



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA**

**Cambio morfológico de *Allium cepa* L. (cebolla, variedad cambray), debido a la exposición de uranio y torio**

**TESIS**

Que para obtener el título de

**BIÓLOGO**

**PRESENTA**

Jorge Carrillo Quiroz

ÁREA: CONTAMINACIÓN

**DIRECTOR DE TESIS**

Dr. Faustino Juárez Sánchez  
Instituto de Geofísica

**ASESORA INTERNA**

Dra. Esther Matiana García  
Amador  
FES- Zaragoza

Ciudad de México, del 2018



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.

Índice general.....	I
Índice de cuadros .....	II
Índice de figuras .....	III
Agradecimientos.....	IV
Dedicatoria.....	V
Resumen.....	VI
Introducción.....	VII
Capítulo 1.	
Justificación.....	1
Planteamiento del problema.....	1
Hipótesis.....	2
Objetivos generales.....	2
Objetivos particulares.....	2
Historia de la radiactividad.....	3
Radiación.....	5
a. Espectro electromagnético.....	7
b. Tipos de radiaciones: partículas alfa, partículas beta y rayos gamma.....	8
c. Interacciones de la radiación con la materia.....	11
d. Decaimiento radiactivo.....	13
e. Vida media.....	15
f. Series de decaimiento para uranio y torio.....	17
Fuentes de la radiación.....	18
g. Natural.....	18
h. Artificial.....	19
i. Características del torio y su distribución.....	22
j. Características del uranio.....	25
k. Uranio en suelo. ....	27

Bioensayos con plantas para el monitoreo de sitios alterados.....	28
a. Biología de <i>Allium cepa</i> Linneo variedad cambray.....	28
b. Origen y desarrollo de la raíz.....	29
c. Mitosis en células vegetales.....	31
d. Mecanismos de adaptación de las plantas al exceso de elementos traza en su medio de crecimiento.....	33
Toxicidad. <i>Allium cepa</i> L. como indicador.....	34
e. Torio en plantas.....	38
f. Uranio en plantas.....	39
g. Torio en humanos.....	39
h. Uranio en humanos.....	40
Uranio en México.....	43
a. Breve Descripción de la explotación de uranio en México....	46
b. Composición de los fertilizantes inorgánico.....	47
Capítulo 2	
Metodología.....	51
a. Selección de los organismos <i>Allium cepa</i> L. variedad Cambray..	53
b. Montaje de la población de <i>Allium cepa</i> L. variedad Cambray....	53
c. Limpieza de material.....	53
d. Elección de organismos de <i>Allium cepa</i> L. variedad Cambray....	54
e. Tratamiento de organismos <i>Allium cepa</i> L. variedad Cambray...	54
f. Montaje de los organismos seleccionados.....	55
g. Tinción y montaje de las raíces.....	55
h. Digestión ácida de los organismos.....	57
Capítulo 3	
1. Resultados.....	59
Capítulo 4	
a. Análisis de resultados.....	81
b. Conclusiones.....	91
Bibliografía.....	93
Anexos.....	99

## Índice de cuadros

Cuadro 1.-Espectro electromagnético.....	7
Cuadro 2.-Descripción de partículas beta. ....	9
Cuadro 3.-Descripción de las partículas alfa y beta. ....	12
Cuadro 4.-Generalidades de los actínidos. ....	21
Cuadro 5.-Información general del uranio. ....	25
Cuadro 6.-Ventajas y desventajas de <i>Allium cepa</i> L. en un bioensayo.....	36
Cuadro 7.-Contenido porcentual de torio en humanos.....	40
Cuadro 8.-Promedio de uranio por ingesta.....	42
Cuadro 9.-Municipios con presencia de minerales radioactivos.....	44
Cuadro 10.-Resultados de los yacimientos útiles de la pegmatita El muerto...	44
Cuadro 11.-Radioisótopos presentes en las muestras de agua de la presa Matías Romero.....	45
Cuadro 12.-Tendencia de crecimiento de las reservas de Uranio en México...	46
Cuadro 13.-Estados con reservas uraníferas en México.....	47
Cuadro 14.-Diseño experimental para Uranio, concentración y tiempo de exposición .....	54
Cuadro 15.- Diseño experimental para Torio, concentración y tiempo de exposición.....	55
Cuadro 16.- Acumulación de uranio en órganos de <i>Allium cepa</i> L. variedad cambray después de 24 hrs.....	62
Cuadro 17.- Acumulación de uranio en órganos de <i>Allium cepa</i> L. variedad cambray después de 72 hrs.....	62
Cuadro 18.-Acumulación de uranio en órganos de <i>Allium cepa</i> L. variedad cambray después de 120 hrs.....	63

## Índice de figuras

Figura 1.-Grafica de decaimiento radiactivo.....	16
Figura 2.-Características de los núclido en una serie radioactiva.....	17
Figura 3.-Distribución de torio en suelos de diversos países.....	24
Figura 4.-Concentraciones de torio en cuerpos acuáticos y otros.....	24
Figura 5.-Concentración de uranio en suelos.....	27
Figura 6.-Descripción taxonómica de <i>Allium cepa</i> L.....	28
Figura 7.- Desarrollo de los tejidos meristemáticos en raíces de plantas.....	30
Figura 8.- Porcentaje de torio en huesos.....	40
Figura 9.-Contenido porcentual de uranio en humanos.....	41
Figura 10.-Distribución de uranio en el ser humano.....	42
Figura 11.-Comparación de concentraciones de uranio en humanos.....	43
Figura 12.-Conversión de amoniaco en varios fertilizantes nitrogenados.....	49
Figura 13.- Rutas de tratamiento para la producción de fertilizante a partir de roca fosfórica .....	50
Figura 14.-Metodología general del proyecto.....	52
Figura 15.-Montaje de las raíces para observación microscópica.....	56
Figura 16.- Microscopio LEICA de luz visible ICC50.....	57
Figura 17.-Digestión ácida de <i>Allium cepa</i> L.....	57
Figura 18.- Lectura de muestra en el equipo ICP.....	57
Figura 19.- Raíces de los organismos blanco de <i>Allium cepa</i> L. variedad cambray al cabo de 24 horas de inducción (U).....	59
Figura 20.- Raíces de los organismos de <i>Allium cepa</i> L. variedad cambray al cabo de 72 horas de inducción (U).....	60

Figura 21.- . Raíces de los organismos de <i>Allium cepa</i> L. variedad cambray al cabo de 120 horas de inducción (U).....	61
Figura 22.- Crecimiento de la raíz en <i>Allium cepa</i> L. ....	63
Figura 23.- Número de raíces en A. cepa.....	64
Figura 24.- Crecimiento de las hojas fotosintéticas en A. cepa.....	64
Figura 25.- Organismo estándar después de 24 horas.....	66
Figura 26.- Organismos estándar después de 24 horas (continuación).....	67
Figura 27.- Figura 27. Concentración 0.5 ppm de uranio con un tiempo de exposición de 24 horas.....	69
Figura 28.- Concentración 0.5 ppm de uranio con un tiempo de exposición de 24 horas (continuación).....	70
Figura 29.-Concentración 3 ppm de uranio con un tiempo de exposición de 24 horas.....	72
Figura 30.- Concentración 3 ppm de uranio con un tiempo de exposición de 24 horas. (continuación).....	73
Figura 31.- Concentración 6 ppm después de 24 horas de exposición.....	75
Figura 32.- Concentración 6 ppm después de 24 horas de exposición (Continuación).....	76
Figura 33.- Organismos Blancos después de 72 horas.....	77
Figura 34.- Concentración 0.5 ppm de uranio con un tiempo de exposición de 72 horas.....	78
Figura 35.- Concentración de 3 ppm de uranio con un tiempo de exposición de 72 horas.....	79
Figura 36.- Figura 38. Concentración 6 ppm de uranio con un tiempo de exposición de 72 horas.....	80
Figura 39.- Raíces de los organismos de <i>Allium cepa</i> L. variedad cambray al cabo de 24 horas de inducción (Th).....	81
Figura 40.- Raíces de los organismos de <i>Allium cepa</i> L. variedad cambray al cabo de 72 horas de inducción (Th). ....	82
Figura 41.- . Raíces de los organismos de <i>Allium cepa</i> L. variedad Cambray al cabo de 120 horas de inducción (Th).....	82

Figura 42.- Crecimiento de la raíz en <i>A. cepa</i> .....	83
Figura 43.-Numero de raíces en <i>A. cepa</i> .....	83
Figura 44.- Crecimiento de las hojas fotosintéticas.....	84



## Dedicatoria

Dedico esta investigación a mi madre Florentina Quiroz Hernández y a mi padre Melesio Carrillo Montalvo quienes me han enseñado el respeto por la vida en su multitud de formas, además de permitirme existir de la forma más cercana a la congruencia ante las distintas situaciones hermosas y adversas que se presentan en la cotidianidad, sus enseñanzas y su infinito amor.

## Agradecimientos

Agradezco al universo que por más comprensible que creemos concebirlo nos sorprende cada día, con detalles que permiten la variabilidad de las sensaciones.

A mi familia quienes me apoyaron en todo y me procuraron durante este proceso de culminación en mis estudios. A mi madre por su amor y actos de aliento que no me permitieron claudicar, a mi padre que con su esfuerzo me enseñó superar los inconvenientes. Mi hermana Silvia y mi hermano Sergio que con sus bromas y apoyo me incentivaron para dar lo mejor de mí. A mis sobrino(a)s Ernesto y Vanesa que con su curiosidad e intelecto motivaron la enseñanza de lo aprendido.

A la UNAM por los conocimientos y vivencias que alberga.

Al Programa Universitario México Nación Multicultural para estudiantes Indígenas y Afrodescendientes por la beca otorgada durante los años de formación preparatoria y universitaria para poder cumplir mi sueño de convertirme en un profesionalista dedicado a la preservación de la vida. En especial a la Maestra Evangelina Mendizábal coordinadora del programa y a Ofelia Reyes quien me brindo apoyo y enseñanzas en todo momento para fortalecer mi formación.

Al Doctor Faustino Juárez Sánchez por recibirme en el Laboratorio de Radiactividad Natural del Instituto de Geofísica, por su paciencia en todo momento, en quien veo no solo a mi director de tesis y de quien he aprendido maravillosas cosas, a quien considero un amigo, gracias.

A mis sinodales Maestro German Calva Vázquez quien me inculco a lo largo de sus enseñanzas una conciencia ética y práctica de la biología, Dra. Esther Matiana García Amador quien me dio todo el apoyo para concluir la investigación, a la Dra. María del Socorro Orozco Almanza y la Bióloga Aida Zapata por leer este escrito y ayudarme a mejorarlo.

A mis amigas y amigos: Verónica, Carolina, Zaid, Esaú, Xanath, Diana, Melisa, Mayra, Elisa, Miguel, Sandy, Maricela, Mónica y Laura con quienes he vivido momentos inolvidables en diversas épocas de la vida y hemos aprendido una gama de hermosas situaciones.

A todas las personas de mente abierta quienes creen en un cambio desde la conciencia y que no he mencionado. Gracias por todo.

## Resumen

En México no se cuenta con una norma oficial (NOM) que indique el contenido máximo de algunos elementos metálicos radiactivos tóxicos para la población humana y animales, tampoco está regulada la presencia de estos elementos en fertilizantes. Esto se debe principalmente a dos factores, el primero es la baja o nula investigación del tema y el segundo es a que los efectos son acumulativos y a nivel celular con efectos miméticos que se asocian a diversas enfermedades de origen bacteriano o viral pero no a efectos de radiación.

Por tal motivo se realizó la siguiente metodología se prepararon las muestras induciendo el desarrollo radicular, posteriormente se seleccionaron a los organismos que cumplieron con dicho requerimiento (4 raíces mínimo por bulbo), el paso siguiente fue el de sumergir las raíces en diferentes disoluciones de uranio y torio (0.5 ppm, 3 ppm y 6 ppm), al paso de diferentes tiempos de exposición (24 hrs, 72 hrs y 120 hrs). Al paso del tiempo se tomaron las medidas del desarrollo de los organismos, así como se seleccionaron, fijaron, secaron y tiñeron, las raíces con aceto-orceina y se montaron por la técnica squash. Además se tomó un organismo de cada grupo de tratamiento y se realizó una técnica de digestión ácida, se aforaron y se leyeron en el detector de plasma acoplado inductivamente (ICP).

Se obtuvieron imágenes de las células del meristemo apical radical, las fotografías muestran diferentes efectos dependiendo de las concentraciones a las que fueron sometidas. Estos efectos fueron más representativos con los organismos sometidos a la concentración de 3 ppm de uranio a las 72 horas de exposición, mostro un mayor desarrollo del número de raíces, menor longitud y en las imágenes se observaron desacomodos en las hileras del tejido tanto del procortex, como de la protodermis además que el meristemo apical se ve en desorden celular, incluso se muestra una acumulación en raíz y tallo. Como conclusión se tiene que el organismo *Allium cepa* L. variedad cambray, muestra efectos físicos notables, que sirven como indicador de que este producto fue expuesto a fertilizantes, suelo o agua con alto contenido de uranio lo que llevara a indicar la posible toxicidad para el consumo de los mismos.

## Introducción

En el medio ambiente se pueden dispersar diferentes tipos de elementos gracias a las actividades humanas (uso indiscriminado de fertilizantes en los suelos de cultivo o una explotación minera sin saneamiento del sitio entre otras situaciones), estos presentan características particulares y en algunos casos pueden ser nocivos (metales pesados) pero en otros aún se desconoce su efecto en los seres vivos y en particular en el ser humano.

Debido a lo anterior se planteó una investigación donde se utilizó como objeto de estudio a dos elementos denominados radiactivos: el uranio y el torio, cuya fuente de emisión es diversa, principalmente debido al uso de fertilizantes provenientes de minerales como la fosforita además del proceso extractivo que se lleva a cabo para su obtención, deja jales en el medio ambiente y al mantener una relación con los factores meteorológicos (clima, dirección del viento, precipitación, etc.) se integran en los diferentes ecosistemas, de esta manera se podrían incorporar a los productores primarios y posiblemente a la cadena alimenticia humana.

Por un lado entre los antecedentes se encuentran la amplia distribución de los fertilizantes inorgánicos provenientes de la roca fosfórica, en los suelos agrícolas de México y por el otro la presa Matías Romero en el estado de Oaxaca en donde se encontró la presencia de elementos radioactivos cuya fuente de emisión fue producto de la actividad antropogénica y debido a la lixiviación de elementos presentes en el suelo se encontraron en el agua, misma que es utilizada para riegos de cultivo de hortalizas.

En la presente investigación se utilizó *Allium cepa* L. variedad cambray debido a la sensibilidad presente en los meristemas primarios radiculares a los compuestos potencialmente tóxicos. Con el objetivo de generar información del efecto en los seres vivos, ya que en la normatividad mexicana no existe alguna ley que indique los límites máximos permisibles para los elementos anteriormente mencionados.

## **CAPITULO 1**

### **Justificación**

El presente trabajo se realizó con base a estudios previamente realizados en la región de los Valles Centrales de Oaxaca, concretamente en la zona de Huitzo, que se ubica en las coordenadas 17°16' latitud norte, 96°53' longitud este y a una altura de 1,700 metros sobre el nivel del mar (Cabrera, 2003), en donde se encuentra una mina abandonada con material expuesto en la superficie de mineral de torio y uranio, el cual por efectos del intemperismo, es transportado a la presa Matías Romero, esta presa sirve para el almacenaje de agua empleada en riego de cultivos que es la principal actividad del lugar, sin embargo, dada la geoquímica y geología del lugar la cual pertenece al complejo oaxaqueño, este presenta fracturamiento, siendo por lo tanto que debido al fracturamiento en el embalse, el agua contenida en la presa, se filtre fácilmente al subsuelo, aumentando el riesgo de ingesta de U y Th ya que el suministro de agua potable es mediante extracción en pozo el cual se encuentra a una profundidad de 20 m por lo que es somero y está ubicado a corta distancia de la presa 1.5 Km aprox.

En la zona no se tienen estudios para conocer los efectos que se producen en cultivos, de igual forma es mínima o nula la información del tema en cualquier producto agrícola en México para estos elementos radiactivos, los cuales dicho sea, están presentes en fertilizantes inorgánicos minerales empleados en toda la República Mexicana de ahí la importancia de este estudio.

### **Planteamiento del problema**

En México no se cuenta con una norma oficial (NOM) que indique el contenido máximo de algunos elementos metálicos radiactivos tóxicos para la población humana y animales, tampoco está regulada la presencia de estos elementos en fertilizantes. Esto se debe principalmente a dos factores, el primero es la baja o nula investigación del tema y el segundo es a que los efectos son

acumulativos y a nivel celular con efectos miméticos que se asocian a diversas enfermedades de origen bacteriano o viral pero no a efectos de radiación.

## **Hipótesis**

La radiación ionizante producida por el decaimiento de los isótopos radiactivos de del torio y uranio, producen alteraciones en del desarrollo de un organismo en este caso plantas (en este trabajo *Allium cepa* L. variedad cambray). Las concentraciones elevadas de estos elementos impactaran en mayor medida los cambios a nivel celular en forma micro y pudiendo a ser evidentes en forma macro dependiendo de los especímenes y concentraciones de nutrientes asociados con estos elementos, entonces es factible reconocer los efectos de la radiación ionizante en la morfología del espécimen en estudio.

## **Objetivos generales**

- Realizar un bioensayo con fuentes de U y Th a diferentes concentraciones para evaluar su efecto en *Allium cepa* L.
- Realizar observaciones macro y microscópicas buscando alteraciones morfológicas en los cultivos expuestos a los elementos radiactivos.

## **Objetivos particulares**

- Determinar el efecto del uranio y el torio en el potencial de respuesta de la raíz.
- Desarrollar metodología para la identificación de alteraciones causadas por U y Th en los especímenes estudiados
- Cuantificar la concentración de torio y de uranio en raíz, tallo y hoja de la cebolla.

## Historia de la radiactividad

En el año de 1895, Wilhelm Conrad Roentgen de la Universidad alemana de Wurzburg se interesó por los rayos catódicos producidos en un tubo de Cookes, Jaminon y Navarro (2009) lo describen así:

“Este tubo no es más que un recipiente de vidrio herméticamente cerrado, en cuyo interior hay un gas a baja presión, dos electrodos y algún otro dispositivo en función del experimento a realizar. Los rayos catódicos son emitidos por el cátodo del tubo cuando entre sus electrodos se establece una diferencia de potencial.”

El fenómeno ocurrido en dicho tubo, consistió en utilizar la fluorescencia<sup>1</sup>; posteriormente los rayos alcanzaban el ánodo y producía una luz azulada.

Realizó ensayos que le permitieran detectar los rayos catódicos en el exterior del tubo por lo que ajusta su metodología de la siguiente forma: hizo una abertura detrás del tubo del ánodo que cubrió con papel aluminio, esto permitió que fuera permeable a los rayos catódicos y los evidencio con una pantalla de cartón impregnada con una sal de bario, además cabe señalar que el tubo estaba cubierto por una hoja negra para que absorbiera la luz emitida por la descarga (Jaminon y Navarro, 2009).

Llama su atención que al pasar corriente en su dispositivo, una luz se veía en la pantalla, siendo que este se encontraba lejos como para que los rayos catódicos se representaran ahí, tuvo que realizar repeticiones, con la particularidad de modificar las variables. Para así llegar a la conclusión de que la radiación era diferente a los rayos con los que había estado trabajando y a la luz misma, es así cuando nombra a estas emisiones como “Rayos X” (Jaminon y Navarro, 2009; Magill y Galy, 2005).

---

<sup>1</sup> Es un fenómeno ligado a la absorción de energía por los átomos que pasan de un estado excitado antes de volver a un estado de más baja energía, al tiempo que emiten luz visible y cuando cesa la excitación, cesa también la emisión de energía (Jaminon y Navarro, 2009).

Un año después de que este científico comprobara la existencia de los Rayos X es exhibido en una reunión de la Real Academia de Ciencias efectuada en el mes de enero en París, donde Henri Becquerel escucha el reporte del reciente descubrimiento (Magill y Galy, 2005).

Como lo describe Juárez (2014) Becquerel tuvo la pauta para comparar sus estudios realizados en fosforescencia<sup>2</sup> con el comportamiento de las sales de uranio, gracias a esto encontró que emitía radiaciones similares a los rayos X, con un considerable poder de penetración.

Este compuesto, que tenía la particularidad de no haber sido expuesto a la luz solar, se colocó en un cajón aislado del medio y tiempo después, las placas fotográficas que se encontraban junto a esta habían sido veladas por la sal de uranio, deduciendo así que esta emite rayos desconocidos hasta entonces. Becquerel descubre la radioactividad (Magill y Galy, 2005).

Ahora se nota que:” El término actual: radiactividad, no aparece sino un año después en una publicación de Pierre y Marie Curie sobre sus investigaciones químicas de la pechblenda, un mineral con alto contenido de uranio y radio” (Juárez, 2014). Lo que permite comprender que el avance en la implementación de este concepto fue posterior al trabajo arduo que realizaron estos científicos, no como lo fueron las aplicaciones que se tuvieron de manera inmediata a partir de los rayos X.

Los Curie en el año 1898 comprobaron que el torio mostraba una actividad similar a la del uranio (Jaminon y Navarro, 2009) y al trabajar después con un mineral llamado pechblenda que mantenía emisiones más fuertes que las del último elemento.

En su afán de encontrar una explicación a este fenómeno lograron aislar la parte no radioactiva del mineral, obteniendo como resultado una sustancia cuya radioactividad era 400 veces superior a la del uranio con propiedades similares a

---

<sup>2</sup> Proceso ligado a la absorción de energía por átomos seguida por emisión de radiación electromagnética y ésta, continúa emitiendo radiación después de algún tiempo de quitarse la fuente de excitación, este es un ejemplo de quimioluminiscencia. (Diccionario especializado de química, 2001)



las del elemento bismuto. Suponen así que debe de ser un elemento que aún no se conocía su existencia, al que llamaron polonio en honor del país de procedencia de Madame Curie anteriormente conocida como María Sklodowska (Magill y Galy, 2005; Juárez, 2014).

Al paso de unos meses encuentran en la pechblenda un mineral también denominado uranita, que tiene óxidos de uranio además es el mineral más rico en este, una sustancia también muy activa y que Juárez (2014) describe así:

[ ] “los esposos Curie encontraron que la pechblenda contenía otro producto, con una actividad 900 veces más intensa que la del uranio y cuyas propiedades químicas eran completamente diferentes a las del polonio. La segunda sustancia radiactiva que encontraron tenía toda la apariencia química del bario y la denominaron radio.”

Entonces, Marie Curie propone denominar Radioactividad a la capacidad de ciertas sustancias de emitir radiaciones, que tienen la presencia de uranio, torio y los dos elementos descubiertos, polonio y radio (Jaminon y Navarro, 2009). Hoy en día se conoce mayor información y esto da como resultado que este concepto sea mucho más amplio, que las sustancias radioactivas no se restrinjan a sólo las que contienen estos cuatro elementos. En la siguiente sección se darán las especificaciones que denotan este comportamiento en la materia.

### **Radiación.**

Al hablar de la Radiactividad se toma el concepto siguiente:

La radioactividad puede definirse como los cambios nucleares espontáneos que dan lugar a la formación de nuevos elementos. Estos cambios se llevan a cabo por alguno o varios mecanismos diferentes que involucran la emisión de partículas o la captura de electrones orbitales (Azorín, 1997) esta definición al paso del tiempo se ha ido modificando ligeramente. La radioactividad es un fenómeno físico y esta razón se encuentra gobernada por las propiedades del nucleares de las especies radioactivas en un tiempo,  $t$ , que es proporcional al número de átomos de cada especie presentes en ese tiempo (Krishnaswami y Cochran, 2008).

Según estas definiciones se describe que ésta, se relaciona con el comportamiento de los núcleos de un elemento particular debido a que emiten energía, de diferentes tipos denominados partículas alfa ( $\alpha$ ), partículas beta  $\beta$  y rayos gamma ( $\gamma$ ) adicional a este se mantiene un estrecho comportamiento con el tiempo (Narayan, 2009) cada una mostrando características particulares en su conformación y estructura.

A su vez mencionan Magill y Galy 2005, que a partir de los trabajos de Rutherford y Soddy en 1902-1903 la radiactividad, es la desintegración espontánea de elementos radioactivos por la expulsión de partículas que resultan en la formación de nuevos elementos, esto fue el sueño de los alquimistas: la transmutación de los elementos.

La palabra radiación se refiere en términos generales a la emisión de energía desde una fuente, bien sea como ondas (luz, sonido, etc.) o como partículas (rayos alfa, beta o gama) (Diccionario especializado de química, 2001) lo que ha permitido a la humanidad mantener una relación cada vez más consciente de lo que sucede con ella.

### a. Espectro electromagnético

En la siguiente tabla se presenta el espectro electromagnético con los diferentes tipos de ondas y su respectiva longitud.

Cuadro 1.- Espectro electromagnético (Philp, 2013).

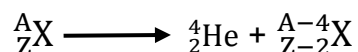
Componentes del espectro electromagnético	
Tipo de radiación	Longitud de onda
Ondas de radio	30Km-3cm
Microondas	3cm-10mm
Calor /térmica	0.078-0.001 mm
Infrarrojo (incluida la porción térmica)	0.5 mm-10000 A*
Visible	7800-4000 A
Ultravioleta	4000-1850A
Ultravioleta extremo	1850-150
Rayos X suaves	1000-5
Rayos X	5-0.06
Rayos gamma	1.4-0.01
Rayos cósmicos (protones 85%, partículas alfa 12%, electrones, rayos gamma, etc. )	-

Las fuentes de la radiación son variadas, tales como la proveniente del cosmos, de la misma tierra y la creada por el hombre (artificial) todas dentro del espectro electromagnético.

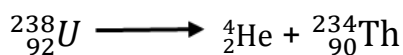
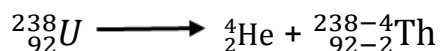
## b. Tipos de radiaciones

### Partículas alfa ( $\alpha$ ):

Las partículas alfa se consideran semejantes a los núcleos de helio por su carga protónica. En consecuencia, Azorín, 1997 y Juárez, 2014 mencionan lo siguiente: ésta tiene carga eléctrica positiva y se desvía poco al pasar a través de un campo electromagnético, además, al ocurrir una emisión alfa sucede que el núcleo hijo cuyo número atómico es igual al número atómico de su padre menos dos ( $Z-2$ ) y cuyo número másico es el número másico del padre menos cuatro ( $A-4$ ) lo que genera la siguiente reacción generando de esta forma un elemento químico diferente:



El ejemplo surge a partir de la observación de la carta de decaimiento (anexo A) del uranio con una masa atómica de  $A=238$  y con un número atómico de  $Z=92$  que al emitir una partícula alfa genera a su primer isótopo, el torio con una masa  $A=234$  y con número atómico de  $Z=90$ , representado por la siguiente ecuación:



**Partículas beta ( $\beta$ ):** Al retomar la descripción de Magill y Galy (2005) además de Santamaría (2008) se tiene para este tipo de emisión:

Cuadro 2. Descripción de partículas beta.

Tipo de decaimiento	Reacción	descripción
<b>Beta negativo (<math>\beta^-</math>)</b>	${}^A_Z X \longrightarrow {}^A_{Z+1} Y + \beta^- + \bar{\nu}$ <p>Donde X e Y son los núcleos padre e hijo respectivamente, <math>\beta^-</math> es un electrón ordinario y <math>\bar{\nu}</math> es un antineutrino, se presenta el aumento del número atómico en una unidad.</p>	A partir de un núclido rico en neutrones, estos en el núcleo pueden decaer a un protón de este modo un electrón ( $\beta^-$ ) es emitido siempre con un anti-neutrino ( $\bar{\nu}$ ) <sup>3</sup> .
<b>Beta negativo (<math>\beta^+</math>)</b>	${}^A_Z X \longrightarrow {}^A_{Z-1} Y + \beta^+ + \nu$ <p>Aquí se presentan a X e Y como los núcleos padre e hijo respectivamente, <math>\beta^+</math> representa al positrón y <math>\nu</math> es el neutrino<sup>4</sup>.</p>	En un núclido rico en protones, un protón en el núcleo cambia a un neutrón de este modo un positrón ( $\beta^+$ ) es emitido con un neutrino ( $\nu$ ).
<b>Captura de electrones</b>	${}^A_Z P + e^- \longrightarrow {}^A_{Z-1} D^* + \nu$ <p>Se muestra a P como el núcleo padre que genera un núcleo con un protón menos, el hijo <math>D^*</math> excitado, más un neutrón.</p>	Sucede cuando un electrón del orbital es capturado por el núcleo, estos electrones son usualmente los que se encuentran en la capa K.

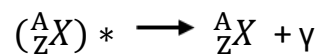
<sup>3</sup> Al igual que el neutrino no tiene carga ni masa. Es la antipartícula del neutrino. (Santamaría, 2008)

<sup>4</sup> Partícula efímera, sin carga y con masa de reposos igual a cero. (Santamaría, 2008)

		El resultado es que el átomo hijo tiene un protón menos que el átomo padre. Los electrones restantes se acomodan para corresponder a la nueva estructura del átomo, originando un estado excitado del mismo.
<p>Juárez (2014), añade:</p> <p>“Debido a la menor masa que la radiación alfa, tienen más poder de penetración que las partículas alfa siendo absorbidas por una lámina de aluminio de 0.5 mm de espesor y quedan frenadas en algunos m de aire, o por 1 cm de agua.”</p>		

## Rayos gamma ( $\gamma$ )

La descripción que se tienen para los rayos gamma es que a partir de un átomo en estado de excitación, este decae a través de la emisión de fotones de radiación electromagnética como los rayos X o la luz visible (Magill y Galy, 2005). Es decir, a partir de un decaimiento alfa o beta que da como resultado un núcleo excitado, este decae hasta llegar al estado base a través de una o muchas radiaciones gamma (Santamaría, 2008). Lo anterior es representado de la siguiente forma:



El asterisco representa al núcleo excitado debido a que se emite radiación gamma. Santamaría (2008) menciona: [ ]...“y tanto el padre como el hijo tienen la misma estructura de partículas nucleares” además al comparar su poder de penetración su energía es mayor pues presenta longitud de onda mucho menor. Cuando un núcleo emite una partícula alfa, su número másico se reduce en cuatro

unidades y su número atómico en dos unidades. Este proceso se da en átomos con un número atómico elevado (Juárez, 2014).

### **c. Interacciones de la radiación con la materia.**

La interacción de estas fuerzas con la materia puede llevar a diferenciar dos tipos de radiación: Radiación ionizante que consiste en un fenómeno en el que la radiación tiene la energía suficiente para arrancar un electrón a una estructura atómica generando un ion. Por otro lado la radiación no ionizante se caracteriza al presentarse una fuerza que solo permite la excitación de un electrón sin alejarlo del átomo pero tiempo después regresa emitiendo energía (Jaminon y Navarro, 2009).

Lehnert (2007) en *Biomolecular Action of Ionizing Radiation* señala que:

“La diferencia crítica entre la radiación ionizante y no ionizante es la medida de los paquetes individuales de energía, no la energía total involucrada. La energía liberada en forma de calor o energía mecánica es absorbida homogéneamente y las grandes cantidades de energía en esta forma tienden a dañar el material biológico.”

Teniendo en cuenta los efectos que se tiene sobre la materia se describe cuando la fuente de emisión expulsa rayos gamma ( $\gamma$ ), a diferencia de las partículas alfa y beta no tiene masa ni carga, se generan las siguientes interacciones de estos fotones con la materia.

El cambio denominado *efecto fotoeléctrico* consiste en producir a partir de la interacción de la radiación sobre la materia en particular de un átomo, la diferencia entre la energía de incidencia del fotón menos la energía comprometida del electrón en un orbital (K, L o M), da como resultado la energía cinética que obtendrá un electrón producto de la interacción entre la radiación que incide en él (Lehnert, 2007; Narayan, 2007).

Por otro lado el *efecto Compton* el cuál se forma al interactuar la radiación sobre un electrón, o dicho de otra forma relación fotón –electrón generándose así una interacción de ellos con el resto de la materia provocando así una mayor cantidad de ionizaciones y excitaciones (Lehnert, 2007 ; Narayan, 2007).

Y para finalizar, se encuentra *la formación de pares*, estos son emitidos por los rayos gamma, la forma de generación es: cuando un fotón con una elevada cantidad de energía interactúa con el núcleo de un elemento provoca la formación de un electrón libre y un positrón, e incide sobre la materia provocando una serie de interacciones que provocan ionización en el resto de los átomos (Lehnert, 2007; Narayan, 2007).

Interacciones de las partículas alfa y beta con la materia (Santamaría, 2008; Konya y Nagy, 2012)

Cuadro 3. Interacción con la materia de las partículas alfa y beta.

Tipo de partícula	Sitio específico	Cambio en la materia
<p>Alfa</p> <p>Esta presenta una energía de decaimiento que se encuentra en el rango de 4-10 MeV. Estas pueden interactuar con los electrones de los orbitales que conduce a la ionización u otros cambios químicos. Durante el camino de las partículas alfa, pueden interactuar con algunos electrones y puede transferir su energía a ellos.</p> <p>Y esta energía es inversamente proporcional al cuadrado de la velocidad de la partícula alfa, es proporcional a la energía cinética.</p>	Electrones del orbital	<p>Excitación</p> <p>Ionización</p> <p>Cambio químico</p>
	Núcleo	<p>Nuevos núcleos</p> <p>Cambio químico</p>
<p>Beta</p> <p>La transformación del núcleo y de la emisión de los orbitales puede resultar en</p>	Electrones del orbital	<p>Excitación</p> <p>Ionización</p>



<p>la emisión de un electrón. Las cargas positiva o negativa son llamadas beta positiva y negativa radiación.</p> <p>La masa de la partícula beta es de 0.51 MeV. Que es mucho menor a la masa de la partícula alfa. Además la velocidad de la partícula beta es mucho mayor que la alfa.</p> <p>La energía cinética producto de la interacción es parcial o totalmente transmitida a la materia.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Algunas partículas beta que interactúan en el campo del núcleo generan el efecto Bremsstrahlung<sup>5</sup>.</li> </ul>	<p>Cambio químico</p> <p>Aniquilación</p>
---	--	---

#### d. Decaimiento radiactivo

Es el proceso mediante el cual cierta cantidad de átomos de un elemento, al paso del tiempo sufren una desintegración del núcleo, por lo que pierden masa en forma de partículas.

Como lo explica Juárez (2014) es un proceso aleatorio o también llamado estadístico en donde:

“El número de átomos que se desintegran en un tiempo dado es directamente proporcional al número de átomos presentes en la muestra en cualquier tiempo  $t$ . La constante de proporcionalidad es conocida como la constante de desintegración, la medida de la radiactividad es la actividad.”

Al tenerse cierta cantidad de núcleos radioactivos representados con la letra  $N$  en un instante determinado,  $t$ , donde  $A$  es la actividad absoluta definida por el

<sup>5</sup> Se refiere a la emisión constante de rayos X a partir del núcleo. (Konya and Nagy, 2012)

número de descomposiciones por unidad de tiempo, el signo negativo indica una desintegración (Azorín, 1997; Konya y Nagy, 2012; Juárez, 2014) se tiene:

$$A = -dN/dt$$

Azorín (1997) define en su libro *Introducción a la física nuclear* que:

“La hipótesis básica del decaimiento radioactivo es que, cualquiera que sea la edad del núcleo, su probabilidad de desintegración por unidad de tiempo es contante y es conocida como constante de decaimiento radioactivo de un núclido<sup>6</sup> determinado y se expresa como”:

$$dN/dt = -\lambda N$$

En la ecuación anterior se indica que el número de átomos radiactivos  $dN$  que se desintegran en un intervalo de tiempo  $dt$ , es constante para cada isótopo<sup>7</sup> radioactivo. Además la constante de desintegración está identificada por  $\lambda$ , esta, es característica para cada núcleo o denominada especie radiactiva: en donde el signo negativo expresa al número de átomos radiactivos disminuyen al incrementarse el tiempo transcurrido. (Azorín, 1997; Juárez, 2014)

Al continuar con el análisis de la teoría, Krishnaswami y Cochran (2008) describen, al decaimiento constante  $\lambda$ , tiene unidades recíprocas de tiempo ( $\text{min}^{-1}$  o  $\text{año}^{-1}$ ) y representan la probabilidad de un átomo en particular sufriendo un decaimiento por unidad de tiempo.

La solución a la ecuación con la condición límite de  $N=N_0$  a  $t=0$  da como resultado la ley exponencial de decaimiento radioactivo:

---

<sup>6</sup> Se refiere a un átomo particular con un número  $N$  específico de neutrones y un número  $Z$  de protones. Esto es su número de masa ( $A=Z+N$ ). Los núclidos son altamente estables o radioactivos. Los núclidos radioactivos hacen referencia a los radionúclidos. (Magill y Galy, 2005, p 15).

<sup>7</sup> Es uno de dos o más átomos de un elemento con el mismo nombre que tiene un número de protones en su núcleo pero con diferente número de neutrones. (Magill y Galy, 2005, p 15).

$$N=N_0e^{-\lambda t}$$

Al retomar la ecuación anterior y expresarla en términos de actividad original, se tiene, al multiplicar  $A=\lambda N$  (constante de decaimiento) por ambos lados de la ecuación, la siguiente expresión:  $A=A_0e^{-\lambda t}$  (Krishnaswami y Cochran, 2008).

### **e. Vida Media**

Una propiedad característica de una especie radioactiva es: la vida media, definido como el tiempo en el cual un número de átomos iniciales se reducen a la mitad (Krishnaswami y Cochran, 2008) o dicho de otra forma:

“Se define la vida media de un radioisótopo como el tiempo necesario para que la actividad original se reduzca a la mitad...” (Juárez, 2014)

Esta a su vez se relaciona con el decaimiento constante, generando la siguiente ecuación (Krishnaswami y Cochran, 2008):

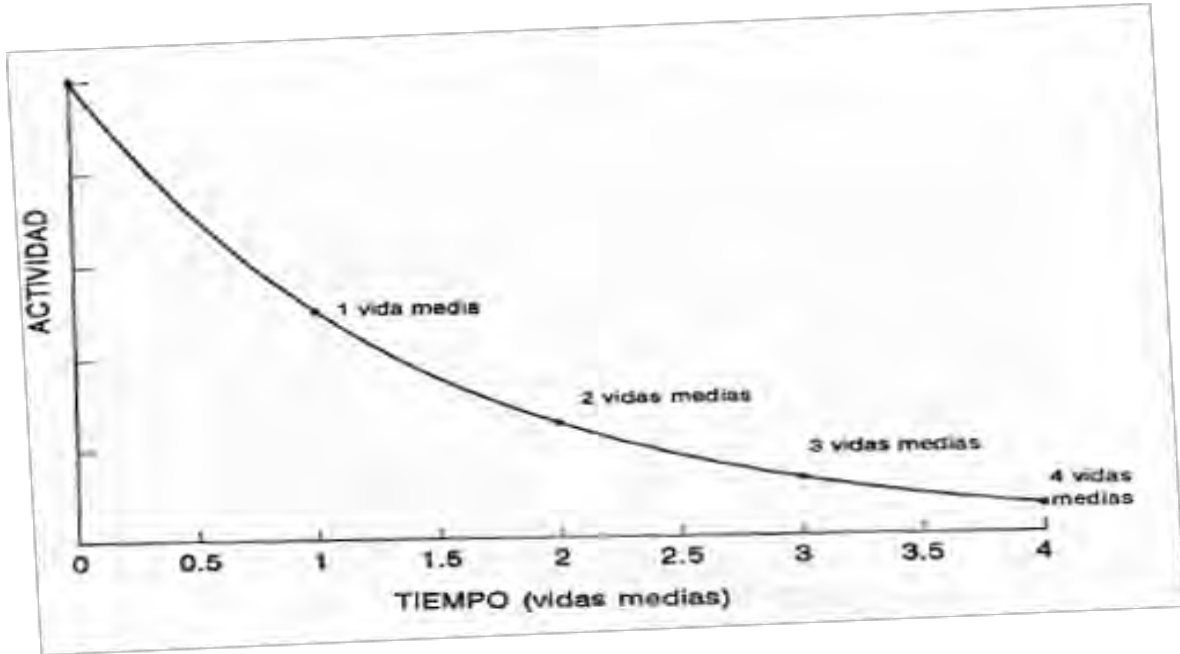
$$t_{1/2}=(0.693/\lambda)$$

Y significa finalmente:

[ ]...“el tiempo tomado por cualquier actividad inicial de un radionúclido para ser reducida a la mitad” (Juárez, 2014).

Se describe al inicio, cierta cantidad de núcleos radioactivos existe y presentan una constante emisión de energía particulada, el resultado de esta al paso de cierto tiempo, es la energía de emisión disminuida a la mitad (figura 1).

Figura.1 Grafica de decaimiento radiactivo. El tiempo esta expresado en vidas medias (Azorín, 1997).



La unidad de la radioactividad fue el Curie (Ci), definido como el número de descomposiciones en un gramo de radio por un segundo (Konya y Nagy ,2012). En la actualidad en el sistema internacional de unidades, para expresar la actividad, se usa el Becquerel (Bq) definido como una desintegración por segundo (Juárez, 2014).

La relación de dos unidades de actividad es:

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ des/s} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ des/s}$$

Se expresan submúltiplos del Curie que se usan con mayor frecuencia según Juárez (2014) son:

$$1 \text{ mCi} = 3.7 \times 10^7 \text{ des/s}$$

$$1 \text{ } \mu\text{Ci} = 3.7 \times 10^2 \text{ des /s}$$

$$1 \text{ pCi} = 3.7 \times 10^{-2} \text{ des/s}$$

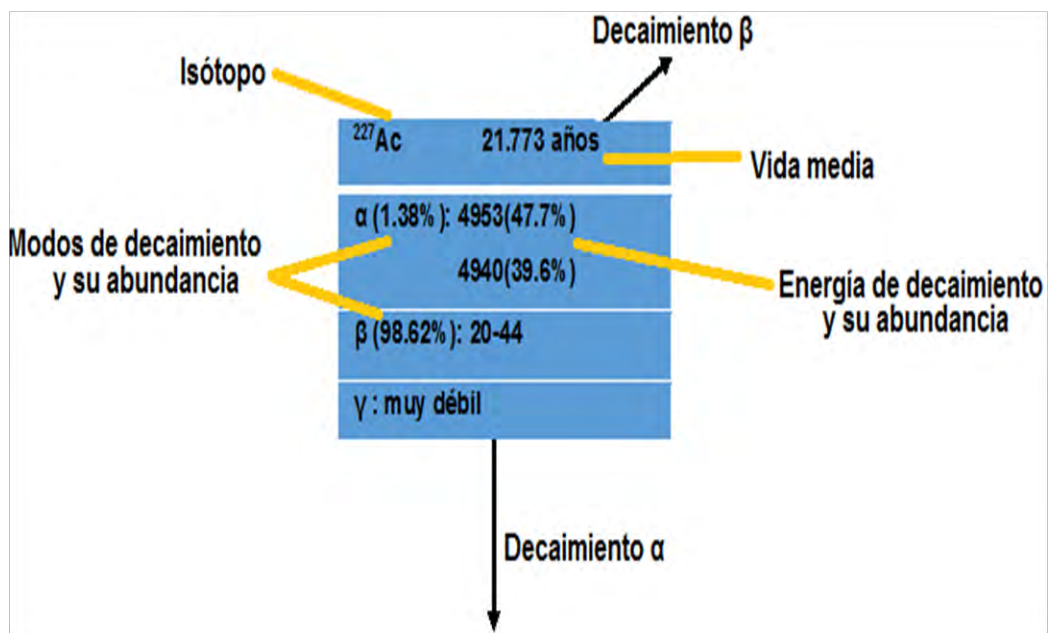
(Konya y Nagy, 2012)

## f. Series de decaimiento para Uranio y Torio.

En la naturaleza existen 3 series naturales de decaimiento radioactivo que son:  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  y  $^{232}\text{Th}$  (anexo A), lo atractivo de estas series es la información que brindan, Geibert (2008) describe los esquemas presentados y tienen la ventaja de que muestran a los elementos con su número atómico de forma descendente, donde los isotopos de cada elemento son mostrados en forma de hileras horizontales. Además se indican las intensidades y energías asociadas con el decaimiento individual, esto da una idea mayor acerca del efecto que tiene un isotopo determinado sobre la materia, es decir la cantidad de energía liberada a partir de un radionúclido particular en forma de distintos tipos de decaimiento.

Se describe la información particular para cada núclido que se encuentra por cierto tiempo en la naturaleza es decir su vida media, la energía en forma de algún tipo de decaimiento y su abundancia (figura 2). Lo anterior permite comprender el tiempo, energía emitida y su forma en el ambiente al interactuar con un compuesto radioactivo.

Figura 2. Características de los núclidos en una serie radioactiva (Geibert, 2008)



## Fuentes de la radiación.

### a. Natural

Los isótopos radioactivos incluyen tanto a los naturales como los artificiales. La radiación natural de los isótopos ha tenido efecto sobre los seres vivos durante su proceso evolutivo. Así los organismos podrían adaptarse tanto a la radiación natural como la antropogénica (Konya y Nagy, 2012).

Los isótopos radioactivos son elementos que tienen la propiedad de liberar energía particulada o en ondas según Juárez (2014) menciona que:

“la mayor actividad de radiactividad natural se encuentra en la corteza terrestre, tanto en el subsuelo como en la superficie, se tienen minerales que contienen radioisótopos radiactivos como:



Además los isótopos radioactivos están presentes desde la formación de la tierra y son producidos continuamente por las reacciones nucleares, debido a la interacción de los rayos cósmicos con átomos presentes en la atmósfera, ayudan a incrementar los elementos como: oxígeno, nitrógeno y argón (Konya y Nagy, 2012).

Existen elementos conocidos por su larga vida media, denominados isótopos primordiales o nucleónicos y se clasifican en dos grupos: El primer grupo contiene aquellos que forman parte de las series de decaimiento (anexo A), los más importantes son  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  y  $^{238}\text{Th}$  además de los núclidos hijos  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Bi}$  y  $^{210}\text{Po}$ . El segundo grupo de isótopos primordiales son aquellos producidos por la nucleogénesis, transformación que genera un isótopo estable mediante un solo paso. Por ejemplo:  $^{40}\text{K}$ ,  $^{50}\text{V}$ ,  $^{87}\text{Rb}$ ,  $^{113}\text{Cd}$ ,  $^{115}\text{In}$ ,  $^{123}\text{Te}$ ,  $^{138}\text{La}$ ,  $^{144}\text{Nd}$ ,  $^{152}\text{Gd}$ ,  $^{156}\text{Dy}$ ,  $^{174}\text{Hf}$ ,  $^{176}\text{Os}$ ,  $^{187}\text{Re}$  y  $^{190}\text{Pt}$  (Konya y Nagy, 2012).

## **b. Artificial**

En el origen antropogénico de los isótopos, se pueden destacar tres fuentes importantes según Konya y Nagy (2012):

1. Residuos radioactivos de isótopos a partir de laboratorios, que incluyen a los de industrias, investigación y médicos (la emisión regular de isótopos radioactivos como  $^{14}\text{C}$ ,  $^{85}\text{Kr}$ ,  $^{133}\text{Xe}$ ,  $^{135}\text{Xe}$  e isótopos de I, son los más importantes).
2. Residuos radioactivos a partir de la producción de energía nuclear y las tecnologías de procesamiento (un reactor nuclear de coque genera 440 MW de energía eléctrica y produce  $2.7 \times 10^{19}$  Bq/año de radioactividad). Desde las plantas nucleares pueden ser introducidos al ambiente mediante accidentes.
  - a. Como el caso de la Estación Nucleoeléctrica de Poder de Chernóbil en el año 1986, cuyo efecto llegó a zonas como: Rusia, Ucrania y Bielorrusia (Burlakova, 1995).
  - b. Lo ocurrido en el reactor 2 de Three Mile Island, la planta de energía nuclear en Pensilvania USA en el año de 1979 (Philip, 2013).
  - c. El desastre de la Planta Nuclear de Fukushima Daiichi en Japón en el año 2011 (Hirose, 2016).
3. La radioactividad de isótopos debido a las bombas nucleares y a los experimentos de explosiones de las mismas:
  - a. En el año 1945 en las ciudades Japonesas de Hiroshima y Nagasaki al final de la segunda guerra mundial, Estados Unidos arrojó una bomba de uranio y otra de plutonio respectivamente.
  - b. Explosiones realizadas por diversos países como la Unión Soviética (1949), Reino Unido (1952) y China (1964).

Las fuentes antes documentadas muestran el panorama que se tiene de manera generalizada, a partir del comienzo de la utilidad de estos elementos en el planeta. Se añade la siguiente información, aumentando la lista de afluentes.

4. El caso de la Minería del uranio, en particular la Pridnieprovsky Chemical Plant (PCP) la primer planta de procesamiento de uranio en Ucrania, se ubica cerca del Rio Dnipro en la ciudad de Dniprodzerzhinsk, se menciona por Voitsekhovitch *et al* (2006) que producto de la explotación por año de cerca de 1000 toneladas de uranio, al cierre de la planta se dejó como problemática ambiental los siguientes cambios en el medio:
  - La contaminación del agua en las inmediaciones de la mina con uranio ( $^{234}\text{U}$  y  $^{238}\text{U}$ ) además de otros radionúclidos ( $^{230}\text{Th}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Po}$  y  $^{210}\text{Pb}$ ).
  - El flujo del agua desde las áreas contaminadas de la mina, el molino y los vertederos en algunos casos cubiertos con fosfogypsum, provoca altos contenidos de radioactividad.
  - La erosión de los almacenes de los vertederos dispersa el material, debido a la acción del viento y el agua.
  - La contaminación del agua subterránea y superficial con elementos no radioactivos (metales pesados) producto de los procesos de extracción.
5. O incluso se menciona que existe la presencia de radionúclidos de manera natural en agua de consumo humano tal es el caso de la región de los Balcanes en Italia, según el equipo de trabajo de Guogang (2006), existe la presencia de Uranio ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$  y  $^{235}\text{U}$ ) con sus respectivos isotopos en agua bebible, además menciona que las concentraciones no sobrepasan lo establecido por la Agencia Italiana de Protección Ambiental y Servicios Técnicos, no constituyendo un riesgo para la salud de la población.



A continuación Kabata-Pendias y Szteke (2015) describen a los Actínidos y su distribución en el medio ambiente (agua, aire, suelo, plantas y humanos).

El termino actínido se usa para los elementos que se encuentran en la tabla periódica desde el actinio (Ac) al lawrencio (Lw), la IUPAC recomienda el termino *actinoides*, algunos de ellos son incluidos en el grupo de las tierras raras. De 14 elementos que pertenecen a este grupo solo 5 se encuentran de forma natural, estos son: actinio, protactinio, torio, uranio y plutonio (los 3 últimos son los más abundantes de sobre la tierra).

La forma de interacción que presentan los actinoides con el medio ambiente permite comprender su comportamiento diferenciándose del resto de elementos, debido a su capacidad de emitir energía (rayos gamma, partículas alfa y beta), además al ser electropositivos tienen la capacidad de ceder electrones de tal forma que generaran reacciones de óxido-reducción y al tener alotropos se mantendrán en la corteza terrestre de formas diversas (cuadro 4).

Cuadro 4. Generalidades de los actínidos (Kabata y Szteke, 2015).

Características de los actínidos
• Son radioactivos
• Son altamente electropositivos.
• Son metales muy densos y presentan diversos alotropos.

### c. Características de torio y su distribución

Metal blanco plateado cuyo rango de abundancia sobre la tierra es de 3.6-9.6 mg/Kg, con el isotopo  $^{232}\text{Th}$  cuyo decaimiento es muy lento, se encuentra en rocas ígneas acidas con una concentración de 10-23 mg/Kg y en una concentración aproximada por mayor al rango entre 10-22 mg/Kg en algunas rocas sedimentarias arcillosas. Este elemento se encuentra principalmente en los siguientes minerales:

Torita ( $\text{ThSiO}_4$ )

Tioranita ( $\text{ThO}_2 + \text{UO}_2$ )

Monacita [(Sm, Gd, La, Nd, Ce, Y, Th)  $\text{PO}_4$ ,  $\text{SiO}_4$ ]

(Reimann y De Caritat, 1998; Kabata-Pendias y Szteke, 2015)

La forma natural de asociación del torio con otros elementos según Reimann y De Caritat (1998) se muestra de las siguientes maneras:

- K, Th, U
- ETR-Li-Rb-Cs-Be-Nb-Ta-Zr-B-Th-U-F en pegmatitas.
- ETR-Th-P-Zr-Fe-Cu en monacita.
- ETR-Th-Ba-Sr-P-F-N-C en carbonatitas.
- ETR-U-Th-P-F en fosforitas.
- ETR-Au-Ti-Sn-Sr-Th en sitios minerales de placer.

\* ETR (Elementos de Tierras Raras o Rare Earth Elements)

Esta información permite comprender los elementos posibles que se encuentren en el medio a parte del torio, es decir tierras raras o elementos más comunes por la humanidad, como es el caso del potasio, fosforo y nitrógeno utilizados como fertilizantes.

Los datos en su producción son limitados, de acuerdo con Reimann y De Caritat (1998) citado en Kabata–Pendías y Szteke (2015) fue de 0.7 Mt<sup>8</sup> en 1984. Las reservas económicas en el mundo son estimadas en 1913 Mt de las cuales 1000 Mt son presentes en Canadá, 963 Mt en la India, 440 Mt en los Estados Unidos y 300 Mt en Australia (Cotton 1991 citado en Kabata –Pendías y Szteke, 2015).

Los principales usos del Torio son: en la fabricación de equipos electrónicos pues compone a varios electrodos además de que es utilizado y aplicado en equipos especiales de óptica e instrumentación científica; en equipos aerodinámicos, reactores nucleares, armas nucleares y en cohetes espaciales e inclusive para la creación de materiales resistentes, sometidos a elevadas temperaturas comúnmente usado como combustibles en estaciones de energía nuclear que produce radón (<sup>220</sup>Ra) radioactivo. El torio (igual que el uranio) es el único elemento radioactivo con mayor aplicación. (Kabata –Pendías y Szteke, 2015). Lo anterior nos muestra una gama variable y aplicable de usos para este elemento del grupo de los actínidos con mayor presencia en el planeta.

Las vías o caminos de este elemento en el entorno su uso indirecto con respecto a los fertilizantes con fosforo, la minería y procesamiento del uranio, combustibles de carbón y polvo geológico (Reimann y De Caritat, 1998).

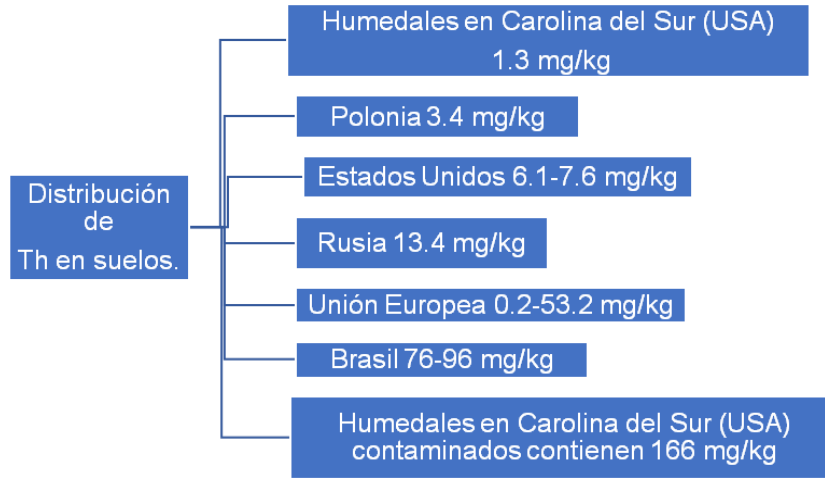
A continuación (figuras 3 y 4) se muestra la manera de la distribución de torio en suelo y cuerpos acuáticos.

Los datos de investigaciones realizadas alrededor del mundo, demuestran la distribución de este elemento en diversos países, se observa que el menor y el mayor rango se sitúan en USA, lo que evidencia su actividad elevada del manejo de Radionúclidos produciendo un incremento de dicho elemento. Por otro lado en Polonia el valor es de 3.4 mg/kg en suelo, para Rusia se muestra con una cantidad menor que en Brasil, USA y la Unión Europea. El valor para México no se reporta en este documento (figura 3).

---

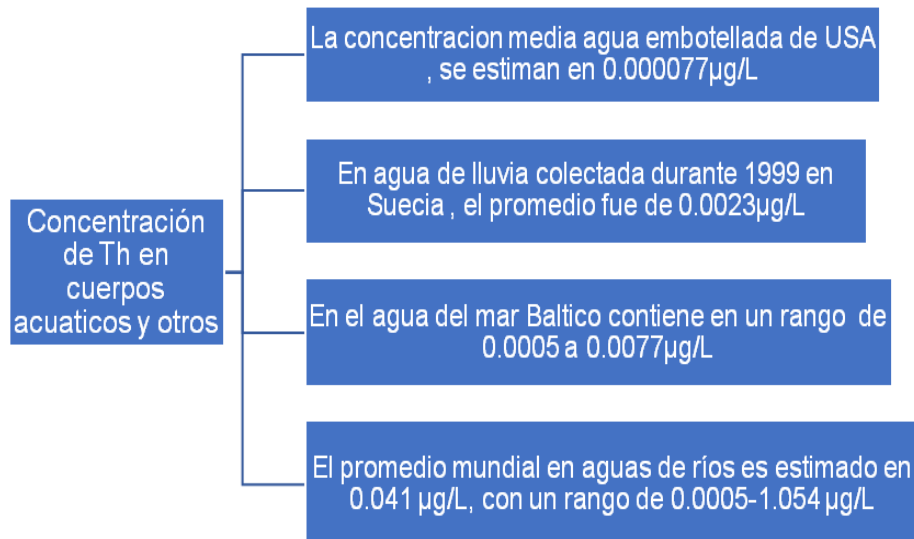
<sup>8</sup> Megatonelada (Mt): es la unidad de masa que equivale a 1 billón de kilogramos.(wikipedia)

Figura.3 Distribución de torio en suelos de diversos países.



Por otro lado se observa la concentración del mismo elemento presente en cuerpos acuáticos. Estos datos reportados muestran la cantidad permisible de torio en Estados Unidos para agua embotellada, indica que, el ser humano lo consume (figura 4).

Figura. 4 Concentración de Torio en cuerpos acuáticos y otros (Kabata-Pendias y Szeke, 2015).



Además el reporte para Suecia en el agua de lluvia, indica la relación estrecha que mantiene el ecosistema con la emisión de actínidos al ambiente desde hace 18 años lo que implica que los niveles han podido variar dependiendo del afluente y el país. El promedio mundial de este elemento en agua proveniente de ríos según este reporte se observa que es mayor que el contenido en agua permisible para el consumo humano, ahora bien al compararlo con el dato para agua del Mar Báltico se observa que el mínimo se asemeja al encontrado en agua de ríos (figura 4). Esto indica que existe un flujo en el ecosistema del elemento radioactivo (Kabata-Pendias y Szteke, 2015).

#### d. Características del uranio

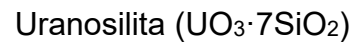
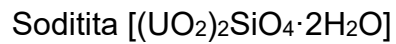
El uranio es un elemento metálico de color blanco-plateado y radioactivo. El más común de todos los isotopos es el  $^{238}\text{U}$  (99.28% de abundancia natural),  $\text{U}^{235}$  (0.72%) y el isotopo  $^{234}\text{U}$  es muy raro (0.006%). (Kabata-Pendias y Szteke, 2015). El valor promedio presente en la tierra, los óxidos más comunes, adicional al número de oxidación con el que puede trabajar este metal (cuadro 5).

Cuadro 5. Información general del uranio

Generalidades del uranio
Valor promedio 2.7 mg/kg en la tierra
La forma más común es en óxidos: $\text{U}_3\text{O}_8$ y $\text{UO}_2$
El estado de oxidación del uranio puede variar de la forma +2 a +6, esta ultima la más común.
El mineral más comercial es la pechblenda (uranita) de composición: $\text{UO}_2 + \text{UO}_3$ .

El mineral más usual de comercialización es la pechblenda, Juárez (2014) añade que: “La pechblenda es una especie mineral, también denominada uranita, en la que existen básicamente óxidos de uranio y es hasta ahora el mineral más rico en ese elemento. Su nombre proviene de la palabra griega pitta= pez (substancia negra, pegajosa) y la alemana blind = ciego, engañoso, que aluden al color del mineral y a que tiene la apariencia de la galena sin serlo. En México existe en los estados de Chihuahua y Oaxaca, principalmente. “

Los minerales de uranio se encuentran asociados medianamente al silicio son:



(Reimann y De Caritat, 1998; Kabata-Pendias y Szeke, 2015)

Reimann y De Caritat (1998) indican las siguientes maneras en que este elemento se asocia con otros de forma natural en el ambiente:

- **U-Mo-Se-V-Cu-C** en arenisca o depósitos de uranio.
- **U-Cu-Ag-Co-V-Ni-As-Au-Mo-Se-Bi** en depósitos de uranio.
- **U-Cu-Ag-Co-Ni-As-V-Se-Mo-Au** en depósitos de uranio.
- **ETR-U-Th-Mo-Nb-Ti** en depósitos de pegmatita de uranio.
  - **U-Nb-Th-Cu-F-P-Ti-Zr** carbonatita.
  - **ETR-U-Th-Ti-Zr-Au**

La información anterior indica la presencia de otros elementos asociados con el uranio, que se encuentran en el medio.

El uso del uranio va desde ser parte de superficies controladas de aeronaves, utilizado en misiles basálticos contra material blindado e inclusive como colorante, produciendo tonos rojo-naranja y amarillo-limón (Kabata-Pendías y Szeke, 2015). Aunado a las vías de dispersión del mismo elemento en el medio, debido a la molienda y minería del uranio, fertilizantes fosfatados así como la combustión del carbón (Reimann y De Caritat, 1998).

La producción mundial de uranio en 2009 aumento a cerca de 50 Mt, de los cuales 27 % fue minado en Kazajistán, el 20 % en Canadá, el 16 en Australia (USGS, 2011 citado en Kabata-Pendías y Szeke, 2015).

### e. Uranio en suelo

En los datos reportados se manejan promedios y rangos para zonas sin una contaminación, estos oscilan de 0.4 mg/kg como promedio mundial como la mínima y llegando hasta la máxima con un valor de 96 mg/kg se puede observar con interés que en países como Japón, Noruega, Polonia y Rusia presentan valores bajos a comparación al promedio mundial, ahora bien el contraste se observa al comparar los datos correspondientes a sitios alterados tales como: combustibles de plantas de energía, residuos nucleares y rocas fosfatadas utilizadas como fertilizantes, el valor en conjunto es de 80-1300mg/kg (figura 5). Estos datos enfatizan que el valor después de 61 años de uso de fertilizantes, asciende a 200 mg/m<sup>2</sup> (Kabata pendías y Szteke, 2015).

Figura. 5 Concentración de uranio en suelos (Kabata-Pendías y Szteke, 2015)



## Bioensayos con plantas para el monitoreo de sitios alterados.

### a. Generalidades de *Allium cepa* Linneo variedad cambray.

La cebolla también llamado bulbo de cebolla es un bulbo agrupado monocotiledóneo perineal a menudo bianual, es un cilindro ovoide o casi redondeado, formada por capas color blanco. Con un tallo herbáceo, fistula formada a partir de las hojas cilíndricas de hasta un metro de altura. Tiene la presencia de umbelas esféricas densamente floreadas. Presentan flores en estele y pedicelos de 3-4 son más largos que los Tépalos que se presentan de color verde –blanco de una longitud de 4-5mm, son oblongos y obtusos. Filamentos dentados en la base. Con la presencia de un tallo falso en la base del bulbo (<http://bios.conabio.gob.mx/especies/6019736>). Se presenta la información taxonómica de esta especie (figura 6) para así observar su clasificación.

Figura 6 .Descripción taxonómica de *Allium cepa* Linneo. (Cronquist, 1986)



La información botánica se describe como: una planta que pertenece al grupo de las *Alliaceae* y en particular a la familia de las *Liliaceae*, en esta familia hay organismos con sistemas radiculares subterráneos de almacenamiento y son bulbos comestibles, presenta crecimiento bienal, nativa del suroeste del continente Asiático, se distribuye en climas templados (Enciclopedia británica, 2014) se



considerar que tiene una distribución y consumo extendido tanto alimenticio como medicinal.

### **b. Origen y desarrollo de la raíz.**

La división celular se realiza en sitios específicos de las plantas denominadas regiones meristematicas, son aquellas que se expanden, crecen y se diferencian en los tejidos, órganos y sistemas del cuerpo de una planta. En el desarrollo embrionario de los vegetales se diferencian dos sitios: meristemos apicales y radiculares, posteriormente cada región desarrollada en estos sitios se le denominan ápices, que generan los tallos y las raíces en la planta adulta (Shepherd, 2006).

Los brotes y variedades de los meristemos con lo cual todas las células están constituidas se pueden encontrar o no, en un estado de desarrollo detenido o dormancia. El crecimiento detenido de los brotes es controlado por el medioambiente y los reguladores del crecimiento de la planta, las hormonas de crecimiento (Shepherd, 2006).

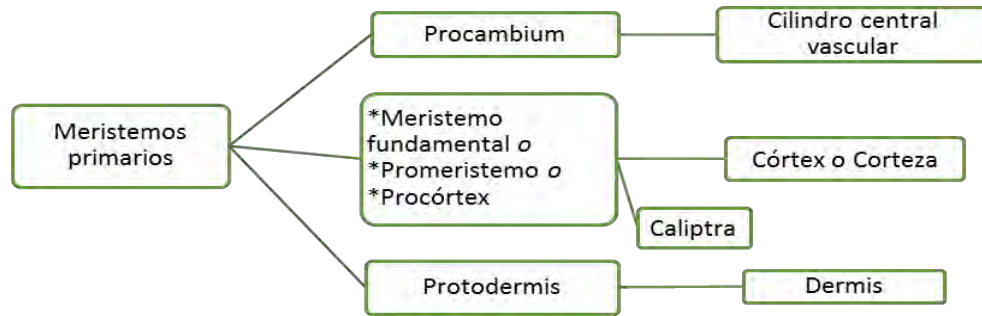
Los meristemos apicales generan el denominado cuerpo primario de la planta (tallos y hojas), por otro lado el cuerpo secundario de la planta se genera por medio del llamado cambium vascular desarrollando el tejido vascular (xilema y floema, ambos generados a partir del procambium que es el conjunto de células meristematicas del embrión); los meristemos radicales forman la raíz, en conjunto continúan produciendo nuevas células que se alargan y se diferencian, el resultado es el crecimiento de la planta (Shepherd, 2006).

En la raíz el meristemo apical del vástago da origen a regiones denominadas: protodermis, procambium y el promeristemo de donde se desarrolla la caliptra los cuales desarrollan el tejido primario. (Salisbury y Ross, 2000; Santamarina *et al*, 2004).

Los meristemos apicales tienen un centro de reposo (meristemo apical radicular o centro de quiescencia): la mayor parte de la actividad meristemática, o

división celular, tiene lugar a poca distancia de las células iniciales apicales, durante el crecimiento primario las células al diferenciarse generan tejidos distintos:

Figura 7.- Desarrollo de los tejidos meristemáticos en raíces de plantas (Santamarina *et al*, 2004; Alonso, 2011).



La información que se observa (figura 7) explica el cambio o diferenciación por el que pasan las células del tejido meristemático radical. Por un lado se observa que al inicio del desarrollo radicular la planta tiene o presenta 3 tipos de secciones, el procambium al diferenciarse forma células especializadas conocidas como el tejido vascular, con una posición central en la raíz y limita con el córtex (Santamarina *et al*, 2004; Alonso, 2011).

En segundo lugar se localiza un sitio conocido como el meristemo apical radicular o centro de quiescencia y a los lados se encuentra el procortex o meristemo proximal; posteriormente se desarrollara en el córtex, estas células originan la endodermis una capa interna formada por células vivas. Lo anterior rodeadas y protegidas por una sección de células llamadas caliptra o cofia radical o piloriza constituida por un número variable de células de almacenaje denominadas parénquima. Estas células del borde secretan mucilago cuya principal función es la de lubricar la raíz para el anclaje, estas células mantienen una relación directa con los microorganismos del suelo y almacenan almidón (Flores-Vindas, 1999; Salisbury y Ross, 2000; Santamarina *et al*, 2004; Alonso, 2011).

La protodermis es la capa externa que rodea a la raíz, al diferenciarse genera la epidermis que es una capa monoestratificada, en algunas especies forma los

pelos radiculares cuya función es la ampliar la superficie de absorción de agua y nutrientes en forma de iones, aunque toda la sección de la epidermis tiene esta característica de absorción (Salisbury y Ross, 2000; Santamarina *et al*, 2004; Alonso, 2011).

### **c. Mitosis en células vegetales**

El proceso de diferenciación se realiza mediante el ciclo celular, éste se desarrolla en los meristemas, cada determinado tiempo de 18 a 24 horas y requiere de 4 a 6 horas. Al inicio (interfase) se realiza un gasto energético en el crecimiento y por las funciones efectuadas, por lo que se transportan iones y nutrientes a las células, posteriormente entra en división (mitosis) (Shepherd, 2006). La mitosis después de la división longitudinal, genera dos células hijas, al final de este proceso y se mantiene el número de cromosomas de una célula somática (Sharma y Sen, 2002).

El ciclo celular es un continuo proceso que se divide de cinco fases, por un lado la interfase se divide en tres secciones: G1, S y G2 posteriormente ocurre la mitosis y para finalizar la citocinesis (Sharma y Sen, 2002; Shepherd, 2006)

Los sucesos más relevantes se describen a continuación, posterior a la división, a la célula le ocurre una serie de fases, antes de que inicie de nuevo el proceso de reproducción (Sharma y Sen, 2002; Shepherd, 2006).

- G1: Denominada la fase de crecimiento, en cada célula se activa la síntesis de proteínas, el citoesqueleto, los ribosomas y enzimas. Las mitocondrias y cloroplastos también se dividen. En invierno las células permanecen en estado de dormancia en sentido contrario lo que ocurre en las células especializadas de las hojas, denominadas mesófilo en empalizada es una aumento de la fotosíntesis, produciendo azúcares que la planta utiliza, en las raíces ocurre una asimilación de iones que contribuye a la nutrición mineral de la planta.

- S: Llamada fase de síntesis. En este proceso la célula se prepara para el inicio de la división, mediante la síntesis y replicación del ADN. Al final de este, se obtienen dos copias del genoma en forma de cromatidas hermanas.
- G2: Los cromosomas comienzan a condensarse. Los microtubulos y estructuras hechas por la proteína tubulina son parte del citoesqueleto de la planta, en este proceso los microtubulos extras se forman y se sintetiza una mayor cantidad de tubulina, formando una estructura llamada *banda pre-profásica* que muestra el plano donde la célula se dividirá.
- Mitosis: Se divide en 4 fases.
  - a. Profase: La cromatina se condensa en rollos de cromosomas, cada uno consiste de rollos de cromatidas hermanas idénticas unidas por el centrómero.
  - b. Metafase: La membrana nuclear y el nucléolo desaparecen. Los cromosomas se encuentran libres, se forma el huso cromático hecho de microtubulos, donde los cinetócoros de los cromosomas se unen a este huso, alineándose en el ecuador de la célula.
  - c. Anafase: Las cromatidas hermanas se separan emigrando a los polos de la célula a partir de la separación de cinetócoros que atraen a polos opuestos a los centrómeros de la célula, el resultado es un cromosoma hijo en cada sección.
  - d. Telofase: Se forma la membrana celular alrededor de cada sección de los cromosomas hijos además el nucléolo se forma en cada núcleo, el huso mitótico desaparece, generando los pragmoplastos que dividen a los núcleos debido a que son microtubulos opuestos. Y se termina de generar una vacuola para cada célula.

- Citocinesis: se genera la pared celular de las células y los conductos denominados plasmodesmos que permiten la comunicación entre células. Se forma el Simplasto (estructurado por citoplasma, retículo endoplásmico, membrana plasmática y el citoesqueleto) y el Apoplasto (formada por la sección externa del citoplasma) (Sharma y Sen, 2002; Shepherd, 2006).

#### **d. Mecanismos de adaptación de las plantas al exceso de elementos traza en su medio de crecimiento.**

Las raíces de las plantas tienen como principal función el anclaje de la célula pero también la nutrición y la absorción de agua, los solutos se desplazan de una célula a otra, y de un orgánulo a otro. La aportación de carbono, hidrógeno y oxígeno lo efectúan por las moléculas H<sub>2</sub>O y los gases atmosféricos CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>. Pero los elementos esenciales para la planta son absorbidos del suelo en forma de iones que se encuentran en bajas concentraciones denominado como “extracción de solutos” (Salisbury y Ross, 2000).

Las relaciones que tienen las plantas con los elementos traza según Kabata-Pendias (2011) son:

- Captación (absorción) y transporte dentro de la planta
- Procesos enzimáticos
- Concentraciones y formas de incidencia
- Deficiencia y toxicidad
- Interacción y competencia de iones

La concentración de elementos traza en plantas está asociado con la composición química del medio de crecimiento.

En el caso de la absorción se pueden distinguir 3 características:

Acumulación

Señalización

Exclusión

Con base en las formas en las que puede interactuar un elemento traza con las plantas se retoma el caso de la toxicidad, manifestando por varios autores, el esquema experimental pertinente para determinar si es o no un compuesto tóxico.

### **Toxicidad. *Allium cepa* L. como indicador.**

Posterior a esta descripción botánica necesaria para comprender el comportamiento del organismo y acumulación de radionúclidos en plantas. Se da continuación la explicación de los estudios realizados por diversos autores de bioensayos con *Allium cepa* L.

Fiskesjö (1985, 1988, y 1997) además O'hare y Atterwill (1995) describen que la prueba en *Allium cepa* L. provee un rastreo rápido mediante un procedimiento que permite identificar un posible daño ambiental por parte de compuestos químicos y contaminantes.

Es decir, se encuentra en un rango de aplicaciones del ensayo/estudio abarcando sustancias químicas puras, agua bebible, agua de un río (Monte *et al*, 2007), agua natural, desperdicios industriales, y el uso para la evaluación y clasificación de compuestos químicos en el medioambiente con referencia a la toxicidad.

El estudio realizado por Kovalchuk *et al* (1998), estuvo enfocado a evaluar las consecuencias genéticas en plantas, debido a la contaminación radioactiva originada por el IV reactor de la planta nuclear de Chernóbil en 1986, en este caso se tomaron en cuenta las zonas diferentes, dependiendo de la cantidad de radiación presente en el medio, se tomaron muestras de suelo para desarrollar el crecimiento de las semillas de *Allium cepa* L. El suelo presenta los siguientes metales pesados: Cu, Zn, Cd, Cr, Ni, Pb y Hg, además en zonas contaminadas por la radiación se encontraron los siguientes radionúclidos  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  y  $^{232}\text{Th}$ .

La gama de casos a estudiar según Morais y Marín-Morales (2009) es:

- Metales: Al, Ag, As, Ba, Cr, Cu, Fe, Hg, La, Mg, Mo, Ni, Pb, Te y Zn (Fiskesjö, 1988; Lerda, 1991; Liu et al, 1992 y Monte et al, 2007).
- Pesticidas.
- Hidrocarburos aromáticos (Restrepo, 2012).
- Industria textil de teñido.
- Productos utilizados para la desinfección de agua.
- Mezclas de compuestos.

La utilidad de estos estudios depende de la zona donde sea necesaria la descripción de la dinámica ambiental alterada, permite evaluar para prevenir situaciones complejas en el futuro. Además otro caso donde se ha utilizado, es en el análisis de residuos agrícolas y de zonas industriales, significan un incremento de sedimentos en la superficie de ríos, provocando la contaminación del agua producto de los agentes genotóxicos.

Lo que conlleva a una problemática en los ecosistemas acuáticos y por ende un efecto negativo en la salud humana así como en la biota (Singh, 2015).

Este ensayo, se puede usar para medir la relativa toxicidad de compuestos no solubles en el agua o disueltos en ciertos solventes para diluirlos y no excedan las concentraciones límites, así se incorpora en los regímenes de estudios (O'hare y Atterwill, 1995).

Los resultados que se obtienen a partir de estos procedimientos son indicadores de probable toxicidad, según Fiskesjö citado en O'hare y Atterwill (1995):

- Las puntas de las raíces pueden presentar cambios debido a la interacción que se presenta con los contaminantes en disolución, tanto en suelo y cuerpos acuáticos.
- La observación del sistema de la punta de la raíz de la cebolla (*A. cepa* L.), se muestra sensible presentando efectos por la interacción con cada contaminante medioambiental.
- Los efectos pueden ser cuantificados por las medidas del desarrollo del sistema radicular o la inhibición del crecimiento.

El efecto del compuesto y su concentración provocara una variación en el crecimiento radicular, dependiendo del número de concentraciones por tratamiento, así se obtendrán valores que permitan estructurar las curvas de crecimiento para comprarlas con otros sistemas de toxicidad (Fiskesjö, 1997).

Cuadro 6. Ventajas y desventajas de *Allium cepa* L. para un bioensayo (Morais y Marín-Morales, 2009; Fiskesjö, 1985,1988, 1997)

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilidad en su almacenamiento.</li> <li>• Bajo costo.</li> <li>• Abundantes.</li> <li>• Es un test relativamente rápido</li> <li>• Los cromosomas son observables con un microscopio óptico.</li> <li>• Fácil de realizar.</li> <li>• Los bulbos generan una gran cantidad de raíces en pocos días (2-5).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estado de los compuestos variable.</li> <li>• Influencia del pH en compuestos en solución.</li> <li>• La presencia de compuestos insolubles en agua en el cauce debido a afluentes industriales.</li> <li>• Contacto con otro agente que pudiese alterar u afectarlo (herbicidas).</li> </ul>

Los parámetros que se destacan para identificar el nivel de sensibilidad de la especie *Allium cepa* L. se dividen en dos, tanto pruebas microscópicas como macroscópicas.



## Parámetros microscópicos

Liu *et al* (1992); Monte *et al* (2007); Turkoglu (2009); Suzuki *et al* (2010) y Restrepo *et al* (2012) mencionan que *Allium cepa* L. es una planta modelo para el estudio y observación de células somáticas en división, debido a los cromosomas extremadamente grandes observados en el proceso de mitosis.

Este parámetro microscópico permite cuantificar la ruptura de cromosomas y el daño celular se utiliza para predecir la mutagénesis. Dicho de otra forma mediante parámetros como el índice mitótico, la presencia de aberraciones cromosómicas y la presencia de micronúcleos, se toman en cuenta los resultados a nivel genotóxico y citotóxico en el organismo. Inclusive al ser particulares, Firbas y Amon (2014) los agrupan en: daño cromático, daño en el centrómero y daño cromosómico.

## Parámetros macroscópicos

En 1985 Fiskesjö, describe estos parámetros para evaluar la toxicidad, por ejemplo la inhibición del crecimiento, donde el grado del daño es usado para evaluar el estatus de toxicidad del químico en análisis. Monte *et al* (2007) y Lerda (1991) consideran los parámetros macroscópicos como eficientes indicadores del efecto tóxico y demuestran el deterioro causado por el contaminante, actuando como un inhibidor del crecimiento. Se añaden los siguientes parámetros:

- Concentración efectiva ( $CE_{50}$ ,  $CE_{10}$  y  $CE_{90}$ ): La  $CE_{50}$  se define como la concentración de una sustancia que es capaz de inhibir el 50% de alguna función medible con respecto al comportamiento normal en agua (control negativo) (Restrepo *et al*, 2012).
- El más importante de los parámetros evaluados es la longitud de la raíz (crecimiento) en este apartado se tiene la opción de realizar lo siguiente:

Medir la longitud de dos formas. Por un lado se remueven las raíces de cada bulbo así se da por terminado el experimento (las raíces que son mecánicamente dobladas y se encuentran dañadas son descartadas). Como

segunda opción se toman las medidas de la longitud de todas las raíces por cada bulbo generando un promedio por cada organismo, en este caso se tiene la ventaja de obtener datos para dar continuidad al experimento y así observar el desarrollo del organismo (Fiskesjö, 1985 y Liu *et al*, 1993).

- Número de raíces (Firbas y Amón, 2014).
- Turgencia, se refiere a la dureza de la raíz fijada al tallo, este parámetro es importante ya que, si fuese débil esta unión el espécimen puede morir (Fiskesjö, 1985).
- Cambio de color:  
Por ejemplo el azul verdoso por sulfato de cobre o el color marrón causado por la muerte celular (Fiskesjö, 1985).
- Forma de la raíz
  - Raíces dobladas o raíces en forma de gancho se pueden generar después de la exposición a las sales (Fiskesjö, 1985).
  - Formación de tumores y se observa mediante la hinchazón de la raíz (c-tumor) (Fiskesjö, 1985 y 1988).
  - Raíces rotas o la ruptura de las raíces (Fiskesjö, 1988).
  - Además de la apariencia retorcida de las raíces después del tratamiento (Liu *et al*, 1993).
  - Apariencia similar a una vara/varilla y una apariencia de tejido podrido después de 48 horas de tratamiento para Pb (Liu *et al*, 1993).

#### **a. Torio en plantas.**

En ciertas especies de plantas, el torio puede ingresar al organismo, a pesar de ser insoluble en agua, como en *Woodwardia areolata* un helecho que presenta una acumulación de 329 mg/kg comparado con plantas de crecimiento en invernadero cuya cantidad de acumulación es de 6.4 mg/kg. Por otro lado *Acer rubrum* crece en suelos profundos con 0.03 mg/kg de concentración de torio.

Cuando se presenta la adición de torio en el medio para la germinación de 0.02 a 0.17 mg/kg, se obtiene como resultado contenidos 0.02 a 2.4 mg/kg, en hojas y raíces de trigo, en el caso de las *semillas de trigo la presencia de torio se relaciona con en el incremento de calcio*.

En un valor medio expresado en mg/Kg se tiene para diferentes países: 0.04 en Austria, 0.04 en Rusia y 0.34 en China, lo que nos brinda información para conocer la distribución de este radionúclido en plantas de diversas regiones del mundo (Kabata-Pendias y Szteke, 2015).

### **b. Uranio en plantas**

Este, mantiene estrecha relación con las plantas de cultivo como el trigo y frutas que pueden incorporarse a la cadena trófica. Así como especies cercanas a sitios con presencia de uranio, helechos y musgos organismos inferiores, pueden ser utilizados para describir el medio.

La acumulación de uranio en vegetales tiene un rango entre 0.0004- 0.0025 mg/Kg en peso húmedo, los reportes indican que: en frutas el valor tiene intervalos de 0.0004-0.0011 mg/Kg. Por otro lado en granos de trigo se presenta con un valor aproximado de 0.0001 mg/Kg. Para *Empetrum nigrum* es de 0.005 mg/Kg y en musgo *H. splendens* es de 0.034 mg/Kg. (Kabata-Pendías y Szteke, 2015).

### **c. Torio en humanos**

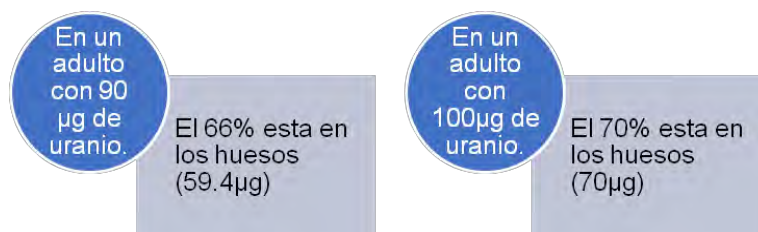
La distribución de este elemento en el ser humano se encuentra documentada en menor cantidad comparada con otros elementos, los reportes muestran que se encuentra una mayor afinidad con el sistema óseo, información que se relaciona con el incremento de calcio para el caso de las plantas en hojas de trigo, esta información ayuda a describir el comportamiento del torio en seres vivos (cuadro 7). Se manifiesta con el efecto sobre la salud generando cáncer en huesos (Argonne 2007 citado en Kabata-Pendias y Szteke, 2015)

Cuadro.7 Contenido porcentual de torio en humanos

El contenido total de torio en el cuerpo humano es de 40 µg y se metaboliza de la siguiente forma:	
i.	0.02%- 0.05% de la ingesta se absorbe.
ii.	10% es directamente excretado.
iii.	70% es depositado en los huesos.
iv.	4% se absorbe en el hígado.

El  $\text{Th}^{232}$  y los productos del decaimiento son clasificados como carcinógenos en humanos (International Agency Research on Cancer, IARC 2001,2013 citado en Kabata-Pendias y Szteke, 2015). En otros estudios destacan la acumulación elevada en los huesos (figura 8), esto se puede relacionar con el caso del torio y su mayor acumulación en los huesos y en el caso particular del trigo, a mayor cantidad de torio mayor de calcio, y en este caso al parecer podría existir una relación uranio-calcio.

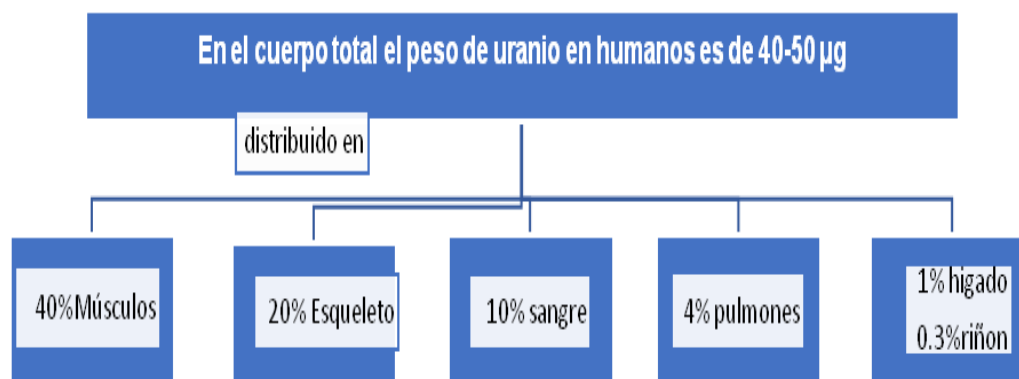
Figura 8. Porcentaje de torio en huesos (Kabata-Pendías y Szteke, 2015)



#### d. Uranio en humanos

La distribución de la acumulación de uranio en humanos, se muestra diferida y se aprecia una mayor afinidad en los músculos 16-20 µg, en el caso del sistema óseo la cantidad presente es de 8-10 µg, en la sangre la cantidad es 4-5 µg, para el caso de los pulmones se tiene 1.6-2 µg y para finalizar se reporta que la mínima distribución se ubica en los órganos que metabolizan y desechan con una cantidad en microgramos de 0.4-0.5 en el primero y 0.12-0.15 en el segundo, esta información en porcentaje (figura 9) se aprecia de forma general.

Figura.9 Contenido porcentual de uranio en humanos (Kabata-Pendías y Szteke, 2015).



La fuente de exposición al uranio incluye a personas que trabajan con materiales y productos que lo contienen, pueden ser expuestas a cantidades elevadas. Esto incluye a los trabajadores de una mina, molienda o en algún proceso del uranio al tener relación con su contenido (fertilizantes de fosfato) (Kabata-Pendías y Szteke, 2015).

La relación entre el modo de ingreso del uranio al cuerpo además de su distribución se muestra la información (figura 10) para poner especial interés del contacto de uranio con los órganos humanos y produzca un mayor o menor daño.

Figura 10. Distribución de uranio en el ser humano (Kabata-Pendías y Szteke, 2015).



Y relacionado con los seres humanos se manifiesta que la principal vía de ingreso es mediante la ingesta, como se observa (cuadro 8) el 50% de la vía de incorporación del radionúclido en cuestión, llega al ser humano mediante la ingesta de agua, con rangos de consumo que van de 0.8  $\mu\text{g}$  a 2.1  $\mu\text{g}$  dependiendo la región del planeta.

Cuadro 8. Promedio de uranio por ingesta humana (Kabata-Pendías y Szteke, 2015)

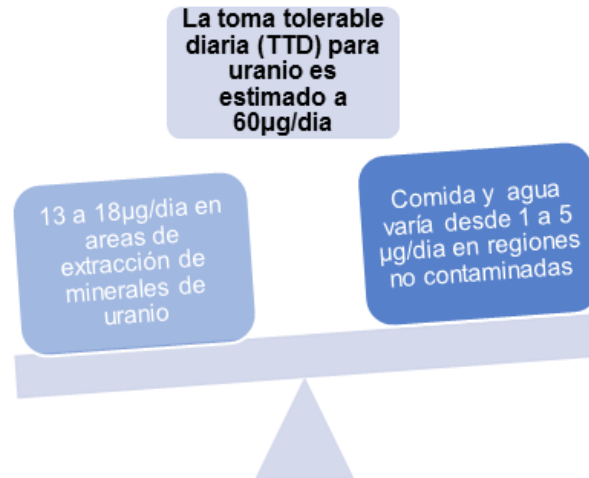
Ingesta promedio de uranio en humanos
La ingesta diaria de uranio en agua de consumo humano en Ontario Canadá, es de 0.8 $\mu\text{g}$ .
La ingesta diaria de uranio en el agua en Finlandia 2.1 $\mu\text{g}$
El consumo humano en la ciudad lago salado Utah, es estimado en 1.5 $\mu\text{g}$

Al comparar los datos (figura 11) de sitios con actividad relacionada a un contacto directo con este elemento, se observan los datos acerca de la toma tolerable diaria de uranio es elevada, comparándola con la ingesta en sitios donde ocurren actividades mineras y sitios sin actividad.

Los datos de las concentraciones se han podido calcular mediante técnicas analíticas además de utilizarse un equipo denominado por sus siglas en inglés ICP, Plasma Acoplado Inductivamente.

Figura 11. Comparación de concentraciones de uranio en humanos

(Kabata-Pendías y Szeke, 2015)



## 6. Uranio en México

La actividad que se desarrolló en la comunidad de San Pablo Huitzo, fue la minería realizada por la Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEN), ubicando la zona explotada en las coordenadas 17°15' y 17°18' de latitud norte y 96°56' y 96°59' longitud al oeste del meridiano de Greenwich y con alturas que varían entre los 1600 y 2500 metros sobre el nivel del mar (Manjarrez, 1981 y Cabrera, 2003).

En el año 1952 el Ing. A. Martínez encuentra minerales radioactivos en la pegmatita Inutuchi en el área de Telixtlahuaca, lo que origino en la exploración de los minerales (Cabrera, 2003).

Los trabajos de exploración de minerales radioactivos en la mina, El Muerto, en un primer periodo que se dividieron en dos etapas: La primera se efectuó en los años 1956 a 1959, las principales obras se restringieron a la explotación de pegmatitas enclavadas en los esquistos y gneises precámbricos de la plataforma oaxaqueña, donde se extrajeron mica, cuarzo y feldespatos (Cabrera, 2003).

La siguiente etapa se realizó en el año 1964 cuyas actividades consistieron en la ejecución de mediciones radiométricas por una brigada aérea con el correspondiente apoyo terrestre, se mencionan las zonas descritas con presencia de minerales radioactivos (cuadro 9).

Cuadro 9. Municipios con presencia de minerales radioactivos (Manjarrez, 1981).

<b>Localidades con presencia de allanita y betafita (1984).</b>	
<b>Municipios del estado de Oaxaca</b>	<b>Zona</b>
<b>Huitzo</b>	Mina El Muerto
<b>Huitzo</b>	La Aurora
<b>Telixtlahuaca</b>	El Cortijo
<b>Telixtlahuaca</b>	La Herradura
<b>Telixtlahuaca</b>	La Cañada de San Nicolás
<b>Telixtlahuaca</b>	Tierra colorada

La obra general de la mina El Muerto consistió en un tiro general proyectado en la cima y tuvo una profundidad de 55 metros. Los datos (cuadro 10) aportados por un estudio del IPN en 1981 muestran:

Cuadro 10. Resultados de los yacimientos útiles de la pegmatita El muerto.

<b>Reservas estimadas de minerales (1981).</b>	
<b>Tipo de mineral</b>	<b>Toneladas</b>
Allanita	176.17
Betafita	5.05
Feldespato	16988.6
<b>Datos generales de la mina El Muerto</b>	
Volumen de material extraído: 1663 m <sup>3</sup>	
Volumen de pegmatita bloqueada con obras de la mina: 10360 m <sup>3</sup>	



Por los datos encontrados, la mina fue operada desde el año 1979 con la creación de Uranio Mexicano (URAMEX) pero en diciembre del año 1984 se decreta el cierre de la mina y la desarticulación del Sindicato Único de Trabajadores de la Industria Nuclear (SUTIN) presentes laborando en la mina El Muerto, debido a este acontecimiento no se realizó ningún trabajo de limpieza producto de la explotación (Bonilla, 1985).

Lo que trajo como resultado que décadas después el material contenido en el exterior de la mina, denominados jales mineros contienen elementos radioactivos, fueron arrastrados al interior de la presa Matías Romero, según datos reportados por un estudio radiométrico realizado en el año 2006 por parte de un equipo multidisciplinario (Flores et al, 2006), se reportó la ubicación de la presa Matías Romero, al suroeste de la mina con coordenadas 16°55' norte y 96°03' oeste, además, con los resultados de análisis de fluorescencia de rayos X y espectroscopia gamma se comprueba la presencia de torio en muestras de agua como lo expresa el cuadro siguiente:

Cuadro 11. Radioisótopos presentes en las muestras de agua de la presa Matías Romero (Flores et al, 2006).

Radioisótopo	Vida media	Energía (KeV)
<sup>235</sup> U	7.1X10 <sup>8</sup> años	185.7
<sup>232</sup> Th	1.4X10 <sup>10</sup> años	266.6
<sup>234</sup> Th	24.1 días	63.3
<sup>234</sup> Pa	6.75 horas	131
<sup>214</sup> Bi	19.7 minutos	609

#### a. Breve Descripción de la explotación de uranio en México

Las diferentes actividades con relación al beneficio de minerales radioactivos a nivel nacional, fueron en un inicio realizadas en la sección Norte del país, donde

se aprecian las toneladas obtenidas (cuadro 12) desde el año 1957, justo en la misma época en que el beneficio de minerales se desarrolló en la zona de estudio pero a diferencia no se han encontrado los reportes correspondientes.

Cuadro 12. Tendencia de crecimiento de las reservas de Uranio en México. (Castañeda, 1988).

Año	Empresa	Acciones
1957-1971	Comisión Nacional de Energía Nuclear	Descubre 4,500 toneladas de $U_3O_8$ de los cuales produce 47 toneladas en concentrados sucios, en 14 años de actividad
1971- 1978	Debido a una reforma se crea:  El Instituto Nacional de Energía Nuclear.	Incremento las reservas a un volumen equivalente a las 8,664 toneladas de $U_3O_8$ .
1979	Se crea Uranio Mexicano ( <i>URAMEX</i> )	Y para 1981 esta instancia reportaba 14, 522 toneladas de $U_3O_8$ . En reservas probadas <i>in situ</i> y 35,000 toneladas en reservas disponibles.  Se llevan a cabo estudios e iniciación de proyectos minero metalúrgicos de: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Peña Blanca, Chihuahua</li> <li>• Los Amoles “Alberto Barajas” en Sonora</li> </ul> Los concentrados de Uranio obtenidos en la planta de Villa Aldama, Chihuahua.
1982	<i>URAMEX</i>	Finalizan las exploraciones.

El potencial de uranio en otros estados de la República se muestra (cuadro 13) sin el reporte oficial aun hallado del inicio de actividades en la sección sur del país, tales como en el estado de Oaxaca, en las cuales se han detectado leyes importantes de Uranio e incluso son consideradas como potencialmente explotables. Salvo un dato reportado del estado de Oaxaca (\*Dato reportado en Escofet.

1984, citado en Castañeda, 1988), la falta de información de la totalidad de acciones relacionadas con la explotación demuestra que no se mantuvo un control total de este proceso de extracción.

Cuadro 13. Estados con reservas uraníferas en México. (Castañeda, 1988).

Estado	Reservas Uraníferas (toneladas de U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )
Chihuahua	2534
Durango	615
*Oaxaca	700*
Sonora	1,414
Tamaulipas y Nuevo León	2434

### b. Composición de los fertilizantes inorgánicos

Salisbury y Ross (2000) mencionan que el transporte de iones hacia la raíz suele ser eficiente a partir de las sales minerales disueltas en el suelo, en un estudio efectuado sobre más de 100 suelos agrícolas a su capacidad de campo o cerca de ella, más de la mitad contenían NO<sub>3</sub><sup>-</sup> disuelto, con concentraciones menores de 2 mM; de fosfato, con concentraciones menores de 0.01 mM, de K<sup>+</sup>, con concentraciones menores de 1.2 mM; y de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, con concentraciones menores a 0.5 mM. Esto demuestra la interacción permanente que existe entre los fertilizantes con los campos de cultivo, e incluso pueden existir elementos traza adicionales presentes en el suelo debido a su afinidad con los fertilizantes inorgánicos.

En la mayoría de los cultivos se pueden mejorar mediante la aplicación apropiada de nutrientes complementarios. Cualquier material que contenga uno o más nutrientes esenciales y que se añada al suelo o sobre el follaje de las plantas con el propósito de complementar el suministro de nutrientes a estas se le denomina: fertilizante (Guzmán, 2004).

Con base en su contenido de nutrientes primarios (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O) los productos fertilizantes se consideran de un solo nutriente (fertilizantes simples) o

multinutricional (fertilizantes mezclados o complejos). Para los últimos reciben una asignación de tres números, se denomina *grado* y representa respectivamente, el porcentaje en peso de nitrógeno (N), fosfato ( $P_2O_5$ ) y potasa ( $K_2O$ ) que contiene el fertilizante. Al presentarse un cuarto número este indica a la cantidad de azufre en peso presente en el fertilizante (Guzmán, 2004).

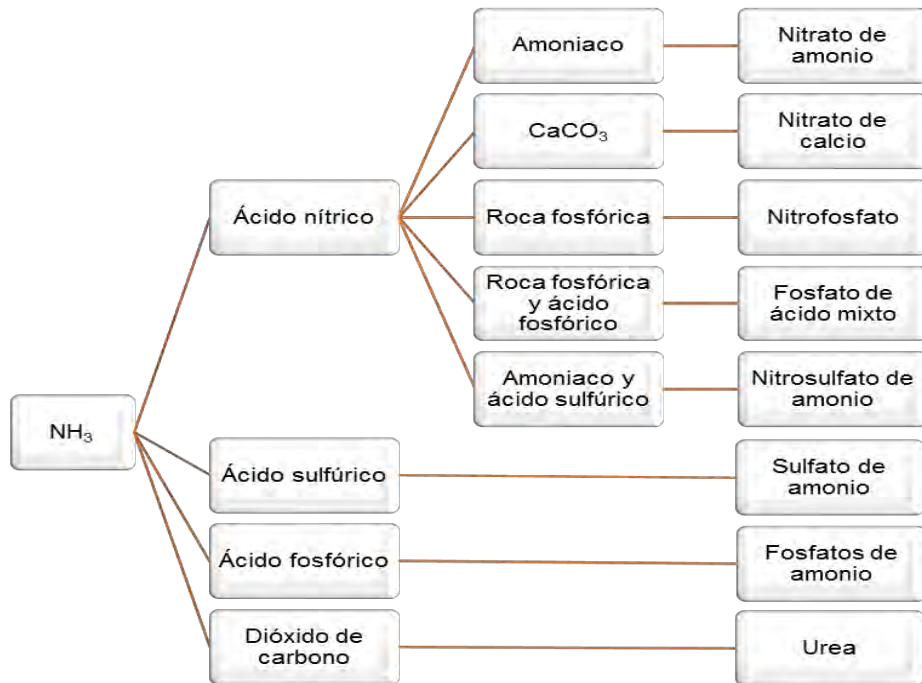
- Fertilizantes nitrogenados

Amoniaco anhidro:  $NH_3$  (82-0-0). Para la formación de este compuesto se fija químicamente el nitrógeno atmosférico con el hidrogeno que provienen del gas natural o un hidrocarburo a elevadas temperaturas.

De este compuesto se derivan (figura 12) una gama de fertilizantes, asociados a rocas fosfóricas, que a su vez y dada su conformación mineral, están relacionados con elementos tales como uranio y torio (Reimann y De Caritat, 1998).

Para la formación de nitrato de amonio cálcico se utiliza la roca caliza reducida, en el caso de nitrato de calcio es un coproducto del proceso de obtención de fosfato nítrico, donde el ácido nítrico se hace reaccionar con un mineral fosfatado, molido y neutralizado con amoniaco (Guzmán, 2004).

Figura 12. Conversión de amoniaco en varios fertilizantes nitrogenados (Guzmán, 2004).

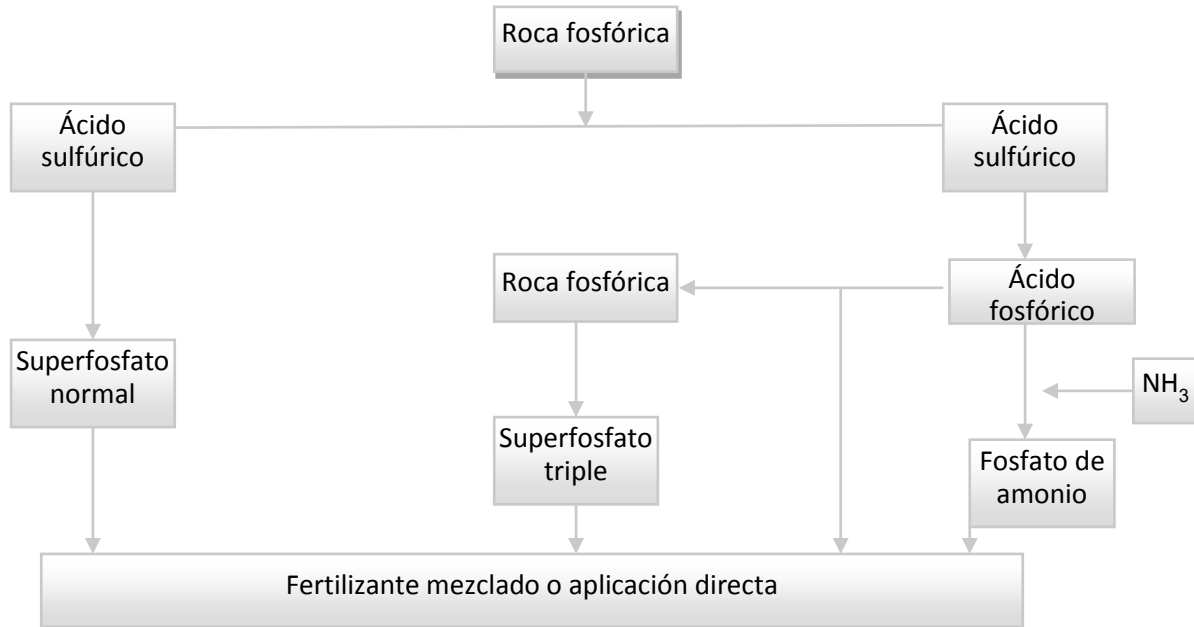


- Fertilizantes fosfatados

Ciertas áreas de la corteza terrestre son ricas en depósitos naturales de fluorapatita (roca fosfórica). Estos depósitos son la fuente básica de todos los materiales fertilizantes fosfatados, estos minerales pueden ser de origen ígneo o sedimentario, estos últimos constituyen el grueso de reservas en el planeta (Engelstad y Terman, 1980; Guzmán, 2004). Las rutas que sigue la industria para la producción de fertilizantes (figura 13) implica una serie de procesos donde interviene el mineral puro (Guzmán, 2004).

Este tiene un contenido de fosfato con la forma química  $P_2O_5$  de 14 a 35 % que se concentra mediante el *beneficio* (consiste en tamizado en húmedo, hidroseparación y concentración por flotación) posteriormente a esta fase del tratamiento el producto se deseca y muele obteniendo así un contenido mayor de fosfato 31 a 35%. Al final de este proceso se convierte el mineral concentrado (Fluorapatita) en formas más solubles de fósforo para su uso en suelos de cultivo (Guzmán, 2004).

Figura 13. Rutas de tratamiento para la producción de fertilizantes a partir de roca fosfórica (Guzmán, 2004).



Para el caso del ácido fosfórico y ácido superfosfórico, al hacer reaccionar la roca fosfórica con el ácido sulfúrico y agua, el resultado que se obtiene es la denominada torta de yeso además el ácido fosfórico presenta una coloración verde debido a la presencia de elementos como Fe, Al, Ca, Mg, F así como materia orgánica (Engelstad y Terman, 1980; Guzmán, 2004).

Superfosfato triple:  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (0-45-0)

Este compuesto se obtiene utilizando ácido fosfórico como acidulante, mezclando roca fosfórica finamente molida y dicho ácido. El producto final contiene 45% de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y 1% de azufre. La mayoría de superfosfatos pueden granularse añadiendo agua y vapor de agua en un granulador de cilindro giratorio, y luego es secado y tamizado (Guzmán, 2004).

- Fertilizantes potásicos

La mayor parte de estos fertilizantes se extraen gracias a la minería de tiro ordinaria o de disolución, en el que se bombea agua al subsuelo para disolver el material a partir de depósitos subterráneos (Guzmán, 2004).

### Sulfato de potasio $K_2SO_4$ (0-0-52)

Conocido en el medio comercial como sulfato de potasa, con un contenido de 50 a 54% de  $K_2O$ , además de 17% de azufre en forma de sulfato. Es utilizado en cultivos con toxicidad de cloruro o en situaciones donde existe deficiencia tanto de potasio como de azufre (Guzmán, 2004).

### Nitrato de potasio: $KNO_3$ (13-0-45)

Este fertilizante es una excelente fuente tanto de nitrógeno como de potasio, su uso se realiza mediante aspersiones foliares y como componente de los fertilizantes solubles en agua que se inyectan en los sistemas de irrigación. Debido a su alto costo de producción se limita su uso en cultivos de elevado valor económico (Guzmán, 2004). Cuando este compuesto se disocia en agua el K y el  $NO_3$  adquieren una carga eléctrica, el primero actúa como un catión y el segundo como un anión, lo que permite presentarse en la disolución del suelo de forma asimilable (Addiscott, 2005).

## Capítulo 2

### Metodología

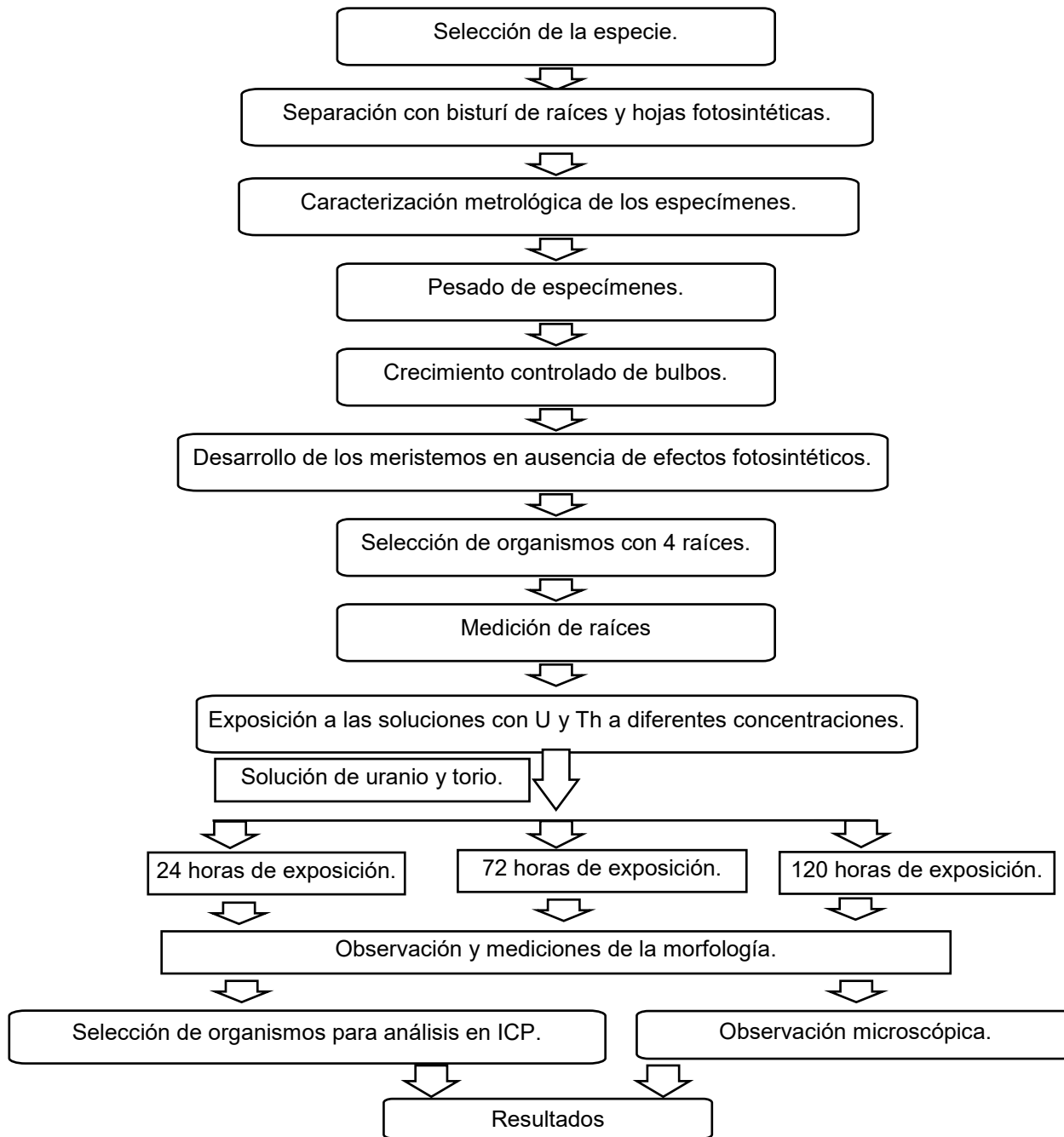


Figura 14. Metodología general del proyecto.



### **a. Selección de los organismos *Allium cepa* L. variedad Cambray.**

El germoplasma se compró en la central de abastos de la Ciudad de México, estos individuos se eligieron entre los que se encontraban en buen estado de salud, debido al color de sus hojas fotosintéticas (verde oscuro) y a la morfología presente en sus órganos (color blanco en las hojas, presencia de raíces y el bulbo libre de hongos).

### **b. Montaje de la población de *A. cepa*.**

Posteriormente se limpiaron los organismos, cortando las hojas blancas, fotosintéticas y las raíces muertas con ayuda de un bisturí. Después se tomaron las medidas del diámetro, peso y altura de los bulbos (140 individuos para el primer grupo de organismos, tratados con uranio y la segunda población 72 organismos se eligieron para la población que se trató con torio).

### **c. Limpieza del material**

Se utilizaron 72 frascos Gerber® (primera etapa) con capacidad de 65ml debido a que se redujo al mínimo los contaminantes utilizados en este experimento en cada uno se tuvo el siguiente proceso.

1. Se lavó el material con Extran® alcalino y se enjuago con agua del grifo y con agua desionizada.
2. Se dejaron secar.
3. Posteriormente se esterilizaron con ayuda de una estufa durante 24 horas a 60 grados centígrados de temperatura.

Se etiquetan: con los datos de concentración y tiempo de exposición.

**d. Elección de organismos de *Allium cepa* L. variedad cambray.**

Se sumergieron los tallos modificados de cada organismo en agua corriente por 2.5 días o 60 hrs.

Se eligieron aquellos que promovieron su enraizamiento ; para el primer grupo de 140 seres vivos 96 organismos (68.57%) formaron raíces y en el segundo grupo de 72 organismos desarrollaron raíces 56 seres vivos (77.77%) es decir cada uno genero 4 raíces.

Con ayuda de una balanza granataria y un Vernier se midió en cada uno la longitud de las hojas fotosintéticas, peso y longitud del bulbo.

**e. Tratamiento de organismos de *Allium cepa* L. variedad cambray.**

(Phillips y Hayman, 1970, Hernández, 1990, Fiskesjö, 1997, con modificaciones).

A partir de cada población inicial se eligieron 36 individuos para el inicio de la exposición a uranio (cuadro 14) y torio (cuadro 15).

Cuadro 14.-Diseño experimental para Uranio, concentración y tiempo de exposición.

Concentraciones de uranio ( $UO_2(NO_3)_2 + 6H_2O$ ).					
Tiempo de exposición.		0	1 (0.5ppm)	2 (3ppm)	3 (6ppm)
	24 horas	3 organismos	3 organismos	3 organismos	3 organismos
	72 horas	3 organismos	3 organismos	3 organismos	3 organismos
	120 horas	3 organismos	3 organismos	3 organismos	3 organismos

Cuadro 15.-Diseño experimental para torio, concentración y tiempo de exposición.

Concentraciones de torio ( $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 + 5\text{H}_2\text{O}$ ).					
Tiempo de exposición.		0	1 (0.5ppm)	2 (3ppm)	3 (6ppm)
	24 horas	3 organismos	3 organismos	3 organismos	3 organismos
	72 horas	3 organismos	3 organismos	3 organismos	3 organismos
	120 horas	3 organismos	3 organismos	3 organismos	3 organismos

Para observar los efectos radiológicos en los individuos se empleó microscopía óptica, para lo cual se realizaron las siguientes técnicas y procesos:

#### **f. Montaje de los organismos seleccionados.**

Se midió con ayuda de una probeta graduada de 100 ml los 64 ml de cada compuesto con su respectiva concentración (cuadros 14 y 15) y se vertieron en un frasco Gerber® en él que se sumergió cada individuo, procurando que solo el tallo modificado quedara inmerso en la disolución.

#### **g. Tinción y montaje de las raíces**

(Phillips y Hayman, 1970, Hernández, 1990, Fiskesjö, 1997, con modificaciones).

Al paso del tiempo post-exposición se obtuvieron un total de 72 bulbos en todo el experimento y de cada uno se tomaran 4 raíces, generando un total de 140 raíces.

Para cada organismo se realizó el siguiente procedimiento

1.- Se utilizó un estuche de disección, con ayuda de un bisturí se cortaron 4 raíces, se colocaron en frascos de 2 ml, con ayuda de una perilla además de una pipeta de 1 ml se tomó una disolución de alcohol etílico (99%) - ácido acético glacial en una proporción de 3:1 por 24 horas para fijar las raíces por 24 horas.

Posteriormente se tiñen las raíces con aceto-orceina (Anexo B) de la siguiente forma (figura 15):

Se sacaron las raíces del proceso de fijación y deshidratación, a continuación se procedió a:

1) Enjuagaron 3 veces con agua desionizada.

Cada una pasa por lo siguiente:

2) Se colocaron en ácido clorhídrico al 6 M por 5min (para las raíces expuestas a la mayor concentración, mayor tiempo de exposición) y 10 min para las raíces blanco, menor tiempo de exposición.

3) Se enjuagaron una vez con agua desionizada.

4) Se colocaron en un vaso de precipitados de 10 ml y se añadió con ayuda de una pipeta un mililitro de colorante aceto-orceina diluido (anexo B, se toman 4.4 ml de aceto-orceina y se diluyen con 10 ml de agua desionizada) y se colocó en baño maría a 50°C por 30 segundos.

5) Se montaron sobre un portaobjetos y se realiza la técnica de squash.

6) Se sella con barniz de uñas el portaobjetos con el cubreobjetos.

Figura 15. Material para el montaje de las raíces.





7) La observación de las raíces se realizó con el equipo Leica de microscopía óptica de luz visible con cámara Leica ICC50 E (figura 16).

Figura 16. Microscopio LEICA.

#### **h. Digestión ácida de los organismos.**

El procedimiento de digestión de los organismos se hizo de la siguiente manera (Juárez, 2017 Técnica desarrollada en el laboratorio de Radioactividad Natural):

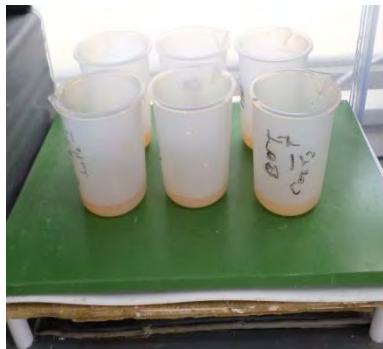


Figura 17. Digestion ácida de *Allium cepa* L.



Figura 18. Lectrua de muestra en el Equipo ICP.

1.- Posterior al montaje de raíces, los organismos se colocaron en una estufa a 60°C por 24 horas para deshidratarse.

2.- Con una balanza analítica se pesaron 0.1 g de los órganos representativos de la planta, como lo son raíz, tallo, hoja y hoja fotosintética.

3.- En un vaso de precipitados de 50 ml se colocó el 0.1 g de la muestra y se agregaron 10 ml de ácido nítrico y 1ml de ácido clorhídrico concentrados.

4.- Se colocaron en una parrilla de calentamiento y se agitaron, hasta que los órganos se hallan deshecho.

5.- Se esperó a que se enfriara y se filtró con papel filtro del número 40 con ayuda de un embudo y un vaso de precipitados de 100 ml.

6.-Alfinalizar se aforo a 100 ml con ayuda de un matraz aforado y con agua desionizada.

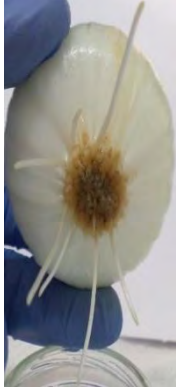



7.- El equipo de Plasma Acoplado Inductivamente (figura 18) se utilizó para determinar la presencia de los elementos en los órganos de *Allium cepa* L. variedad cambray.

### Capítulo 3. Resultados.

#### Exposición de los organismo a soluciones con diferentes concentraciones de uranio y variando el tiempo de exposición.





Los especímenes se colocaron en soluciones de U a diferentes concentraciones por tiempos variados. En la Figura 19 se muestra en efecto obtenido por una exposición de 24 hrs.

Figura 19. Raíces de los organismos de *Allium cepa* L. variedad cambray al cabo de 24 horas de inducción (U).

	Concentraciones de uranio.			
Tiempo inicial	blanco	C1 (0.5 ppm)	C2 (3 ppm)	C3 (6 ppm)
24 horas				

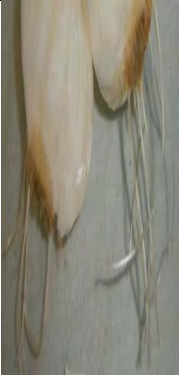



Para la exposición por 72 horas las observaciones realizadas se muestran en la Figura 20.

Figura 20. Raíces de los organismos de *Allium cepa* L. variedad cambray al cabo de 72 horas de inducción (U).

	<b>Concentraciones de uranio.</b>			
<b>Tiempo inicial</b>	<b>blanco</b>	<b>C1 (0.5 ppm)</b>	<b>C2 (3 ppm)</b>	<b>C3 (6 ppm)</b>
<b>72 horas</b>				

La exposición realizada por 120 horas, los resultados se muestran en la Figura 21.

Figura 21. Raíces de los organismos de *Allium cepa* L. variedad cambray al cabo de 120 horas de inducción (U).

	<b>Concentraciones de uranio.</b>			
<b>Tiempo inicial</b>	<b>blanco</b>	<b>C1 (0.5 ppm)</b>	<b>C2 (3 ppm)</b>	<b>C3 (6 ppm)</b>
<b>120 horas</b>				



### Acumulación de uranio en órganos de *Allium cepa* L.

Después de la exposición a las soluciones de uranio se procedió a observar en detalle cada parte del espécimen, los resultados se presentan en los cuadros 16, 17 y 18.

**Cuadro 16.- Acumulación de uranio en órganos de *Allium cepa* L. variedad cambray después de 24 hrs. (expresado en ppm)**

Tiempo de exposición:	Tratamiento con uranio.		
	C1	C2	C3
24 horas			
Hoja fotosintética	-	0.4	0.31
Hoja blanca	-	-	0.03
Tallo	1.7	0.9	-
Raíz	0.83	-	-

**Cuadro 17.- Acumulación de uranio en órganos de *Allium cepa* L. variedad cambray después de 72 hrs. (expresado en ppm)**

Tiempo de exposición:	Tratamiento con uranio.		
	C1	C2	C3
72 horas			
Hoja fotosintética	-	-	-
Hoja blanca	1.29	-	-
Tallo	-	0.20	0.35
Raíz	0.44	0.55	6.74

**Cuadro 18.- Acumulación de uranio en órganos de *Allium cepa* L. variedad**

**Cambray después de 120hrs.**

**(expresado en ppm)**

Tiempo de exposición:	Tratamiento con uranio.		
	C1	C2	C3
120 horas			
Hoja fotosintética	-	-	0.12
Hoja blanca	0.66	0.12	-
Tallo	-	-	-
Raíz	-	1.72	-

### Seguimiento del crecimiento de los organismos.

Desarrollo de los órganos, los datos de la longitud de raíces, número de raíces y longitud de las hojas fotosintéticas se muestran en las figuras 22, 23 y 24.

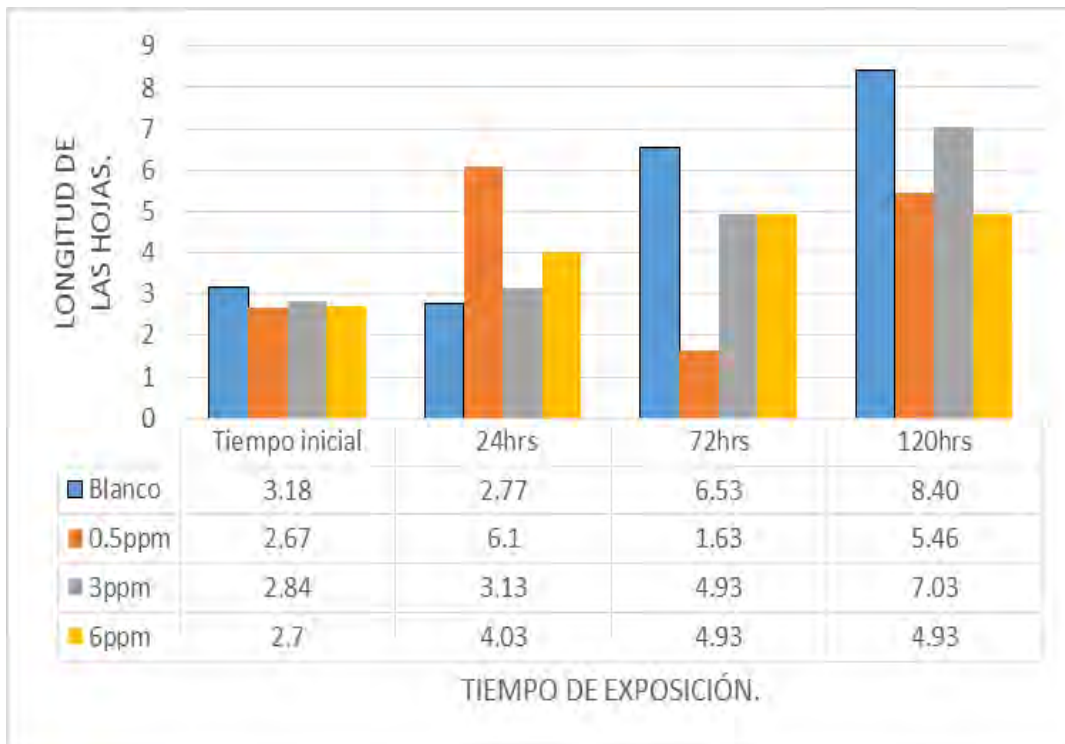
Figura 22.- Crecimiento de la raíz en *Allium cepa* L.



Figura 23.- Número de raíces en Allium cepa L



Figura 24.- Crecimiento de las hojas fotosintéticas en A. cepa L.



### **Tejido apical radicular de *Allium cepa* L.**

La figura 25 representa la raíz de un organismo, después de 24 horas de exposición sin el compuesto, donde se señalan la sección del meristemo primario radical (a) con sus diferentes secciones como lo son: el procortex (b y c), el procambium (d), el meristemo apical de la raíz (e) y la cofia radical (f). Cuya forma y estructura se muestran en b, c, d y f. En las siguientes imágenes de la figura 26, se continúa con la descripción de dicho meristemo con imágenes adicionales de los segmentos del tejido como son: procortex (g y h), cofia radical (i), procambium (j) y células de elongación (k).

Figura 25. Organismo estándar después de 24 horas.

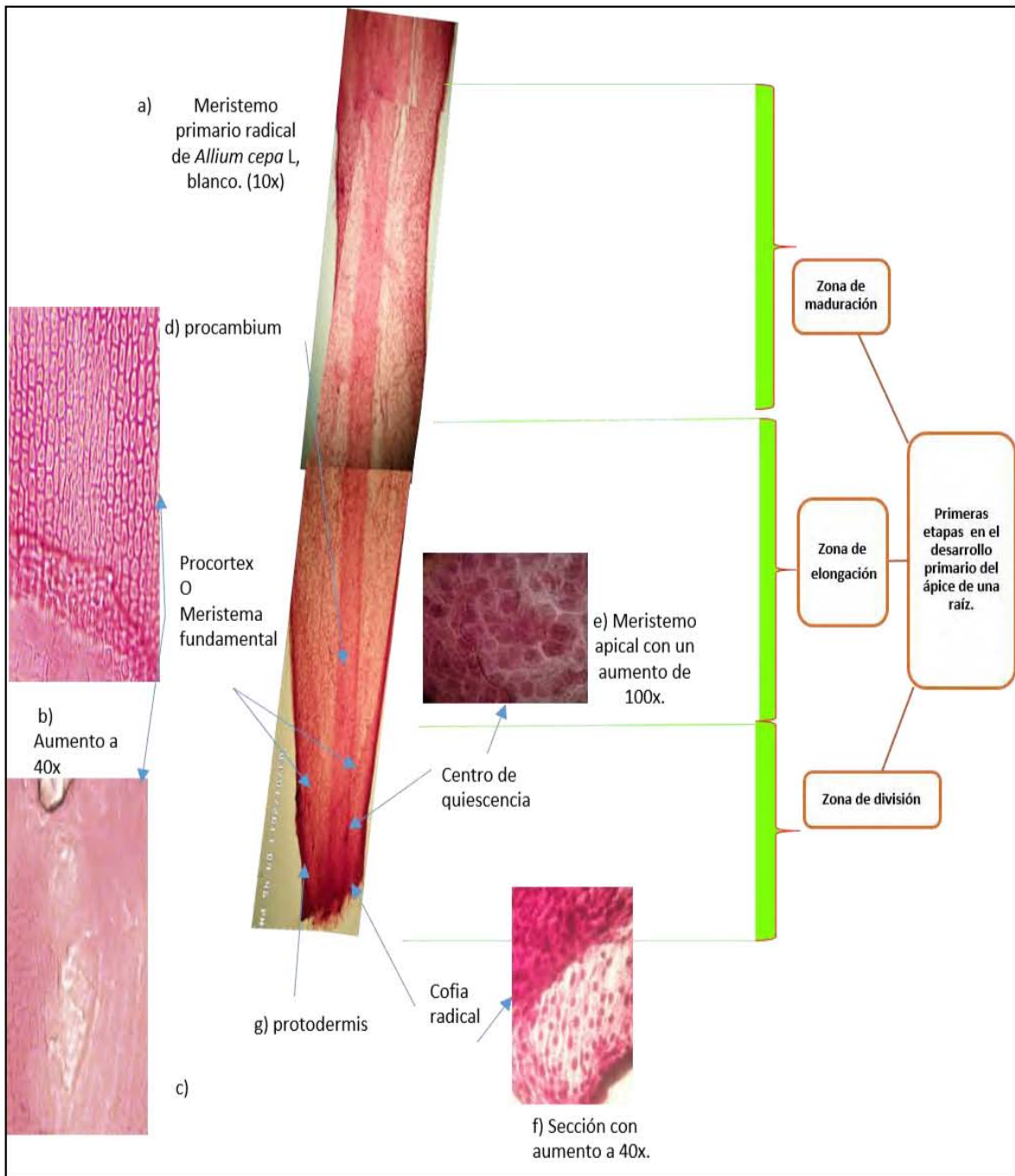
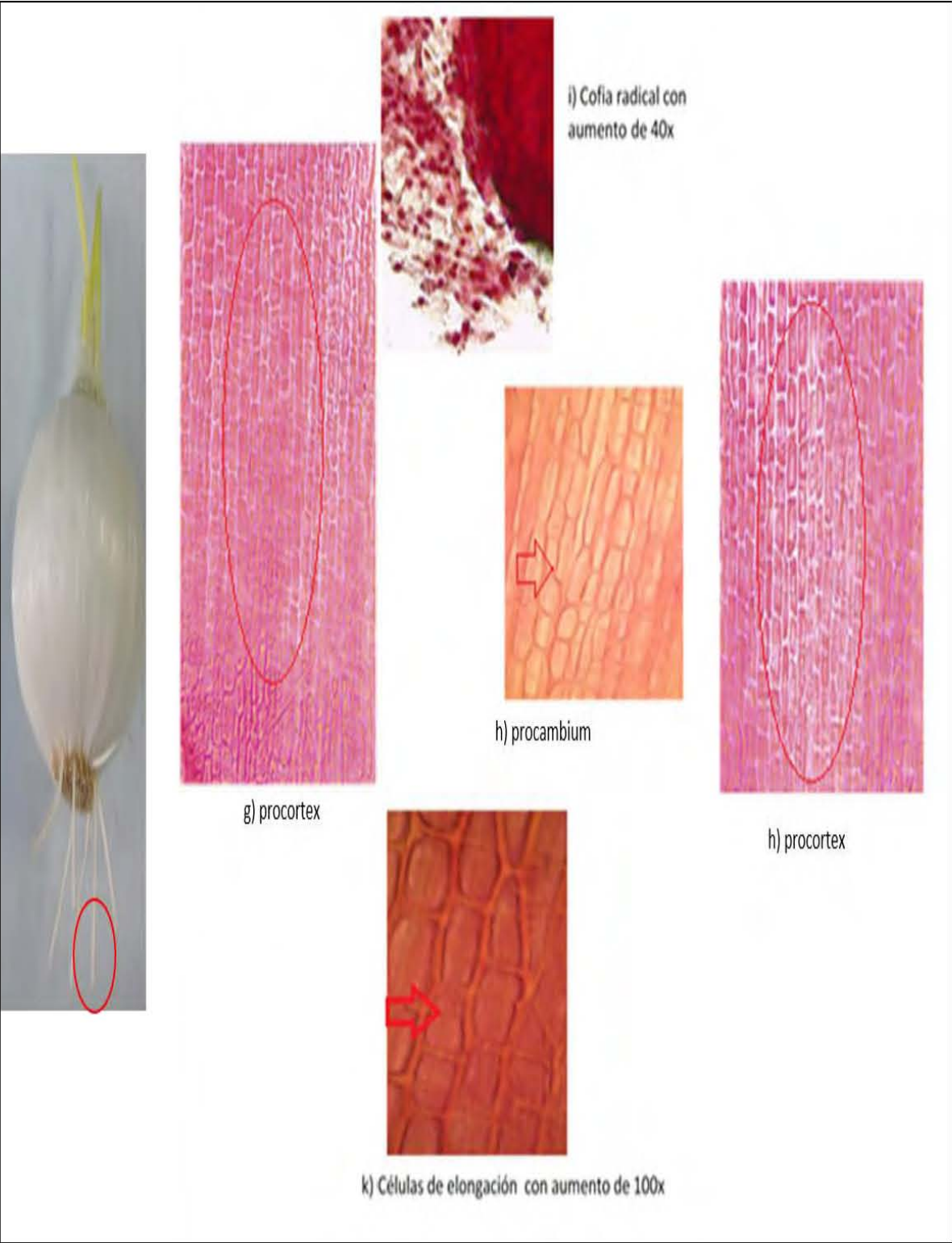


Figura 26. Organismos blancos después de 24 horas (continuación).



En las imágenes de la figura 27 se muestra el meristemo apical con un tratamiento de uranio, se observa la región específica de la raíz que fue utilizada para la observación, dicho tejido (a) se desprenden las secciones del procortex (b y c). Se muestra el meristemo radicular (d, e y f) y la cofia radical (g). En la figura 28 se muestran imágenes adicionales del procortex (h, i, k, p, j, o). En las imágenes l y ñ se muestra la cofia radical. Los meristemos de la raíz m y n con un aumento a 10x. La cofia radical en p, q y r.

Figura 27. Concentración 0.5 ppm de uranio con un tiempo de exposición de 24 horas

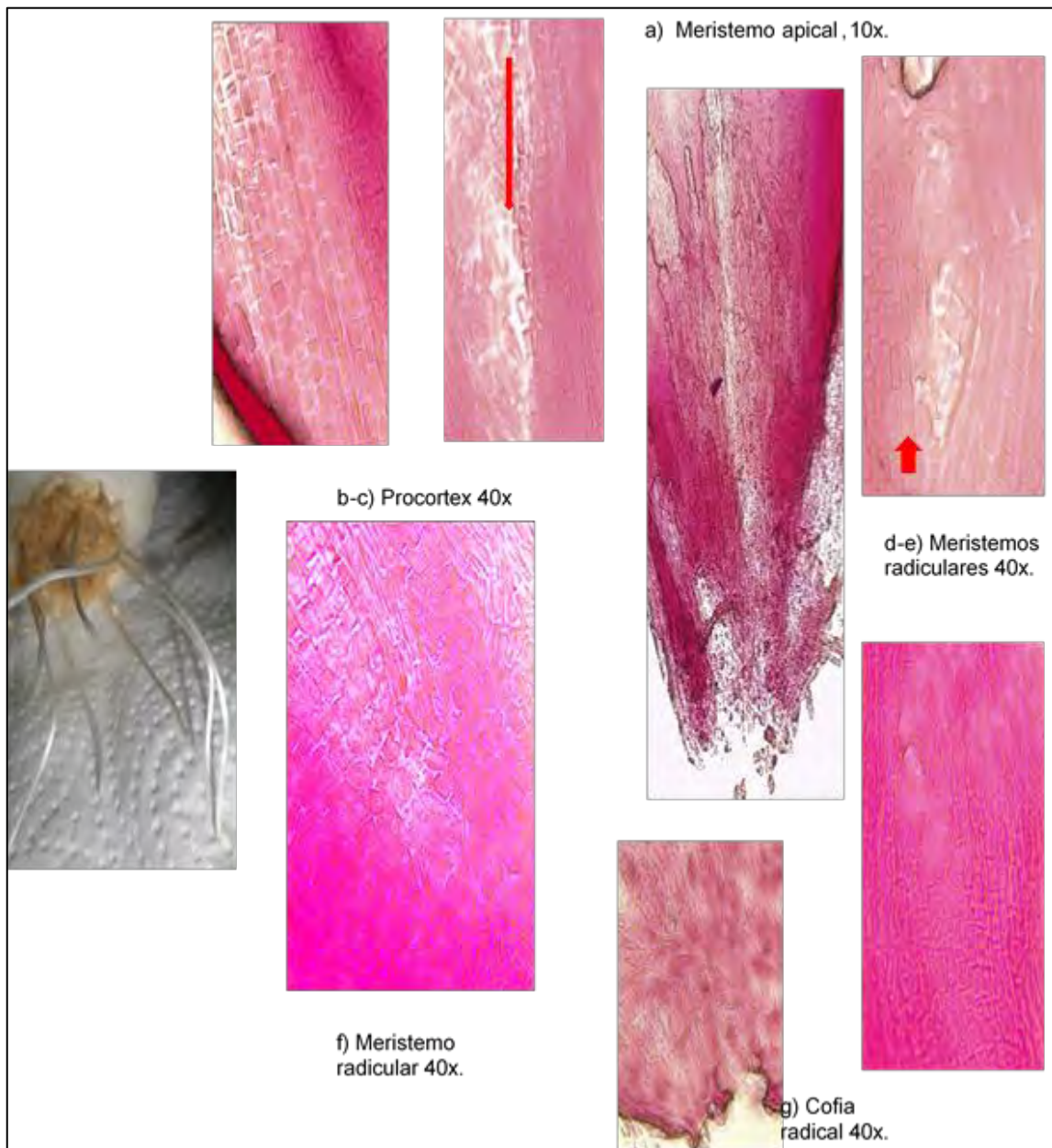
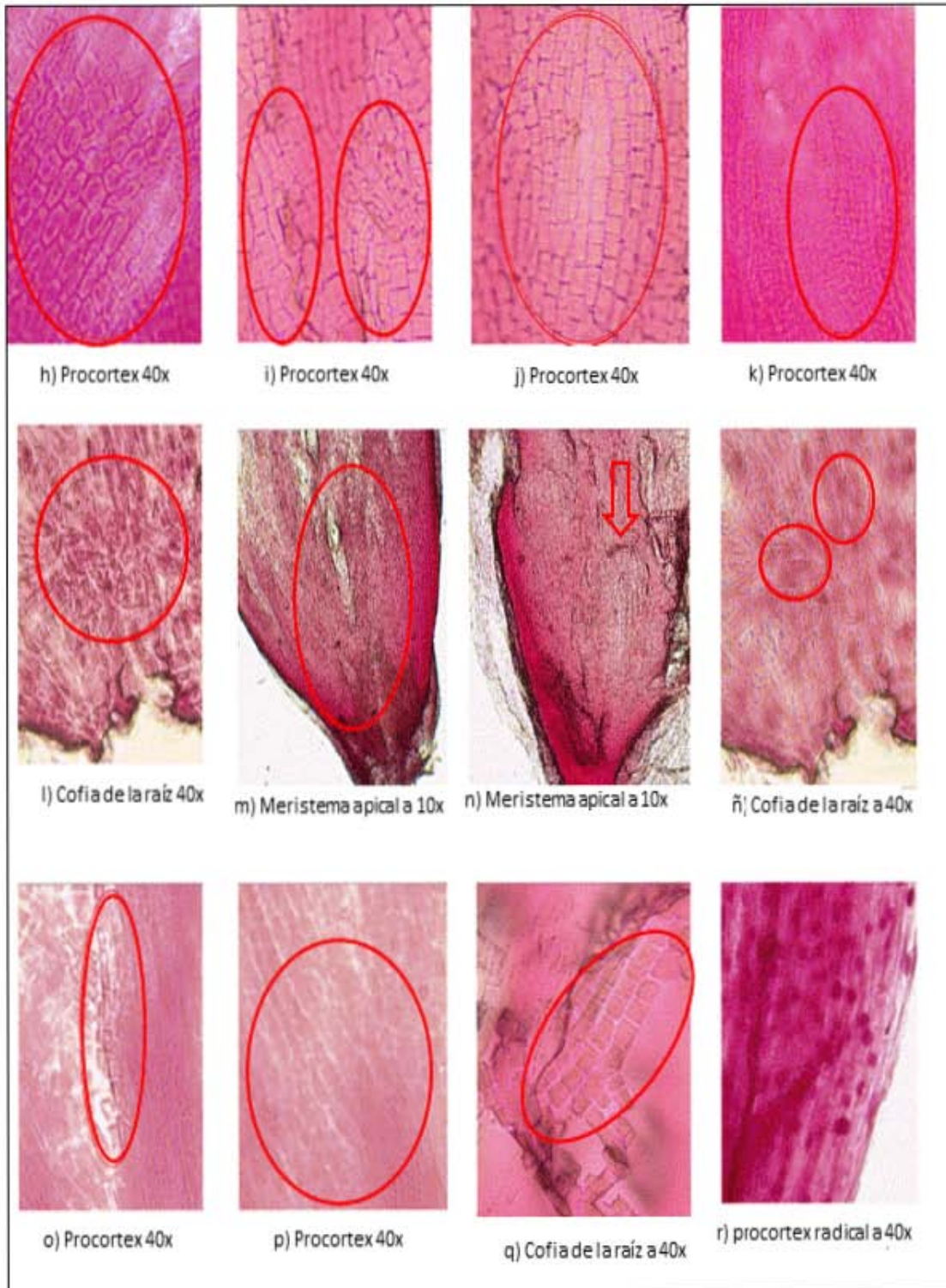


Figura 28.- Concentración 0.5 ppm de uranio con un tiempo de exposición de 24 horas (continuación).





La figura 29 al inicio se indica la sección del órgano que fue utilizado para el montaje. Muestra las células meristemáticas del ápice (a) también se puede apreciar el procortex b, c y d además la cofia radical (e). En el grupo de imágenes de la figura 30, el procortex (e, f, h, i) y la cofia radical (j).

Figura 29.-Concentración 3 ppm de uranio con un tiempo de exposición de 24 horas.

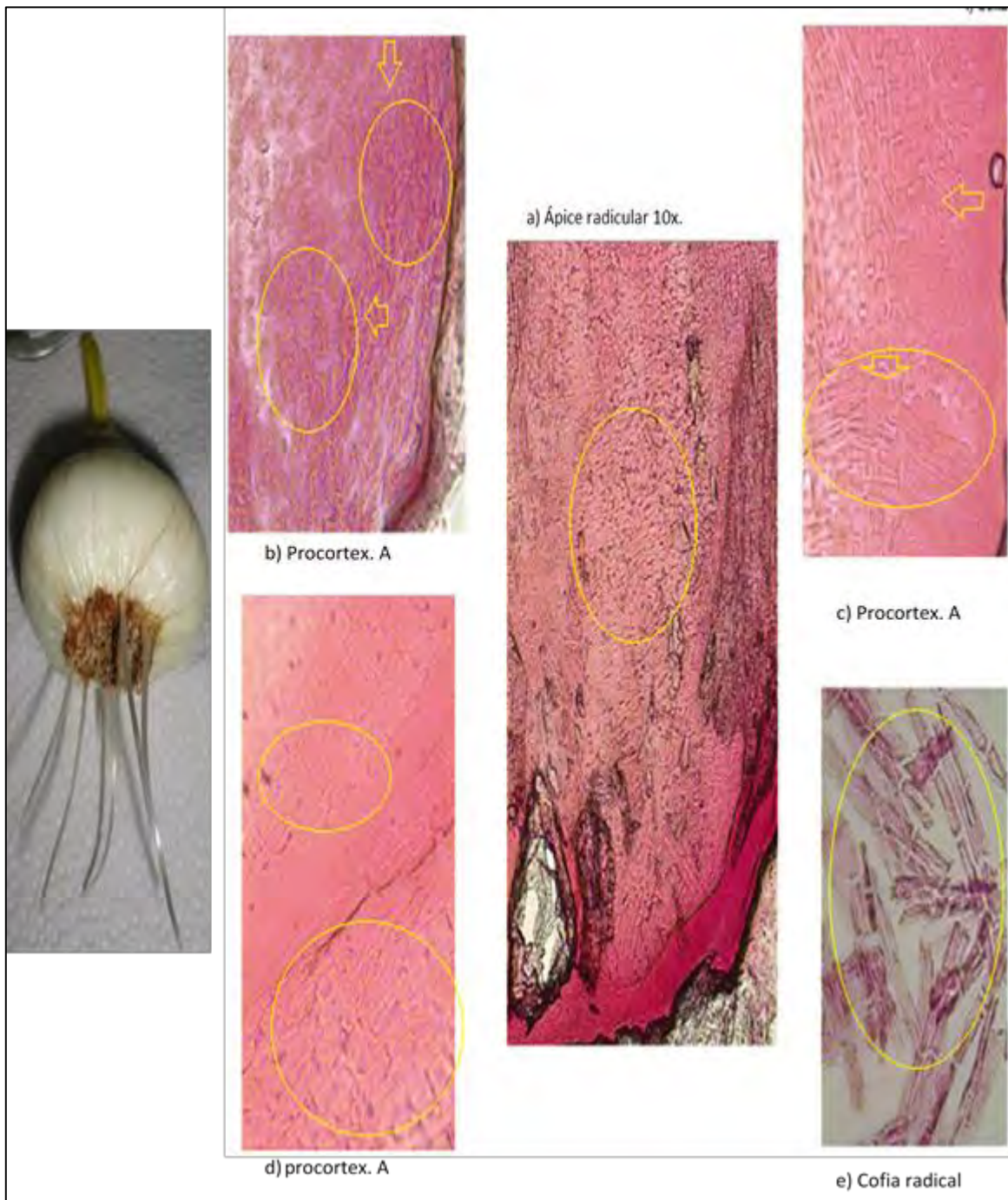
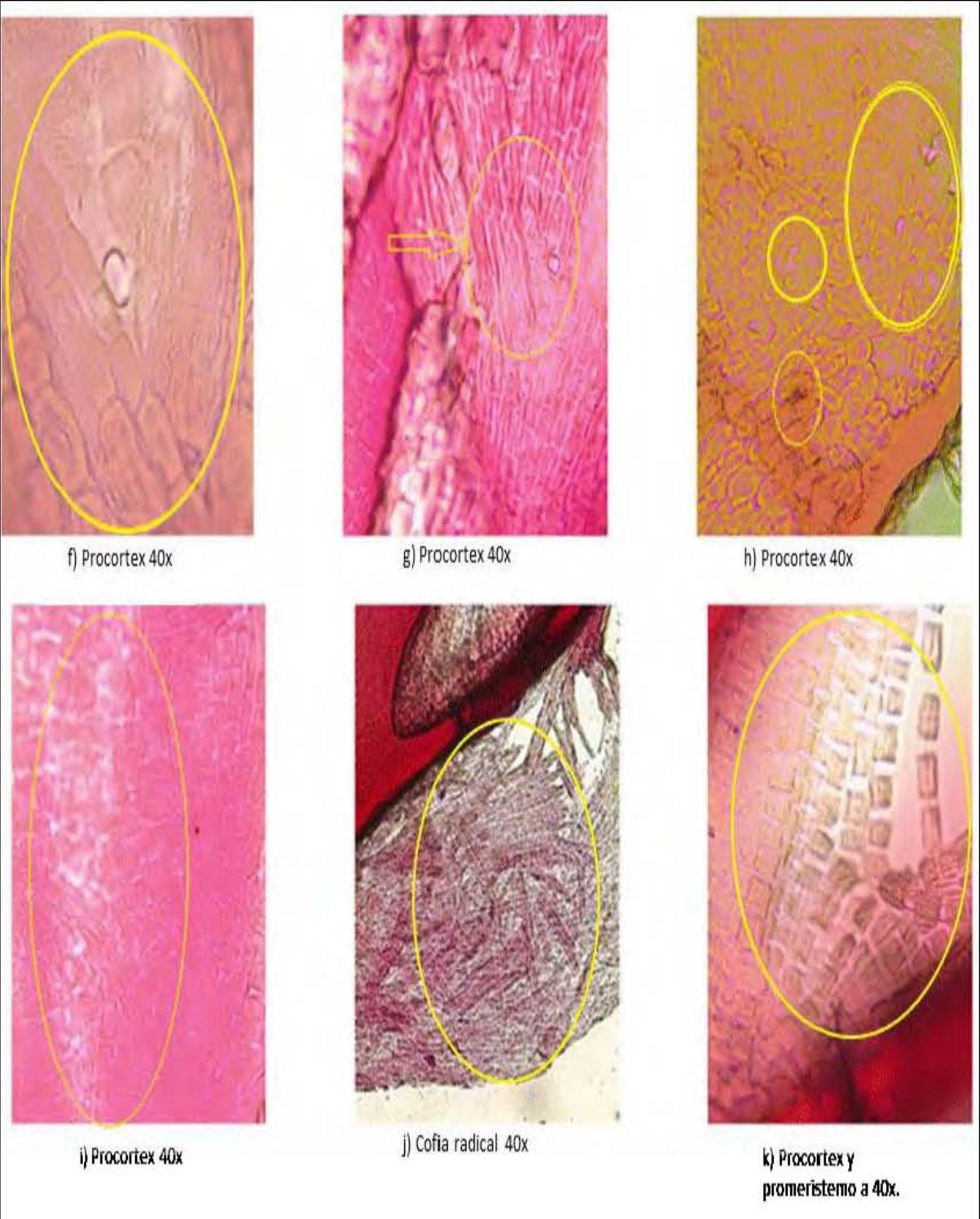


Figura 30. Concentración 3 ppm de uranio con un tiempo de exposición de 24 horas (continuación)



En las figuras 31 y 32 se muestran una serie de imágenes del meristemo apical y fundamental (a y k), imágenes del procortex (b, f, g, h, i, j y l). En el meristemo apical (c, d, e, m y n).

Figura 31. Concentración 6 ppm después de 24 horas de exposición.

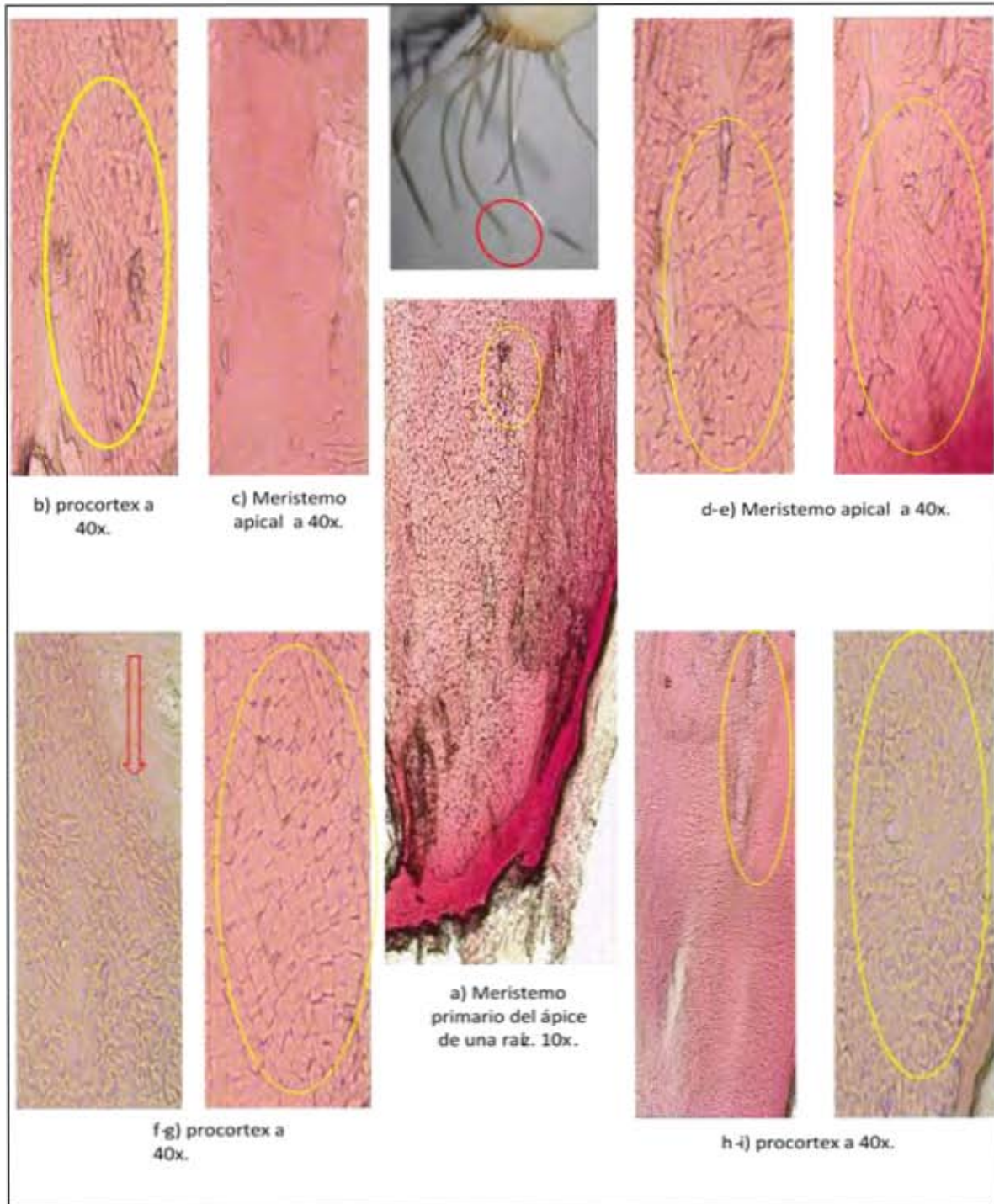


Figura 32. Concentración 6 ppm después de 24 horas de exposición (continuación).



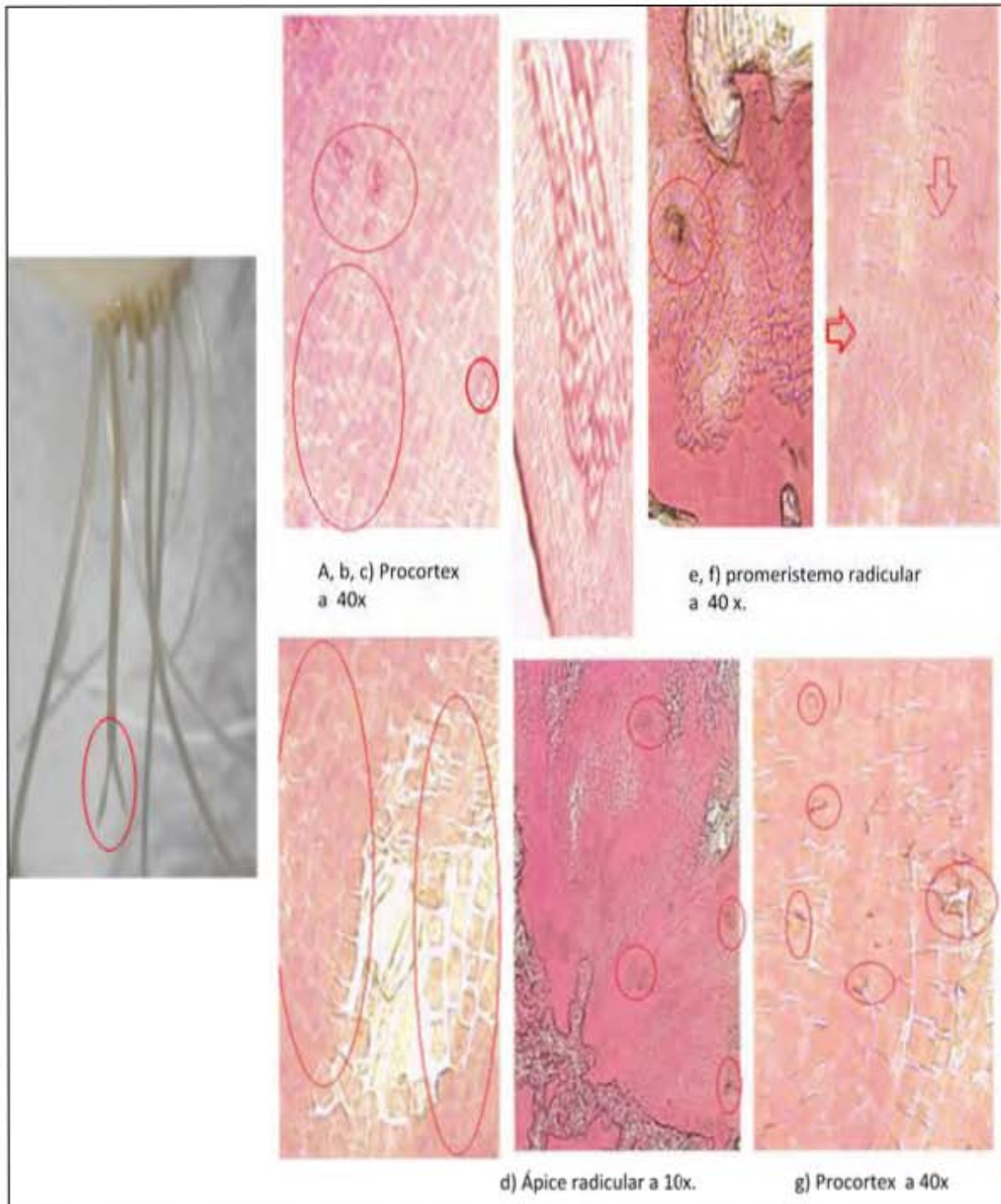
En la figura 33 se observan los tejidos posterior a 72 horas de exposición del blanco el procortex (a, d) y posteriormente se observa el córtex definido (f, g y h).El meristemo apical (b y c).

Figura 33. Organismos Blancos después de 72 horas



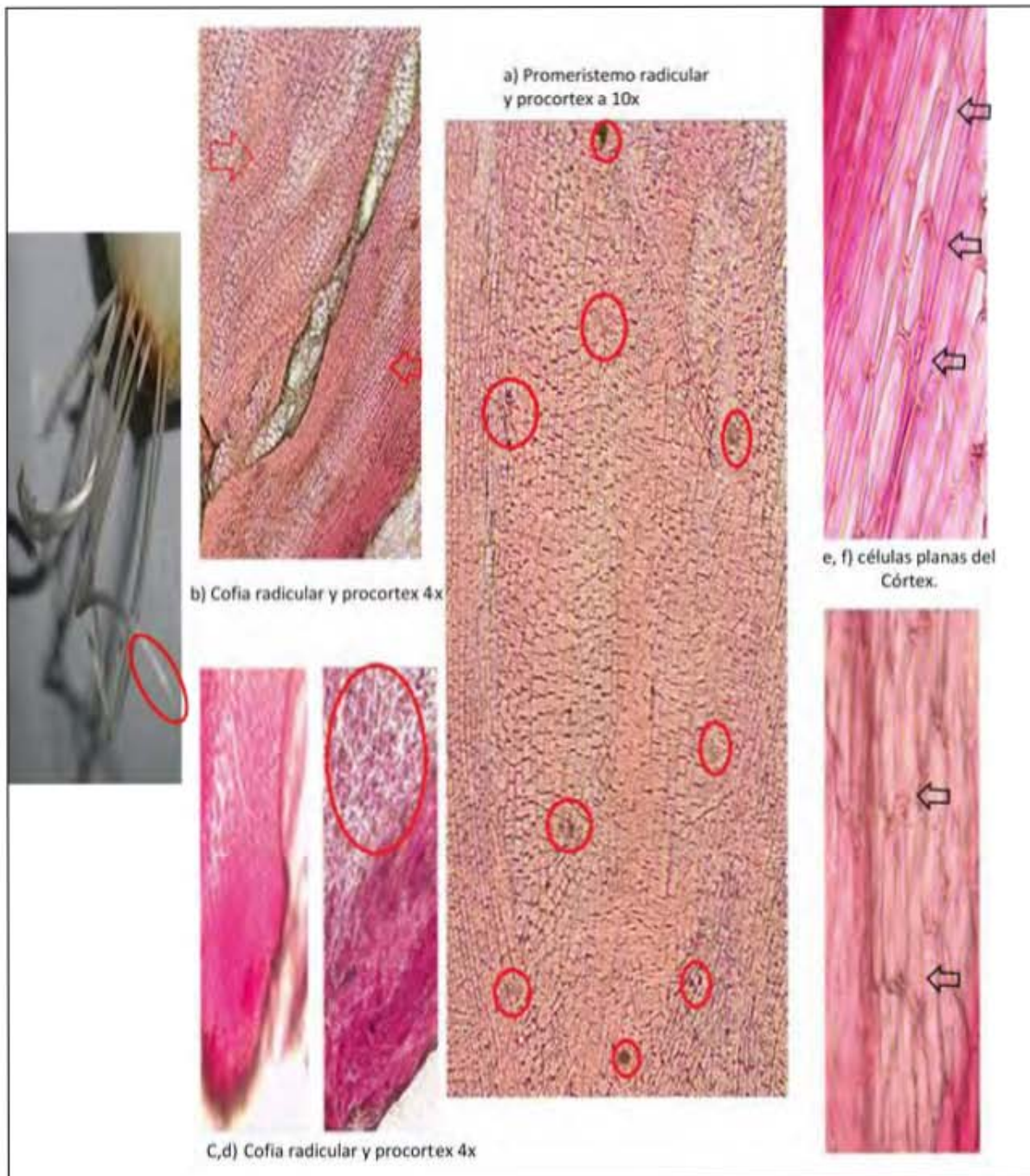
En la figura 34, se muestra la raíz que se utilizó para el montaje con una bifurcación. El ápice radicular (d), el procortex (a, b, c y g) y el meristemo radicular (e-f).

Figura 34 concentración 0.5 ppm de uranio con un tiempo de exposición de 72 horas.



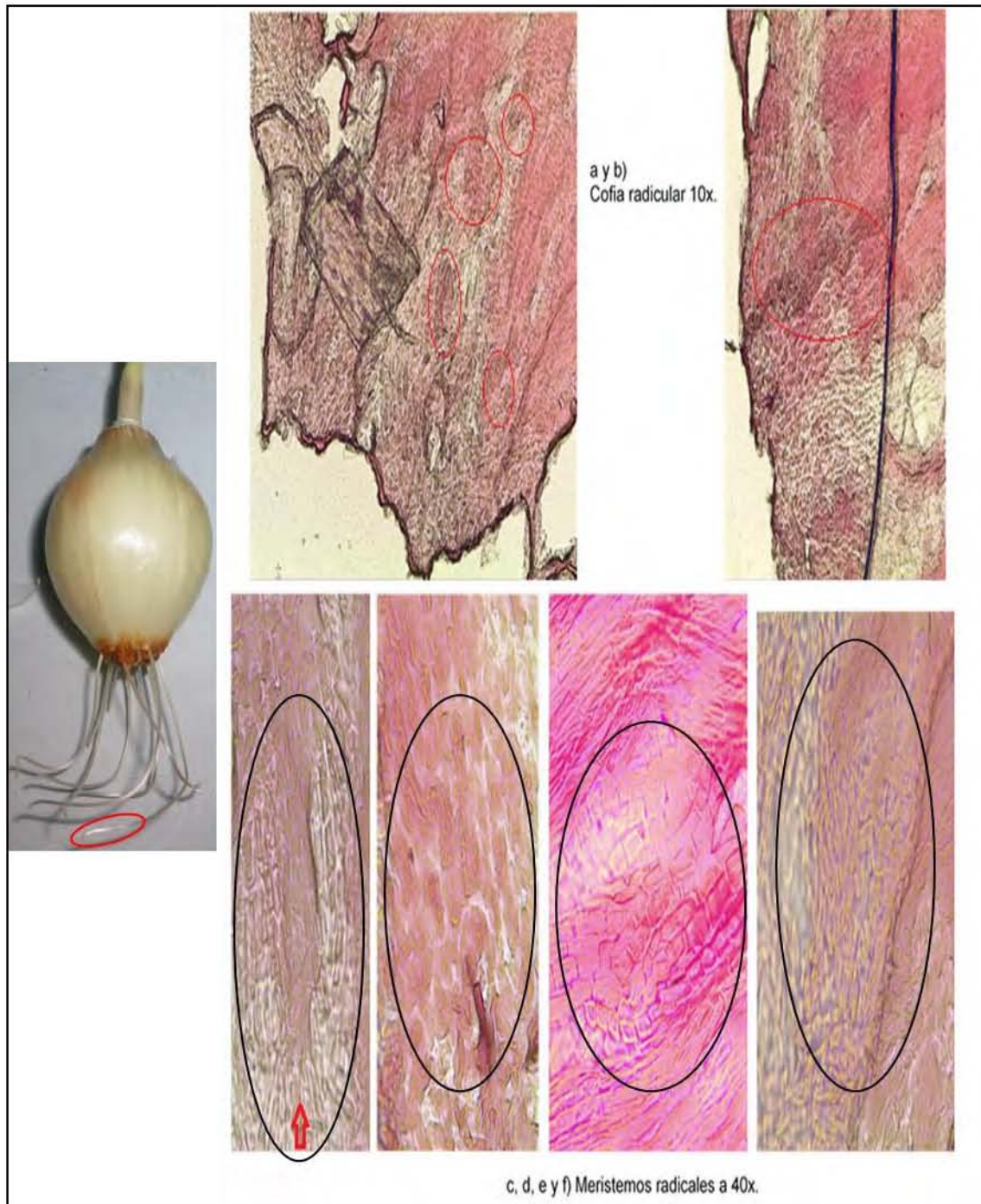
En la figura 35, al inicio se muestra la sección del a raíz tomada que se expone a continuación. El meristemo radicular y procortex (a). La cofia radicular se observa en b, c y d, el córtex se aprecia en e y f.

Figura 35. Concentración de 3 ppm de uranio con un tiempo de exposición de 72 horas.



En la figura 36 al inicio se muestra el organismo con la base tallo de donde se tomó la raíz. Se observa la cofia radicular en a y b además el tejido del meristemo radical (c, d, e y f).

. Figura 36. Concentración 6 ppm de uranio con un tiempo de exposición de 72 horas





**Exposición de los organismo a soluciones con diferentes concentraciones de torio y variando el tiempo de exposición.**

Los especímenes se colocaron en soluciones de Th a diferentes concentraciones por tiempos variados. En las figuras 39, 40 y 41 se muestran los efectos de la exposición a las distintas concentraciones (C1=0.5 ppm, C2= 3 ppm y C3= 6 ppm) de torio en tres tiempos distintos.

Figura 39.- Raíces de los organismos de *Allium cepa* L. variedad cambray al cabo de 24 horas de inducción (Th).



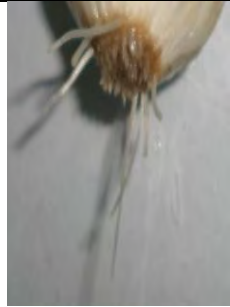
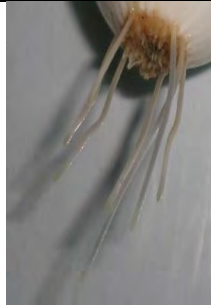
Tiempo.	Concentraciones de torio			
	blanco	C1	C2	C3
24 horas				

Figura 40.- Raíces de los organismos de *Allium cepa* L. variedad cambray al cabo de 72 horas de inducción (Th).


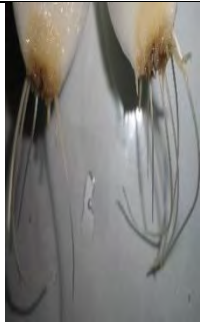

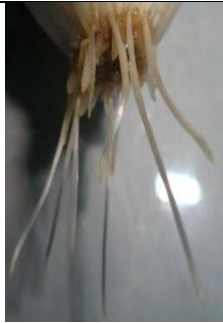
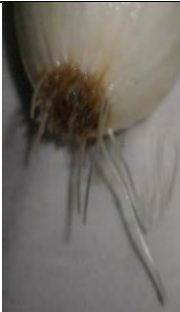


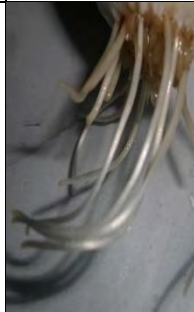
Tiempo.	Concentraciones de torio			
	blanco	C1	C2	C3
72 horas				

Figura 41.- Raíces de los organismos de *Allium cepa* L. variedad cambray al cabo de 120 horas de inducción (Th)

Tiempo	Concentraciones de torio			
	Blanco	C1	C2	C3
120 horas				

## Desarrollo de los seres vivos expuestos a torio.

En el siguiente conjunto de figuras que presentan graficas se aprecia el desarrollo de los seres vivos a partir de 3 parámetros, elongación de la raíz (figura 42), la proliferación de raíces (figura 43) así como el desarrollo de las hojas fotosintéticas en longitud (figura 44).

Figura 42.- Crecimiento de la raíz en *A. cepa* L

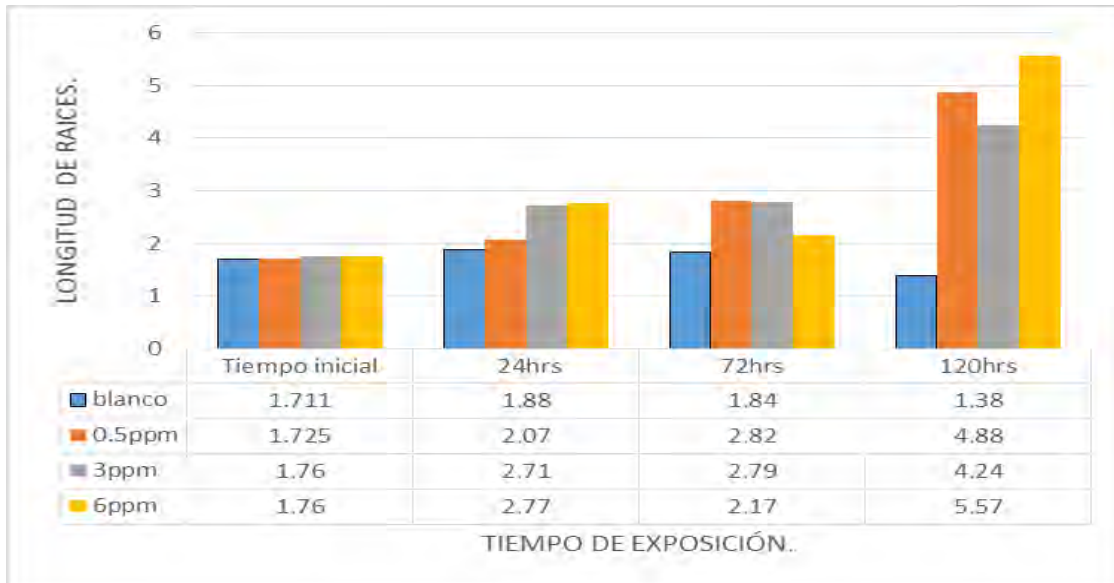


Figura 43.- Número de raíces en *A. cepa*

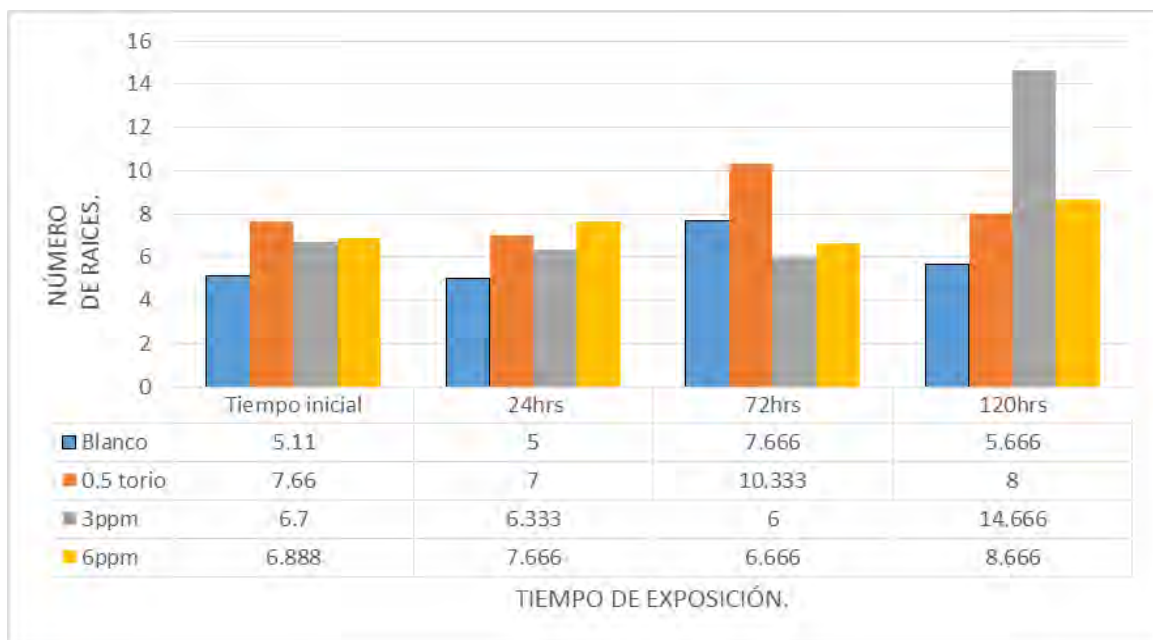
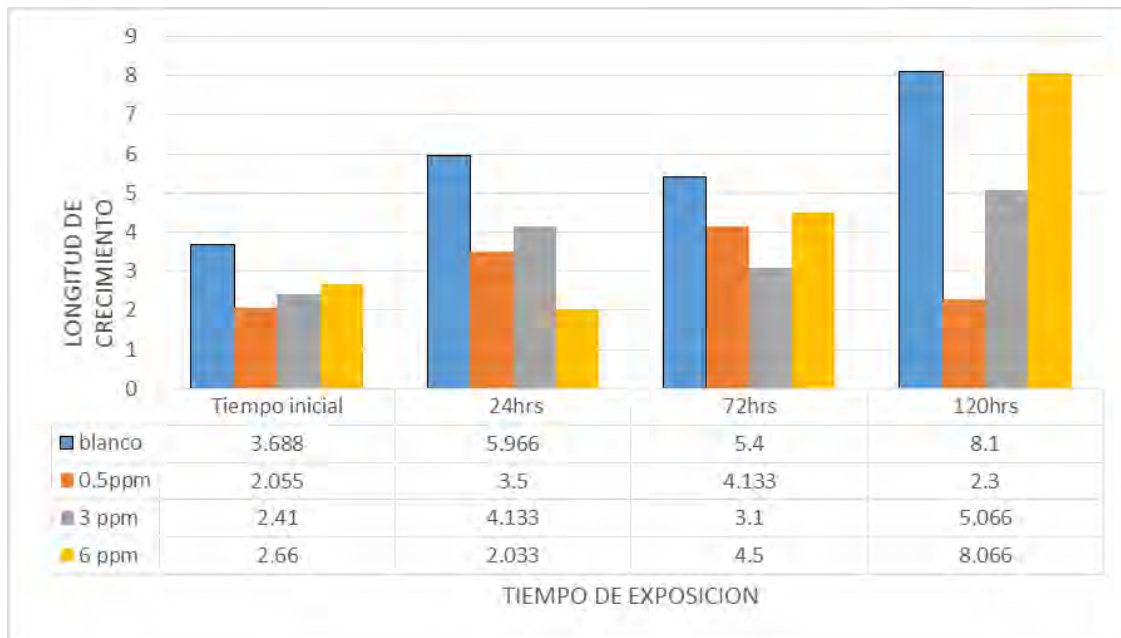


Figura 44.- Crecimiento de hojas fotosinteticas en A. cepa



## Capítulo 4.

### a. Análisis de resultados.

Debido a la prueba de homocedasticidad realizada por el programa estadístico (Stata SE11), reflejo la relación entre la igualdad entre las varianzas de los datos del experimento por lo que se procedió a un análisis de varianza (ANDEVA). En la tabla del análisis de varianza (anexo D) la probabilidad indico que  $p=0.0000 < 0.05$ , explica que el modelo lineal es significativo. En la relación del desarrollo de la raíz con respecto al tiempo y la concentración. Además vemos que el valor de  $r^2$  ajustada es de 0.326, indicando que 0.326 % de la variación de Y (longitud de la raíz) es explicada por la variación o los cambios en la variable X (tiempo y concentración) (Marques et al, 2007).

Se establecieron las siguientes hipótesis nulas para relacionar de dos factores sobre el desarrollo radicular y se obtuvo, Hipótesis 1: no hay efecto o no existe diferencia entre las medias de los distintos tratamientos, para tal supuesto se obtuvo que se rechaza la hipótesis nula 1, debido a que el valor de  $F_{\text{calc}} = 13.89 > F_{0.95, 15, 383} = 1.666$  (Marques, 2004; Guerra et al, 2005; Salgado, 2013), lo cual implica que hay diferencia significativa entre los distintos tratamientos.

Se define la Hipótesis 2: No hay efecto entre la concentración o no existe diferencia entre las medias de las distintas concentraciones, se obtuvo al comparar que se rechaza la hipótesis nula 2, ya que  $F_{\text{calc}} = 6.36 > F_{0.95, 3, 383} = 2.605$  (Marques, 2004; Guerra et al, 2005; Salgado, 2013), por lo tanto, hay diferencia significativa entre las concentraciones. La Hipótesis 3 establece: no hay efecto de interacción. El resultado muestra que se rechaza la hipótesis nula 3, ya que  $F_{\text{calc}} = 15.75 > F_{0.95, 12, 383} = 1.571$  por lo tanto hay efecto de la interacción entre el tiempo y la concentración, sobre el crecimiento de la raíz (Marques, 2004; Guerra et al, 2005; Salgado, 2013).

A partir de los resultados probabilísticos anteriores se explica que la concentración diferenciada en los seres vivos se relaciona con los datos de la figura 22, se observan afectaciones morfológicas de las muestras. Entre estos efectos

están la variación de la longitud de las raíces. Este crecimiento es mayor en muestras con U a la concentración de 0.5 ppm y menor en las muestras con 6 ppm como una respuesta a un contaminante como lo es esta sustancia.

Cabe señalar que debido a la nula cantidad de estudios realizados con elementos radiactivos, se toma en cuenta los estudios de autores como Fiskesjö, 1985 que encuentra a *Allium cepa* como un indicador con respecto al cambio de coloración azul verdoso debido a la acumulación de sulfato de cobre, pero se relaciona con este estudio con el color marrón causado por la muerte celular. Además Fiskesjö, 1985; Fiskesjö 1988; Liu *et al*, 1993 añaden características morfológicas presentes en *A. cepa* resultado de la interacción con compuestos contaminantes con la raíz tales como: la formación de tumores que se observa mediante la hinchazón, raíces rotas o con apariencia retorcida, dobladas o en forma de gancho, inclusive una apariencia de tejido podrido a las 48 horas de su interacción con Pb.

Los efectos morfológicos al cabo de 24 horas en los organismos se muestran en la figura 19, el blanco o estándar presento un desarrollo menor (2.39 cm) en cuanto a la longitud de las raíces y una coloración blanca. El número de raíces fue la de menor cantidad para esta concentración (5.67 en promedio). Las hojas fotosintéticas manifestaron un descenso de longitud, lo que indica que comenzaron a disminuir su metabolismo.

El desarrollo de la raíz, comenzó a partir de un meristemo primario (figura 25) en el cual se puede describir las siguientes secciones a nivel general en color verde se marcan las secciones denominadas zona de división, seguida de una zona de elongación y finalmente es seguida por la zona de maduración. La zona de división, es el sitio específico del presente estudio, por lo que la terminología va relacionada a las células que se comienzan a diferenciar, es decir aquellas que debido a su estado primario de desarrollo solo tienen una pared celular primaria, aun no generan la pared secundaria que les permitiría ser más resistentes.

En la figura 25 se señalan la sección del meristemo primario de una raíz (a) con sus diferentes secciones como son: el procortex (b y c), el procambium (d), el

meristemo apical de la raíz o también denominado centro de quiescencia (e), la cofia radical (f) y la protodermis (g). La forma y estructura se muestran con claridad, con una reproducción de las células de tipo anticlinal para b, c, d y f, lo que produce un alargamiento del órgano. En contraste con el centro de quiescencia donde se observa un tipo clinal que produce un crecimiento a lo ancho.

A partir del bulbo de los organismos se colectaron las raíces y se tiñeron. Al observarlas al microscopio se obtuvieron las imágenes que se presentan en la figura 26, la descripción de la raíz de este organismo muestra segmentos del tejido, como lo son: procortex (g y h), cofia radical (i), procambium (j) y células de elongación (k). Además de que en la figura K, que forman parte de las células de elongación dejan a la vista la separación entre células por donde se transportan los nutrientes.

En contraste con los organismos sometidos a una exposición de 0.5 ppm de uranio por 24 hrs se observó (figura 22) un mayor desarrollo en longitud (4.45 cm), con una coloración blanca, con la forma similar de la raíz con el estándar, la forma cilíndrica con una sección terminal en forma puntiaguda en el ápice del meristemo, estas se mantuvieron derechas con un crecimiento aparentemente normal en comparación del blanco. En el caso de la morfología (figuras 23 y 24) se describe que la cantidad de raíces y el desarrollo de hojas verdes fue la mayor con un número promedio de 9.33 órganos por bulbo y con una longitud de estas hojas de 6.1 en promedio.

En las imágenes de la figura 27 se muestra el meristemo apical con un tratamiento de uranio, se observa la región específica de la raíz que fue utilizada para la observación, dicho tejido (a) se desprenden las secciones del procortex (b y c) la circunferencia indica a las células que mantienen un orden, la flecha señala un sitio donde las células se aprecian con una separación además poca nitidez de las paredes celulares.

En la misma figura 27, se muestra el meristemo radicular en círculos se evidencia que las paredes celulares están difusas (d, e y f). La cofia radical (g) hace notar el material genético sin la pared celular definida. En la figura 28 se muestran imágenes adicionales del procortex (h, i, k, p) es decir un acomodo desigual, en

donde las hileras del tejido mantienen un orden que se ve alterado, ladeado, por lo que se señalan con circunferencias en estos sitios el tejido se mantiene unido salvo en ciertas secciones (j, o). En las imágenes de la cofia radical (l y ñ) se observa el material genético teñido de las células disperso. Los meristemas de la raíz (m y n) con un aumento a 10x. La cofia radical en p-q se observan las hileras de células delimitadas por la pared se encuentran encerradas para su apreciación y en r solo se aprecia el material teñido.

Las raíces del organismo sometido a una concentración de 3 ppm de U por 24 hrs, empezó a mostrar cambios morfológicos esto es, se observan raíces dobladas en forma de gancho con una coloración similar al organismo sin exposición además los datos mostrados en las figuras 22, 23 y 24 indican que: para el desarrollo radicular se tuvo un desarrollo intermedio entre los datos de las 3 concentraciones (3.69 cm) aun así este dato es mayor que en el blanco, con relación a la cantidad de raíces el valor para este grupo de trabajo fue el menor con una cantidad promedio de 6 órganos por bulbo; con el desarrollo fotosintético con un valor promedio de 3.13 cm de longitud, se localizó la presencia del elemento en el tallo y en las hojas fotosintéticas.

La figura 29 muestra la sección del órgano que fue utilizado para el montaje. Muestra las células meristemáticas del ápice (a) con un desorden en su arreglo ya que pasa de una forma ordenada en hilera a una formación semicircular y en una de sus partes, se puede apreciar en el procortex b y c que el arreglo de las células es menor en donde las paredes celulares no es posible observarlas en (b). Pero si en (c) y es señalado con las flechas y encerrada la sección. En contraste en la imagen de las paredes celulares pueden observarse con mayor nitidez en los sitios señalados del procortex (d). La cofia radical (e) muestra células alargadas y fracturadas.

En el grupo de imágenes de la figura 30, se nota un mayor desorden en el procortex (e, f, h, i), en este conjunto se empieza a observar (como se señalan en el círculo) algunas zonas con un mayor espaciamiento entre las estructuras celulares lo cual puede deberse a un cambio en la densidad de dichas áreas debido



a los efectos de la radiación ionizante. La cofia radical (j) expresa un amontonamiento de hileras celulares demarcado por el círculo. Este efecto, favorece que las células cambien su simetría ya que las vacancias formadas por la ionización permite que las paredes celulares se orienten en el sentido de la misma vacancia como se nota el protocortex y el promeristemo en la figura k.

Para el grupo experimental tratado con 6 ppm por un lapso de 24hrs, se apreció en la raíz una coloración marrón- naranja además la forma es distinta, estas raíces presento una especie de hinchazón en la sección de la raíz a diferencia de una punta que se observa en el blanco (figura 19). Aunado a esto se encontró la presencia de este elemento en el bulbo y en la sección fotosintética (cuadro 16) es decir a mayor concentración del elemento este tendió a situarse en las hojas o partes aéreas del organismo. Ahora bien los datos de la figura 22 describen el comportamiento de las muestras, en donde el desarrollo de la raíz de *A. cepa* a mayor concentración de uranio (6 ppm) demostró tener un menor desarrollo con 3.21 cm a comparación de aquella expuesta a una menor concentración 4.45 cm. Y para este tiempo existe una cantidad de 8 órganos por bulbo. Indicando así que el estrés en los organismos permite que aumente la superficie de contacto con el medio (figura 23). En el caso de los órganos fotosintéticos manifestaron un menor desarrollo (figura 24).

En las figuras 31 y 32 se muestran una serie de imágenes, donde el meristemo apical y fundamental (a y k) se nota un desorden celular, además de un ennegrecimiento en las zonas señaladas por las flechas. Con las imágenes del procortex (b, f, g, h, i, j y l) donde se aprecia que el acomodo de las hileras se ve alterado inclusive se puede notar una modificación además del acomodo un cambio en la mayor nitidez de la pared celular señaladas en las circunferencias., por otro lado evidenciado por las flechas color azul se hace notar la orientación que muestran las hileras que forman el tejido, además de que las paredes celulares se ven poco estables e incluso endeble (f y i). En el meristemo apical se notan con un desacomodo en aumento (c, d y e), siendo mayor en m y n donde se han encerrado

en rectángulos el conjunto de celular para hacer notar su orientación diversa mostrando fracturas a nivel del tejido.

En el tiempo de exposición de 72 horas se observó (figura 20) los siguientes cambios; las raíces del organismo blanco se apreciaron de un color blanco ligeramente amarillento, con la forma final de la raíz en punta, la forma general de la raíz es recta. Los órganos de este grupo de seres vivos indico el menor desarrollo radicular tanto como la longitud como la cantidad de raíces (figura 22 y 23), pero el dato para la longitud de la sección fotosintética fue el mayor para este tiempo de exposición con un valor promedio de 6.53 cm de longitud (figura 24).

En la figura 35 se nota el procortex (a, d) y posteriormente se observa el córtex definido (f, g y h). El meristemo apical es nítido (b y c) con un acomodo de las hileras de forma paralela al crecimiento.

Para la concentración de 0.5 ppm, las raíces (figura 20) presentaron una coloración blanca, con una forma ligeramente torcida, con la particularidad de encontrar una raíz que se bifurco presentando dos meristemas en una misma raíz se apreció que antes del segmento dividido la sección anterior pareció rota. Los datos medidos en estos organismos (figura 22, 23 y 24) indican, el mayor desarrollo radicular y la mayor cantidad de raíces en los bulbos, por otro lado el valor de las hojas fotosintéticas es muy por debajo al restos de datos (1.63 cm). El análisis con el equipo ICP arrojó (cuadro 17) la presencia de uranio localizada en la raíz y hoja blanca (parte comestible) este caso es particularmente importante ya que hay una mayor presencia del elemento con 1.29 ppm.

En la figura 34, se muestra la raíz con una bifurcación. El ápice radicular (d) se observa que el tejido tiende al desorden que se evidencia con el procortex (a, b, c y g) pues se aprecia el desorden de las células adicional a la aparición de pequeñas manchas de color oscuro se hacen notar mediante círculos que los rodean. En el meristemo radicular (e-f) se muestran con flechas la dirección y la separación de las células, adicional a las pequeñas secciones oscuras, debido a un efecto de la radiación ionizante de las partículas alfa y beta.

La apariencia radicular del organismo que interactuó con una concentración de 3 ppm de uranio (figura 20), se observó ligeramente retorcida, con tendencia a formar un gancho, además debido a la forma del recipiente la raíz comienza a cambiar en su desarrollo acoplándose a esta. Para el desarrollo de los órganos se encontró un valor intermedio (figuras 22, 23 y 24) entre la mayor y la menor concentración para raíces y cantidad de las mismas así como para la longitud de las hojas. Además con respecto a la acumulación del elemento, se encuentran valores mínimos en raíz y tallo (cuadro 17).

En la figura 35, al inicio se muestra la sección de la raíz tomada que se expone a continuación. El meristemo radicular y procortex (a) se aprecia que existen secciones ennegrecidas a lo largo del tejido delimitadas por las figuras de color rojo, además el desorden de las células longitudinales es claro. La cofia radicular (b, c y d) se muestran con menor nitidez de las células. Se observan las células planas de la zona de elongación conocidas como el córtex (e- f) que están señaladas con flechas el orden que mantienen.

En el caso de la concentración de 6 ppm se encuentra aquí el mejor efecto con respecto al resto de seres vivos, es decir se aprecia una coloración marrón-naranja en dicho organismo (figura 20).

Esto se relaciona a su vez con los datos obtenidos en el cuadro 17 con respecto a la acumulación de uranio en el tallo con un valor presente en este órgano de 6.74 ppm de U además como se observa en la figura 22, que existe para estos el menor desarrollo de la longitud de las raíces con un promedio de 3.06 cm, valores similares en cuanto la cantidad de raíces y longitud de las hojas verdes (figura 23 y 24). Los resultados anteriormente descritos permiten relacionar a la concentración de 6 ppm durante un tiempo transcurrido de 72 horas como aquella situación en la que se presentaron los efectos más adversos para el organismo.

Es decir existe la presencia de coloración naranja de las raíces debido al tratamiento con la concentración a 3 ppm y 6 ppm de U, como se muestra en la figuras 20 y 21. Debido a que las partículas  $\alpha$  y  $\beta$  que provocan radiolisis del agua,

lo que afecta de manera directa al metabolismo del organismo que se ve manifestado en el cambio de coloración.

En la figura 36 al inicio se muestra un organismo con la base tallo de donde se tomó la raíz. Se observa la cofia radicular (a y b) que muestra el tejido segmentado y con ennegrecimiento con una mayor desorden celular indicado por las figuras. En el tejido del meristemo radical (c, d, e y f) se observa una ruptura de las células (lisis) con el material genético inclusive fuera de ellas, el orden de las células longitudinales se pierde y hay un acomodo diverso, se mantiene la forma del tejido pero se observa separado, las circunferencias se utilizan para hacer notar la disgregación que es evidente.

Por otro lado en el caso del tiempo de exposición de 120 horas (figura 21), se observó al organismo blanco una coloración en las raíces ligeramente amarillenta, con la forma cilíndrica y terminación en forma monoclinal gruesa. Los valores de la longitud radicular y de tejido fotosintético con valores más altos de todos los organismos (figura 22 y 24), contrastando el valor del número de las raíces cuyo dato fue el menor, esto se explica por mantenerse en crecimiento sin contaminante alguno, al no presentar estrés no aumenta la superficie de contacto (figura 23) con 7.67 raíces en promedio.

Para este mismo tiempo de exposición pero a una concentración de 0.5 ppm (figura 21) se tiene una coloración ligeramente naranja, con raíces en forma de gancho y retorcidas, además el desarrollo de los órganos manifestado en las figuras 22, 23 y 24 indico : el mayor desarrollo de la raíz para este grupo (5.87 cm) pero aún es un valor por debajo del blanco, la cantidad de raíces se observa como la de menor proliferación pero de forma ascendente después de la cantidad del blanco y con un valor intermedio de las hojas verdes. Así como la presencia de 0.66 ppm de uranio en el bulbo sección comestible de este vegetal (cuadro 18).

Para la concentración de 3 ppm, se obtuvo la siguiente observación mostrada en la figura 21, una coloración marrón- naranja en las raíces con la sección apical de la raíz más pronunciada a una punta peor antes de esta una hinchazón de la misma. El menor desarrollo radicular, un dato intermedio para la proliferación de

raíces y el mayor desarrollo fotosintético (figuras 22,23 y 24). El uranio se encuentra presente tanto en la raíz como en la sección comestible (cuadro 18).

Para las raíces que se sometieron a mayor concentración se apreció una coloración ligeramente naranja a lo largo de la raíz no en el meristemo radicular. La forma de algunas raíces en la sección apical se observó como si fueran pequeños ganchos y retorcidos (figura 21). Un valor intermedio de desarrollo radicular de 3.97 cm, la mayor proliferación de raíces 14 en promedio, así como el menor valor del desarrollo fotosintético de los tejidos (figuras 22, 23 y 24). La acumulación se ubica solo en las hojas fotosintéticas (cuadro 18).

De manera general se encontró un mayor aumento de las raíces en la concentración de 6 ppm y se debe a un efecto del estrés al que están sometidos los organismos, es decir, para tener una superficie mayor de adsorción de nutrientes que le permita adaptarse al medio adverso, esto se puede observar en la figura 23. Un efecto adicional se muestra en el tamaño de las hojas fotosintéticas, se nota mayormente en la concentración de U de 0.5 ppm lo que nos muestra que existe una respuesta a la exposición de uranio desarrolla las hojas favoreciendo la eficiencia en la obtención de energía mediante la fotosíntesis, Ver figura 24.

Los efectos producidos durante el experimento en los tejidos de la raíz, como se mostraron en las fotografías de las figuras 29, 30, 31, 32, 34, 35 y 36 muestran cambios en la geometría celular, esto es, se observa un desorden de las células del procortex, la cofia radical muestran daño en la pared celular y las células de los meristemos apicales se encuentran separadas. Estos cambios están asociados al cambio en la concentración de U empleada, es decir para la concentración de 3 ppm de U en el córtex se aprecia una alineación vertical y horizontal que es inusual y en los meristemos radiculares la separación y desorden es mejor representado y 6 ppm de U, el efecto llega a la destrucción de las células tanto del córtex, la cofia de la raíz y de los meristemos radiculares. Esto es producido por el efecto de la radiación ionizante en el interior de las raíces debido a que el uranio es un emisor de partículas alfa  $\alpha$ . Estas partículas tienen energías entre 4 y 10 MeV lo que permite que induzcan un efecto de cambio morfológico de los tejidos, es decir,

tienen un desorden debido al incremento de la concentración de U, como se observan en los cuadros 16 y 17 al hacer el análisis correspondiente de U se encontró su presencia en las raíces que se observaron al microscopio.

En la figura 42 se muestra que a mayor concentración de Th con tiempo de 120 horas se produjo la mayor elongación de la raíz en promedio de 5.57 cm, además en la figura 43, existe el mayor dato con respecto a la cantidad de raíces, con un promedio total de 14.66 raíces por individuo. Para la longitud de hojas fotosintéticas el valor mayor se encontró en el mismo grupo de datos a las 120 horas pero con un valor promedio del blanco de 8.10 cm y 8.06 cm para el expuesto a 6 ppm.

## **b. Conclusiones**

- 1) La absorción de U, es mediante las raíces y la distribución de este elemento y en general de todos los nutrientes macro y micro se debe a la presión osmótica y al efecto de difusión.
- 2) Al emitir partículas  $\alpha$  el U, estas interactúan con sus alrededores provocando una transferencia de su energía, dicho aporte de energía a los cuerpos con los que interactúe, provoca un simple frenado de la partícula  $\alpha$  o una ionización de los átomos circundantes. Esta ionización puede apreciarse en el cambio de coloración en los tejidos tornándose zonas ennegrecidas conocidas como aureolas de ionización (o quemadura por radiación) en el tejido expuesto a mayor concentración 6 ppm por 72 horas.
- 3) En el caso de los organismos expuestos con torio, no hubo presencia del elemento en los órganos, debido a ello no se observaron al microscopio las raíces. Pero con respecto a su desarrollo morfológico se puede mencionar que las raíces se muestran onduladas o retorcidas para la concentración de 6 ppm de Th con un tiempo de exposición de 24 horas.
- 4) La técnica de tinción y montaje de las raíces permite observar cambios a nivel celular en meristemas radiculares de *Allium cepa* L. variedad Cambray.
- 5) La distribución de U en la planta es heterogénea, dependiendo de la sección morfológica del organismo y su función es la acumulación de U en ella.
- 6) En las raíces de *Allium cepa* L. variedad Cambray expuestas a 6 ppm de uranio por tiempo de exposición de 72 horas, se tiene el tejido primario radical con un mayor desorden.
- 7) *Allium cepa* L. es un indicador de los efectos producidos por la radiación ionizante.

### Conclusión final

El organismo *Allium cepa* L. variedad cambray, muestra efectos físicos notables, que sirven como indicador de que este producto fue expuesto a fertilizantes, suelo o agua con alto contenido de uranio lo que llevara a indicar la posible toxicidad para el consumo de los mismos.



## Bibliografía

- Azorín, J. (1997). *Introducción a la Física Nuclear*. México: ediciones científicas AZVEG, pp. 55-92.
- Alonso J. (2011). *Manual de histología vegetal*, España, pp. 47-144.
- Bonilla, A. (1985). El cierre de URAMEX: Un paso más en la dependencia de México. *Momento económico*, (12), pp.6-7.
- Burlakova, E. (1995). Some Specific effects of low-intensive radiation: *Radiobiological disasters: Consequences of accidental at Nuclear Power Stations*. USA: Nova Sciences Publishers INC, pp. 11-43.
- Cabrera, O. (2003). *Impacto ambiental de la actividad minera de torio y uranio en la presa Huitzo, municipio de ETLA, Oaxaca, México*. Tesis para obtener el título de Ingeniera Química Metalúrgica, Facultad de Química, UNAM.
- Castañeda, M. (1988). *La producción de Uranio en México. Recursos uraníferos*. México: Programa Universitario de Energía UNAM.
- Coll-Hurtado, A., Sánchez-Salazar, M. y Morales, J. (2002). *La minería en México, geografía, historia, economía y medio ambiente. Temas selectos de Geografía de México*. México: UNAM Instituto de Geografía, pp. 84-95.
- Cronquist, A. (1986). *Botánica básica*. México D.F: Campaña editorial continental S A de C V, pp. 68.
- Daintith, J. (2001). Diccionario de Química. In: *Diccionario especializado de Química*. México: Norma S.A., pp. 208.
- Firbas, P. and Amon, T. (2014). Chromosomal damage studies in the onion plant *Allium cepa* L., *Caryologia*. International of cytology, cytosystematics and cytogenetics. UK: Taylor and Francis. 67(1), 25-35.

- Fiskesjö, G. (1985). The Allium test as a standard in environmental monitoring. *Hereditas*: Sweden, (102), pp. 99-112.
- Fiskesjö, G. (1988). The Allium test- an alternative in environmental studies: the relative toxicity of metal ions, *Mutations Research*. (197), pp. 243-260.
- Fiskesjö, G. (1997). Allium test for screening chemicals In: *Evaluation of cytological parameters in Plants for environmental studies*. CRC Press LLC. Chapter 17, pp. 119-127.
- Flores, J., Juárez, F., Cabrera, O., Huizar, R., Peña, P., Balcázar M. y López A. (2006). *Exploración radiométrica de minerales radioactivos en la presa Matías Romero, en Oaxaca*. IX International Symposium/XIX Meeting on Solid State Dosimetry, 29 de agosto al 1 de septiembre, Ciudad de México.
- Flores-Vindas E. (1999). La planta estructura y función, Volumen dos, Libro universitario regional, Editorial tecnológica de Costa Rica. pp. 369-386.
- Geibert, W. (2008). Charts of the  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  and  $^{232}\text{Th}$  and  $^{241}\text{Am}$  decay series with principal modes of decay, their intensities and energies in *Radioactivity in the environment*, Elsevier Ltd (13), pp. 217-222.
- Guerra T., Marques M. y López J. (2005) Cuaderno de problemas de probabilidad y estadística, UNAM-FES Zaragoza, pp. 241-242.
- Hernández, S. (1990). Manual de laboratorio de citología y citogenética, México: Trillas.
- Hirose, K. (2016). Fukushima Daiichi Plant accident: Atmospheric and oceanic impacts over the five years. *Journal of environmental radioactivity*, (157) pp.113-130.
- Hutchinson, F. and Pollard, E. (1959). Physical principles of radiation action, Chapter 1.part 1. pp 1-70.

- Jaminon, M. y Navarro, J. (2009). *Las radiaciones: beneficiosas, letales, misteriosas*. España: NIVOLA libros y ediciones, S.L, (27), pp. 1-189.
- Jia, G., Torri, G., Sansone, U., Innocenzi, P., Rosamilia, S., Di Lillo, A. and Gaudino, S.(2006). Concentration and characteristics of uranium isotopes in drinking waters collected in Italy and the Balkan and their radiological impact on the public. In *Radioactivity in the environment*. (8), pp.223.
- Juárez, F. (2014). *Estudio de  $^{222}\text{Rn}$  en intramuros mediante detectores de trazas nucleares sólidos*, Tesis de Doctorado. Estado de México: UAEM.
- Kabata-Pendias, A. (2011). *Trace elements in soils and plants*, 4th ed. New York: Taylor & Francis Group, pp. 93-94.
- Kabata-Pendias, A. and Szteke, B. (2015). *Trace elements in abiotic and biotic environments*, New York: Taylor and Francis Group, pp. 381-389.
- Konya, J. and Nagy, N. (2012). *Radio and Nuclear Chemistry*, Elsevier, pp. 27-127,375-394.
- Kovalchuk, O., Kovalchuk, I., Arkhipov, A., Telyuk, P., Hohn, B. and Kovalchuk, L. (1998). The Allium cepa chromosome aberration test reliably measures genotoxicity of soils of inhabited areas in the Ukraine contaminated by the Chernobyl accident. *Mutation Research, Genetic toxicology and Environment mutagenesis*. ELSEVIER. (415), pp. 47-57.
- Krishnaswami, S. y Cochran, K. (2008). *Radioactivity in the Environment*, appendix b: Systematics of Radioactive Decay, Elsevier. (13), pp. 425-431.
- Lerda, D. (1991). The effect of lead on Allium cepa L. *Mutation Research*. Elsevier Science Publishers, (281), pp. 89-92.
- Lehnert, S. (2007). Radiation physics and chemistry. *Biomolecular Action of Ionizing Radiation*. Taylor and Francis. (2) pp.1-20.

- Liu, D., Jiang, W., and Li, M. (1992). Effects of trivalent and hexavalent chromium on root growth and cell division of *Allium cepa*. *Hereditas* (117), pp. 23-29.
- Liu, D., Jiang, W., Wong, W., Zhao, F. and Lu, C. (1993). Effects of lead on root growth, cell division and nucleolus of *Allium cepa*, *Environmental Pollution*. UK: Elsevier science limited, (86), pp. 1-4.
- López, M. (2001). *Análisis jurídico referente a la seguridad en materia nuclear de la ley reglamentaria del artículo 27 constitucional*. Tesis para obtener el título de Licenciado en Derecho., Naucalpan, Estado de México: UNAM.
- Marques M. (2004). Probabilidad y Estadística, para ciencias químico-biológicas, UNAM-FES Zaragoza, México, pp. 337-386.
- Marques M., Galindo S. y Cervantes A. (2007). Análisis de regresión un enfoque práctico, UNAM-FES Zaragoza, México, pp.23
- Magill, J. and Galy, J. (2005). *Radioactivity, Radionuclides and Radiation*, Germany: European Commission Joint Research Center Institute for Transuranium Elements. pp. 44-66.
- Manjarrez, E. (1981). *Estudio geológico y radiométrico de la mina El Muerto, estado de Oaxaca*. Tesis para obtener el título de Ingeniero Geólogo. Distrito Federal, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Instituto Politécnico Nacional.
- Monte, L., Gracias, M., Batistuzzo, S. and Agnez, L. (2007). Cytotoxic and Genotoxic potential of Surface water from the Pitimbu river northeastern /RN Brazil. *Genetics and Molecular Biology*. Brazil. (30)2, pp. 435-441.
- Morais, D. and Marin-Morales, M. (2009). *Allium cepa* test environmental monitoring: a review on its Application. *Mutation research*. ELSEVIER. (682), pp.71-81.

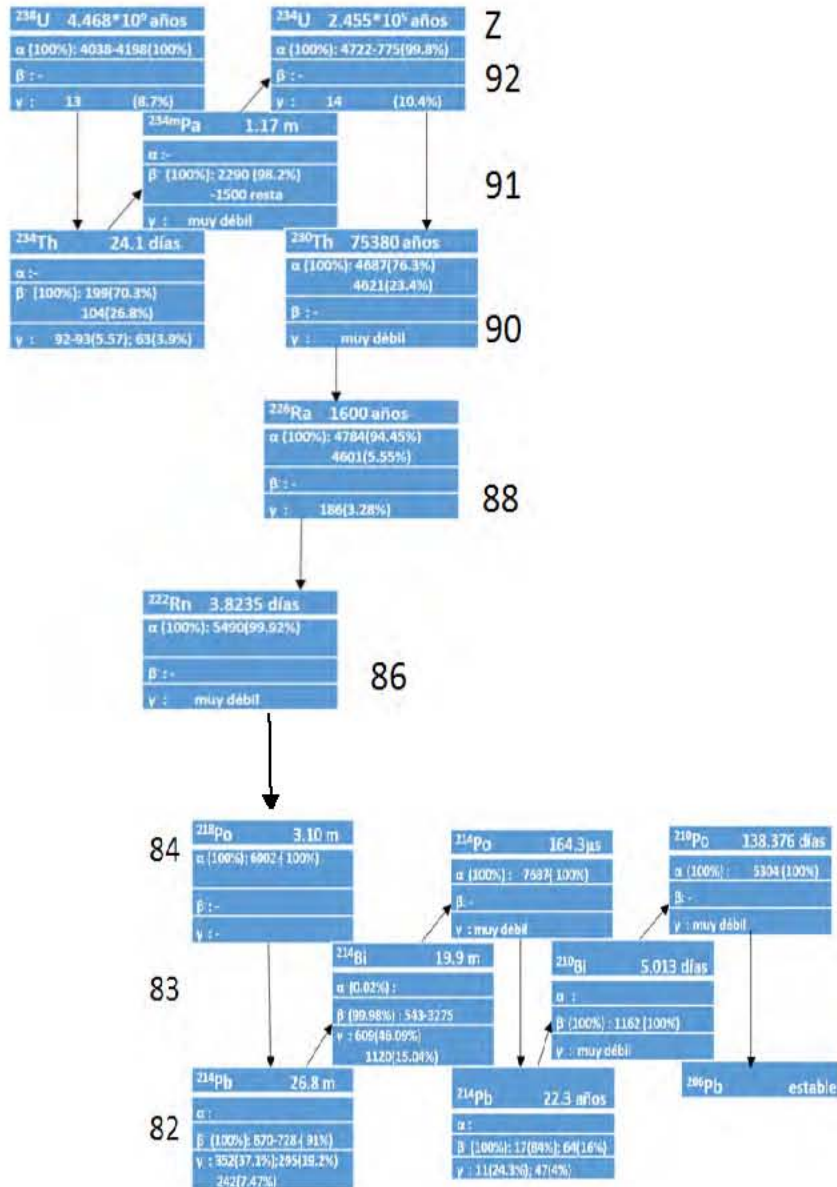
- Narayan, A. (2007). *Essential of biophysics*. New Delhi: New Age International (2da edition) pp. 459-480.
- O'hare, S. and Atterwill, C. (1995). *Allium test, Geirid Fiskesjo* In: vitro toxicity testing protocols, Methods in molecular biology. New Jersey: Humana Press. (43).
- Ozbek, N., Baysal, A. and Akman, S. (2015). Heavy metal determination in environmental samples. *Environmental application of Instrumental Chemical Analysis*. Apple academic press. pp. 441-470.
- Palafox, C. (2016). Obtención de tierras raras a partir de jales mineros, Tesis para obtener el título de ingeniero Químico Metalúrgico. México Distrito Federal: Facultad de Química UNAM.
- Philp, R. (2013). *Radiation Hazard* in Ecosystems and Human Health Toxicology and Environmental Hazard. Third edition, CRC Press. pp. 275-280.
- Phillips, J. y Hayman, (1970). Improved procedures for clearing root and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British mycological society*. (55), pp. 158-160-181.
- Reimann C. and De Caritat P. (1998) Chemical elements in the environment, Fact sheets for the geochemist and environmental scientist, Springer. Berlin, Germany.
- Restrepo, R., Reyes, D., Ortiz, M., Rojas F., y Kouznetsov, V. (2012). Aberraciones cromosomales en bulbos de cebolla *Allium cepa* inducidas por moléculas híbridas 4-aminoquimnolónicas. *Universitas Scientiarum*, 17(3), pp. 253-261.
- Salgado I., (2013). Métodos estadísticos exploratorios y confirmativos para el análisis de datos. Un enfoque biométrico. UNAM-FES Zaragoza. México pp. 165-190.

- Salisbury F. y Ross C. (2000). Fisiología celular de las plantas: agua, soluciones y superficies. Thompson learning /Paraninfo, España. pp. 147-209.
- Santamaría, C, (2008). Elementos radioactivos presentes en una mina de uranio. Tesis de licenciatura para obtener el título de Físico. UNAM, Facultad de ciencias. pp. 2-14.
- Santamarina M., García F., Vilella V. y Rosello J. (2004). Biología y botánica, tomo I, Universidad Politécnica de Valencia, editorial UPV, Valencia, España. pp. 73-88.
- Sharma A. and Sen S (2002). Chromosome botany, Science Publisher INC, Printed in India.
- Shepherd V. (2006). Plant Cell Biology, Editors Dashek W. and Harrison M. Science publishers, printed in India.
- Singh, P. (2015). Genotoxicity assessment of water samples from Gomti river, U.P. India using the *Allium cepa* L. test , International Journal of advanced Research , (3)3, pp. 474-482.
- Suzuki, G., Shiomi, M., Morihana, S., Yamamoto, M. and Mukai Y. (2010). DNA methylation and histone modification in onion chromosomes. *Genes Genet. Syst.*, (85), pp. 377-382.
- Turkoglu, S. (2009). Genotoxic effects of mono-, di-, and trisodium phosphate on mitotic activity, DNA content, and nuclear volume in *Allium cepa* L. *CARYLOGIA*, 62(3), pp. 171-179.
- Voitsekhovitch, O., Soroka, Y. and Lavrova, T. (2006). Uranium mining and ore processing in Ukraine-radioecological effects on the Dnipro River water ecosystem and human health in Radioactivity in the environment, (8), pp. 206-212.

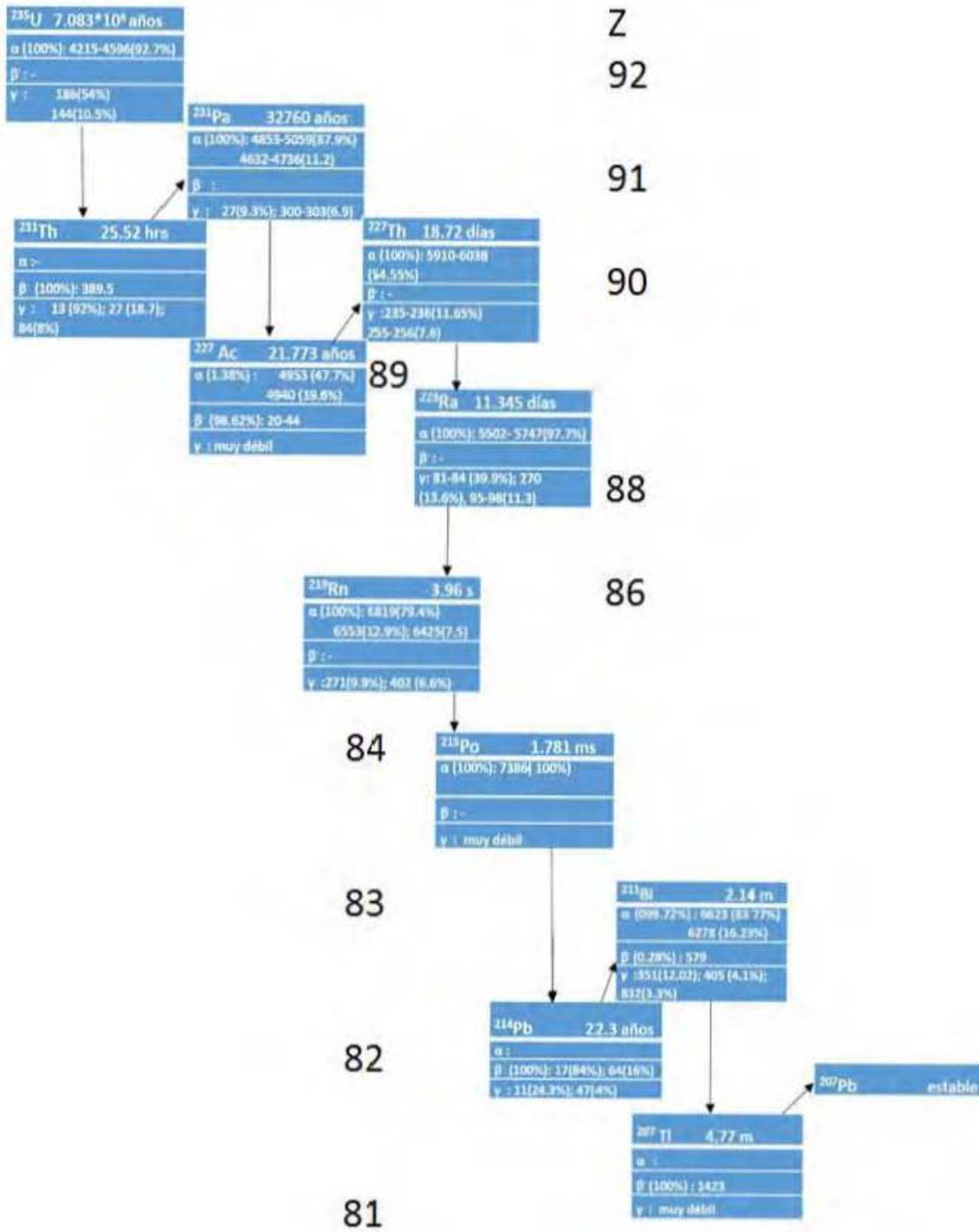
Referencias en la red: <http://bios.conabio.gob.mx/especies/6019736>

# Anexo A

## Serie de decaimiento del Uranio $^{238}$ , $A=4n + 2$

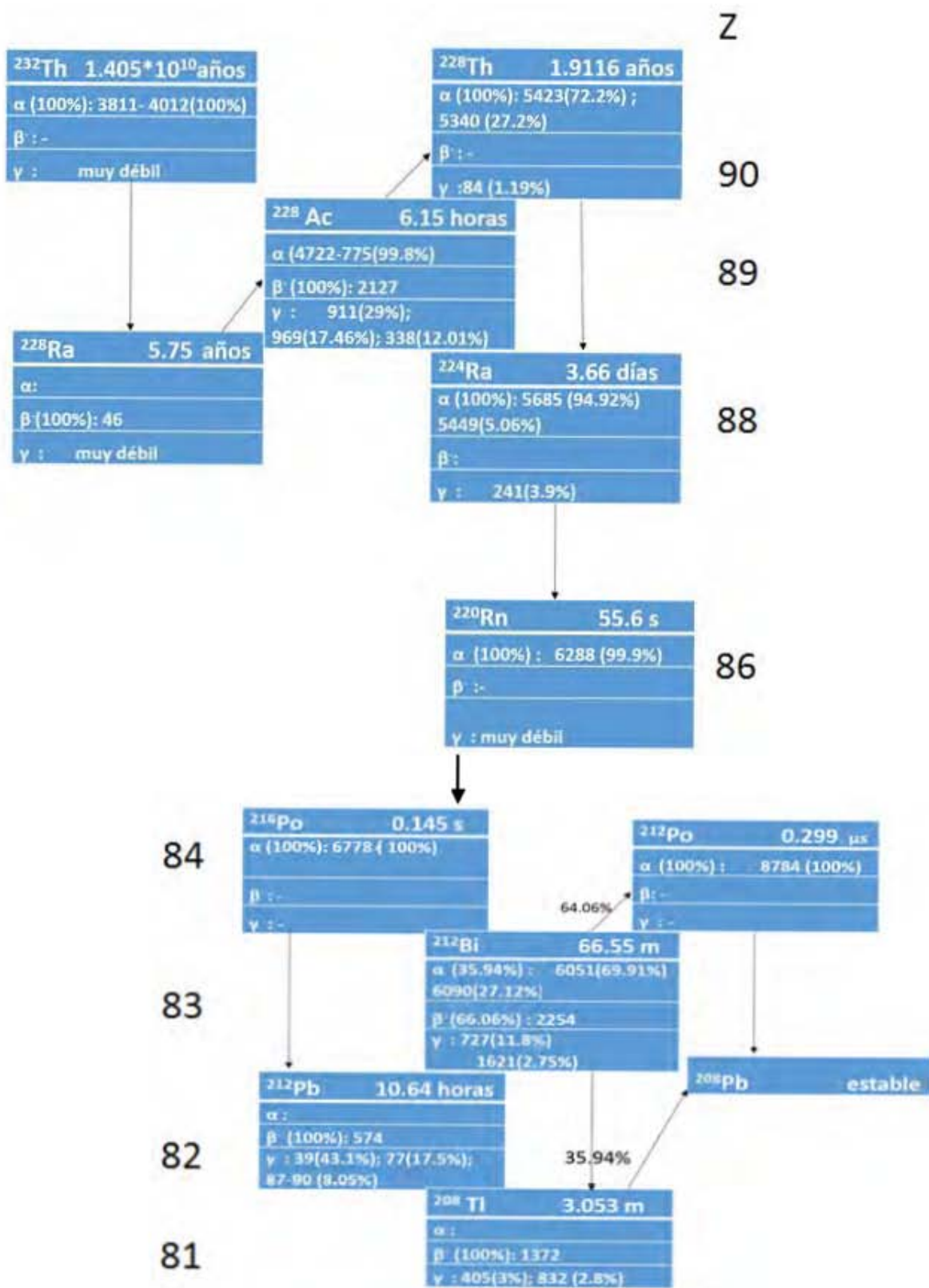


Serie de decaimiento del  $^{235}\text{Uranio}$ ,  $A= 4n + 3$



Serie de decaimiento del  $^{232}\text{Torio}$ ,  $A= 4n$





## Anexo B

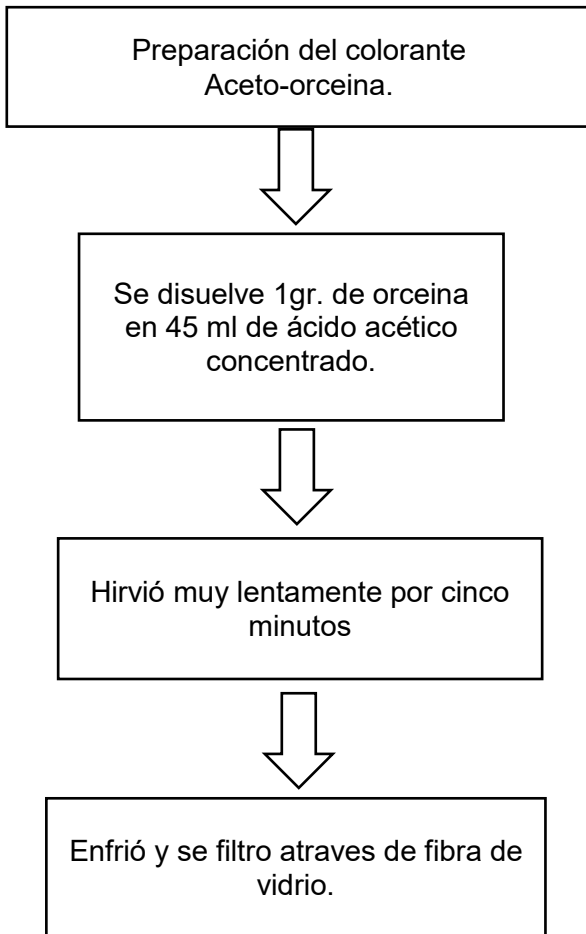


Figura 19. Preparación del colorante aceto-orceina.

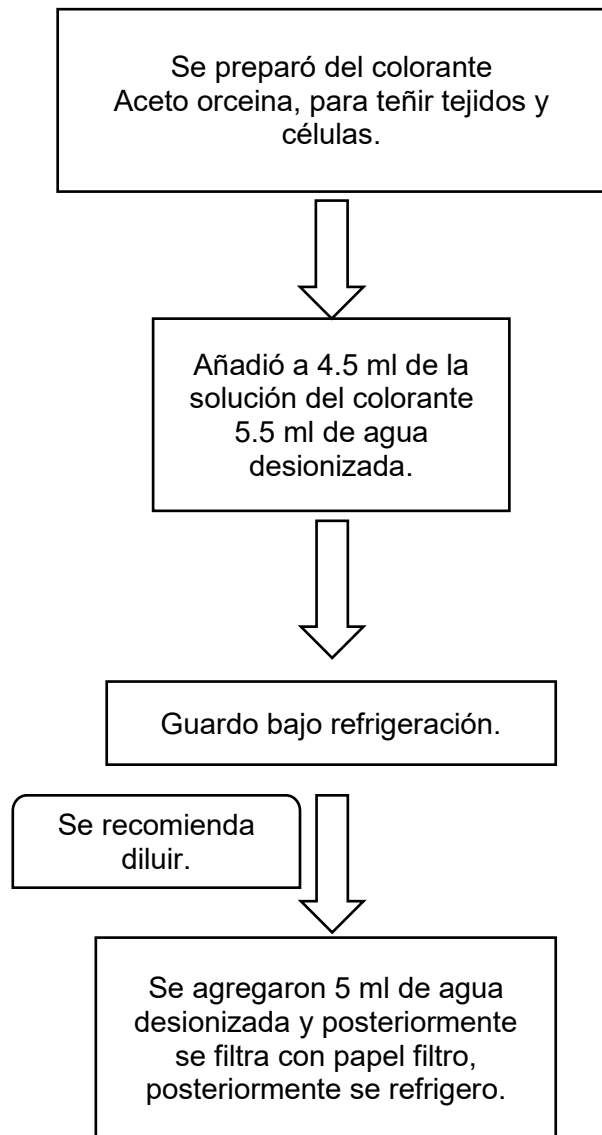
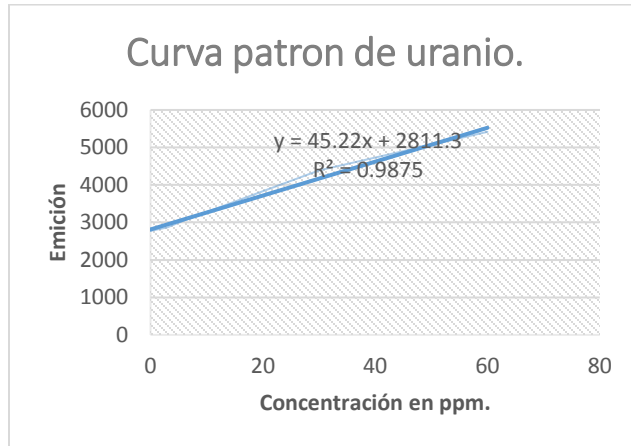


Figura 20. Preparación del colorante al momento del teñido

## Anexo C

Grafica de la curva patrón de uranio utilizada para calibrar el equipo de Plasma Acoplado Inductivamente (ICP).



Grafica 7. Curva patrón de U.

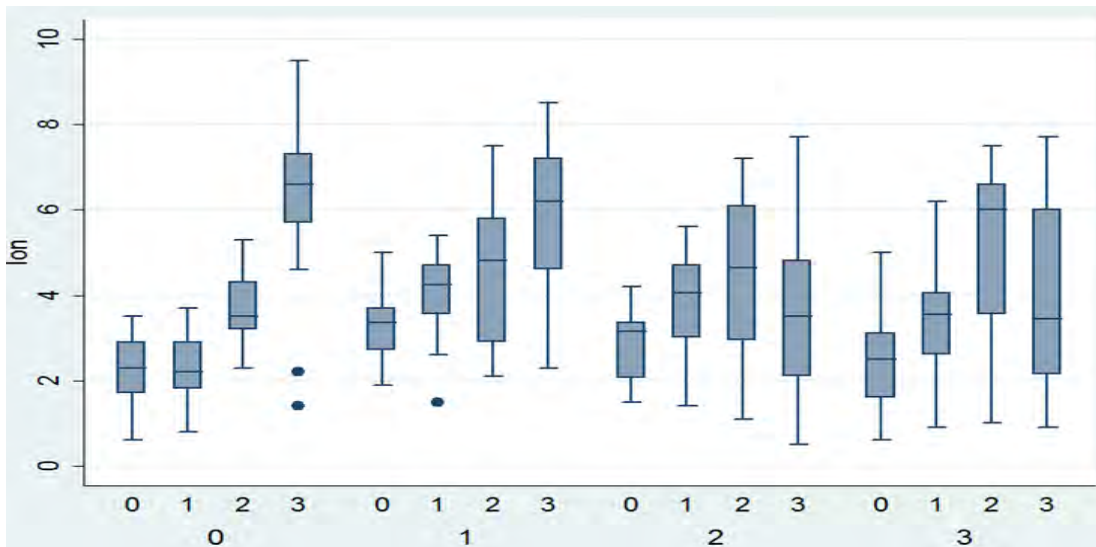
Concentración	Emisión
0	2774
3	2866
6	3059
12	3388
30	4384
60	5416

Cuadro 22. Datos de la curva patrón de U.

## Anexo D

Analisis de varianza de dos vias con el programa StataSE 11.

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
tiempo	401	1.678304	1.144007	0	3
con	401	1.623441	1.097884	0	3
lon	399	3.968922	1.89251	.5	9.5



anova lon con tiempo#con

Number of obs = 399 R-squared = 0.352

Root MSE = 1.55262 Adj R-squared = 0.326

Source	Partial SS	df	MS	F	Prob >
<b>Model</b>	502.200624	15	33.4800416	13.89	0.000
<b>con</b>	45.9794137	3	15.3264712	6.36	0.000
<b>tiempo#con</b>	455.622776	12	37.9685647	15.75	0.000
Residual	923.273997	383	2.41063707		
Total	1425.47462	398	3.58159452		