



## DATACIÓN DE RESATOS OSEOS DE MAMUT CON LA TÉCNICA DE LAS SERIES DE URANIO

**María Dolores Tenorio Castilleros, Genoveva García Rosales, Eduardo Ordóñez Regil**  
Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. Carretera México-Toluca s/n, La Marquesa  
Ocoyoacac, C. P. 52750. [dolores.tenorio@inin.gob.mx](mailto:dolores.tenorio@inin.gob.mx)

### Introducción.

México existen una considerable cantidad de restos de mamut que no se ven, pero que en gran parte del territorio nacional subyacen bajo tierra y de vez en cuando se asoman para sorprendernos. Ya en la época de la Colonia varios cronistas narraron el hallazgo de estos huesos descomunales, atribuidos a una raza previa al diluvio; todavía en la actualidad algunos campesinos hablan de osamentas gigantes que a veces encuentran en sus tierras. Durante el siglo XIX se llevaron a cabo los primeros estudios y publicaciones científicas al respecto, que identificaron a los grandes mamíferos que vivieron en nuestro territorio hace 10 mil o más años, de los que el mayor y más conocido es el poderoso mamut.

A mediados del siglo XX se encontraron los restos de uno de ellos, quizá los más famosos del país, en Santa Isabel Ixtapan, Estado de México; y en el transcurso de los últimos 50 años han aparecido en casi todo el país, de Baja California a Chiapas, con excepción de la península de Yucatán y Tabasco.

En las que fueron áreas lacustres de Valsequillo, Puebla; en Chapala, Jalisco, y en El Cedral, San Luis Potosí, se han realizado hallazgos importantes por estar asociados, como en Ixtapan, a la presencia humana.

Pero, en el Valle de México es donde más se han exhumado y mejor se han estudiado, principalmente en los alrededores del antiguo lago Texcoco, en la mitad norte del Distrito Federal y municipios colindantes del Estado de México.

Después de esta breve introducción de la presencia de restos de mamut encontrados en diferentes partes de la República Mexicana, en las que se han mencionada fechas datos de la antigüedad de la presencia de mamut en nuestro país, nos surge la pregunta ¿qué método científico se puede utilizar para poder calcular la existencia de estos enormes mamíferos en tierras mexicanas?

Probablemente usted haya visto o leído historias fascinantes acerca de objetos antiguos. En una excavación arqueológica se encontró un pedazo de una herramienta de madera y el arqueólogo afirma que tiene 5000 años de antigüedad. Se encuentra la momia de un niño en lo alto de los Andes y el arqueólogo dice que el niño vivió hace más de 2000 años.



¿Cómo saben los científicos la edad que tiene un objeto o unos restos humanos? , ¿Qué métodos utilizan y como funcionan esos métodos?. Científicos como J. Korkisch, han efectuado estudios de restos fósiles y sedimentos marinos con la finalidad de establecer nuevos métodos de datación. Yocoyama, propuso nuevas técnicas para fechar muestras marinas al través de la evaluación del cociente de actividades del  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$  así como las del  $^{230}\text{Th}$  (Ivanovich, 1992).

En relación con la aplicación del método "serie de uranio" para fechar restos óseos, se han desarrollado las técnicas de separación de uranio y torio de la matriz del hueso (Bogdanov, 1979).

Aunque actualmente existen varias formas de datación como es el caso de la técnica  $^{14}\text{C}$ , al través de estudios científicos se ha demostrado que la técnica "serie de uranio" es adecuada debido a su sencillez y bajo costo para datar restos óseos, rocas, agua, etc. El uranio 238 tiene una vida media de  $4.5 \times 10^9$  años, y aplicando el método "serie de uranio" nos permite tener un mayor rango de fechado comparado con el de  $^{14}\text{C}$ .

Actualmente se han aplicado ambos métodos en huesos "jóvenes" obteniéndose resultados similares, y se ha llegado a la conclusión de que ambos métodos son confiables (Ivanovich, 1992).

Además de ser un método fiable, la técnica "serie de uranio" está a nuestro alcance ya que en nuestro país se cuenta con toda la infraestructura y los elementos necesarios para poder realizar la datación de restos óseos mediante la aplicación de esta técnica nuclear.

### *Técnica "serie de uranio"*

Los huesos fósiles contienen concentraciones de uranio que van de 1 a 1000 ppm, mientras que en huesos modernos la concentración no excede de 0.1 ppm. Esto indica que la capa externa del hueso absorbe el uranio en un tiempo de 2000 años (2ka) y subsecuentemente se comporta como un sistema cerrado (Schwarcz, 1982).

El método "serie de uranio" se basa en el crecimiento radiactivo de los hijos del uranio-238 ( $^{238}\text{U}$ ), entre los que se encuentra el torio 230 ( $^{230}\text{Th}$ ) con un tiempo de vida media de 75.38 Ka (kilo-años). Los huesos modernos no contienen torio, después de la muerte del espécimen, en la matriz del hueso hay una reducción del uranio soluble(VI) complejo a uranio insoluble (IV). El uranio es absorbido por la fase mineral del hueso y la formación del torio comienza. Así, el cociente de actividades entre uranio y torio aumenta paulatinamente.



El cociente de actividad  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  para condiciones de sistemas cerrados proporciona la edad del fósil, sin embargo, el desequilibrio entre  $^{234}\text{U}$  y  $^{238}\text{U}$  que se encuentra presente en el ambiente debe ser tomado en cuenta para calcular la edad (Cherdynstev, 1955).

En este estudio el cálculo de la edad es hecho a partir de un conjunto de principios que hacen posible la iteración de la siguiente función del tiempo, suponiendo que en la etapa inicial de fijación del uranio no se encuentra presente el  $^{230}\text{Th}$  (Ivanovich and Harmon, 1992).

Una vez que se obtienen las relaciones isotópicas  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  vs  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ , se puede determinar la edad de los fósiles utilizando la formula siguiente:

$$\frac{^{230}\text{Th}}{^{234}\text{U}} = \left( \frac{1 - e^{-\lambda_{230}t}}{^{234}\text{U}/^{238}\text{U}} \right) + \left( 1 - \frac{1}{^{234}\text{U}/^{238}\text{U}} \right) \frac{\lambda_{230}}{(\lambda_{230} - \lambda_{234})} (1 - e^{-(\lambda_{230} - \lambda_{234})t})$$

Donde  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  y  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ ,

son medidas de su radiactividad;  $\lambda_{230}$  y  $\lambda_{234}$  son las constantes de decaimiento del  $^{230}\text{Th}$  y  $^{234}\text{U}$  respectivamente.

Por otro lado, una vez que se obtienen las relaciones isotópicas, antes mencionadas, podemos determinar la edad de los fósiles de forma directa mediante la utilización de la figura 1.1. En dicha gráfica se reportan las relaciones isotópicas  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  vs  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ .

Una vez obtenidas las relaciones isotópicas, antes mencionadas, podemos determinar la edad de los fósiles de forma directa en la grafica que se presenta en la figura 1, en dicha gráfica se reportan las relaciones isotópicas  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  vs  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$

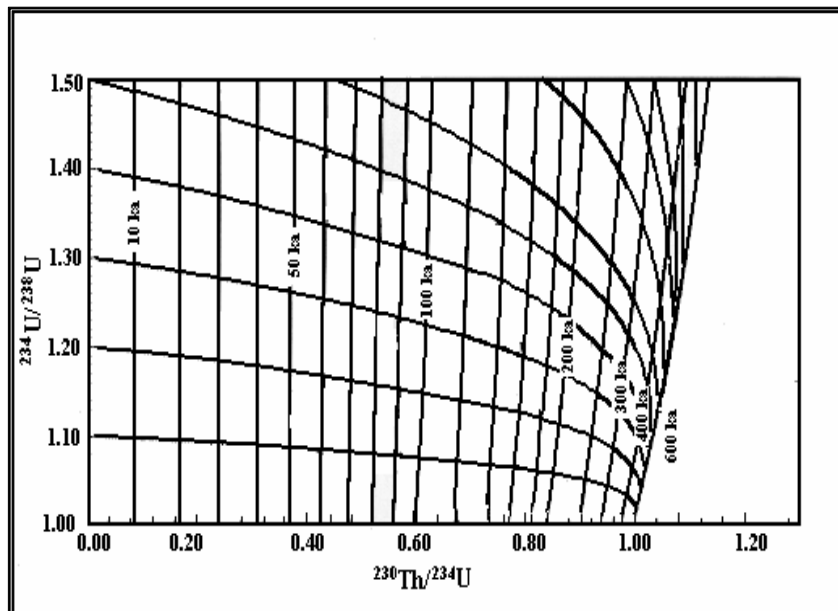


Figura 1 Relaciones isotópicas de uranio y torio para datar restos óseos

## Método

Para la determinación de las relaciones isotópicas  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  y  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ , las muestras se limpiaron y homogeneizaron y se disolvieron con ácido clorhídrico 1 M.

La separación de uranio y torio se lleva a cabo con la técnica cromatografía de reparto líquido-líquido que utiliza como soporte inerte a los gránulos de teflón, dichos gránulos se impregnan con ácido di-2-etil-hexil-fosfórico (D2EHPA) y posteriormente se hace pasar una solución de HCl concentrado como activador, el (D2EHPA) retiene al uranio y a los elementos  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ . Para la separación de los isótopos de uranio se usa HCl concentrado, para el torio con una mezcla de ácido oxálico 0.05M, ácido nítrico 0.5M.

Las soluciones así obtenidas con sus respectivos radioisótopos, se efectúa la electrodeposición en una celda electrolítica, sobre discos de acero inoxidable: el uranio con fluoruro de sodio 1M y torio con ácido sulfúrico 0.1.

Una vez obtenidos estos discos donde se encuentran  $^{230}\text{Th}$  y uranio  $^{238}\text{U}$ , depositados el torio (Th) y uranio  $^{234}\text{U}$  y  $^{238}\text{U}$ , se hace un conteo de éstos, mediante la detección de las partículas alfa que emiten estos radioisótopos, con un espectrómetro alfa.



Una vez que se obtienen las relaciones isotópicas, antes mencionadas, podemos determinar la edad de los fósiles de forma directa mediante la utilización de la ecuación anteriormente mencionada.

Para determinar la concentración de uranio en los huesos se utiliza la técnica de espectrofotometría UV visible.

Para determinar la eficiencia de la separación del uranio y torio con la técnica de cromatografía de reparto líquido-líquido se llevó a cabo el siguiente ensayo: se hizo pasar una solución estándar de U y Th de concentración conocida, en la columna cromatografía. La solución eluyente fue tratada como las demás muestras y fue electrodepositada, posteriormente se determinó la concentración de la solución sobrante con la técnica espectrometría U.V (visible), y con una relación matemática, se obtuvo el porcentaje de recuperación de uranio y torio. La tasa de recuperación de uranio (U) y torio (Th) es del orden de 95%.



## Resultados y discusión

Las muestras analizadas en esta investigación provienen del Estado de México.



Figura 2 Lugares de procedencia de los fósiles de mamut para su datación. En donde M1= Base aérea militar de Sta Lucía, Zumpango Edo. de Méx., M2= Colonia lago de Gpe. Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx. M3= Las tórtolas, Tultitlán, Edo. de Méx., M4= Santa Martha Acatitla, D.F. M5= Texcoco, Edo. de Méx.



En la tabla 1 se reportan los resultados de las relaciones isotópicas de  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  y  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$

MUESTRA	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	EDAD AÑOS
M1	$1.53 \pm 0.04$	$0.19 \pm 0.0038$	$1758 \pm 70.71$
M2	$1.02 \pm 0.02$	$0.013 \pm 0.0004$	N.P
M3	$1.40 \pm 0.0$	$0.313 \pm 0.0$	$39500 \pm 707$
M4	$1.00 \pm 0.0$	$1.55 \pm 0$	N.P
M5	N.P.	N.P.	N.P
M6	$1.36 \pm 0.04$	$0.27 \pm 0.04$	$26150 \pm 2616$

Tabla 1. Fechas obtenidas aplicando el método de “serie de Uranio”, Para la datación de huesos de mamut.

En la tabla 1 se observa que únicamente 3 de las 6 muestras de estudio pudieron ser datadas y son: M1, M3 y M6.

Con el fin de determinar la eficiencia del método radioquímica se determinó la concentración de uranio en microgramo por gramo de los restos óseos con la técnica de espectrofotometría UV visible.

MUESTRAS	CONCENTRACIÓN DE U EN $\mu\text{g/g}$
M1	2.5451
M2	16.546
M3	2.071
M4	10.048
M5	N.D
M6	42.985

Tabla 2. Concentraciones de uranio en las muestras. N.D. no se detecto

Algunas muestras de hueso de mamut no pudieron ser datadas, para saber que factores influyeron en este resultado se llevo a cabo la difracción de rayos-x de cada una de las muestras, en unas muestras se determino la presencia de hidroxiapatita y de fluoroapatita, presento alto grado de cristalinidad, por lo que se puede inferir que esta muestra no presento diagénesis (*el proceso de diagénesis puede conducir al deterioro*



continuo del hueso hasta llegar a su desintegración o a su fosilización a través de un proceso de mineralización), por otro lado hubo una muestra en cuyo difractograma se observó la presencia de cristobalita ( $\text{SiO}_2$ ), por lo que se puede concluir que esta muestra se fosilizó al través del tiempo. A la muestra cristalina y fosilizada se llevó a cabo una micrografía de cada una de ellas, la figura 2b. Se puede observar el conducto de Havers y un excelente estado de conservación, lo que sugiere que esta muestra fue enterrada en un lugar adecuado para su conservación, por lo tanto, los depósitos de uranio y de torio no se alteraron. La existencia del mamut en México se ha reportado de 26,300 a 12,600 B. C. en la cuenca de México. Lo que coincidió con nuestros resultados obtenidos con nuestra investigación (G. Rosales 2004).

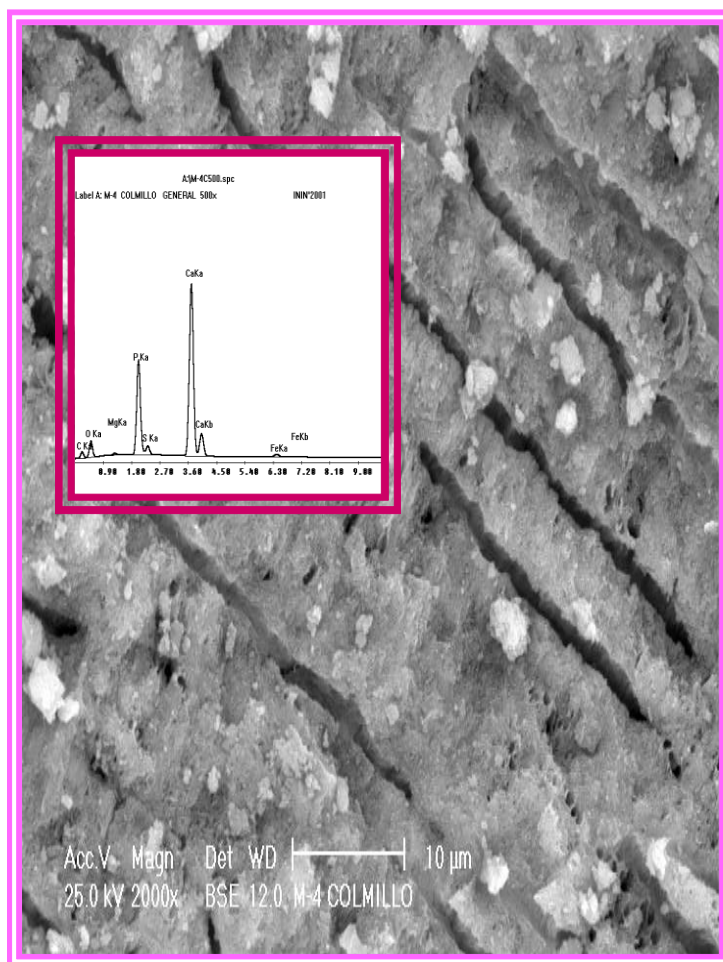


Fig. 2 . Micrografía de la M4, esta muestra está fosilizada en la que no se determinó la presencia de U ni Th.



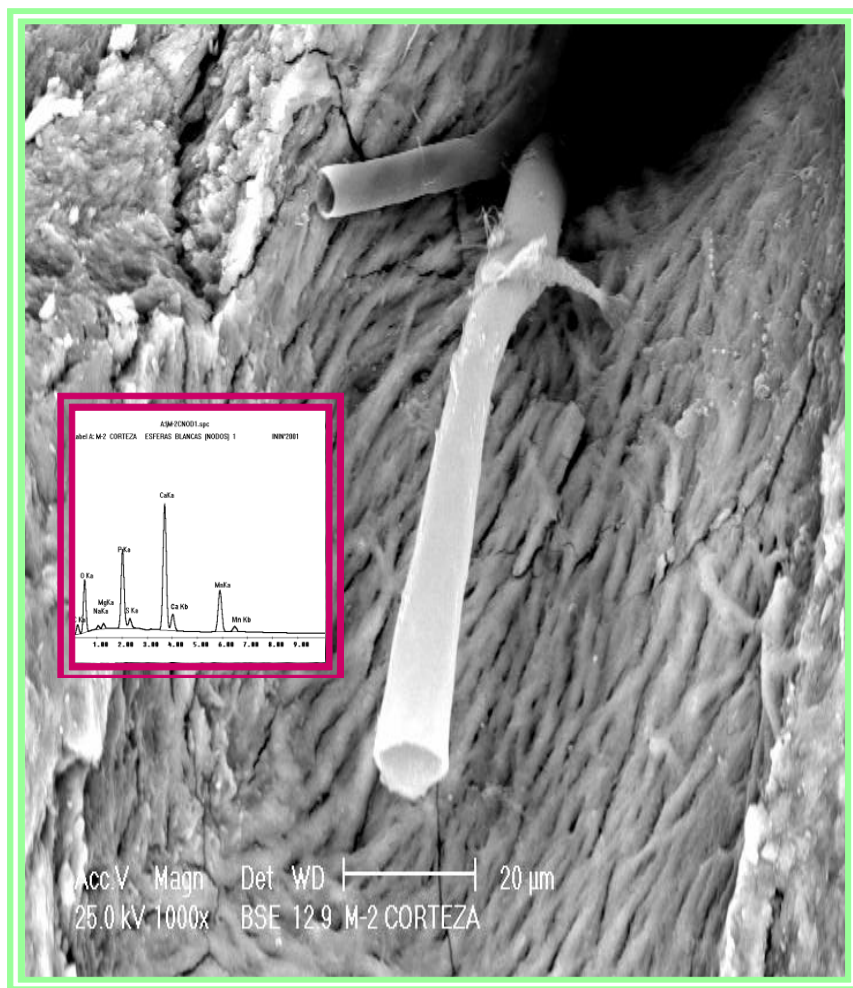


Fig. 3 En esta micrografía se puede observar excelente estado de conservación el conducto de Haver.

## Conclusiones

- Se comprobó que a pesar de pertenecer las muestras a la misma cuenca (M5 y M6), el grado de deterioro es completamente diferente, debido a la variabilidad de las condiciones en las que se encuentra el suelo en el que estuvieron enterrados los restos óseos. El estado de conservación del hueso, se puede verificar a través de los estudios de



barrido y difracción de rayos X y nos permite establecer las condiciones en las que el método radioquímica de fechado es aplicable con un buen grado de exactitud.

- Esta técnica de fechado es aplicable para muestras que tengan una edad superior a los 10000 años.
- Este investigación es importante, debido a que en nuestro país se cuenta con una gran cantidad de vestigios paleontológicos y no se tenía una técnica confiable, económica, y con un amplio rango de fechado, así que queda establecido el método "serie de uranio" para ser utilizado en el fechado de restos óseos.

## Bibliografía

- 1.- Bogdanov and R. A. Kuznetsoy. 1974. Cromatographic and a spectrometric method of determination of uranium. Translated from Radiokhimiya. Vol. 17. No. 4.
- 2.- Cherdynstev, V.V. 1955. On isotopic composition of radioelement. In natural objects and problems of geochronology. Moscu, URSS. P. 6-8.
- 3.- G. García-Rosales, E. Odoñez-Regil, L. Córdoba, D. Tenorio (2004). Uranium series dating applied to mammoth bones from Valley of Mexico. Radioanalytical and Nuclear Chemistry vol. 261, No. 3
- 4.- Ivanovich. M. and Harmon. 1992. Uranium – series disequilibrium: applications to earth, marine and environmental sciences. Clarendon Press, 2 editions. Oxford.
- 5.- Michel V. 2000. Problems Encountered in the U – Th dating of fossil red deer jaws (Bone, dentine, enamel) from Lazaret cave: a comparative study with early chronological data. Journal Archaeological of Science, Vol. 27. París, Francia.
- 6.- Schwarcz, .H.P. 1982. Applications of U - series dating to archaeometry. In Uranium Series disequilibrium, applications to environmental problems. Clarendon Press. Great Britain.