

00522  
3



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**"IMPACTO AMBIENTAL DE LA ACTIVIDAD MINERA DE  
TORIO Y URANIO EN LA PRESA HUITZO, MUNICIPIO DE  
ETLA, OAXACA, MÉXICO."**

**T E S I S**  
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**INGENIERA QUÍMICA METALÚRGICA**  
P R E S E N T A :  
**OLGA CABRERA MOCTEZUMA**



**EXAMENES PROFESIONALES  
FACULTAD DE QUÍMICA**

**MÉXICO, D.F. NOVIEMBRE 2003.**



A



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

# **PAGINACIÓN DISCONTINUA**



**JURADO ASIGNADO:**

**Presidente:** J. Manuel Navarrete Tejero  
**Vocal:** Juan Lartigue Gordillo.  
**Secretario:** Faustino Juárez Sánchez  
**1er. Suplente:** Luis Cabrera Mosqueda.  
**2do. Suplente:** Ciro Eliseo Márquez Herrera.

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

Laboratorio de Radiactividad Natural.

Instituto de Geofísica, UNAM.

**ASESOR DEL TEMA: M. en C. Faustino Juárez Sánchez**

**SUSTENTANTE:**

**Olga Cabrera Mortezumá**

## INDICE

<b>CAPITULO I: INTRODUCCIÓN</b> .....	4
Planteamiento del problema.....	4
Objetivo.....	5
Hipótesis.....	5
<b>CAPITULO II: ANTECEDENTES</b> .....	6
El Uranio y el Torio.....	6
Minerales de Uranio y Torio.....	15
Procesos de Contaminación por lixiviación de minerales.....	18
<b>La erosión y el transporte</b> .....	18
Antecedentes del estado de Oaxaca.....	38
Sitio de estudio.....	41
Minería del Lugar.....	43
<b>CAPITULO III: DESARROLLO EXPERIMENTAL</b> .....	50
Material y Equipo.....	50
Muestreo en campo de agua y sedimentos.....	52
Análisis químico y fisicoquímicos de agua de la presa de Huitzo.....	56
Análisis de óxidos mayores y trazas de sedimentos.....	57
<b>CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSION</b> .....	58
Los resultados que se obtuvieron por los diferentes métodos analíticos se muestran a continuación a sí, como las gráficas y espectros correspondientes.....	58
Análisis de resultados.....	67
Mediante el resultado obtenido por fluorescencia de rayos X, se pudo comprobar que efectivamente hay presencia de Th, que se detecto también por espectroscopia gamma. ...	68
Conclusión.....	69
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	71

## **CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.**

### **Planteamiento del problema.**

El estado de Oaxaca es rico en recursos naturales como los mineros, sin embargo, la mala planeación y poco interés o desconocimiento de explotación minera y en general de la metalurgia extractiva ha causado problemas ambientales.

Los problemas ambientales generados en las zonas mineras, son diversos e impactan en el ambiente afectando el ecosistema y principalmente a los habitantes del lugar. Tal es el caso que se encuentra en el municipio de Huitzo, Oaxaca, donde hay una mina abandonada de torio y uranio, en dicha mina se encuentran presentes leyes importantes de torita, alanita, monacita y uranita todos estos minerales se encuentran dentro de la pegmatita denominada El Muerto, nombre también de la mina.

El impacto generado por los desechos de la mina y aun de los minerales presentes en el lugar ha afectado a la presa Matías Romero que se encuentra debajo de la mina y la cual suministra el agua que se utiliza en el riego de los cultivos agrícolas y en la producción de trucha.

La lixiviación de los minerales radiactivos se ha dado de forma natural y continúan siendo arrastrados hacia el vaso de la presa, por lo que es importante el cuantificar el grado de impacto de esta mina sobre la presa y sus entornos.

**Objetivo.**

Determinar las concentraciones y ubicación estratigráfica de uranio y torio en las aguas de la presa Matías Romero y en sus sedimentos.

**Hipótesis.**

Dado que los procesos de lixiviación están en función de diversos parámetros fisicoquímicos como son pH, conductividad, Eh y temperatura, el tener la cuantificación de estos parámetros permitirá determinar el grado de solubilidad de los minerales radiactivos y por lo tanto la migración de los mismos hacia los puntos finales de uso del agua, así como su posible infiltración al sistema de extracción de agua para uso humano con sus consecuentes efectos.



## **CAPITULO II: ANTECEDENTES.**

### **El Uranio y el Torio.**

A pesar de que el uranio es el miembro más antiguamente conocido de la serie de los actínidos, no llamó la atención hasta el descubrimiento de la fisión del uranio en 1939. Hoy día, su importancia es vital como combustible en los reactores nucleares. El uranio existe naturalmente en dos isótopos principales, el  $^{238}\text{U}$  (99,3%) y el  $^{235}\text{U}$  (0,7%), junto con trazas de un tercero el  $^{233}\text{U}$ .

El isótopo  $^{235}\text{U}$  es el más importante ya que reacciona con un neutrón por fisión para formar núcleos más ligeros. La reacción se acompaña por la emisión de una cantidad de energía considerable y de más neutrones que a su vez fisiónan más isótopos  $^{235}\text{U}$  y permiten construir una reacción en cadena. La energía resultante emitida de este proceso nuclear es un millón de veces más importante que la que resulta de los combustibles fósiles y por eso el interés en la fisión nuclear es tan importante.

Los distintos cationes de uranio tienen una química muy compleja en solución. Las energías libres de los diversos estados de oxidación se diferencian poco, y en el caso del uranio pueden coexistir en realidad los estados +3, +4, +5, +6. La química se complica por las reacciones de hidrólisis, polimerización y complejación. Además, y para la mayoría de las especies radiactivas, existen reacciones químicas inducidas por la intensa radiación.

El uranio posee normalmente una película negra de óxido. Cuando está enriquecido en  $^{235}\text{U}$ , el metal puede iniciar una reacción en cadena por encima de una cierta masa crítica, lo que también ocurre con el plutonio. El ion  $\text{U}^{3+}$  se oxida con más facilidad al aire, o más lentamente en el agua las propiedades del uranio se muestran en la tabla 1 y mecánicas en la Tabla 2.

Tabla 1.- Propiedades del Uranio.

Distribución de los Isótopos Naturales	No. de masa.	%
	234	0,005
	235	0,720
	238	99,275
Estructura Cristalina	Ortorrómico	
Estructura Electrónica	$Rn 5f^3 6d^1 7s^2$	
Función de Trabajo Foto-eléctrico (eV)	3,6	
Número Atómico	92	
Peso Atómico (amu)	238,0289	
Potencial de Ionización	N.	eV
	1	6,19
Radio Atómico - Goldschmidt (nm)	0,138	
Sección trans. de Absorción de Neutrones Térm (Barns)	7,6	
Valencias indicadas	2, 3, 4, 5, 6	
Resistividad Eléctrica a 20°C ( $\mu\text{Ohmcm}$ )	27	
Coefficiente de Temperatura a °C ( $K^{-1}$ )	0,0034	
Densidad a 20°C ( $\text{g cm}^{-3}$ )	19,05	

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

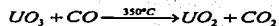
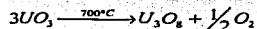
Punto de Ebullición (° C)	3818
Punto de Fusión (°C)	1132
Calor Específico a °C (J K <sup>-1</sup> Kg <sup>-1</sup> )	116
Calor Latente de Evaporación ( J g <sup>-1</sup> )	1753
Calor Latente de Fusión ( J g <sup>-1</sup> )	52,5
Coefficiente de Expansión Térmica a 0-100°C (x10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> )	13,4
Conductividad Térmica a °C (W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	27,5

Tabla 2.- *Propiedades Mecánicas*

Estado del Material	Blando	Duro	Policristalino
Dureza – Vickers	187	250	
Dureza Izod ( J m <sup>-1</sup> )	19	15	
Límite Elástico ( MPa )	190	250	
Módulo Volumétrico ( GPa )			97,9
Módulo de Tracción ( GPa )			175,8
Relación de Poisson			0,20
Resistencia a la Tracción ( MPa )	385	580	

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Óxidos.** El sistema U-O es muy complejo. Los óxidos principales son el  $UO_3$  amarillo anaranjado,  $U_3O_8$  negro y  $UO_2$  pardo. El  $UO_3$  se obtiene por calentamiento del óxido hidratado, principalmente  $UO_2(OH)_2 \cdot 2H_2O$ , obtenido por la adición de  $NH_4OH$  a las soluciones de  $UO_2^{2+}$ . Los óxidos restantes se obtienen por las reacciones:

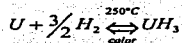


Todos los óxidos se disuelven en  $HNO_3$  formando nitrato de uranilo,  $UO_2(NO_3)_2 \cdot nH_2O$  (Cotton, 1986).

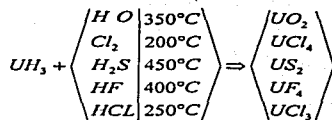
**Haluros.** El *hexafluoruro*  $UF_6$ , se obtiene en forma de cristales volátiles incoloros (p.f.  $64^\circ C$ ) por fluoración a  $400^\circ C$  del  $UF_3$  o  $UF_4$ . Es un oxidante y agente de fluoración muy poderoso y se hidroliza fuertemente en el agua.

El *tetracloruro* verde se obtiene tratando a reflujo el  $UO_3$  con hexacloropropeno. Es soluble en disolventes orgánicos polares y en agua. Por acción del  $Cl_2$  sobre el  $UCl_4$  se forma  $U_2Cl_{10}$  y, en condiciones controladas, el compuesto bastante inestable  $UCl_6$  (Cotton, 1986).

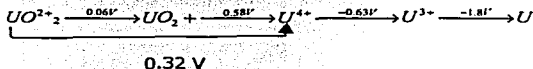
**Hidruro.** El uranio reacciona con el hidrógeno incluso a 25°C formando un polvo negro pirofórico:



Este hidruro a menudo resulta más apropiado para preparar los compuestos de uranio que el propio metal masivo. Algunas reacciones típicas son:



**Sales de Uranio.** La sal de uranio más común es el nitrato de uranilo amarillo que puede tener 2, 3 ó 6 moléculas de agua, dependiendo de que el compuesto se haya cristalizado a partir del ácido nítrico fumante, concentrado o diluido. Cuando se extrae a partir de una solución acuosa con disolventes orgánicos, el nitrato de uranilo va acompañado por 4H<sub>2</sub>O y los iones nitrato y el agua se coordinan en el plano ecuatorial. La sal insoluble Na[ UO<sub>2</sub> (Co<sub>2</sub>Me)<sub>3</sub>] precipita por una adición de un exceso de acetato sódico a las soluciones de UO<sub>2</sub><sup>2+</sup> en ácido acético diluido. El ion uranilo se reduce al U<sup>3+</sup> pardo rojizo mediante Na/Hg o Zn y este último ion se oxida al aire hasta U<sup>4+</sup>. Los potenciales (HClO 1M) son:



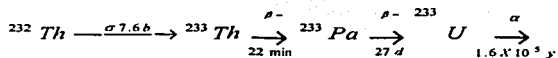
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## TORIO.

El torio se encuentra ampliamente distribuido, pero el mineral principal es la arena de *monacita*, un fosfato complejo que también contiene lantánidos. La arena se digiere con hidróxido sódico y los hidróxidos insolubles se disuelven en ácido clorhídrico. Cuando el pH de la solución se ajusta a 5.8, se precipitan el torio y el uranio y un 3% de los lantánidos en forma de hidróxidos. El torio se recupera por extracción desde una disolución > 6M de ácido clorhídrico mediante tributifosfato en Keroseno.

El compuesto más común de torio es el nitrato  $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  soluble en agua, alcoholes, cetonas y ésteres. En solución acuosa, el ion  $\text{Th}^{4+}$  se hidroliza a pH superior a  $\approx 3$ . Forma sales complejas como  $\text{K}_4[\text{ThOx}_4]4\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{M}^{\text{II}}[\text{Th}(\text{NO}_3)_6]$ . Por calentamiento, el nitrato forma el dióxido refractario blanco  $\text{ThO}_2$ . Por acción del  $\text{CCl}_4$  sobre éste a  $600^\circ\text{C}$  se forma el  $\text{ThCl}_4$  cristalino blanco que actúa como ácido Lewis. (Cotton, 1986)

Un isótopo importante es  $^{233}\text{U}$ , el cual no existe en forma natural pero puede ser producido bajo la irradiación de torio natural con neutrones térmicos.



Se estima que >100 Kg  $^{233}\text{U}$  es también fisionable con neutrones térmicos y representan el modo por el cual el torio puede ser convertido en un reactor nuclear para fisionar el material. (Choppin, 1980)

Las tablas 3, 4, 5, 6 y 7 que se presentan a continuación son una recopilación de varias propiedades que presenta el torio. (Rivera, 1987)

Tabla 3.- Propiedades físicas.

Densidad	11.72 g/ mL
Parámetro reticular (25°C)	5.08 ± 0.01 Å fase α
Parámetro reticular (1400°C)	4.11 ± 0.01 Å fase β
Peso atómico	232.038
Radio covalente	1.65 Å
Volumen atómico (25°C)	19.9 mL/mol

Tabla 4.- Propiedades térmicas

Calor latente de fusión	4.6 Kcal/ mol
Calor latente de vaporización	130 Kcal/ mol
Capacidad calorífica (25°C)	6.53 cal/ mol K
Conductividad térmica (cal /seg * cm *°C)	100°C = 0.090
	300°C = 0.086
	500°C = 0.102
	650°C = 0.108
Difusividad térmica (200°C)	0.28 cm <sup>2</sup> /seg

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Tabla 5.-Propiedades Termodinámicas.

H <sub>f</sub> (1755°C)	4.6 Kcal
S <sub>f</sub> (1755°C)	2.2 cal
H <sub>v</sub> (1755°C)	130 Kcal/mol
S <sub>v</sub> (1755°C)	29 cal/mol/°K
Punto de fusión	1755 °C
Punto de ebullición	4788°C

Tabla 6.- Propiedades eléctricas

Conductividad eléctrica (20°C)	0.0653 $\Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$
Potencial de primera ionización	6.08 V
Resistividad eléctrica (25°C)	15.7 microhmio cm
Temperatura de superconductividad	1.39 °K

HECHO CON  
FALLA DE ORIGEN



Tabla 7.-Propiedades mecánicas.

Temperatura de recristalización	650°C
Temperatura de sinterización	1100° a 1200°C
Temperatura de trabajado en caliente	750° a 900°C
Módulo de Young	10.5X10 <sup>6</sup> psia
Módulo de corte	4.0X10 <sup>6</sup> psia
Módulo de Poisson	0.394
Resistencia a la tensión	219MPa
Límite de resistencia	144 MPa
Elongación	34 %
Reducción en área	35 %

**Corrosión por el agua.** Cuando el torio se introduce en agua destilada hirviendo se cubre con una película de óxido y normalmente gana peso. Ensayos de corrosión efectuados a 178°C, demostraron que la velocidad de corrosión era relativamente baja durante unos días y luego se aceleraba notablemente, acercándose a una velocidad de 0.7 mg/cm<sup>2</sup>, después de quince a veinte días; sin embargo a una temperatura de 315°C, el ataque fue extraordinariamente rápido (Rivera, 1987).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Corrosión por gases.** El aire ataca al torio, según una ley parabólica, a bajas temperaturas y lineal a temperaturas elevadas. El torio en polvo se inflama en el aire para formar el dióxido de torio.

El **oxígeno** ataca al torio siguiendo una ley parabólica entre 250°C y 350°C, con una energía de activación para esta reacción, de 31Kcal/ mol. Entre 350°C y 450°C, la oxidación sigue una ley lineal con el tiempo, y una energía de activación de 22 Kcal/mol. Una característica de este ataque es que, por debajo de 450°C, la oxidación es endotérmica, mientras que por encima la reacción es enormemente exotérmica (Rivera, 1987).

### **Minerales de Uranio y Torio.**

Todos los elementos actínidos son radiactivos. La existencia en la Tierra de uranio y torio se debe a que las vidas medias de los isótopos  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  y  $^{232}\text{Th}$  son lo bastante grandes como para hacerlos persistir desde su génesis. Estos isótopos son los únicos que se forman en las series radiactivas y se encuentran en los minerales de uranio y de torio. Incluso las vidas medias de los elementos transuránicos mas estables son cortas, que cualquier cantidad formada durante el génesis desaparecerá con bastante rapidez. (Cotton, 1986)

El uranio no puede ser considerado un elemento muy raro; este es encontrado en un gran numero de minerales (cerca de 60 son conocidos) dispersos sobre todo el globo terráqueo. La corteza terrestre tiene cerca de 2.7 ppm U, lo cual hace serlo tan cercano en abundancia como el arsénico o boro.

La concentración de uranio en agua de mar es  $\approx 3.3 \text{ mg/m}^3$ , con variación de 0.5 – 5  $\text{mg/m}^3$ , dependiendo de la ubicación. En gran medida el uranio de las menas esta mezclado con otros minerales y la concentración promedio de éste en la mena triturada es mucho menor; el uranio frecuentemente encontrado en

baja concentración, es del orden de 0.01% a 0.03%, asociado con otros valores minerales como la apatita, y en materiales conteniendo carbón como esquistos.

Si esos minerales son recuperados para otros propósitos, el uranio puede producirse como subproducto con un precio capaz de competir con menas ricas en uranio. Las menas de uranio difieren mucho en composición, contienen variedad de otros elementos los cuales pueden obtenerse. Como resultado los métodos de producción difieren considerablemente dependiendo de la mena en particular a ser procesada, aunque si bien en cada caso el proceso usado debe ser muy selectivo.

El torio es algo más común en la naturaleza que el uranio, con un contenido promedio en la corteza terrestre de 10 ppm (en comparación con el promedio de abundancia del plomo es cerca de 16 ppm en la corteza terrestre). En minerales existe sólo como óxido. Se ha encontrado que el contenido de Th en agua de mar es  $<0.5 \times 10^{-3} \text{ g/m}^3$ , el cual es menor comparada con el uranio debido a la baja solubilidad de los compuestos de  $\text{Th}^{4+}$  (Choppin, 1980).

El mineral más común de torio es la monacita, un fosfato café oro con tierras raras conteniendo 1 – 15%  $\text{ThO}_2$  y usualmente 0.1 – 1%  $\text{U}_3\text{O}_8$ . Esto también se encontró en pequeñas cantidades de granito y gneiss. Grandes depósitos de monacita han sido encontrados en India, Egipto, el Sur de África, Estados Unidos y Canadá, con 200 – 400 Kt  $\text{ThO}_2$  en cada ciudad. Debido a que el torio frecuentemente se encuentra con otros valores metálicos, incluyendo lantánidos como niobio (en Brasil), uranio (en Canadá y Estados Unidos) y zirconio (en Egipto e India) los cuales pueden producirse como subproductos. La demanda de  $\text{ThO}_2$  ha sido limitada porque su precio ha aumentado muy lentamente con el paso de los años (Choppin, 1980), en México el mineral de torio explotado en la mina El muerto estuvo a cargo de la Comisión de Energía Nuclear, en la tabla 8 se muestra el beneficio que se le dio al mineral (Morales, 1999).

Tabla 8.- Beneficio obtenido por la comisión de Energía Nuclear durante la explotación de la pegmatita El Muerto (Mórales, 1999).

Mineralogía	Explotación (Kg)
• Betafita Selecta con una ley media del 15% de $U^{308}$ ; 23.5% de $Nb^{205}$ 5.95% $Ta^{205}$ y 14.8% de $TiO_2$ .	2,045.000
• Betafita de Segunda con una ley media de 1.7% de $U^{308}$ y porcentajes proporcionales de los elementos descritos en la clasificación anterior	4,047.000
Alanita con ley media de 0.03% de $U^{308}$ , 1.3% de torio y 15% de TR.	53,427.200
Autunita con ley media de 0.95% de $U^{308}$	124.400
monacita con ley media de 0.89% de $U^{308}$ , 26.31 % de torio y 47.74% de TR.	77.750
Samarskita con ley media de 4% de $U^{308}$	11.700
Urano-Thorianita (clasificada tentativamente) Selecta con ley media de 10% de $U^{308}$	143.400
Urano-Thorianita (ídem anterior) de Segunda con ley media de 1.26% de $U^{308}$	546.200
Uranita con ley media de 43.25% de $U^{308}$	5.100

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

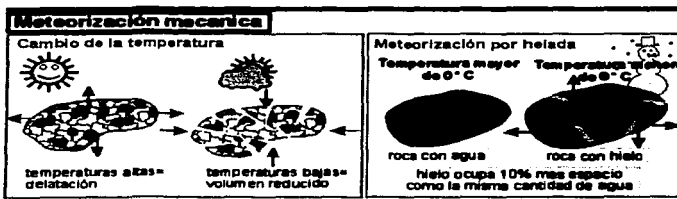
## Procesos de Contaminación por lixiviación de minerales.

### La erosión y el transporte.

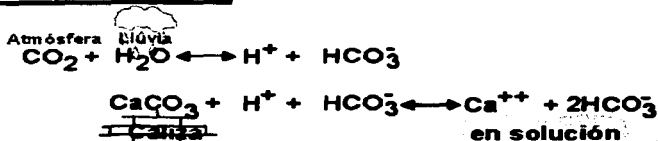
Dentro del ambiente exógeno, uno de los procesos más importantes que tienen lugar, debido a la dinámica superficial del planeta, es la erosión, es decir, el desgaste físico y químico que sufren las rocas bajo la acción de los agentes atmosféricos. Asociado a este proceso está el de transporte de los productos de la erosión (fragmentos de rocas, minerales, sales) por los mismos agentes que producen los fenómenos de erosión: el agua, el viento.

Los procesos erosivos tienen lugar como consecuencia de tres grupos de fenómenos Fig.1:

Figura 1.- Procesos erosivos.



### Simple solución



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

1. Los de carácter físico, ligados a cambios de temperatura, o de estado físico del agua (cristalización de hielo en grietas).
2. Los de tipo químico (disolución de minerales, hidrólisis de éstos, cristalización de sales).
3. Los de tipo biológico (acción de determinados microorganismos, como las bacterias, líquenes, o de las raíces de plantas).

Como resultado, las rocas de la superficie terrestre, formadas en determinadas condiciones de presión y temperatura, al quedar sometidas a otras muy diferentes reaccionan con el entorno, lo que induce a un desequilibrio. Esto da lugar a su fragmentación y a la salida de determinados componentes químicos, desde su casi totalidad (si se produce su disolución), a la lixiviación o lavado de determinados componentes, que deja un residuo insoluble enriquecido en determinados elementos o compuestos.

Por su parte, el papel del transporte es también importante, ya que en algunos casos, si su acción es más lenta que la del proceso erosivo, se podrá producir la acumulación *in situ* de los productos de la erosión. En otros casos el proceso erosivo puede suponer el desmantelamiento continuo de estos productos. El transporte juega también un papel muy importante en la clasificación de los productos de la erosión, ya que su mayor o menor capacidad de arrastre y reactividad química condicionan que los productos de la erosión sigan o no siendo transportados.

### **Procesos erosivos**

Como ya se ha indicado, la erosión tiene lugar mediante tres grupos de mecanismos: físicos, químicos y biológicos, que en general se combinan, con mayor o menor importancia de unos u otros en función de un factor primordial:

el clima, que condiciona a su vez la disponibilidad de agua, de vegetación, las temperaturas medias, sus oscilaciones. Estos factores influyen en la degradación a la intemperie de cualquier sólido. Por ello, hay climas que favorecen la preservación de las rocas, y climas bajo los que se produce una muy intensa meteorización, así como la rápida descomposición de cualquier resto orgánico.

### ***Meteorización física***

La meteorización física agrupa a aquellos procesos o mecanismos que provocan la disgregación de las rocas, sin afectar a su composición química o mineralógica. Son de naturaleza variada:

- La acción del cambio de temperatura nocturno/diurno, sobre todo en zonas con fuerte insolación, provoca efectos de contracción/extensión térmica de los minerales que producen su rotura. Esta **oscilación térmica** es especialmente activa en los vértices y aristas de bloques de rocas, y es el principal responsable de las forma de "bolos" de los bloques graníticos sometidos a la acción de la intemperie.
- La acción abrasiva de los materiales arrastrados por el agua, el viento o el hielo (glaciares), que golpean o se frotan contra las rocas, favoreciendo su disgregación mecánica.
- La acción de helada/deshielo en climas húmedos hace que el agua que se introduce como humedad en las grietas de las rocas (formadas por otros procesos, como la oscilación térmica, p.ej.) al congelarse genere unas enormes presiones internas, que tienden a acentuar esas fracturas.
- Del mismo modo, la introducción de aguas cargadas en sales en esas grietas suele ir acompañada de la cristalización de las sales (sulfatos, carbonatos, cloruros) con el mismo efecto de provocar un aumento de la

presión en la grieta, que produce su ampliación.

- Al ir aproximándose a la superficie de la Tierra, las rocas que han estado sometidas a altas presiones de confinamiento sufren una pérdida de carga o descompensación litostática, lo que se traduce en la aparición de fracturas que están, por lo general paralelas a la superficie topográfica.
- La fracturación tectónica de las rocas, previa a los procesos erosivos, favorece la meteorización de éstas.

Cada uno de estos procesos se da con mayor o menor importancia en unas regiones u otras en función de su climatología, y lo normal es que en cada región se den varios mecanismos, que pueden ser más o menos activos en cada caso dependiendo de la época del año (variaciones estacionales).

### ***Meteorización biológica***

Los organismos provocan también la meteorización de las rocas, en dos vertientes: una biofísica y otra bioquímica.

En el apartado biofísico tenemos fundamentalmente la acción de las raíces de árboles y arbustos, que al introducirse en el subsuelo ensanchan las grietas que puedan existir y colaboran en la fracturación de las rocas. También podemos señalar el papel de algunos animales, sobre todo los que excavan madrigueras, o los organismos costeros que viven sobre las rocas perforando pequeñas oquedades, contribuyendo de forma muy marcada a la acción erosiva del oleaje. Papel aparte merece la acción erosiva desarrollada por el hombre, que con sus obras, construcciones, etc., provoca tantos y tan variados efectos erosivos.

En el apartado bioquímico, las propias raíces de árboles y plantas actúan químicamente con las rocas, captando cationes y contribuyendo a la alteración



de los minerales. Los líquenes, famosos por su capacidad de colonizar las superficies de todo tipo de rocas, segregan ácidos que permiten su fijación al sustrato rocoso. Por otra parte, los productos metabólicos de los organismos que viven sobre las rocas incluyen productos muy agresivos para éstas, que favorecen su descomposición.

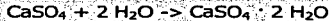
### ***Meteorización química***

Las rocas, al estar formadas por minerales, son sensibles al ataque de los agentes químicos existentes en la superficie de la Tierra. Por tanto, las posibilidades de la meteorización química son tan variadas como puedan ser las relaciones que se establezcan entre las propiedades del mineral y la naturaleza del medio ambiente en el que se encuentre. Hay minerales solubles en agua, otros en ácidos débiles o en ácidos fuertes, otros tienen tendencia a incorporar agua a su estructura, algunos se ven afectados por la luz o por el calor solar, etc. Sin embargo, en lo que se refiere a sus efectos, son en su mayor parte de tres tipos: disolución, hidrólisis y oxidación, sin olvidar otros que pueden ser localmente importantes, como la descomposición térmica.

La oxidación de minerales implica el cambio del estado de valencia de los metales que contiene en presencia de oxígeno libre, el caso más conocido es el paso del hierro de 2+ a 3+, que afecta a minerales como pirita, olivino, piroxeno, biotita. Esta oxidación produce además un aumento de la carga positiva en el mineral, que tiende a compensarse con la entrada de iones hidroxilo (OH<sup>-</sup>) Esto, unido al mayor tamaño iónico del Fe<sup>3+</sup>, desestabiliza la red cristalina del mineral. La oxidación puede ir acompañada de los procesos que veremos a continuación.

La hidratación implica la absorción de moléculas de agua y su incorporación a la estructura cristalina de algunos minerales. Es un proceso que

suele implicar un aumento de volumen del mineral, y que en algunos casos puede ser reversible. El mineral hidratado suele tener distinta estructura cristalina que el original, es decir, se produce la formación de otro mineral. Es el caso, p.ej., de la anhidrita, que por hidratación se transforma en yeso:



Otro caso es el de algunos minerales de la arcilla (las denominadas arcillas expandibles, del grupo de la bentonita), capaces de absorber grandes cantidades de agua, lo que puede traducirse en un aumento de su volumen en hasta un 60%, mientras que al perder agua por desecación se vuelven a contraer.

En algunos casos, la repetición cíclica de procesos de hidratación-deshidratación, propios de climas estacionales, puede provocar la destrucción de la red cristalina del mineral.

La hidrólisis consiste en la descomposición de los minerales debido a la acción de los hidrogeniones de las aguas ácidas. El proceso implica tres pasos: 1) rotura de la estructura del mineral. Debido a su pequeño tamaño y a su gran movilidad, los iones  $\text{H}^+$  se introducen con facilidad en las redes cristalinas, lo que produce la pérdida de su neutralidad eléctrica; para recuperarla, el cristal tiende a expulsar a los cationes, cuya carga es también positiva. Como consecuencia, la estructura cristalina colapsa, y se liberan también los aniones. 2) Lavado o lixiviado de una parte de los iones liberados, que son transportados por las aguas fuera de la roca meteorizada. 3) Neoformación de otros minerales, por la unión de los iones que dan como resultado compuestos insolubles. La intensidad del proceso hidrolítico se traduce en el grado de lixiviación de elementos químicos y en la formación de nuevos minerales. Veamos un ejemplo:

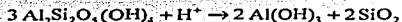
Un mineral frecuente en las rocas ígneas es la ortoclasa. Su hidrólisis produce la pérdida de parte de su potasio y de su sílice:



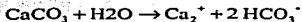
Es decir, implica la formación de un filósilicato (illita), sílice (en forma de cuarzo o de gel, que puede ser arrastrado por el agua), y iones potasio, que se lixivian con el agua. Ahora bien, cuando el medio es muy rico en  $\text{H}^+$ , se produce también la hidrólisis de la illita:



Es decir, la formación de caolinita y la liberación total del potasio contenido en el mineral original. En medios aún más ácidos, y a temperaturas más altas, se llega a producir también la hidrólisis de la caolinita, con formación de hidróxido de aluminio, gibbsita:



Otro caso de lixiviación es el que afecta a los carbonatos, en especial a la calcita:



La disolución implica que determinados componentes químicos de la roca pasan de formar parte de ésta, en forma de un compuesto mineral, a formar iones en disolución acuosa. Esto afecta sobre todo a los minerales que constituyen compuestos solubles, como la halita ( $\text{NaCl}$ ) o en menor medida, el yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

No hay que olvidar que este proceso implica la disolución de algunos de los componentes de la roca, pero no de otros, es decir, arrastra (o *lixivia*) a unos componentes, los más lábiles, y concentra relativamente a otros en el residuo. En cada caso, dependiendo de la concentración del mineral que se disuelve, los cambios serán más o menos importantes.

Los procesos de disolución e hidrólisis se ven favorecidos por factores climáticos y ambientales, y en especial por las altas temperaturas de los climas cálidos, que favorecen la dinámica de los procesos, y por tanto, la presencia de aniones en el agua que la hacen más activa químicamente: caso de los aniones  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ . La presencia en el área de compuestos "precursores" de estos aniones, como los carbonatos o sulfuros, favorece aún más este hecho. Es el caso, p.ej., de la existencia de yacimientos de sulfuros metálicos.

Es importante observar que frente a estos procesos de disolución y lixiviación hay elementos que se movilizan con mayor facilidad que otros; hay elementos que entran en disolución con gran facilidad, mientras que otros tienden a formar geles, menos solubles, o forman rápidamente compuestos muy insolubles, quedando por tanto retenidos en el residuo de la roca. Así, los elementos se lixivian por el siguiente orden de mayor a menos facilidad:



mientras que los que tienden a concentrarse en la roca alterada son:



### *Factores que influyen en la meteorización*

Como hemos visto, son muchos los mecanismos que actúan de forma coordinada para producir la meteorización. Cada uno precisa de unas condiciones más o menos importantes para actuar, en forma de una serie de factores condicionantes: el clima, la litología, la topografía, la actividad biológica, el tiempo de actuación y los procesos de transporte.

El clima tiene, como ya se ha indicado anteriormente, una influencia fundamental, ya que controla la mayor o menor abundancia de agua (principal agente de la meteorización) y de vegetación. Otro factor asociado es la temperatura y sus oscilaciones. Destaquemos, en lo que se refiere a la

meteorización química, que cada aumento de 10°C de la temperatura duplica la velocidad a la que se producen la mayoría de las reacciones químicas.

Así, el clima más favorable para los procesos de meteorización es el tropical, en el que la abundancia de agua, unida a las altas temperaturas existentes, favorece la mayor parte de los mecanismos erosivos analizados. En climas extremos siempre habrá un agente muy predominante: en climas muy fríos serán los propios del arrastre por el hielo (acción de los glaciares), en los muy secos y cálidos, la acción del sol, etc.

La litología tiene una influencia decisiva sobre determinados mecanismos. Hay rocas, como las cuarcitas, que por su estabilidad química apenas son afectadas por los procesos de meteorización química, y por su dureza, tampoco por los de tipo físico; por eso, normalmente aparecen formando altos topográficos. Otras presentan distintas características en función del clima. Los granitos se alteran con gran facilidad en climas cálidos por la hidrólisis de sus feldespatos, mientras que en climas fríos y secos resisten bien los efectos de la meteorización. De igual manera, las calizas necesitan climas cálidos y húmedos para que se produzca su disolución. Una observación importante es que en las rocas ígneas la estabilidad de los minerales que las forman (Serie de Goldich) es contraria al orden en que se forman, definido por la denominada Serie de Bowen.

Factores asociados al litológico son la porosidad y permeabilidad que pueda presentar la roca, y su mayor o menos grado de fracturación tectónica, que favorecen la infiltración de aguas superficiales, favoreciendo a su vez los procesos de meteorización química y/o biológica.

La topografía, o las formas locales del relieve, pueden afectar a algunos de los mecanismos activos de erosión: por ejemplo, las laderas de solana sufren procesos distintos que los de las de umbría. En las primeras los veranos serán

favorecedores de los procesos que implican la insolación, mientras que en las segundas durante los inviernos la acción del hielo podrá ser un agente erosivo importante. También el hecho de que exista una pendiente favorece procesos distintos a los propios de las planicies; en las primeras el agua discurre arrastrando los iones, mientras que en las segundas se produce un contacto más continuado entre el agua cargada de sales y las rocas. Así, por ejemplo la laterización requiere un relieve muy suave.

La actividad biológica afecta también a los mecanismos de meteorización activos. En términos generales, la presencia de una cubierta vegetal continua favorece los procesos de meteorización química, mientras que la ausencia de ésta favorece los de tipo físico.

El tiempo favorece los procesos de meteorización, en general: todos estos procesos son de carácter lento, con lo que cuanto más tiempo queden sometidas las rocas a la acción de la intemperie, mayor facilidad tendrán los procesos erosivos para actuar. Así, si las rocas que albergan un depósito mineral son rápidamente cubiertas por otras (p.ej., sedimentarias o volcánicas), éste será preservado de los procesos erosivos. En este sentido la tectónica regional puede jugar un papel importante.

### **Procesos de transporte**

Como hemos visto, la acción de los mecanismos erosivos, físicos y químicos, tiende a dar origen a tres tipos de productos: fragmentos de minerales o rocas (que reciben el nombre de *clastos*), geles e iones en disolución.

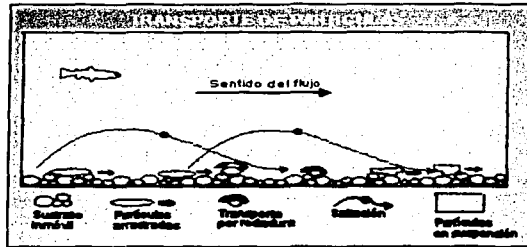
El transporte se lleva a cabo de tres formas: como iones en solución, como suspensiones coloidales, o como carga en fondo.

Los iones viajan en solución, y para que se produzca su precipitación

química han de quedar sometidas a condiciones específicas producto de solubilidad (kps), o de sobresaturación, como las que ocurren en las salinas. Otra posibilidad es que los aniones y cationes sean fijados por organismos para construir sus caparazones, como es el caso de muchos moluscos, algunas algas microscópicas (diatomeas), u otros microorganismos, que fijan el carbonato cálcico de las aguas. También es posible que la mezcla con otros fluidos produzca la precipitación de determinados compuestos. Por ejemplo, en relación con las emisiones volcánicas submarinas se produce la salida de abundantes metales pesados y formas químicas del azufre, provocando la precipitación de sulfuros de esos metales.

En suspensión se transportan las partículas más pequeñas y los geles, mientras que como carga en fondo se transportan los clastos de mayor tamaño. A su vez, dentro de esta última modalidad existen tres posibilidades: saltación, rodadura o arrastre. El hecho de que las partículas físicas sean transportadas de una u otra forma depende en primer lugar de la velocidad de la corriente (cuanto mayor sea ésta, mayor será el tamaño medio de las partículas transportadas por cada modalidad). Otros factores que influyen son el tamaño de las partículas, su densidad y su forma: a igualdad de tamaño las más densas serán transportadas con mayor dificultad, mientras que la forma influye sobre todo en el mecanismo de transporte activo: las más redondeadas tenderán a rodar, y las menos, a ser arrastradas, o a saltar (Fig.2).

Fig. 2.- Esquema de transporte de partículas.



El depósito de las partículas se produce cuando la corriente pierde energía, o lo que es lo mismo, velocidad. Primero dejará de ser transportada la carga en fondo, y cuando la energía sea muy baja, es decir, en aguas mansas o al cesar el viento, se depositará también la carga en suspensión.

También en estas condiciones de baja energía de transporte, y sobre todo si se producen cambios en la fisicoquímica de las aguas de transporte (como suele ocurrir en la desembocadura en un mar o lago) se produce la floculación de los geles, constituidos normalmente por partículas arcillosas.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## **Análisis nuclear con técnicas de bajo fondo.**

### **Generalidades.**

Los tipos más antiguos de detectores de radiación nuclear son la cámara de ionización, el contador proporcional y el tubo Geiger – Müller. Cada uno de estos detectores emplea cámaras llenas de gas. El sistema consiste en una cámara llena de gas con un electrodo central bien aislado de las paredes de la cámara. Una diferencia de potencial  $V$ , se aplica entre la pared y el electrodo central, a través de la resistencia  $R$ , y derivada por el capacitor  $C_2$  (Arriola, 1983).

En su paso una partícula ionizante produce  $N_1$  pares de iones en la cámara. La carga positiva y negativa dentro de la cámara se mueve hacia las paredes de la cámara y el electrodo central respectivamente, ya que esa es la dirección del campo eléctrico. Bajo la condición de que la constante de tiempo  $RC_2$  es mucho más grande que el tiempo requerido para la colección de la carga, la carga  $Q$ , que aparece sobre el capacitor por partícula beta detectada es función del voltaje.

El detector de centelleo consta de dos partes fundamentales: La sustancia luminiscente y la fotocelda, esta es generalmente un tubo fotomultiplicador. El conjunto se monta dentro de una envoltura opaca a la luz natural, pero a través de la cual puede penetrar la radiación a detectar.

Este dispositivo se utiliza sobre todo en la medida de la energía de radiaciones gamma, donde las cámaras de ionización y los contadores proporcionales no resultan adecuados por la poca densidad de la masa gaseosa empleada para la detección.

Cuando una partícula cargada o fotón gamma o  $X$  pasan a través del material centellador, pierden su energía al llevar algunos electrones de valencia a

la banda de conducción. Dichos electrones pierden energía al volver a su estado normal por diversos procesos, de los cuales el más importante es aquel que tiene lugar con emisión de luz en forma prácticamente inmediata al paso de la partícula nuclear, fenómeno que se conoce generalmente con el nombre fluorescencia.

Sucede en otras sustancias o configuraciones que los estados excitados son metaestables y perduran cierto tiempo, la fosforescencia corresponde a la emisión de mayor longitud de onda que la fluorescencia y un tiempo característico generalmente mucho más lento. La fluorescencia retardada corresponde al mismo espectro de emisión que la fluorescencia inmediata, pero el tiempo de emisión después de la excitación es más largo. Todo buen centellador debe convertir la fracción de la radiación incidente más alta posible en fluorescencia inmediata y minimizar las generalmente indeseables contribuciones de la fosforescencia y la fluorescencia retardada (Arriola, 1983).

Cuando se desea detectar un radionúclido específico, en que sólo interesa un radioisótopo en particular de una muestra matriz repetitiva, se puede optimizar el voltaje de operación del conjunto centellador- fotomultiplicador, el voltaje de operación óptimo no es una característica del conjunto centellador-fotomultiplicador, pues varía con diferentes radionúclidos.

Para la identificación de radioisótopos se debe usar un voltaje (voltaje de calibración) en el que se obtenga una ganancia que permita diferenciar, lo mejor posible, las energías de emisión de los radioisótopos esperados.

## **Espectroscopia gamma con detectores de centelleo.**

Los mecanismos de interacción de radiación ionizante con el material del detector y con los materiales cercanos al detector producen la forma del espectro.

Para la radiación gamma se pueden tener, tres tipos predominantes, que son: efecto fotoeléctrico, dispersión Compton y producción de pares. El efecto fotoeléctrico provoca el fotopico en energía  $h\nu = E_\gamma$  y excita sobre el material de blindaje sus rayos X de fluorescencia característicos (esta excitación también se da por efecto Compton).

El efecto Compton sobre el detector se debe a la distribución ("rodilla") Compton. Su forma se debe a que la dispersión se lleva a cabo en muchos ángulos. En el material de blindaje sucede la retrodispersión y el pico de retrodispersión aparece muy alejado del fotopico por el gran ángulo de dispersión que se necesita (Arriola, 1983).

## **Detectores en estado Sólido.**

Los detectores de diodo semiconductor, llamados comúnmente de "estado sólido", dan la mejor resolución de energías, hasta hoy obtenida. Los acarreadores de información básica son los pares electrón- hueco creados en el material semiconductor a lo largo de la trayectoria de la partícula o de la radiación electromagnética. El par electrón - hueco, es análogo en su función al par iónico creado en los detectores de cámara gaseosa.

La cadena de eventos que tienen lugar en la conversión de la energía de la radiación incidente en luz y en el pulso eléctrico subsecuente, envuelve muchos pasos ineficientes, con lo que la energía requerida para producir un "acarreador de información" (un fotoelectrón) es del orden de 100 eV y el

numero de acarreadores de información creados por una radiación gamma, beta o alfa típica es de solo unos cuantos miles y de unas decenas o centenas para rayos X.

Los detectores de diodo semiconductor, llamados comúnmente de "estado sólido", dan la mejor resolución de energías, hasta hoy obtenida. Si se aplica un campo eléctrico al material semiconductor, habrá una migración de electrones y huecos. El movimiento de estos será una combinación de desplazamiento térmico (al azar) y una velocidad neta "guiada" por el campo eléctrico.

#### **Fuente de alto voltaje.**

Con valores de potencial eléctrico bajos o moderados, generalmente menores de 400 V, la velocidad guiada es proporcional al campo eléctrico aplicado. A altos valores del campo eléctrico, la velocidad incrementa cada vez más lentamente hasta que, eventualmente se alcanza un valor de saturación (que es del orden de  $10^7$  cm/seg.).

Muchos detectores trabajan a voltajes que provocan velocidades de saturación (o muy cercanas a esta), por lo que, para un detector de dimensiones típicas, alrededor de 0.1cm, el tiempo requerido para la colección de acarreadores de información; electrones o huecos es de menos de 10 nanosegundos, con lo que estos detectores están considerados entre los más rápidos.

Casi todos los detectores de radiación requieren de cierto alto voltaje externo para su operación. Algunas características importantes de estas fuentes de alto voltaje son las siguientes:

- a) Voltaje máximo, mínimo y polaridad.
- b) Corriente máxima disponible.
- c) Grado de regulación contra corrientes a tiempos largos debidos a cambios de temperatura o a la alimentación de línea.
- d) Capacidad de eliminar ruido de la frecuencia de línea o de otros ruidos de baja frecuencia.

En general, las necesidades de los diferentes detectores muestran una gran variedad tanto de voltajes como de corrientes, sin embargo, las necesidades más fuertes las imponen los fotomultiplicadores, ya que requieren altos voltajes (hasta de 3000V) con corrientes de varios miliamperes.

### **Sustancias luminiscentes.**

Las sustancias fluorescentes inorgánicas más utilizadas en detectores de centelleo son el sulfuro de zinc activado con plata  $ZnS(Ag)$ , y el yoduro de sodio activado con Talio  $NaI(Tl)$ . Este último es el centellador inorgánico mas usado, debido a su alta eficiencia de conversión luminosa para electrones rápidos, a su transparencia para la radiación del 80% de su peso esta constituido por átomos de Yodo, elemento de número atómico relativamente alto ( $Z=53$ ) y que por consiguiente, presenta una gran sección eficaz para la interacción fotoeléctrica con la radiación gamma.

Por otro lado, los centelladores emiten en el rango de ultravioleta, pero los fotomultiplicadores tienen sus captación óptimas más hacia el rojo en el espectro electromagnético, generalmente en el azul. La función del elemento activador en el cristal, por ejemplo Tl en NaI, es la de desplazar el espectro de emisión del cristal hacia el azul para que el fotomultiplicador trabaje en su región óptima.

Las características de un material centellador ideal son:

- a) Debe convertir la energía cinética de la partícula cargada o radiación electromagnética, en luz detectable con alta eficiencia de centelleo.
- b) La conversión debe ser lineal; esto es, la cantidad de luz emitida debe ser proporcional a la energía depositada tanto como sea posible.
- c) El medio debe ser transparente a la longitud de onda de su propia emisión para una buena colección de la luz.
- d) El tiempo en el que decae la luminiscencia inducida debe ser corto, para que las señales generadas sean rápidas.
- e) El material debe tener buena calidad óptica y debe manufacturarse en dimensiones que lo hagan un detector práctico.
- f) Su índice de refracción debe ser cercano al del vidrio ( $\approx 1.5$ ), para permitir un paso eficiente de la luz del centellador al tubo fotomultiplicador.

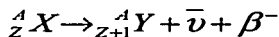
Ningún material cumple todos estos criterios por lo que al escoger un centellador para un uso particular se debe de hacer un compromiso entre todos estos factores. Las sustancias luminiscentes comúnmente empleadas en detectores de centelleo suelen ser cristales inorgánicos o bien compuestos orgánicos en forma cristalina o disoluciones de ellas, ver tabla 9 (Arriola, 1983).

Tabla 9.- Características de las principales sustancias luminiscentes empleadas en detectores de centelleo.

Sustancia	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	$\lambda$ de máxima emisión (en Å)	Eficiencia para rayos $\beta$	Cte. de tiempo de caída de luminiscencia ( $\mu$ S)	Disposición
Antraceno	1.25	4.450	1	0.025	Cristales grandes no muy claros.
Naftaleno	1.15	3.450	0.25	0.075	Buenos cristales.
NaI (TI)	3.67	4.100	2	0.25	Cristales excelentes, aunque higroscópicos.
ZnS(Ag)	4.1	4.500	2	1	Pequeños cristales poca transparencia.
p- Terfenil xileno	0.87	3.700	0.48	0.007	Disolución líquida.
Terfenil poliestireno	1.06	4.000	0.30	0.005	Plástico.

### Decaimiento Beta.

Esta es la fuente más común de electrones rápidos, el proceso puede ser escrito esquemáticamente así:



Donde X y Y, son las especies nucleares iniciales y finales respectivamente, y  $\bar{\nu}$  es un antineutrino. Como los neutrinos y los antineutrinos tienen muy pequeña probabilidad de interactuar con la materia, son para

TESIS  
FALLA DE ORIGEN

propósitos prácticos indetectables. Dada la gran masa del núcleo resultante Y, con respecto al electrón y al antineutrino, se puede decir que la porción de energía de la reacción que se lleva este núcleo es despreciable. Luego, la energía Q de la reacción se la llevan el antineutrino y la partícula beta. En cada desintegración con emisión de partícula beta, tiene una distribución de energía de las betas de tipo probabilístico.

En el punto máximo de energía se tiene que unas cuantas partículas beta se llevaron aproximadamente toda la energía de la reacción, es decir que:

$$E_{\text{máx de beta}} = Q$$

Existen una gran cantidad de radioisótopos, que decaen con emisión de partículas beta, pero muchos de ellos decaen primero por emisión de partícula beta a un estado excitado, para luego decaer a un estado estable por emisión de un fotón gamma. (Arriola, 1983)



## **Antecedentes del estado de Oaxaca.**

### **GEOLOGIA**

La geología del estado de Oaxaca es muy compleja, en este lugar se encuentran rocas del *Precámbrico* que son las más antiguas, datan de aproximadamente 600 millones de años, se ubican al sur de la entidad con una dirección oeste-sureste, son principalmente metamórficas y cubren 25.5% de la superficie estatal; las rocas del *Paleozoico* (375 millones de años) abarcan 11.6%, son de origen metamórfico e ígneas intrusivas (INEGI, 2003).

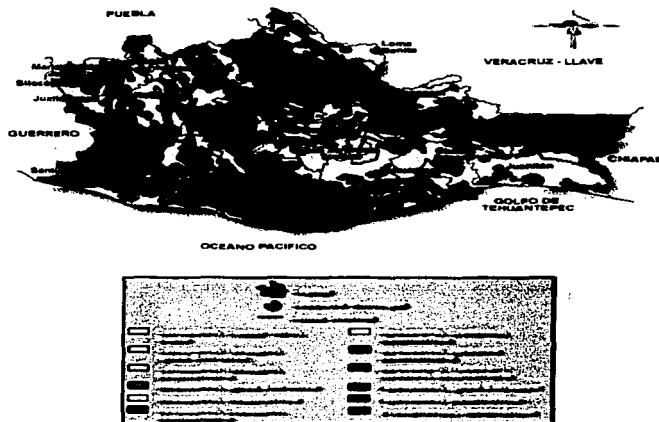
Las unidades cartográficas más grandes están en la porción norte y oriental, colindando con el estado de Chiapas; el Periodo de la Era del *Mesozoico* con mayor cobertura es el Cretácico (135 millones de años) con 14.3%, representado por rocas de tipo **sedimentario** y metamórfico, dispersos en todo el estado, concentrados sobre todo en la zona media hacia el norte; otras unidades litológicas abarcan 7.3% pertenecen a la Era del Mesozoico, se localizan al sur, centro y noroeste de la entidad.

Las rocas del Triásico-Jurásico (200 millones de años) se sitúan al norte y noreste, son sedimentarias y cubren 3.9%, en el Periodo Jurásico (180 millones de años) las rocas son generalmente sedimentarias, su cubrimiento estatal es de 0.9%, sus principales afloramientos están localizados al occidente, cerca del límite con el estado de Guerrero, otra unidad se encuentra en el extremo opuesto de la entidad, colindando con la parte sur del estado de Veracruz.

El Periodo Terciario, cubre 25.0% del territorio estatal, compuesto por rocas **ígneas extrusivas** y sedimentarias, datan aproximadamente de 63 millones de años, se distribuyen en la parte central y norte del estado, algunas unidades litológicas colindan con los estados de Puebla y Guerrero, otras

unidades ubicadas al norte colindan con el estado de Veracruz-Llave; los suelos del Cuaternario (3 millones de años aproximadamente), se ubican al sur, sureste paralelamente con la línea de costa; otras unidades importantes se localizan al centro de la entidad y al norte limitando con el estado de Veracruz (Fig.3) (INEGI, 2003).

Fig. 3.- Mapa Geológico de Oaxaca.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## FISIOGRAFIA

El estado de Oaxaca abarca parte de cinco Provincias Fisiográficas: a) **Eje Neovolcánico**, al noroeste con la subprovincia *Sur de Puebla*; b) **Sierra Madre del Sur**, con las subprovincias *Cordillera Costera del Sur*, que se extiende de noroeste a sur en forma paralela a la subprovincia *Costas del Sur* ubicada en la línea de costa, *Sierras Orientales* que va de norte a sur en la parte centro-oriente del estado, *Sierras Centrales de Oaxaca* del centro hacia el norte y paralelamente al occidente *Mixteca Alta*, y *Sierras y Valles de Oaxaca* ubicada al centro de la entidad, estas seis subprovincias ocupan el 80% del territorio estatal; c) **Llanura Costera del Golfo Sur** con la subprovincia *Llanura Costera Veracruzana* que recorre toda la franja nor-noreste; d) **Sierras de Chiapas y Guatemala** con la subprovincia *Sierras del Norte de Chiapas*, cubre en forma mínima (0.25%) en el extremo oriente; e) **Cordillera Centroamericana**, con la subprovincia *Sierras del Sur de Chiapas* en la parte oriente del estado, y hacia el sur de ésta sobre la costa del Golfo de Tehuantepec, la discontinuidad fisiográfica *Llanuras del Istmo* (Fig. 4) (INEGI, 2003).

Fig. 4.- Fisiografía de Oaxaca.



## **CLIMAS**

En la zona de estudio ubicada en el centrosur y noroeste se localizan las zonas con climas semisecos, las cuales representan casi el 10% del territorio estatal, e inmersas en ellas están las áreas de climas secos, que no llegan a cubrir el 1%. El clima **semiseco semicálido**, cuyas temperaturas medias anuales van de 18° a 22°C, abarca los terrenos donde está situada la capital del estado (Oaxaca de Juárez) y las poblaciones Ejutla y Miahuatlán, así como las áreas que rodean a los valles de los ríos San Antonio, Salado, Juquila y Calapa; aquí, la precipitación total anual es baja, pues su rango va de 600 a 800 mm, aunque en algunas porciones es menor. El clima **semiseco muy cálido y cálido** comprende la zona de Yautepec y parte del valle del río Tequisistlán, cuya precipitación es similar al del clima anterior, pero la temperatura media anual es mayor a 22°C. En los alrededores del curso alto de los ríos Juquila y San Antonio están ubicadas las áreas de clima **semiseco templado**, en las cuales la temperatura media anual varía entre 12° y 18°C y la precipitación total anual es menor de 600 mm (INEGI, 2003).

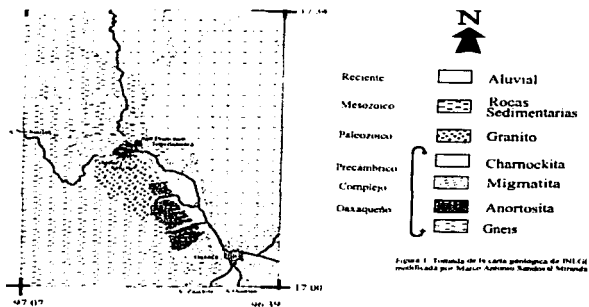
### **Sitio de estudio.**

La pegmatita El Muerto se ubica al SW de la presa Matías Romero (Fig. 5), y forma parte de terrenos del Municipio de San Pablo Huitzo, Distrito de Etla, Oaxaca. El área de estudio se localiza entre las coordenadas geográficas de 17° 14' N y 96° 57' W (Morales,1999).

Fig. 5.- Vista general de la presa de Huitzo "Matías Romero"



Fig. 6.- Mapa del complejo Oaxaqueño. Tomado de Morales.1999.



FALLA DE ORIGEN

Tabla 10.- Datos del Municipio San Pablo Huitzo.

Municipio:	San Pablo Huitzo
Población total al 2000:	5066
Población masculina	2383
Población femenina	2683
Superficie (Km <sup>2</sup> ):	107

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### **Minería del Lugar.**

#### **Minerales primarios del suelo**

A los componentes inorgánicos de los suelos se les agrupa en minerales primarios (aquellos que no han sufrido cambios químicos desde su formación inicial) que se acumulan principalmente en las fracciones de arena y limo y en minerales secundarios (aquellos que resultan de la descomposición de los minerales primarios y recombinación de los productos) y predominan en las arcillas. Al desarrollarse los suelos, generalmente ocurre un enriquecimiento de materia orgánica y la pérdida de los elementos químicos de mayor solubilidad.

Los silicatos y aluminosilicatos son los principales componentes de la mayor parte de los minerales que constituyen las rocas y muchos suelos. Los minerales son sustancias inorgánicas con composiciones y propiedades

características, cada mineral tiene una estructura molecular y composición propia, pero por el proceso de sustitución isomórfica pueden ser reemplazados algunos elementos químicos por otros de radio iónico similar produciendo variaciones en la composición de los minerales.

La meteorización cambia la proporción de los minerales en los suelos y son resistentes a la meteorización el cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ), algunos óxidos de fierro y aluminio y la ortoclasa ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ )

Los silicatos constituyen un amplio grupo de minerales que se encuentran en mayor proporción en las rocas ígneas y en las metamórficas que en las sedimentarias. La mayoría de los silicatos en los suelos es cristalina y su unidad básica se representa por un tetraedro equilátero formado por un ión central de silicio y un átomo de oxígeno en cada vértice. Electrónicamente cada tetraedro representa la partícula  $\text{SiO}_4^{2-}$ . Cuando estas cargas se neutralizan con cationes, como el olivino ( $\text{Mg, Fe})_2\text{SiO}_4$ , se forman minerales que se representan por tetraedros individuales.

Al aumentar el grado de polimerización y al compartir los átomos de silicio más átomos de oxígeno se reduce la relación Si/O de 1:4 a 1:2 para los tectosilicatos que forman una red tridimensional muy estable como en el cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ). También cuando se combinan varios átomos de oxígeno con varios átomos de silicio pueden formarse diferentes estructuras representadas por tetraedros dobles, anillos o láminas (Fig. 7).

Tabla 11.- Propiedades de algunos minerales primarios del suelo.

Clase	Estructura	Ejemplo	Fórmula
Nesosilicato	Tetraedros individuales	Olivino	$Mg, Fe)_2SiO_4$
Sorosilicato	Tetraedros múltiples o dobles	Epidota	$Ca_2(Al, Fe)_3Si_3O_{12}OH$ (tetraedros múltiples)
Ciclosilicato	Anillos de tetraedros, simples o dobles	Berilio	$Be_3Al_2Si_6O_{18}$
Inosilicato	Silicatos de cadena, simples o dobles	Dópsido Tremolita	$Ca_2Mg_2Si_4O_{12}$ (c. simple) $Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$ (doble)
Filosilicato	Láminas de tetraedros	Biotita	$K(Mg, Fe)_3(Si, Al)_3O_{10}(OH)_2$
Tectosilicato	Tridimensional	Leucita	$KAlSi_3O_8$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Fig. 7.- Fotografías de los minerales primarios del suelo.



Tremolita



Epidota



Berilio azul



Olivino



Biotita



Leucita

En los minerales primarios además de los silicatos hay otros minerales como los óxidos y los carbonatos y otros que se presentan en pequeñas cantidades en la composición de las rocas como los fosfatos y los sulfuros. Los carbonatos son importantes porque forman suelos de buena fertilidad.

La distribución de los minerales primarios en las rocas depende de la naturaleza química y de las condiciones de formación de las rocas.

YESO CON  
FALLA DE ORIGEN

Los minerales más comunes en los silicatos ácidos son el cuarzo, los feldespatos y moscovita, y en menor proporción la biotita, las plagioclasas y los anfíboles. Los feldespatos potásicos, como la ortoclasa, son característicos de las rocas ígneas ácidas y los feldespatos ricos en sodio y calcio, como las plagioclasas, lo son de las rocas básicas.

### **Minerales secundarios**

La meteorización en los suelos se lleva a cabo a través de un conjunto de fenómenos de descomposición y de síntesis que generan diferentes compuestos sencillos como los óxidos y complejos como los silicatos.

Los silicatos se clasifican en tres grupos:

- Silicatos laminares o filosilicatos, se encuentran en suelos moderadamente meteorizados y predominan en regiones que han sufrido glaciación. Estos se subdividen en cuatro grupos: las kaolinitas o minerales caoliniticos o dimórficos; los minerales trimórficos; las cloritas o minerales tetramórficos y los minerales interstratificados.
- Silicatos fibrosos, se encuentran en regiones secas con clima mediterráneo.
- Silicatos sin estructura cristalina, se encuentran en suelos derivados de materiales volcánicos.

La composición química de los minerales arcillosos varían dentro de límites amplios, inclusive en un mismo mineral, debido a procesos como la sustitución isomórfica y la retención de diferentes cationes debido a las cargas de estos minerales. También la naturaleza dioctaédrica de los minerales contribuye a la diferenciación química. Los minerales trioctaédricos tienen un catión en todas las

posiciones centrales de los octaédricos y aquellos minerales que sólo dos tercios de sus posiciones tienen un catión se les llama dioctaédricos, en éstos los cationes centrales balancean las cargas del conjunto que forma el mineral.

Las propiedades de las arcillas dependen de las fuerzas de Van der Waals, de los enlaces covalentes entre los hidroxilos y los oxígenos superficiales, de la superficie específica, del pH del medio, etc. Los grupos hidroxilo de la superficie de la caolinita adsorben hidróxidos de fierro formando partículas que contribuyen a que los suelos tengan una buena estructura física. Los óxidos son productos secundarios importantes de la meteorización.

#### **Antecedentes de la mina El Muerto.**

La Comisión de Energía Nuclear realizó exploraciones en las pegmatitas de Oaxaca, siendo la pegmatita El Muerto la más importante con respecto a minerales radiactivos.

La pegmatita El Muerto se localiza al noreste de la ciudad de Oaxaca y se ubica dentro del Complejo Oaxaqueño el cual forma parte de la provincia fisiográfica conocida como "Sierra Madre de Oaxaca" y ocupa la región central del estado de Oaxaca, se extiende desde los límites del sur del estado de Puebla hasta el norte de Pochutla y es el más viejo de los diferentes terrenos cristalinos al sur de México; el Ing. A. Martínez en 1952 encontró minerales radioactivos en la pegmatita Inutuchi en el área de Telixtlahuaca, lo cual originó la exploración de esos minerales (Morales, 1999).

La pegmatita el Muerto es la más grande, y se distinguió por la abundancia de minerales de U (los cuales han sido totalmente explotados) y tierras raras. Este cuerpo, no solamente fue económicamente explotable por su

contenido exclusivo de minerales radioactivos sino también por subproductos como: feldespatos y micas.

Dicha Comisión continuó con las escasas exploraciones iniciadas con anterioridad y ejecutó trabajos de obras de mina, los cuales consistieron en la apertura de cinco socavones numerados del uno al cinco (de abajo hacia arriba). Con estas obras de carácter exhaustivo, se ha explorado perfectamente a la pegmatita El Muerto.

Además con estos trabajos se ha puesto a la vista un considerable tonelaje de feldespatos de excelente calidad, cuyo valor ha compensado el monto de la inversión hecha en las exploraciones de los minerales radioactivos. El uranio esta ampliamente distribuido y es más abundante que la Ag, Hg, Cd o Bi. Tiene pocos minerales económicos siendo el principal la uranita (la *pitchblenda* es una de sus formas), un óxido de composición aproximada  $UO_2$ . La comisión de Energía Nuclear ha extraído de El Muerto minerales de torio y uranio, principalmente: betafita y alanita y en menor cantidad, pechblenda, urano - torita, autunita y monacita (Morales, 1999).

### **CAPITULO III: DESARROLLO EXPERIMENTAL.**

#### **Material y Equipo.**

##### ***Material y reactivos usados para muestreo.***

- 1.- Botellas de plástico para coleccionar las muestras de agua con tapa y contra tapa.
- 2.- Guantes de plástico.
- 3.-  $\text{HNO}_3$  concentrado.
- 4.- Soluciones buffer con  $\text{pH}=7$  y  $\text{pH}=4$ .
- 5.- GPS para obtener la localización del lugar.
- 6.- pHmetro "Conductronic PC18" para medir pH y conductividad.
- 7.- Hielera con hielo para cubrir las muestras.
- 8.- Bolsas de plástico.
- 9.- Toallas sanitas
- 10.- Cuaderno para anotaciones.
- 11.- Marcador indeleble negro.
- 12.- Masking Tape.
- 13.- Bolígrafo negro.

***Reactivos usados en el laboratorio.***

- |                                  |                                    |
|----------------------------------|------------------------------------|
| 1.- HCl 2N.                      | 12.- $H_3BO_3$                     |
| 2.- Naranja de Metilo (0.1%).    | 13.- $H_2NSO_3H$                   |
| 3.- Fenolftaleína.               | 14.- $(NH_4)_2SO_4$ 2M             |
| 4.- EDTA 0.02N                   | 15.- Negro de Eriocromo T          |
| 5.- $NH_4OH$ (1:1)               | 16.- $NaNO_3$                      |
| 6.- KCN (5%)                     | 17.- NaCl                          |
| 7.- Polvo de murexida.           | 18.- Ácido acético glacial         |
| 8.- $Ca(NO_3)_2$                 | 19.- Citrato de Sodio.             |
| 9.- Solución saturada de KCl.    | 20.- NaOH (5M)                     |
| 10.- $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ | 21.- NaF                           |
| 11.- $Ag_2SO_4$                  | 22.- Solución buffer pH= 4, 7 y 9. |

***Material usado en el laboratorio.***

- |  |   |
|--|---|
| 1.- Matraces aforado de 1000 y 100 mL. | 6.- Papel pH (rango de 1 – 14)                |
| 2.- Pipetas aforadas de 1, 5 y 10 mL.  | 7.- Vasos de precipitado de 50, 100 y 150 mL. |
| 3.- Buretas graduadas.                 | 8.- Agitador magnético.                       |
| 4.- Frascos con gotero.                | 9.- Barras magnéticas.                        |
| 5.- Espátula                           | 10.- Electrodo selectivo para $Cl^-$          |

11.- Electrodo de referencia

13.- Electrodo selectivo para F<sup>-</sup>

12.- Balanza analítica.

14.- Electrodo selectivo para NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

### **Muestreo en campo de agua y sedimentos.**

#### ***Preparación de los recipientes.***

La preparación de los recipientes en los que se va a colocar la muestra es de suma importancia para evitar contaminación por oclusiones que pudiera haber en los mismos, y que afectan los análisis fisicoquímicos, por lo cual se les dio el siguiente tratamiento:

- a) Los recipientes son de polietileno de baja densidad con tapa y contratapa de plástico.
- b) Los envases se lavaron perfectamente con jabón extran neutro y se enjuagaron varias veces con agua potable.
- c) Se enjuagan con agua destilada.
- d) Se enjuagan con HCl al 10% en volumen, mínimo 10 veces, usando un volumen de 20 mL cada vez.
- e) Se enjuaga varias veces con agua destilada (15 veces) y 5 veces con agua desionizada.

### ***Toma de muestras.***

La toma de muestras es una etapa en la investigación muy importante y a que de ella dependerá que los resultados que se obtengan más adelante puedan ser confiables y que representen realmente las condiciones del agua que se encuentran en la zona de estudio por lo cual es necesario que la toma de muestras se haga con mucho cuidado para lo cual se siguieron los siguientes pasos.

- a) Se trazaron transectos imaginarios para fijar los puntos de muestreo dentro del vaso de presa, en la cortina y parte media del mismo Figuras 8, 9 y 10.

Fig. 8.- Cortina de la presa

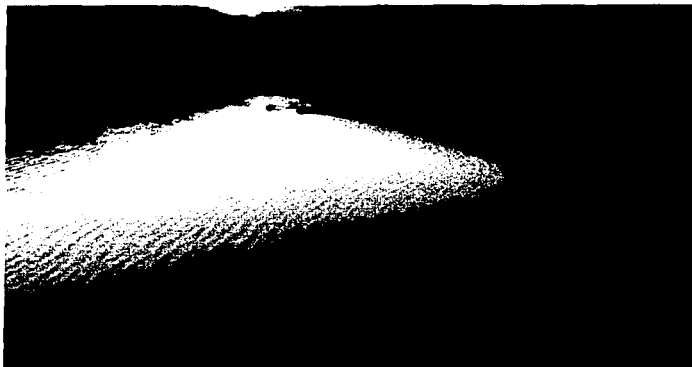


TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



En la cortina de la presa se tomaron muestras a lo largo de la misma, tanto de la superficie como a profundidad, para la parte media de la presa, se procedió a hacer un transecto diagonal respecto a la cortina. En ambos casos se procuró evitar el ingreso de basura antropogénica y/o de la flora y fauna del mismo lugar.

Fig. 9.- Parte media de la presa.



FALLA DE ORIGEN

Fig. 10.- Vista del final del vaso de agua de la presa.



- b) Colocar en un lugar cercano al lugar donde se va a tomar la muestra todo el material a ocupar.
- c) Ponerse los guantes, calibrar el pHmetro, acercarse al lugar donde se tomará la muestra y realizar la medición de pH y conductividad, las cuales se anotaran con una clave que corresponda a ese punto.
- d) Se toma la botella de plástico, se etiqueta usando el marcador indeleble, se retira la tapa, la contra tapa y se coloca en forma horizontal permitiendo que el agua entre lentamente, una vez que se tiene el volumen deseado, se retira.
- e) *Para realizar análisis fisicoquímicos:* Una vez que se tiene el agua en el envase, se coloca la tapa y contra tapa de la botella sin conservador y se

coloca dentro de la hielera cubriéndola con suficiente hielo (que funciona como inhibidor bacteriano).

- f) *Para analizar los metales disueltos en el agua:* Una vez que se tiene el agua en el envase se colocan cinco gotas de ácido nítrico concentrado (para evitar la precipitación de metales), se coloca la tapa y contra tapa de la botella y se coloca dentro de la hielera cubriéndola con hielo para que se conserve a cuatro grados.
- g) El procedimiento anterior se uso tomando una muestra para análisis fisicoquímicos y otra para análisis de metales disueltos en cada punto en el cual se realizó el muestreo.

### **Análisis químico y fisicoquímicos de agua de la presa de Huitzo.**

Los análisis fisicoquímicos se hicieron según Armienta et al. 1996, para la cual, las muestras fueron filtradas por Millipore 0.45, la determinación de metales se realizo en un ICP, algunos aniones se analizaron con electrodo selectivo.

Para el análisis de fluoruros, nitratos y cloruros se preparó una solución ajustadora de fuerza iónica y estándares de diferentes concentraciones (blanco, 2, 4, 6, 8, 10 y 100 ppm del ión a analizar). Se coloco en un vaso de precipitados 25 mL de estándar y 25 mL del ajustador de fuerza iónica se agito magnéticamente por un minuto y se tomó la lectura usando un electrodo de referencia (Calomel) y un electrodo selectivo específico.

Para realizar la lectura de las muestras se sigue el procedimiento anterior, solo que se agrega a los vasos de precipitado 25 mL de la muestra y 25 mL del ajustador de fuerza iónica.

Para realizar la lectura de pH se calibró primero con soluciones buffer de pH= 4, 7 y 9, posteriormente se toma la lectura de la muestra introduciendo el electrodo en el vaso de precipitados que contenía el agua que se está analizando, después se cambia el electrodo de pH, se coloca el de conductividad y se procede a tomar la medición.

### **Análisis de óxidos mayores y trazas de sedimentos.**

#### **a) Fluorescencia de Rayos X.**

Este análisis se llevo a cabo en el laboratorio de FRX del Instituto de Geología.

#### **b) ICP**

Este análisis se llevo a cabo en el laboratorio de Absorción Atómica de la Facultad de Química.

#### **c) Absorción Atómica.**

Este análisis se llevo a cabo en el laboratorio de Absorción Atómica del Instituto de Geología

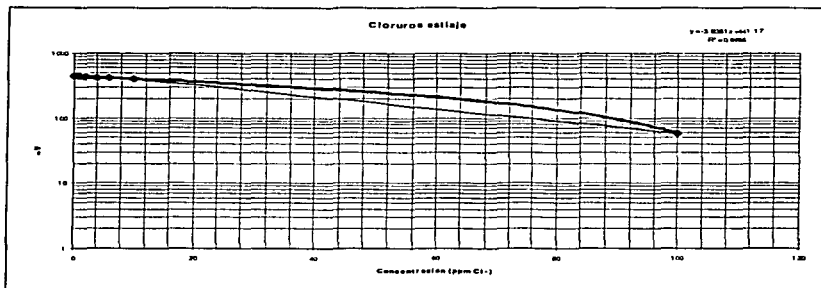
#### **d) Análisis de bajo fondo.**

Este análisis se llevo a cabo en el laboratorio de Radiactividad Natural del Instituto de Geofísica.

#### CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSION.

Los resultados que se obtuvieron por los diferentes métodos analíticos se muestran a continuación a sí, como las gráficas y espectros correspondientes.

Fig. 11.- Curva de calibración para electrodo selectivo de cloruros.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig. 12.- Curva de calibración para electrodo selectivo de nitratos.

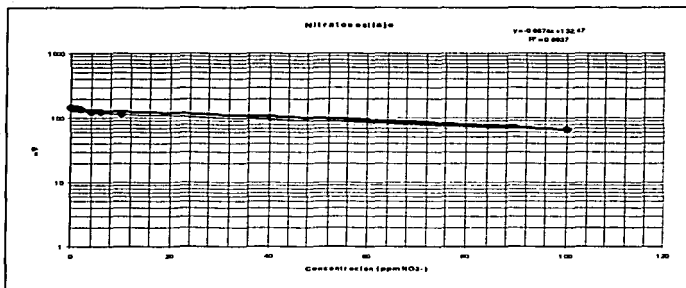
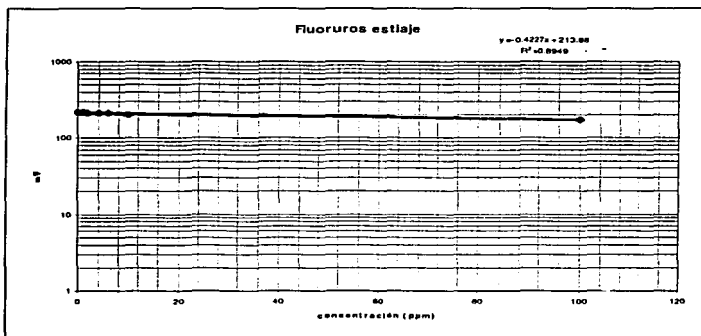


Fig. 13.- Curva de calibración para electrodo selectivo de fluoruros.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig. 14.- Espectro de los sedimentos de la presa Matías Romero"

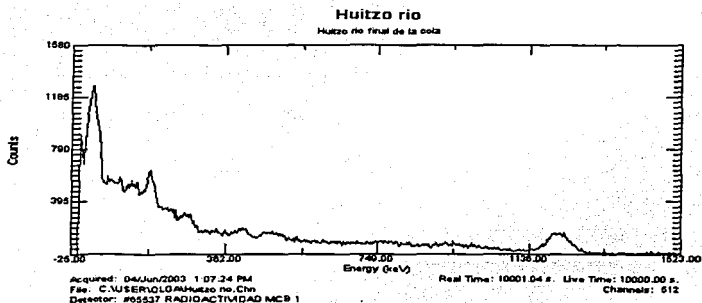
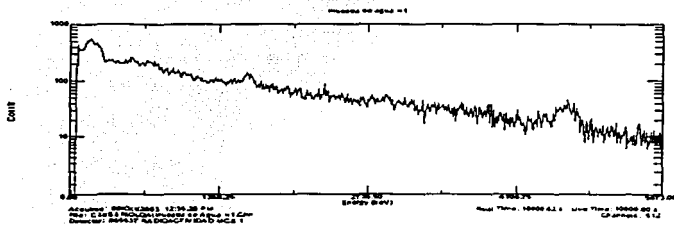


Fig. 15.- Espectro de la muestra de agua H1 del segundo muestreo.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig. 16.- Espectro de la muestra de agua H8 segundo muestreo.

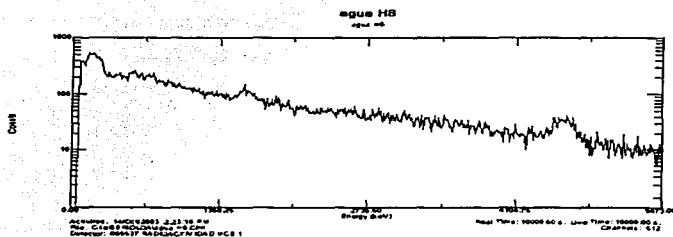
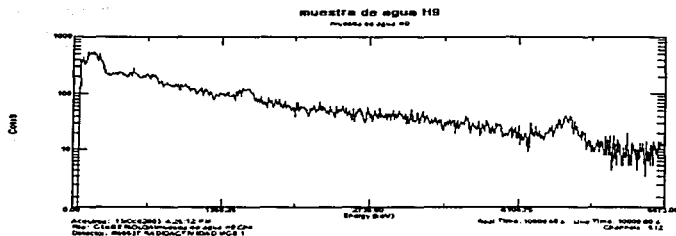


Fig. 17.- Espectro de la muestra de agua H9 del segundo muestreo.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Fig. 18.- Espectro comparativo de la muestra de agua H1 vs H8 del segundo muestreo.

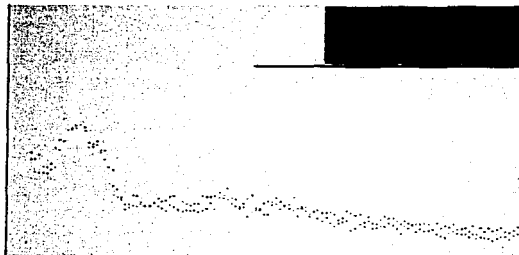
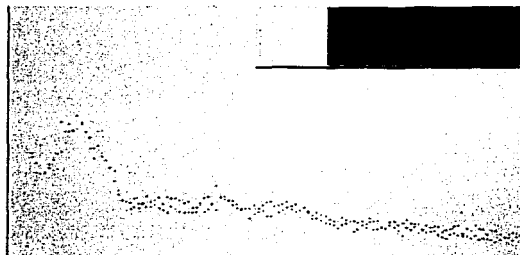


Fig. 19.- Espectro comparativo de la muestra de agua H1 vs H9 del Segundo muestreo.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Tabla 12.- Análisis fisicoquímicos del agua en temporada de estiaje.

Prueba	H1	H2	H3	H4
Alcalinidad en bicarbonatos (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	24	52	28	28
Alcalinidad total HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	29.28	63.44	34.16	34.16
Cloruros (mg/L)	9.63	12.79	10.37	11.10
Dureza total	51.8	72.8	75.6	79.8
Dureza por Calcio	8.4	12.6	5.6	8.4
Dureza por Magnesio	43.4	60.2	70	71.4
Nitratos (mg/L)	13.26	55.39	3.55	24.82
Fluoruros (mg/L)	nd	3.26	14.62	17.932
pH	7.869	8.242	7.002	6.738
Conductividad (μS)	256	492	240	278
Temperatura °C	19.2	20.1	19.6	25.3
Mercurio (AA) (ppb)	4.81	4.82	4.81	4.51

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Tabla 13.- Análisis con ICP del agua en temporada de estiaje.

Prueba	H1	H2	H3	H4	Canal
As	nd	nd	nd	nd	nd
Be	nd	nd	nd	nd	nd
Ca	28.2	53.9	27.5	31.6	42.7
Cd	nd	nd	nd	nd	nd
Co	nd	nd	nd	0.005	0.001
Pb	0.214	0.16	0.142	0.085	0.036
Cr	nd	nd	nd	0.001	nd
Cu	0.016	0.013	0.016	0.026	0.008
Fe	0.334	0.051	0.937	6.5	0.005
Li	0.011	nd	0.011	0.013	0.016
Mg	11	22.7	10.7	13.3	15.1
Mn	0.124	0.006	0.436	0.4	0.002

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Tabla 13.- Análisis con ICP del agua tomada en temporada de estiaje (continuación).

Prueba	H1	H2	H3	H4	Canal
Ni	0.011	0.013	0.011	0.018	0.018
Sb	nd	nd	nd	0.002	nd
Se	nd	nd	nd	nd	nd
Sr	0.265	1.06	0.256	0.298	0.345
Ti	0.008	0.005	0.004	0.04	0.001
Tl	nd	nd	nd	nd	nd
V	nd	0.01	0.027	0.066	0.083
Zn	0.029	0.24	0.017	0.037	0.01
U	nd	nd	nd	nd	nd
Cs	nd	nd	nd	nd	nd
Th	nd	nd	nd	nd	nd
B	0.235	0.154	0.2	0.179	0.392
Ga	nd	nd	nd	nd	nd
In	nd	nd	nd	nd	nd
Re	nd	nd	nd	nd	nd
Ge	nd	nd	nd	nd	nd

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Tabla 14.- Análisis fisicoquímicos del agua tomada en la temporada de lluvias.

Prueba	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9
Alcalinidad bicarbonatos (mg/L CaCO <sub>3</sub> ) en	108	108	104	104	100	104	116	192	220
Alcalinidad total como HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	131.76	131.76	126.88	126.88	122	126.88	141.52	234.24	268.4
Cloruros (mg/L)	50.32	52.39	52.73	49.12	52.22	51.70	51.70	47.22	47.22
Dureza total	100.8	79.8	77	120.4	86.8	107.8	121.8	133	133
Dureza por Calcio	33.6	29.4	26.6	33.6	28	36.4	35	42	42
Dureza por Magnesio	67.2	50.4	50.4	86.8	58.8	71.4	86.8	91	91
Nitratos (mg/L)	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	3.10	4.87
Fluoruros (mg/L)	5.28	5.69	5.11	5.10	5.24	5.31	5.23	5.06	4.86
pH	8.06	8.06	8.06	8.06	8.06	8.06	8.06	7.76	7.64
Conductividad (µS)	244	244	244	244	244	244	244	535	542
Temperatura °C	25.7	25.7	25.7	25.7	25.7	25.7	25.7	27.1	27.3

Tabla 15.- Resultado del análisis por FRX para el sedimento de la presa Matías Romero.

%SiO <sub>2</sub>	%TiO <sub>2</sub>	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%MnO	%MgO	%CaO	%Na <sub>2</sub> O	%K <sub>2</sub> O	%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%PXC	Suma
61.402	2.185	13.961	8.203	0.166	2.281	4.06	3.789	1.683	0.415	1.69	99.84

Rb	Sr	Ba	Y	Zr	Nb	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Th	Pb
ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
30	505	881	28	371	18	143	73	29	24	32	80	2	8

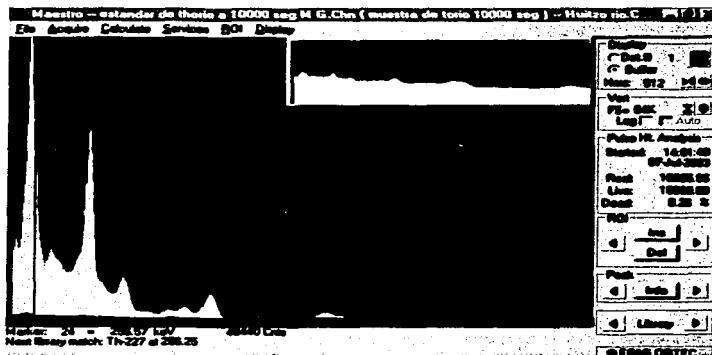
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## Análisis de resultados

La tabla de resultados muestra las concentraciones de los metales presentes en el agua de la presa y el canal de riego justo a la salida de la presa.

Contrario a lo esperado los elementos Th, U y As, no están en los límites de detección por el ICP en el agua de la presa, mientras que B, Fe, Hg, Mn, Pb y Sr, presentan concentraciones bastante altas para una agua destinada al riego, y que posiblemente la consume la gente, sin embargo al hacer el análisis por espectroscopia gamma, se observa la presencia de elementos radiactivos Fig. 15, 16, 17, 18, 19 y 20.

Fig. 20.- Espectro comparativo entre estándar de torio y sedimentos de la presa.



TESIS CON  
FOLIO DE ORIGEN

Los elementos detectados por espectroscopia gamma se muestran en la tabla 16.

Tabla 16.- Radioisótopos presentes en las muestras de estudio de la presa "Matías Romero"

Radioisótopo	Vida media	Energía (MeV)	Tipo de decaimiento
$^{235}\text{U}$	$7.1 \times 10^8$ años	40.916	$\alpha, \gamma$
$^{227}\text{Th}$	18.2 días	25.805	$\alpha, \gamma$
$^{234}\text{Th}$	24.1 días	40.607	$\beta^-, \gamma$
$^{234}\text{Pa}$	6.75 horas	22.310	$\beta^-, \gamma$
$^{137}\text{Cs}$	30.174 años	1.2	$\beta^-$
$^{214}\text{Bi}$	19.7 minutos	609	$\alpha, \beta^-, \gamma$

En ambos casos es bastante peligroso emplearla pues son metales que pueden ser incorporados por las plantas y seguir la cadena trófica hasta llegar al hombre, efectos que restan por investigarse en esta zona.

Mediante el resultado obtenido por fluorescencia de rayos X, se pudo comprobar que efectivamente hay presencia de Th, que se detecto también por espectroscopia gamma.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

TESIS  
FALLA DE ORIGEN

### Conclusión

La presencia de los elementos radiactivos provienen de la mina y la explicación para ello es que debido a que el mineral fue extraído en una zona de alto grado de fracturamiento, se propicia la migración de partículas pequeñas del mineral ya que se encontró que las partículas de menor tamaño contienen una radiactividad alta como se muestra en la figura 21, y por lo tanto se pueden transportar con mayor facilidad como se menciona en las bases teóricas de este trabajo.

Fig. 21.- Análisis comparativo de tamaño de partícula respecto a la radiactividad del  $^{227}\text{Th}$ .



Una posible razón de porqué el torio y el uranio están en los sedimentos y ausentes en el agua de la presa es el ambiente reductor.

Se encontró que el lugar se utiliza para acuicultura de truchas, por lo que con objeto de conservar inmóviles al U y Th se recomienda no cambiar la especie

AGENCIA NACIONAL DE SALUD  
DE LA BIOMEDICINA



cultivada, ya que si se llegará a introducir carpas debido a los hábitos alimenticios podrían favorecer la incorporación del Th al agua.

También a partir de los resultados de FRX, se puede observar que es una forma de concentración de varios elementos como se puede ver en la tabla comparativa entre el mineral de la mina y los sedimentos Tabla 17.

Tabla 17.- Análisis comparativo entre el sedimento de la presa y el mineral de la mina el Muerto en su parte magnética y no magnética

Muestra	%SiO <sub>2</sub>	%TiO <sub>2</sub>	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%MnO	%MgO	%CaO	%Na <sub>2</sub> O	%K <sub>2</sub> O	%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	PXC	Suma
1NM	72.963	0.824	11.702	5.069	0.087	0.652	1.149	3.639	1.024	0.355	2.18	99.66
2NM	77.100	0.611	11.071	3.095	0.077	0.448	1.330	3.618	0.821	0.277	1.52	99.97
1PM	28.212	1.882	6.68	56.9	0.238	1.17	0.663	1.49	0.555	0.279	-0.55	97.52
Sedi.	61.402	2.185	13.961	8.203	0.166	2.281	4.06	3.789	1.683	0.415	1.69	99.84

	Rb	Sr	Ba	Y	Zr	Nb	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Th	Pb
	ppm	ppm	ppm	Ppm	ppm	ppm	ppm	Ppm	ppm	Ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1NM	113	201	293	612	2825	229	56	99	29	<0.7	11	80	1238	50
2NM	71	216	257	511	1654	186	38	38	44	<0.7	9	75	1151	51
1PM	35	58	199	198	165	221	598	357	13	38	13	198	215	51
sed.	30	505	881	28	371	18	143	73	29	24	32	80	2	8

Por lo anterior se puede pensar a un tiempo corto el poder utilizar a los sedimentos como materia prima para la elaboración de catalizadores automotrices.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## BIBLIOGRAFIA.

- Armiента M.A., Zamora V., Juárez F. (1996). "*Manual para el análisis químico de aguas naturales, en el campo y en el laboratorio*". Comunicaciones Técnicas, Serie Docencia y Divulgación No. 4 segunda reimpresión, Instituto de Geofísica, UNAM.
- Arriola S. Humberto, Bravo S. Juan Manuel (1983) "*Curso de instrumentación nuclear*" Facultad de Química, División de Estudios de Posgrado, Departamento de Ciencias Nucleares, UNAM.
- Collson, J.D.; Thompson, D.B. (1989). "*Sedimentary structures*". Unwin & Hyman. 207.
- F.A. Cotton , G. Wilkinson (1986) "*Química inorgánica básica*" Ed. Limusa 523-532
- Macdonald, E.H. (1983). "*Alluvial mining: The geology, technology and economics of placers*". Chapman & Hall. 508 pg.
- Morales Alvarado Mercedes (1999). "*Caracterización Geoquímica de la Pegmatita El Muerto, Oaxaca, México*". Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geofísica, UNAM.
- Navarrete Manuel, Cabrera Luis (1993) "*Introducción al estudio de los radioisótopos*" 2da. Edición, Facultad de Química, sección nuclear, UNAM, Ed. Porcia editores, S.A. de C.V., 309 pg.
- R. Choppin Gregory and Rydberg Jan (1980) "*Nuclear Chemistry theory and Applications*" Ed. Pergamon Press. Pág. 235 - 240.
- Rivera Trigós René (1987), "*Química del Torio*". Tesis de Licenciatura. Ingeniería Química Metalúrgica, Facultad de Química, UNAM.

- Tucker, M.E. (1991). "*Sedimentary petrology*". Backwell Science. 260 pg.
- Ortec Instrument, (1995), "*Software User's Manual*".

## ANEXO I

Cadena Radiactiva del torio (4n) (12 miembros o eslabones)  
(Navarrete y Cabrera, 1993).

Radio isótopo	Vida Media	Nombre histórico	Tipo de decaimiento
$^{232}\text{Th}$ ↓	1.4X10 <sup>10</sup> años	Torio	$\alpha$
$^{228}\text{Ra}$ ↓	6.7 años	Mesotorio I	$\beta^-$
$^{228}\text{Ac}$ ↓	6.13 horas	Mesotorio II	$\beta^-$
$^{228}\text{Th}$ ↓	1.9 años	Radiotorio	$\alpha, \gamma$
$^{224}\text{Ra}$ ↓	3.64 días	Torio X	$\alpha, \gamma$
$^{220}\text{Rn}$ ↓	55 seg	Toron (emanación)	$\alpha, \gamma$
$^{216}\text{Po}$ ↓	0.15 seg	Torio A	$\alpha$
$^{212}\text{Pb}$ ↓	10.6 horas	Torio B	$\beta^-, \gamma$
$^{212}\text{Bi}$ ↓	60.6 minutos	Torio C	$\alpha, \beta^-, \gamma$
$^{212}\text{Po}$ (64%) ↓	304 nanosegundos	Torio C'	$\alpha$
$^{208}\text{Tl}$ (36%) ↓	3.1 minutos	Torio C''	$\beta^-, \gamma$
$^{208}\text{Pb}$	Estable	Torio D	-----

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Cadena Radiactiva del uranio-238 ( $4n+2$ ) (19 miembros o eslabones)  
(Navarrete y Cabrera, 1993).

Radio Isótopo	Vida Media	Nombre histórico	Tipo de decaimiento
$^{238}\text{U}$ ↓	4.5X10 <sup>9</sup> años	Uranio I	$\alpha$
$^{234}\text{Th}$ ↓	24.1 días	Uranio X <sub>1</sub>	$\beta^-$ , $\gamma$
$^{234\text{m}}\text{Pa}$ ↓	1.17 minutos	Uranio X <sub>2</sub>	$\beta^-$ , $\gamma$
$^{234}\text{Pa}$ ↓	6,75 horas	Uranio Z	$\beta$ , $\gamma$
$^{234}\text{U}$ ↓	2.5X10 <sup>5</sup> años	Uranio II	$\alpha$ , $\gamma$
$^{230}\text{Th}$ ↓	8X10 <sup>4</sup> años	Ionio	$\alpha$ , $\gamma$
$^{226}\text{Ra}$ ↓	1 602 años	Radio	$\alpha$ , $\gamma$
$^{222}\text{Rn}$ ↓	3.8 días	Radón (emanación)	$\alpha$ , $\gamma$
$^{218}\text{Po}$	3.05 minutos	Radio A	$\alpha$ , $\beta^-$
$^{214}\text{Pb}$ (99.98%)	26.8 minutos	Radio B	$\beta^-$ , $\gamma$
$^{218}\text{At}$ (0.02%)	2 segundos	Astatino	$\alpha$
↓			

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Cadena Radiactiva del uranio-238 ( $4n+2$ ) (19 miembros o eslabones)

(Navarrete y Cabrera, 1993).

*Continuación.*

Radio isótopo	Vida Media	Nombre histórico	Tipo de decaimiento
$^{214}\text{Bi}$	19.7 minutos	Radio C	$\alpha, \beta^-, \gamma$
$^{214}\text{Po}(99.98\%)$	164 $\mu$ segundos	Radio C'	$\alpha, \beta^-$
$^{210}\text{Tl}(0.02\%)$	1.3 minutos	Radio C''	$\beta^-, \gamma$
↓			
$^{210}\text{Pb}$	21 años	Radio D	$\beta^-, \gamma$
↓			
$^{210}\text{Bi}$	5.01 años	Radio E	$\alpha, \beta^-$
↓			
$^{210}\text{Po}(100\%)$	138.4 días	Radio F	$\alpha$
↓			
$^{206}\text{Tl}(0.00013\%)$	4.19 minutos	Radio E'	$\beta^-$
↓			
$^{206}\text{Pb}$	Estable	Radio G	-----

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Cadena Radiactiva del uranio-235 ( $4n+3$ ) (15 miembros o eslabones)  
(Navarrete y Cabrera, 1993).

Radio isótopo	Vida Media	Nombre histórico	Tipo de decaimiento
$^{235}\text{U}$ ↓	$7.1 \times 10^8$ años	Actinouranio	$\alpha, \gamma$
$^{231}\text{Th}$ ↓	25.2 horas	Uranio Y	$\beta^-, \gamma$
$^{231}\text{Pa}$ ↓	$3.25 \times 10^4$ años	Protactinio	$\alpha, \gamma$
$^{227}\text{Ac}$ ↓	21.6 años	Actinio	$\alpha, \beta^-, \gamma$
$^{227}\text{Th}$ (98.6%) ↓	18.2 días	Radioactinio	$\alpha, \gamma$
$^{223}\text{Fr}$ (1.4%) ↓	22 minutos	Actinio K	$\beta^-, \gamma$
$^{223}\text{Ra}$ ↓	11.43 días	Actinio X	$\alpha, \gamma$
$^{219}\text{Rn}$ ↓	4 segundos	Actinon (emanación)	$\alpha, \gamma$
$^{215}\text{Po}$ ↓	1.8 milisegundos	Actinio A	$\alpha, \beta^-$
$^{211}\text{Pb}$ (100%) ↓	36.1 minutos	Actinio B	$\beta^-, \gamma$
$^{215}\text{At}$ (0.00023%) ↓	0.1 milisegundo	Astatino	$\alpha$
$^{211}\text{Bi}$ ↓	2.15 minutos	Actinio C	$\alpha, \beta^-, \gamma$
$^{211}\text{Po}$ (0.28%) ↓	0.52 segundos	Actinio C'	$\alpha, \gamma$
$^{207}\text{Tl}$ (99.7%) ↓	4.79 minutos	Actinio C''	$\beta^-, \gamma$
$^{207}\text{Pb}$	Estable	Actinio D	-----

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN