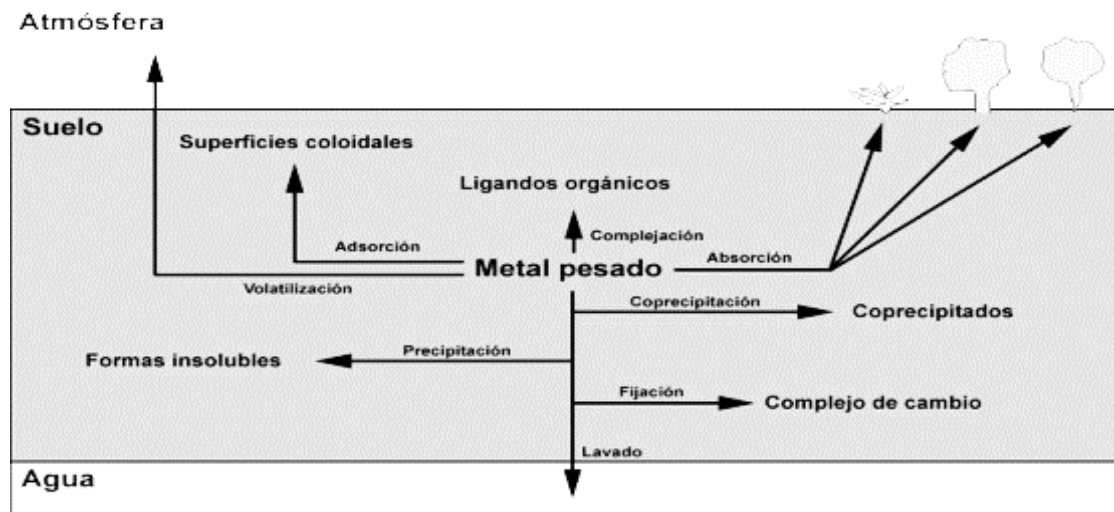


Figura 4. Movilidad de los metales pesados. (Hernández, 2009)



## **Fuentes de contaminación de vegetales por Uranio y Torio.**

La presencia de metales pesados como lo son uranio y torio en los suelos se debe a factores: geológicos y/o antropológicos. Los primeros dependen, en gran medida a su geodisponibilidad, que hace referencia a la porción de un elemento o compuesto que puede liberarse al suelo, por procesos mecánicos, químicos o biológicos. Pero la geodisponibilidad de los elementos de las rocas y su aportación al suelo es insignificante en comparación con las derivadas de las acciones antropogénicas.

La fuente principal de contaminación de metales pesados es el mal tratamiento y disposición final de aguas residuales, en la actualidad se usa la cuenca de Xochimilco como vertedero, esto afecta de manera directa ya que esas aguas son usadas para el riego de los cultivos.

La contaminación de cultivos no solo se da por el uso de aguas residuales sino también por otras prácticas como la siembra de monocultivos, que afecta al suelo por el empobrecimiento de la tierra, dado una misma especie tiende a absorber siempre los mismos nutrientes, lo que genera una baja fertilidad en la tierra y obliga a usar medios externos como lo son mejoradores de suelo que traen consigo elementos traza que son absorbidos por los vegetales.

## **Fertilizantes**

Las actividades agrícolas se han ampliado ampliamente durante las últimas décadas, dando lugar a un aumento del uso de fertilizantes químicos. Los radionúclidos naturales existen como impurezas en los fertilizantes químicos, especialmente fertilizantes fosfatados comúnmente recomendados para corregir las deficiencias fosfóricas.

Actualmente los fertilizantes químicos agrícolas, incluidos los abonos fosfatados, constituyen un componente esencial en las actividades agrícolas que contribuyen al aumento de la producción de los terrenos deficientes en nutrientes, sin embargo, un

posible efecto negativo de los fertilizantes fosfatados es la contaminación de las tierras cultivadas por metales traza y de origen natural (El-Taher & Althoyaib, 2012).

Los fertilizantes generalmente empleados en la agricultura contienen trazas de metales pesados, potasio y radionúclidos naturales, como el torio y el uranio y sus productos de descomposición. En el caso de los fertilizantes que contienen fosfato, se han informado en la literatura altas concentraciones de uranio (hasta cientos de ppm) (Makiko Yamazaki & Paulo Geraldo, 2003).

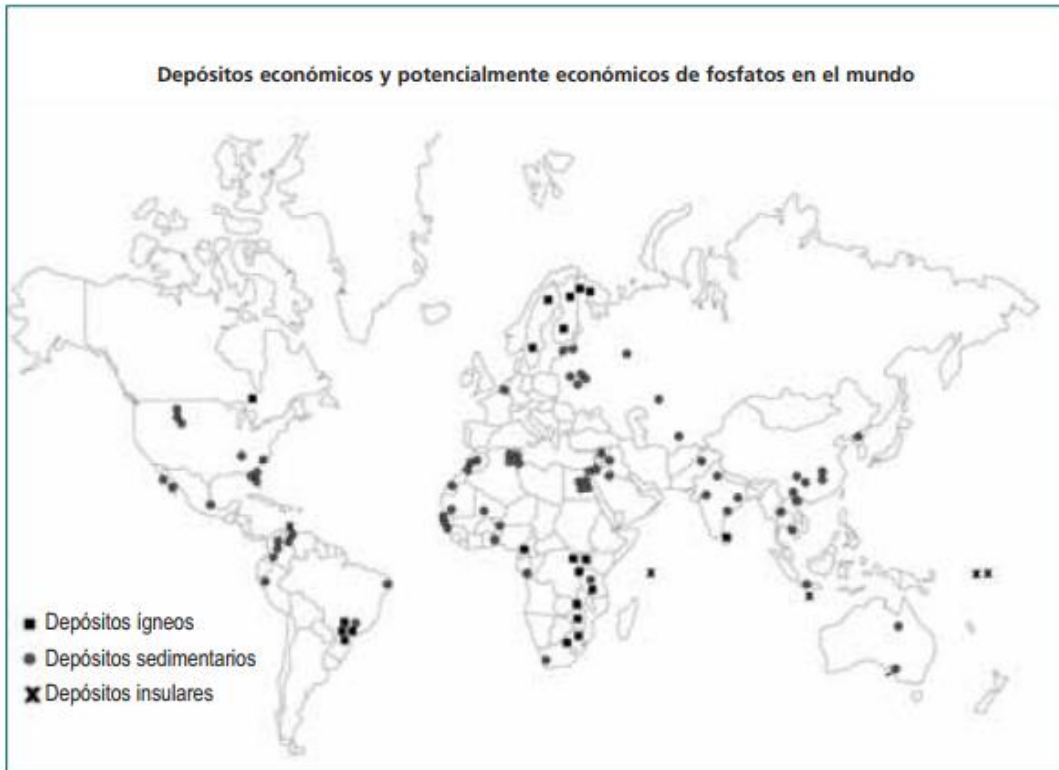
La presencia de uranio en los cultivos proviene en mayor medida de las rocas fosfóricas usualmente empleadas en la producción de fertilizantes fosfatados. Los fertilizantes que contienen fosfato se han utilizado en todo el mundo en cantidades cada vez mayores para reponer los nutrientes naturales, que se van retirando continuamente del suelo debido a las actividades agrícolas y la erosión.

Las rocas fosfóricas contienen alrededor de 10 a 300 ppm de uranio, el torio se presenta en cantidades despreciables (Alvarez Alvarez, 1995) ambos son considerados tóxicos para la salud humana y animal.

### **Obtención de fertilizantes fosfatados**

Para la fabricación de fertilizantes fosfatados está basada en la explotación de depósitos de rocas fosfóricas. Los depósitos de roca fosfórica están distribuidos de manera considerable alrededor del mundo. Cerca del 80 por ciento de la producción mundial de roca fosfórica proviene de los depósitos de origen sedimentario marino, un 17 por ciento es de origen ígneo y de sus productos derivados de la meteorización; el resto proviene de los depósitos sedimentarios residuales (FAO, 2007).

Las rocas fosfóricas muestran una estructura compleja como resultado de su origen diferente en la naturaleza. Todas las rocas fosfóricas poseen elementos químicos peligrosos que comprenden los metales pesados, como lo son el uranio (U) y torio (T).



**Figura 5.** Depósitos de fosfatos del mundo (FAO, 2007)

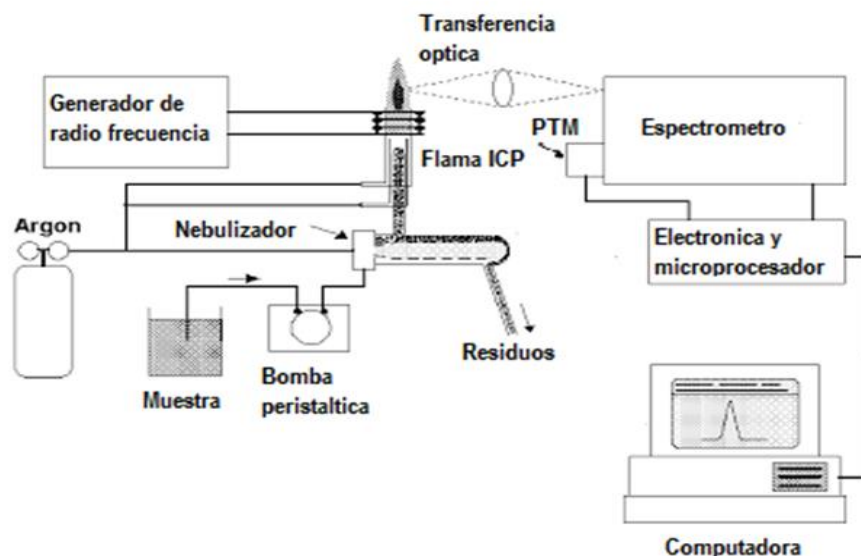
Un tema ambiental respecto a las aplicaciones de la roca fosfórica para la creación de fertilizantes fosfatados ha sido la absorción potencial por las plantas de ciertos elementos que pueden ser peligrosos para la salud humana. . Estos fertilizantes tienen una composición química extremadamente variable y pueden contener elementos tales como los metales pesados y aún radionúclidos que, en ciertas concentraciones y cuando la roca se disuelve en el suelo al usarlo en cultivos, pueden ser dañinos. (FAO, 2007).

La acumulación de estos radionúclidos, debido a la aplicación de fertilizantes y / o al cambio de propiedades del suelo, es una fuente potencial de contaminación ambiental. Desde la década de 1950 la aplicación de nutrientes a los vegetales, incluyendo fertilizantes fosfatados, ha aumentado sustancialmente. Más de 30 millones de toneladas métricas de fertilizantes de fosfato se consumen anualmente en todo el mundo, que aumentan la producción de cultivos y la recuperación de tierras (Lambert, et al., 2007).

Entre los metales pesados peligrosos presentes en los fertilizantes fosfatados, el uranio y torio presentan una toxicidad potencialmente alta para la salud humana en los alimentos derivados de cultivos tratados con fertilizantes fosfatados. La mayoría de los estudios sobre la absorción de uranio y torio por los cultivos que han utilizado fertilizantes fosfatados como el superfosfato triple, el superfosfato simple, el fosfato diamónico y el fosfato monoamónico (FAO, 2007).

### **Espectroscopia de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES)**

La espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado por inducción (ICP-OES, por sus siglas en inglés) es una espectrometría óptica de emisión, donde los elementos presentes en una muestra se convierten en átomos o iones elementales en estado gaseoso por medio de un proceso denominado atomización. Los iones generados emiten radiación a la longitud de onda característica de cada uno de los elementos presentes en la muestra, la cual es transmitida a través del sistema óptico a un detector, donde la imagen capturada se convierte a señal de intensidad para cada elemento y consecuentemente a la concentración de dicho elemento en la muestra (Hill, 2007)

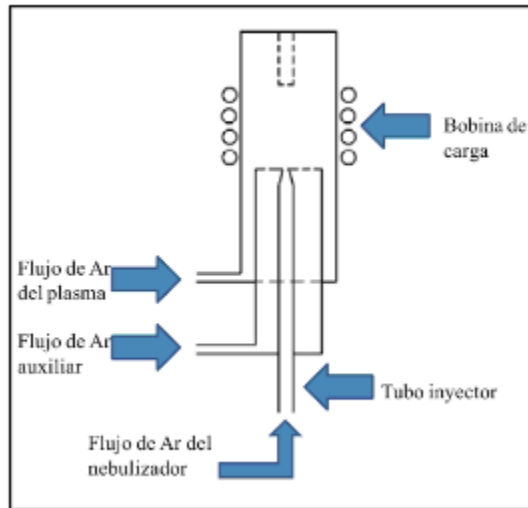


**Figura 6.** Representación de la disposición de un instrumento ICP-OES (Anon., 2013)

El proceso de funcionamiento del equipo ICP-OES inicia con la generación del plasma, que es de un gas inerte como lo es el argón, este gas es contenido dentro de una bobina de inducción de cobre en la cual circula un flujo de refrigerante (gas o agua) y una corriente eléctrica de alto voltaje, en su núcleo el plasma acoplado inductivamente sostiene una temperatura de aproximadamente 10 000 K que aumenta la energía de los elementos presentes ocasionando emisión de luz al momento de disminuir la temperatura, emisión que entra a un sistema óptico donde las longitudes de onda son separadas y medidas por materiales fotosensibles que generan señales de cuantos de luz por segundo la cual se relaciona con la concentración del analito de interés.

Un plasma es un gas altamente ionizado eléctricamente conductor que contiene una concentración importante de cationes y electrones (las concentraciones de ambos son tales que la carga neta es cero). En el plasma de argón, los iones y los electrones de argón son las especies conductoras principales, aunque los cationes provenientes de la muestra también están presentes en cantidades pequeñas. Los iones de argón, una vez formados en el plasma, son capaces de absorber suficiente potencia de una fuente externa para conservar la temperatura en un nivel en el que la ionización posterior mantiene indefinidamente el plasma (U.S. 2002).

Una fuente característica para plasma acoplado por inducción llamada "antorcha" está formada por tres tubos concéntricos de cuarzo a través de los cuales fluyen corrientes de argón. La parte superior de este tubo está rodeada por una bobina de inducción. La ionización del argón que fluye se inicia mediante una chispa que proviene de una bobina Tesla. Los iones resultantes y los electrones asociados interactúan entonces con un campo magnético oscilante producido por una bobina de inducción. Esta interacción fuerza a los iones y los electrones dentro de la bobina a moverse en trayectorias circulares opuestas. La resistencia que manifiestan los iones y los electrones a este flujo de carga es la causa del calentamiento óhmico del plasma (Skoog, 2008).



**Figura 7.** Esquema de la antorcha (Otero Romaní, 2009)

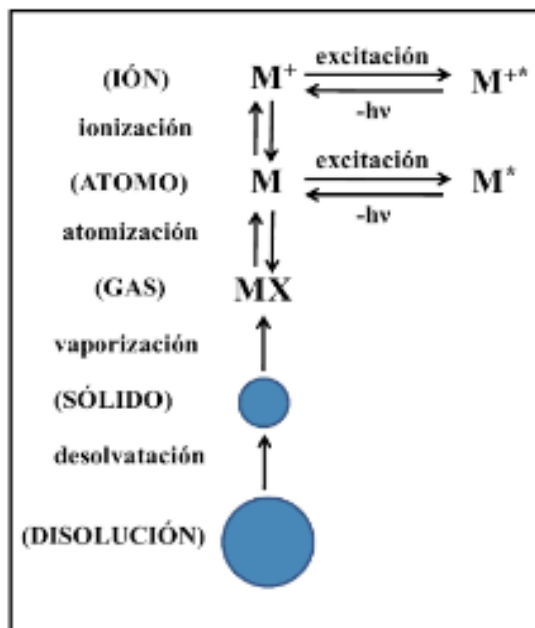
La temperatura del plasma así formado es lo suficientemente elevada como para que el cilindro exterior de cuarzo requiera aislamiento térmico. Para lograrlo, se hace fluir argón tangencial alrededor de las paredes del tubo. Este flujo tangencial enfría las paredes interiores del tubo central y concentra radialmente el plasma.

Las muestras se introducen en el plasma acoplado por el arrastre mediante un flujo de argón por el tubo central de cuarzo, previamente la muestra debe estar en estado acuoso, introduciéndola mediante una bomba peristáltica con tubos de tygon de diámetros específicos y a un flujo constante, esta muestra líquida llega inicialmente al nebulizador concéntrico de vidrio. La muestra se transporta hasta la punta por medio del efecto Bernoulli. La alta velocidad del gas divide al líquido en gotitas finas de varios tamaños que son transportados hacia el interior del plasma. (Skoog, 2008)

La excitación dentro del plasma imparte energía adicional a los átomos, a menudo se dispone de suficiente energía para convertir los átomos en estado basal a estados excitados y posteriormente promoverlos a iones.

Tanto las especies de estado excitado atómico como iónico pueden entonces relajarse al estado basal a través de la emisión de un fotón. Estos fotones tienen energías características que están determinadas por la estructura del nivel de energía cuantificado para los átomos o iones. La cuantificación de los átomos

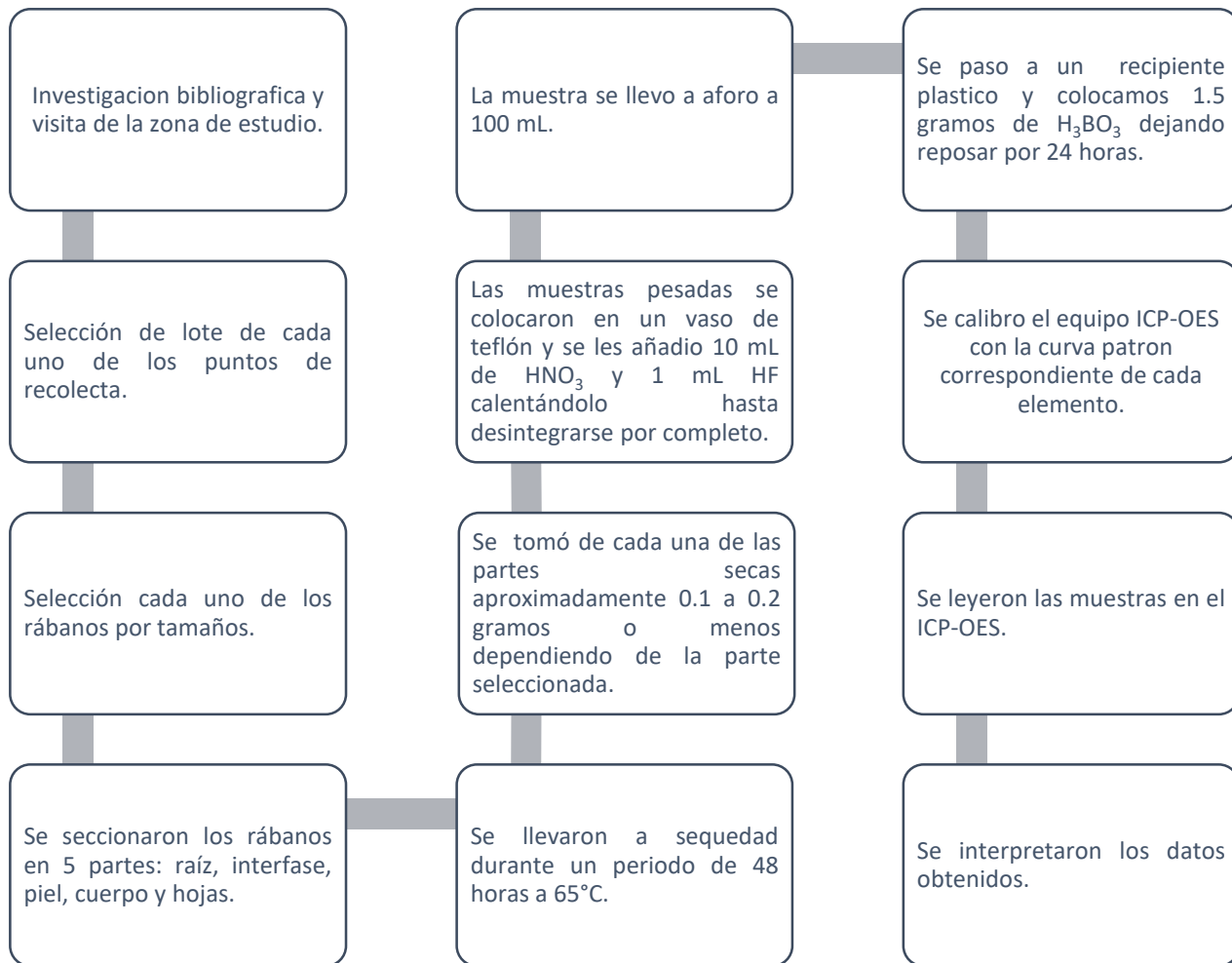
presentes es proporcional a la cantidad de energía absorbida y a la capacidad de cada átomo de absorber energía. Esta medición nos permite utilizar esta técnica como un análisis cuantitativo (Juárez Sánchez, 2010).



**Figura 8.** Proceso que tiene lugar en el plasma. (Otero Romani, 2009)

Para la medición de los analitos, se requiere de una curva de estándares de referencia con los cuales se comparan la emisión y por lo tanto la concentración del analito presente en la solución. La información cualitativa implica identificar las longitudes de onda características de cada elemento, por otro lado la información cuantitativa se adquiere cuando la emisión detectada se convierte en señales electrónicas que se convierten en señales eléctricas y estas se correlacionan a la concentración. Esto se consigue relacionando la intensidad de la emisión con la concentración en la curva de concentración.

### Capítulo 3. Metodología experimental.



**Figura 9.** Diagrama de bloques de la metodología.

Material	Reactivos	Equipos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bisturí</li> <li>• Espátula</li> <li>• 75 tubos de ensayo 130 x 16 mm</li> <li>• Matraz aforado de 100 mL</li> <li>• Vasos de teflón 50 mL</li> <li>• Botellas plásticas de 100 mL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HNO<sub>3</sub></li> <li>• HCl</li> <li>• H<sub>2</sub>O; DI</li> <li>• HF</li> <li>• H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estufa Fisher Scientific Isotemp.</li> <li>• Parrilla de calentamiento.</li> <li>• Balanza analítica.</li> <li>• ICP-OES Perkin Elmer Modelo 400.</li> </ul>

**Tabla 2.** Material, reactivos y equipos utilizados.



## Investigación bibliográfica

Al inicio se realizó una recopilación bibliográfica de trabajos relacionados al tema en los cuales se encontró que las hortalizas tienen la capacidad de absorber metales pesados como lo son el uranio y el torio siendo sus principales fuentes de contaminación aguas contaminadas, tipo de suelo y la utilización de fertilizantes químicos. Posterior a eso visito la zona de estudio la cual por la cercanía y por ser un lugar muy representativo en cuanto a la producción de hortalizas.

## Selección de muestra

El área de selección fue en la zona chinampera de San Gregorio, Xochimilco. Se tomaron cinco chinampas para el estudio con las coordenadas siguientes:

- Chinampa 1: 494153.75 E ; 2129411.25 N
- Chinampa 2: 494304.44 E ; 2129597.30 N
- Chinampa 3: 494457.99 E ; 2129473.77 N
- Chinampa 4: 494626.81 E ; 2129292.34 N
- Chinampa 5: 494394.23 E ; 2129320.59 N



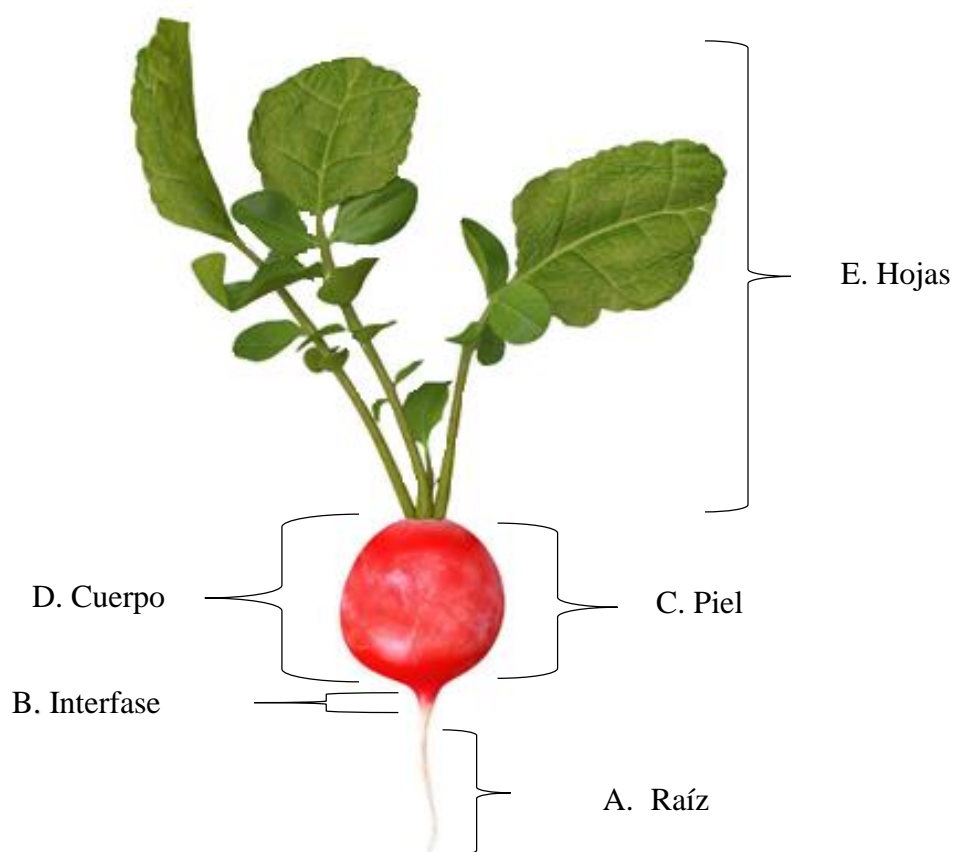
**Figura 10.** Mapa de ubicación de las chinampas estudiadas.

## Tratamiento de las muestras

Se recolectaron rábanos de un tamaño y geometría similar con la finalidad de tener una población homogénea para que la variabilidad entre individuos se menor.

## División del rábano

La muestra se dividió en 5 partes (A. raíz, B. interfase, C. Piel, D. cuerpo y E. hojas) con ello localizaremos de manera puntual en que parte se acumulara los metales de interés.



**Figura 11.** División de rábano.

## Preparación de la muestra.

Se tomaron tres especímenes por chinampa. Una vez divididas se deshidrataron con la finalidad de descartar el agua como parte de la muestra dando como

resultado una estimación más precisa de los elementos Uranio y Torio. Posterior a eso se pesaron entre 0.1 a 0.2 gramos de piel, el cuerpo y las hojas.

En el caso de la raíz y la interfase debido a su tamaño el cual se encuentra en menor proporción no es posible estandarizar su peso entre muestras.

Una vez pesada cada una de las secciones de los rábanos se colocaron en vasos de teflón agregando a cada uno 10 mL de  $\text{HNO}_3$ , 2 mL HCl y 1 mL HF calentándolo a una temperatura de  $60^\circ\text{C}$  hasta degradarse por completo para obtener los metales contenidos en los tejidos de las muestras.

El  $\text{HNO}_3$ , HCl lo utilizaremos para degradar la muestra orgánica y el HF se utilizara para degradar los cuerpos leñosos formados de silicatos.

Cada una de las muestras se llevaron a un aforo de 100 mL, posterior a eso se pasaron a recipientes de plástico y se adicionara 1.5 g de  $\text{H}_3\text{BO}_3$  dejando reposar por 24 horas con esto se eliminó la interferencia de los fluoruros que pudieran quedar en las muestras en el equipo.

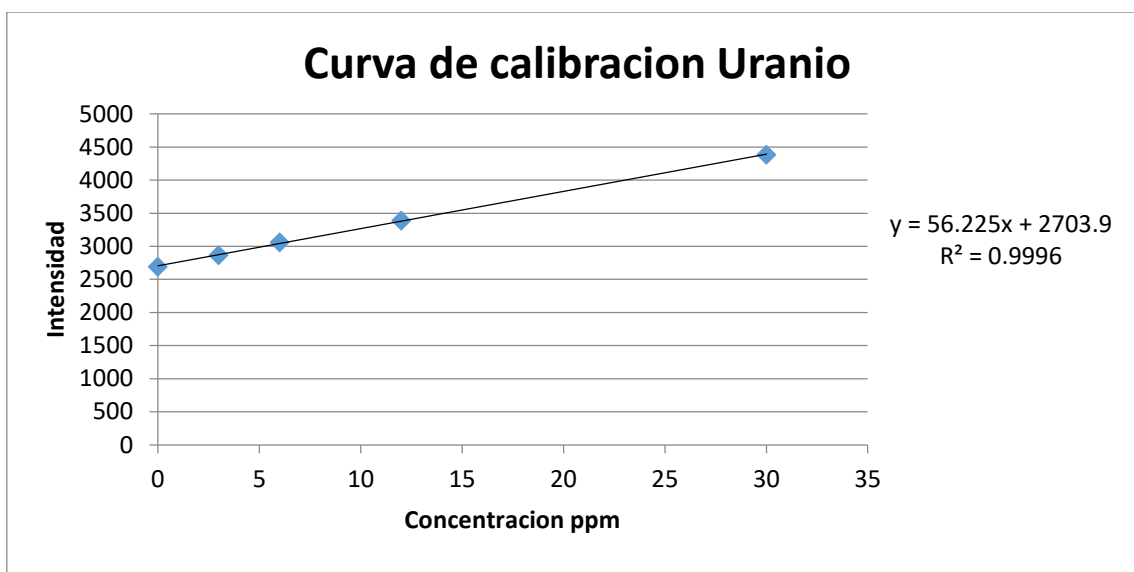
Ya preparadas las muestras se genera una curva patrón y posterior a eso se pueden empezar a leer las muestras en el equipo.

### **Curva patrón.**

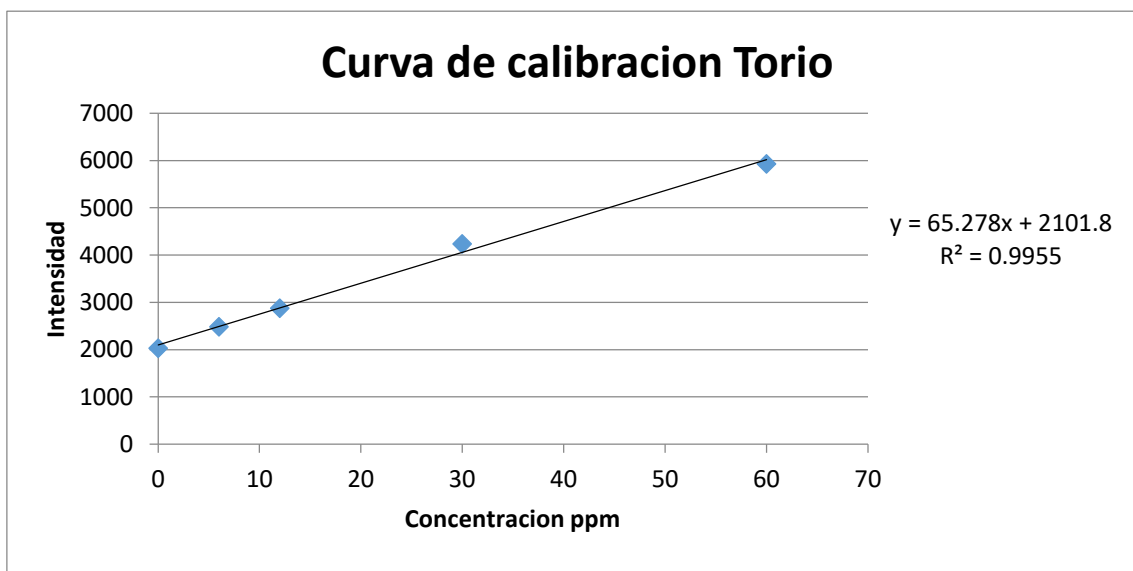
Se prepararon las curvas de calibración haciendo dilución de cada uno de los estándares comerciales de cada elemento de interés Uranio y Torio, tomando la alícuota y llevando a su aforo de 100 mL.

Las concentraciones para cada uno de los puntos de la curva tanto para uranio como para torio son 0.5 ppm, 1.5ppm, 3.0 ppm, 6.0 ppm y 12 ppm. Tomando como concentración cero, el blanco, el cual contiene la mezcla de todos los reactivos utilizados para la digestión y preparación de las muestras, esto para evitar una estimación errónea en la medición de los metales.

A continuación se presentan las curvas de calibración de cada elemento analizado.



**Figura 12.** Curva de calibración Uranio.



**Figura 13.** Curva de calibración Torio.

## Capítulo 4. Resultados

Las muestras seleccionadas de cada una de las chinampas después de su acondicionamiento se leyeron en el ICP-OES y se hizo un promedio de cada una de las secciones en las cuales se dividió el rábano, posterior a esto se hizo la sumatoria para saber el aporte total de uranio y torio en el rábano.

En las muestras se hizo su lectura en el ICP-OES y no se detectó la presencia de torio.

Las muestras ya preparadas se leyeron en el equipo ICP-OES, obteniendo como resultado lo siguiente para Uranio:

Chinampa 1	
MUESTRA	Conc. promedio en la muestra en ppm
1A Raíz	0.0443
1B Interfase	0.1488
1C Piel	0.0183
1D Cuerpo	0.0150
1 E Hojas	0.0208
Promedio	0.0494

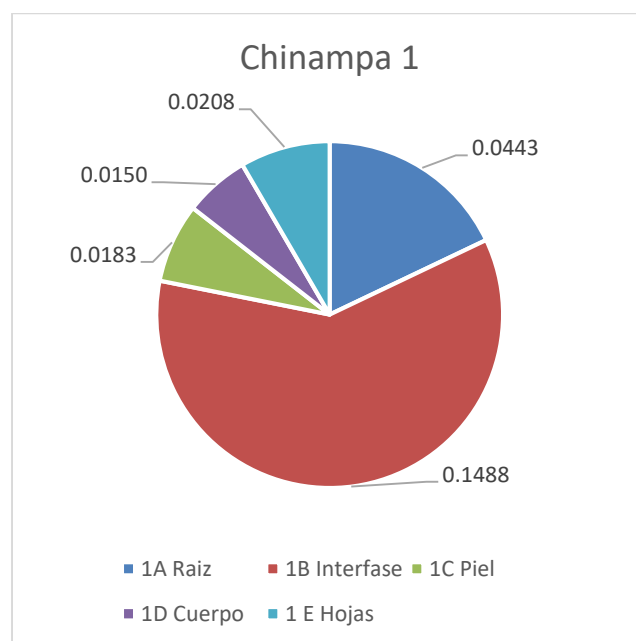


Tabla y gráfico 1. Resultados y porcentajes de la chinampa 1 para Uranio.

Chinampa 2	
MUESTRA	Conc. promedio en la muestra en ppm
2A Raíz	0.0362
2B Interfase	0.0134
2C Piel	0.0134
2D Cuerpo	0.0202
2 E Hojas	0.0166
Promedio	0.0200

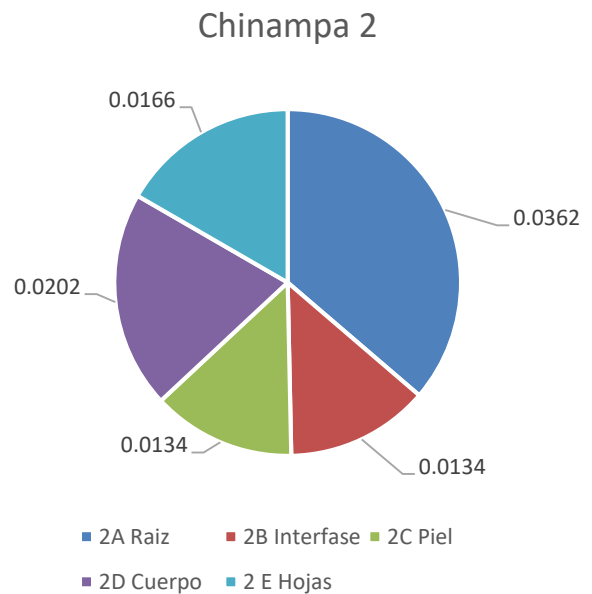


Tabla y grafico 2. Resultados y porcentajes de la chinampa 2 para Uranio.

Chinampa 3	
MUESTRA	Conc. promedio en la muestra en ppm
3A Raíz	0.0538
3B Interfase	0.3197
3C Piel	0.0126
3D Cuerpo	0.0136
3 E Hojas	0.0132
Promedio	0.0826

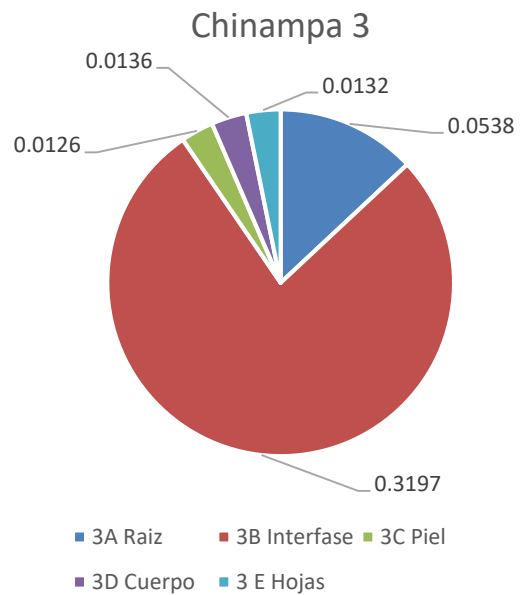


Tabla y grafico 3. Resultados y porcentajes de la chinampa 3 para Uranio.

Chinampa 4	
MUESTRA	Conc. promedio en la muestra en ppm
5A Raíz	0.0361
5B Interfase	0.2070
5C Piel	0.0149
5D Cuerpo	0.0175
5 E Hojas	0.0190
Promedio	0.0589

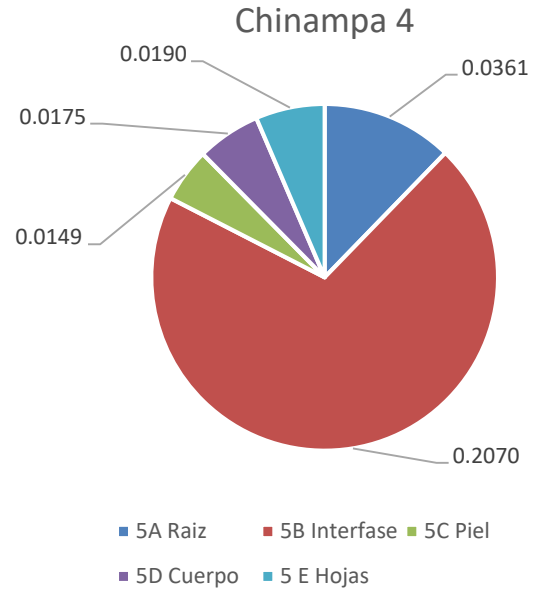


Tabla y grafico 4. Resultados y porcentajes de la chinampa 4 para Uranio.

Chinampa 5	
MUESTRA	Conc. promedio en la muestra en ppm
4A Raíz	0.0390
4B Interfase	0.0581
4C Piel	0.0100
4D Cuerpo	0.0100
4 E Hojas	0.0093
Promedio	0.0253

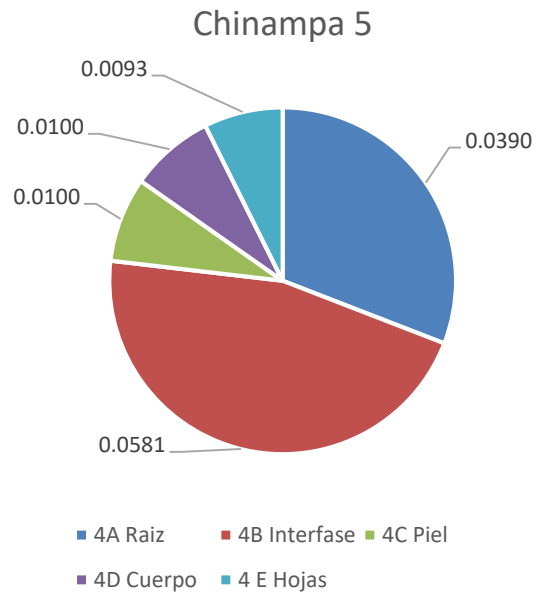


Tabla y grafico 5. Resultados y porcentajes de la chinampa 5 para Uranio.

## Capítulo 5. Análisis de resultados.

En los resultados presentados en ningún caso se encontró trazas de torio.

En el análisis se discutirán el promedio de cada sección de las muestras en el siguiente orden raíz, interfase, piel o cascara, cuerpo o pulpa y hojas de cada chinampa. Tomando en cuenta de mayor concentración a menor concentración de uranio.

Las muestras analizadas de la chinampa 3 presentan la mayor concentración de uranio en la raíz, mostrándose en orden descendente las muestras de la chinampas 1, 5. Por otro lado las raíces de las muestras de la 2 y 4 presentan una concentración menor.

En la interfase las muestras analizadas se observó el mayor contenido de uranio encontrado fue en la chinampa 3 seguido de las chinampas 4 y 1. Por otro lado las chinampas en las que se detectó menor cantidad de uranio fueron las 5 y 2.

En el caso del contenido de uranio en la cascara o piel del rábano se observa que las muestras de la chinampa 1 contiene una concentración mayor seguido por las muestras de la chinampa 4, 2 y 3 que presentan semejanzas en el contenido de uranio, mientras que la cascara de la chinampa 5 presenta una concentración menor que todas las anteriores.

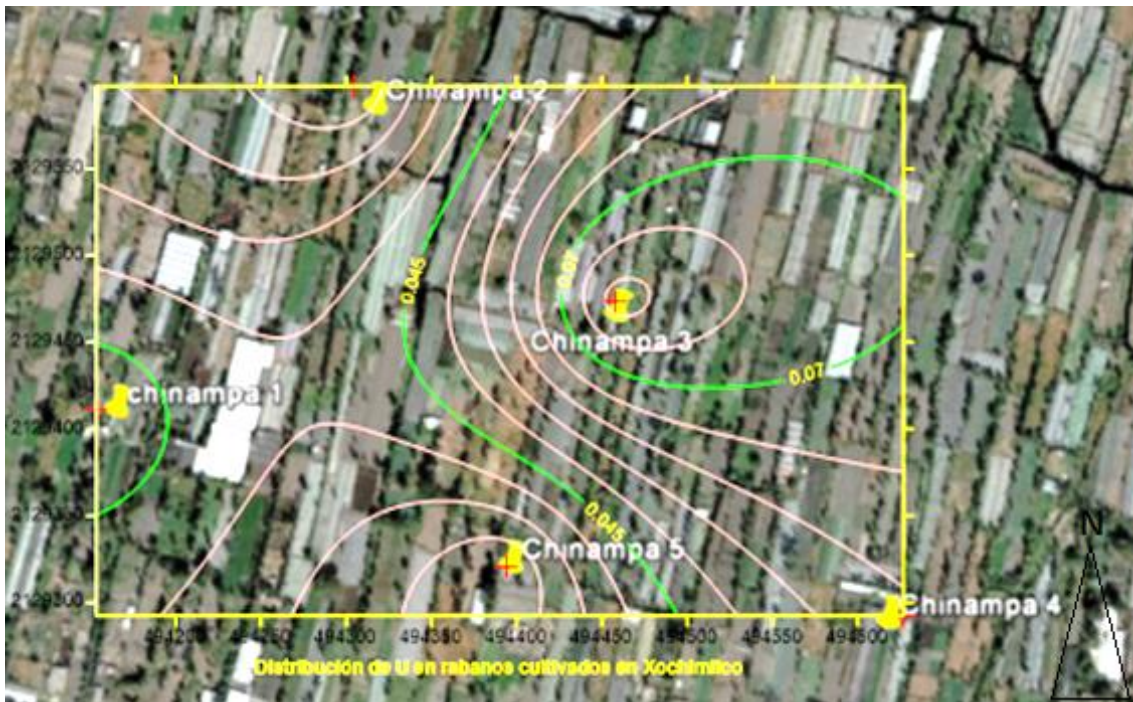
La pulpa o cuerpo del rábano presenta una distribución similar a la distribución que tiene la cascara, la pulpa de las muestras escogidas de la chinampa 2 presenta una mayor concentración y en menor cantidad la pulpa de las chinampas 4, 1 y 3. La pulpa de la chinampa 5 es la que contiene una menor cantidad de uranio.

Con el promedio de las muestras y su distribución en la chinampa podemos relacionar de manera directa el contenido de uranio de las muestras con la presencia de uranio en el área de cultivo aunado a esto la elevación del terreno con respecto al nivel del mar y los canales más cercanos a cada sembradío podemos declarar lo siguiente.



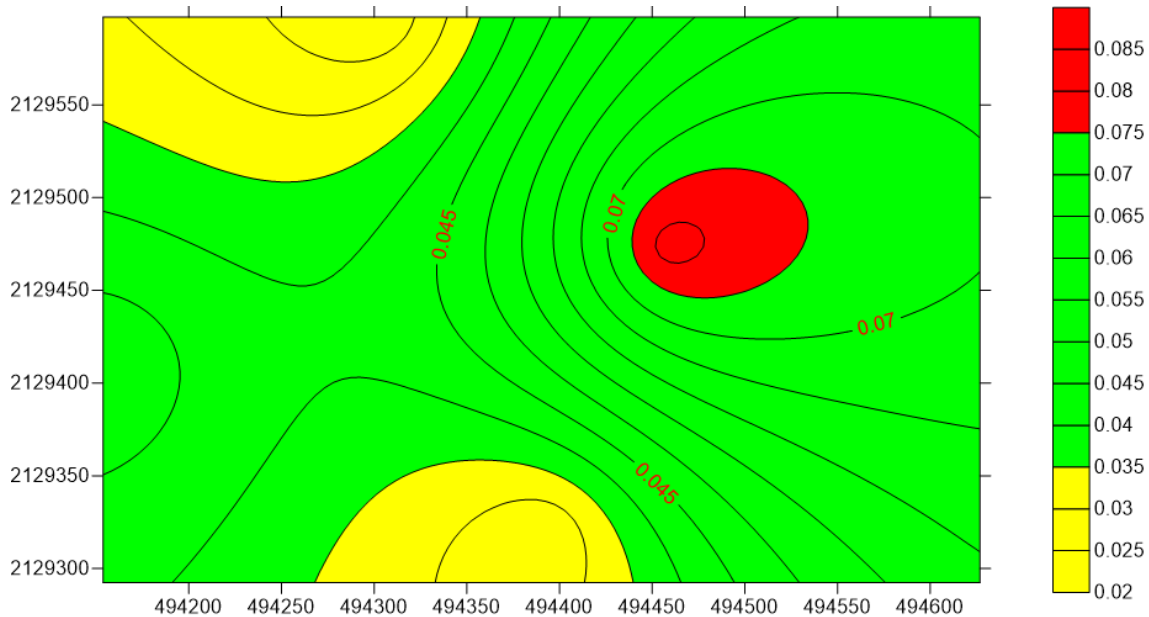
En la chinampas 1 se observa una mayor concentración de uranio, las chinampas 4, 2 y 3 continúan en menor cantidad con una concentración muy cercana entre sí, mientras que en la chinampa 5 muestra una concentración bastante baja con respecto a las anteriores chinampas.

La distribución de la concentración de uranio, se atribuye al uso de fertilizantes, principalmente fosfato de monoamónico (MAP) y fosfato de diamónico (DAP) porque estos se extraen de minas que contienen trazas de uranio. El uranio proveniente de los fertilizantes entra a la planta en su forma soluble, se introduce en la matriz del rábano por medio de la raíz que es el receptor de todos los nutrientes presentes en el suelo y es ahí donde todos los contaminantes quedan retenidos evitando así su distribución a toda la planta. Con los resultados obtenidos se hizo un mapa de distribución isolineal con ayuda del programa Surfer 10, en el que se introdujeron las coordenadas UTM de la chinampa y la concentración promedio, el resultado del programa se incluye en el anexo A. La distribución de las concentraciones y el mapa de riesgo se muestran en las figuras siguientes.



**Figura 14.** Mapa de distribución de uranio en las chinampas analizadas.

En este mapa se observa de manera más clara las áreas en las cuales la concentración de uranio es mayor. Esto deja en claro que la contaminación está localizada en puntos específicos.



**Figura 14.1** Mapa de riesgo de uranio en las chinampas analizadas.

En este mapa de riesgo podemos observar las zonas libres y/o con menor cantidad lo cual nos permite generar un registro que en un futuro nos permita declarar zonas donde sería preferible sembrar y evitar una contaminación directa a los alimentos.

En la chinampa 1 es una de las chinampas con mediana concentración de uranio con respecto a las demás esto es porque el cauce del agua está en un nivel similar, haciendo que parte de esta agua utilizada para el riego este estancada además de las barreras colocadas por los propietarios que van desde pequeñas presas a la aislación de tramos de canal lo cual evita el movimiento y permite una concentración mayor del contaminante.

La distribución del uranio en la planta es heterogénea y depende de la taxonomía de la planta, encontrándose que la zonas preferencial para la bioacumula de este elemento es la interface con la excepción de la muestras 2. En las muestras de la chinampa 2 la mayor bioacumulación se presenta en la raíz lo que se puede explicar

debido a una mayor salinidad del área, dada su cercanía con el lago de la zona Patrimonial de Xochimilco-Tláhuac.

La muestra 2 presenta una distribución más homogénea de uranio la cual se explica igualmente por la salinidad de la zona ya que esta salinidad influye en la presión osmótica de la planta la cual influye en la distribución de los nutrientes al interior del vegetal.

Se observa que las chinampas se encuentran cercanas a la zona Patrimonial Xochimilco-Tláhuac, en la cual existe un gradiente de nivel, siendo más baja la zona Patrimonial, donde se aprecia el lago (figura 15), produciendo con ello una salinización de las orillas, esta salinización se aprecia por el cambio de tonalidad de forma degradada. Este aumento de salinidad produce un incremento en la presión osmótica dentro de la planta, recordando que esta presión es la responsable de la transportación de los nutrientes en las plantas, por lo tanto, este incremento de presión obliga al paso del uranio a todo el espécimen, y también de los macro y micronutrientes por lo cual se tiene baja productividad y menor talla del producto.



**Figura 15.** Mapa de las chinampas analizadas.

Chinampas	Altura en metros sobre el nivel del mar del canal utilizado para riego
1	2236
2	2234
3	2233
4	2237
5	2237

**Tabla 6.** Altura sobre el nivel del mar de los canales.

De acuerdo a la altura (tabla 6) sobre el nivel del mar medida en los canales que suministran el agua a las chinampas se observa que la chinampa 3 (figura 15) presenta el nivel más bajo de los canales, lo que indica que el flujo del agua por diferencias de pendiente, se dirige hacia el canal de la chinampa 3, por esto, el drenado de las demás chinampas se va a concentrar hacia el canal de la chinampa 3 favoreciéndose la concentración de uranio. Lo cual explica la mayor concentración de uranio en el producto de la chinampa 3.

En la chinampa 4 se nota una concentración mayor con respecto a la chinampa 1,2 y 5 esto principalmente por la ubicación que tiene (figura 15) que se encuentra muy cercana a las zonas donde la salinidad es mayor y el cauce del cual se toma el agua de riego recibe los contaminantes pasándolos a su vez a la chinampa.

La chinampa 5 a pesar de que tiene una altura mayor del canal utilizado para riego tiene barreras naturales con las cuales evita que las cantidades de metales sean mayores, estas barreras naturales son los lirios y pequeñas algas que actúan como fitorremediadores los cuales absorben contaminantes variados como los metales.

## Conclusiones

- En los análisis realizados no se encontró torio, esto se explica a su ausencia o muy baja concentración (menor al límite de detección del equipo), siendo lo primero lo más aceptable ya que la geoquímica de los sedimentos muestra una nula presencia de este elemento.
- Con base en los resultados obtenidos y el análisis realizado de los mismos, se encuentra que en todas las muestras analizadas hay una presencia determinada de uranio, la cual no es homogénea.
- Finalmente los resultados obtenidos permiten establecer un mapa de riesgo de cultivo, dando a conocer la zona donde existe mayor concentración de uranio, por lo tanto habrá una mayor absorción de dicho metal para este tipo de vegetal el cual tiende a fijarse preferentemente en la interfase (ver fig.11).

Recomendación de consumo: Con este trabajo se recomienda eliminar por completo la interfase y raíz antes de ser consumido como alimento directo o para preparaciones para medicina tradicional, esto con el fin de evitar el consumo de metales alojados en esta sección del rábano.

## Bibliografía

Alvarez Alvarez, M. C., 1995. Yacimientos y obtencion del uranio.. En: Oviedo(Asturias): Servicio de publicaciones Universidad de Oviedo, pp. 13-40.

Anon., 2013. *ANALYTICAL INSTRUMENTS*. [En línea]  
Available at: [Tomado de http://analyticalprofessional.blogspot.mx](http://analyticalprofessional.blogspot.mx)  
[Último acceso: 01 07 2017].

Armienta, M., Zamora, V. & Juárez, F., 1996. Manual para el analisis químico de aguas naturales, en el campo y en el laboratorio.. *Comunicaciones técnicas, Serie docencia y divulgacion.*, Issue 4.

Bautista Villalobos, . I. X., 2015. Caracterización de Contaminantes en suelos agrícolas urbanos en Xochimilco, D.F.. En: Distrito Federal, México: UNAM, pp. 14-18.

Bonotto, D. & Andrews, . J., 2000. The transfer of uranium isotopes <sup>234</sup>U and <sup>238</sup>U to the. *Applied Radiation and Isotopes*, Issue 52, pp. 965-983.

Chavarria, A., González, M. C., Dantán, E. & Cifuentes, J., 2010. Evaluación espacial y temporal de la diversidad de los ascomicetes dulceacuícolas del canal turístico Santa Cruz, Xochimilco, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 15 enero.81(3).

Corrales González, G., 1981. Condiciones de operación en una planta semipiloto para extracción de uranio por solventes. En: Hermosillo, Sonora México.: Universidad de Sonora, pp. 5-20.

Damas López, D. A., 2011. Adquisición, procesado e interpretación de datos espectrométricos Torio, Potasio y Uranio en la región de Tecuanipan, Cholula Puebla. En: México D.F.: IPN, pp. 12-13.

El-Taher, A. & Althoyaib, S., 2012. Natural radioactivity levels and heavy metals in chemical and organic. *Applied Radiation and Isotopes*, Issue 70, p. 290–295.

FAO, 2007. *Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible.* [En línea]  
Available at: <http://www.fao.org/3/a-y5053s.pdf>  
[Último acceso: 26 07 2017].

Favas, P. J. y otros, 2016. Biogeochemistry of uranium in the soil-plant and water-plant systems in an old uranium mine.. *Science of the Total Environment*, Volumen 568, p. 350–368.

Figueruelo, J. & Dávila, M. M., 2001. *Química física del medio ambiente.*, México, D.F.: Ed. Reverte.

Flores Luis, L. F. & Narvaez Narvaez, J. A., 2015. *Manual técnico para la producción de hortalizas, huevo de gallina y carne de conejo en unidades de producción familiar.* [En línea]

Available at: [3.](http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/hidalgo/Documents/Agricultura%20Familiar/Ma)  
<http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/hidalgo/Documents/Agricultura%20Familiar/Ma>



nualTecnologicoFinalWeb2015.pdf

[Último acceso: 13 02 2017].

Galán Huertos, E. & Romero Baena, A., 2008. *Contaminación de suelos por metales pesados*, Sevilla.: s.n.

Gálvez Sandoval, J. M., 2003. Nitrógeno, fósforo y potasio en las raíces de una plantación de cinco años de *Eucalyptus nitens* (Deane et Maiden) Maiden con diferentes manejos nutritivos.. En: Valdivia Chile: Universidad Austral de Chile, pp. 3-4.

González Carmona, E. & Torres Valladares, C., 2004. La sustentabilidad agrícola de las chinampas en el valle de México: caso Xochimilco.. *Revista Mexicana de Agronegocios*., enero, 18(34), pp. 699-709.

Hernández, M., 2009. *Fitoextracción de metales pesados en suelos contaminados*. [En línea]

Available at: <http://www.monografias.com/trabajos96/fitoextraccion-metales-pesados-suelos-contaminados/fitoextraccion-metales-pesados-suelos-contaminados2.shtml>

[Último acceso: 13 02 2017].

Hill, S. J., 2007. *Inductively coupled plasma spectrometry and its applications*. Oxford, UK.: s.n.

Juárez Sánchez, F., 2010. Espectroscopia atómica: absorción y emisión.. En: México, D.F.: UNAM, p. 9.

Laguna, M. & Cisne, . C., 2001.. Efecto de Biofertilizante (EM-BOSKASHI) sobre el crecimiento y rendimiento del Rabano (*Raphanus sativus*).. *Revista la calera*., Volumen 1, pp. 26-29..

Lambert, R., Grant, C. & Sauvé, S., 2007. Cadmium and zinc in soil solution extracts following the. *Science of the Total Environment*, Issue 378, p. 293–305.

López Domínguez , M. G., 2009. Distribución y fitodisponibilidad de metales pesados (Sb, Hg, As) en los jales de la mina de antimonio de wadley, estado de San Luis Potosí.. En: México, D.F.: UNAM, pp. 24-34.

Makiko Yamazaki, I. & Paulo Geraldo, . L., 2003. Uranium content in phosphate fertilizers commercially. *Applied Radiation and Isotopes*, Issue 59, p. 133–136.

NeoMexicanismos, 2016. *Declaran a las chinampas Patrimonio Agrícola Mundial*. [En línea]

Available at: <http://neomexicanismos.com/noticias/declaran-chinampas-patrimonio-agricola-mundial-fao-sipam-xochimilco/>

[Último acceso: 28 07 2017].

Olivares, C., 2017. *Chinampas*. [En línea]

Available at: <http://www.curriculumenlineamineduc.cl/605/w3-article-31094.html>

[Último acceso: 28 07 2017].

Otero Romaní, J., 2009. Desarrollo de nuevos métodos de extracción en fase sólida para la preconcentración de metales traza en el agua de mar. En: Santiago de Compostela: s.n., pp. 55-59.

Rosales, A. N., 2004. Respuestas del rábano (*Raphanus sativus* L.), a densidades siembras y aplicación de sustancias fúlvicas (K-tionic) y húmicas (Humiplex std). Tesis de licenciatura.. En: Saltillo, Coahuila,: Universidad Autonoma Agraria, pp. 4 -12.

Sánchez G., A., 1980. *Estudio Edafológico del ejido de Xochimilco (Ciénega Grande)*. México, D.F.: UNAM.

Shtangeeva, I., Ayraultb, S. & Jainc, J., 2005. Thorium uptake by wheat at different stages of plant growth.. *Journal of Environmental Radioactivity*., Volumen 81, pp. 283-293.

Shtangeeva, I., 2010. Uptake of uranium and thorium by native and cultivated palants.. *Journal of Enviromental Rradioactivity*, pp. 458- 463.

Skoog, D. H. F. a. S. R., 2008. ICP-OES. En: *Principios de analisis instrumental*.. D.F.: Learning, p. 267.

Stephan-Otto, E., 1992. La chinampa, "cosa jamas vista en este mundo". En: México, D.F.: UNAM, pp. 14-18.

Vega Rojas, E., 2010. Determinación y Cuantificación de Algunos metales pesados en Suelo Agua Planta en un Área de la Zona Lacustre de Xochimilco Mixquic, D.F.. En: Ciudad de México: UNAM, pp. 33 -35.



## Anexos

### Anexo A

---

#### Gridding Report

---

Thu Jun 01 13:49:16 2017

Elapsed time for gridding:

0.00 seconds

#### Data Source

Source Data File Name: C:\mis documentos\alumnos\Oscar\Xochimilco  
rabanos.blm

X Column: A

Y Column: B

Z Column: C

#### Data Counts

Active Data: 5

Original Data: 5

Excluded Data: 0

Deleted Duplicates: 0

Retained Duplicates: 0

Artificial Data: 0

Superseded Data: 0

#### Exclusion Filtering

Exclusion Filter String: Not In Use

#### Duplicate Filtering

Duplicate Points to Keep: First

X Duplicate Tolerance: 5.6E-005

Y Duplicate Tolerance: 3.6E-005

No duplicate data were found.

## Breakline Filtering

Breakline Filtering: Not In Use

## Data Counts

Active Data: 5

## Univariate Statistics

---

---

	X	Y	Z
Count:	5	5	5
1%%-tile:	494153.75	2129292.34	0.0199631561214
5%%-tile:	494153.75	2129292.34	0.0199631561214
10%%-tile:	494153.75	2129292.34	0.0199631561214
25%%-tile:	494304.44	2129320.59	0.0252576072027
50%%-tile:	494394.23	2129411.25	0.0494263581199
75%%-tile:	494457.99	2129473.77	0.0588927628539
90%%-tile:	494457.99	2129473.77	0.0588927628539
95%%-tile:	494457.99	2129473.77	0.0588927628539
99%%-tile:	494457.99	2129473.77	0.0588927628539
Minimum:	494153.75	2129292.34	0.0199631561214
Maximum:	494626.81	2129597.3	0.0825985855358
Mean:	494387.444	2129419.05	0.0472276939667
Median:	494394.23	2129411.25	0.0494263581199
Geometric Mean:	494387.418955	2129419.04716	0.0413735619331
Harmonic Mean:	494387.39391	2129419.04431	0.0359703970695
Root Mean Square:	494387.469045	2129419.05284	0.0524791826347
Trim Mean (10%%):	N/A	N/A	N/A
Interquartile Mean:	494385.553333	2129401.87	0.0445255760588
Midrange:	494390.28	2129444.82	0.0512808708286
Winsorized Mean:	494353.68	2129394.344	0.0424865294304
TriMean:	494387.7225	2129404.215	0.0457507715741
Variance:	30955.35488	15144.49415	0.000654511915734

Standard Deviation:	175.941339315	123.062968232	0.0255834304919
Interquartile Range:	153.55	153.18	0.0336351556513
Range:	473.06	304.96	0.0626354294145
Mean Difference:	219.934	152.62	0.031781202896
Median Abs. Deviation:	89.79	90.6600000001	0.0241687509172
Average Abs. Deviation:	125.322	91.628	0.0192541170131
Quartile Dispersion:	0.000155295140006		3.59679259085e-005
Relative Mean Diff.:	0.000444861621526		7.16721304809e-005
Standard Error:	78.6833589522	55.0354324958	0.0114412579355
Coef. of Variation:	0.000355877442784		5.77918039344e-005
Skewness:	0.0268644207712	0.304554373804	0.178906043485
Kurtosis:	1.32277623759	1.19487274198	1.10617651242
Sum:	2471937.22	10647095.25	0.236138469834
Sum Absolute:	2471937.22	10647095.25	0.236138469834
Sum Squares:	1.22209484775e+012		
Mean Square:	2.26721275131e+013		0.01377032305
	244418969549	4.53442550262e+012	
	0.00275406461		

### Inter-Variable Covariance

	X	Y	Z
X:	30955.355	-10027.647	1.7219145
Y:	-10027.647	15144.494	-0.5641161
Z:	1.7219145	-0.5641161	0.00065451192

### Inter-Variable Correlation

	X	Y	Z
X:	1.000	-0.463	0.383
Y:	-0.463	1.000	-0.179
Z:	0.383	-0.179	1.000

---

### Inter-Variable Rank Correlation

---

	X	Y	Z
X:	1.000	-0.500	0.600
Y:	-0.500	1.000	-0.300
Z:	0.600	-0.300	1.000

---

### Principal Component Analysis

---

	PC1	PC2	PC3
X:	0.436401744851	0.436401744851	-5.54536194618e-005
Y:	0.899751919436	0.899751919436	5.31333517634e-007
Z:	2.37219879756e-005		2.37219879756e-005
Lambda:		35819.0096981	10280.8394277
		0.000558725792227	

---

### Planar Regression: $Z = AX + BY + C$

#### Fitted Parameters

---

	A	B	C
Parameter Value:		5.5453618281e-005	-
	5.31334337191e-007	-26.236911449	
Standard Error:		0.000107186644149	
	0.000153243189233		353.990539924

---

### Inter-Parameter Correlations

	A	B	C
A:	1.000	0.463	-0.577
B:	0.463	1.000	-0.991
C:	-0.577	-0.991	1.000

### ANOVA Table

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F
Regression:	2	0.000383144487157		
		0.000191572243579	0.171436727689	
Residual:	2	0.002234903175780		
Total:	4	0.00261804766294		

Coefficient of Multiple Determination ( $R^2$ ): 0.146347407109

### Nearest Neighbor Statistics

	Separation	Delta Z
1%%-tile:	165.920010849	0.0294632019985
5%%-tile:	165.920010849	0.0294632019985
10%%-tile:	165.920010849	0.0294632019985
25%%-tile:	165.920010849	0.0336351556513
50%%-tile:	197.071721462	0.0573409783332
75%%-tile:	234.289391352	0.0573409783332
90%%-tile:	234.289391352	0.0573409783332
95%%-tile:	234.289391352	0.0573409783332
99%%-tile:	234.289391352	0.0573409783332
Minimum:	165.920010849	0.0294632019985
Maximum:	239.420296967	0.0626354294145
Mean:	200.524286296	0.0480831487461
Median:	197.071721462	0.0573409783332
Geometric Mean:	198.000864695	0.0459160720017
Harmonic Mean:	195.516594119	0.043662053499

Root Mean Square:	203.031899415	0.049997153075
Trim Mean (10%%):	N/A	N/A
Interquartile Mean:	199.093707887	0.0494390374392
Midrange:	202.670153908	0.0460493157065
Winsorized Mean:	199.498105173	0.0470242585299
TriMean:	198.588211281	0.0514145226627
Variance:	1264.95348199	0.000234657652832
Standard Deviation:	35.5661845296	0.0153185395137
Interquartile Range:	68.3693805031	0.0237058226819
Range:	73.5002861186	0.0331722274159
Mean Difference:	43.073990548	0.0180100555028
Median Abs. Deviation:	31.1517106131	0.0052944510813
Average Abs. Deviation:	28.3739333243	0.0113756100196
Quartile Dispersion:	0.170834018709	0.260571884556
Relative Mean Diff.:	0.214806851298	0.374560651131
Standard Error:	15.9056812617	0.00685065913372
Coef. of Variation:	0.177365969911	0.318584367146
Skewness:	0.0641278365979	-0.267226045837
Kurtosis:	0.807020409724	0.811105409075
Sum:	1002.62143148	0.240415743731
Sum Absolute:	1002.62143148	0.240415743731
Sum Squares:	206109.7609	0.012498576578
Mean Square:	41221.95218	0.00249971531561

---

### Complete Spatial Randomness

Lambda:	3.46585905903e-005
Clark and Evans:	2.36103499344
Skellam:	44.8837697461

### Gridding Rules

Gridding Method:	Kriging
Kriging Type:	Point
Polynomial Drift Order:	0
Kriging std. deviation grid:	no

### Semi-Variogram Model

Component Type:	Linear
Anisotropy Angle:	0
Anisotropy Ratio:	1

Variogram Slope: 1

### Search Parameters

No Search (use all data): true

### Output Grid

Grid File Name: C:\mis documentos\alumnos\Oscar\Xochimilco  
rabanos.grd  
Grid Size: 65 rows x 100 columns  
Total Nodes: 6500  
Filled Nodes: 6500  
Blanked Nodes: 0  
Blank Value: 1.70141E+038

### Grid Geometry

X Minimum: 494153.75  
X Maximum: 494626.81  
X Spacing: 4.7783838383838  
  
Y Minimum: 2129292.339  
Y Maximum: 2129597.3  
Y Spacing: 4.7650156249947

### Univariate Grid Statistics

---

	Z
Count:	6500
1%%-tile:	0.024810663323
5%%-tile:	0.0288881689037
10%%-tile:	0.0319691290146
25%%-tile:	0.0385243786409
50%%-tile:	0.0462577546132
75%%-tile:	0.065528419933
90%%-tile:	0.0714847245698
95%%-tile:	0.0738690591595
99%%-tile:	0.0781125093376
Minimum:	0.0201817983327
Maximum:	0.0823463446167

Mean:	0.0504900097168
Median:	0.0462579061673
Geometric Mean:	0.0481888083158
Harmonic Mean:	0.0459191177339
Root Mean Square:	0.0527073426156
Trim Mean (10%%):	0.0503825251502
Interquartile Mean:	0.0490660692752
Midrange:	0.0512640714747
Winsorized Mean:	0.0505390562587
TriMean:	0.0491420769501
Variance:	0.000228858093339
Standard Deviation:	0.0151280564957
Interquartile Range:	0.0270040412921
Range:	0.0621645462841
Mean Difference:	0.0172981796182
Median Abs. Deviation:	0.0120013810295
Average Abs. Deviation:	0.0132071607778
Quartile Dispersion:	0.259522489181
Relative Mean Diff.:	0.34260598711
Standard Error:	0.00018764044723
Coef. of Variation:	0.299624749146
Skewness:	0.213482489671
Kurtosis:	1.74091348464
Sum:	328.185063159
Sum Absolute:	328.185063159
Sum Squares:	18.0574157764
Mean Square:	0.0027780639656

---