



MX0500268

XVI Congreso Anual de la SNM y XXIII Reunión Anual de la SMSR
XVI SNM Annual Meeting and XXIII SMSR Annual Meeting
Oaxaca, Oaxaca, México, Julio 10-13, 2005 / Oaxaca, Oaxaca, México, July 10-13, 2005

Síntesis e Irradiación de Molibdatos de Titanio Utilizados como Matrices de los Generadores $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$

Heriberto Díaz Velázquez^(1,2), Fabiola Monroy Guzmán⁽²⁾.

(1) Facultad de Química UAEM, Paseo Colón Esq. Paseo Tollocan, Toluca, Estado de México, heriberto072@hotmail.com

(2) Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, carretera México-Toluca Km. 36.5, Salazar, Estado de México, fmg@nuclear.inin.mx

Resumen

El $^{99\text{m}}\text{Tc}$ es el radioisótopo más utilizado en medicina nuclear. Comercialmente se produce a partir de generadores de $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$, compuestos por una columna cromatográfica rellena de óxido de aluminio, donde es depositado el ^{99}Mo , producto de la fisión del ^{235}U , adsorbido y eluido, mediante una solución salina, en forma de $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$. La producción de ^{99}Mo como resultado de la fisión, impone separaciones radioquímicas que generan significativas cantidades de desechos radiactivos de mediana actividad, e infligen elaboradas manipulaciones radioquímicas. Debido a esto, se han realizado intensas investigaciones para sustituir el ^{99}Mo producto de fisión, por compuestos químicos que al ser irradiados produzcan ^{99}Mo vía la reacción $^{98}\text{Mo}(n,\gamma)^{99}\text{Mo}$. En el presente trabajo se propone el uso de geles de molibdatos de titanio como matrices de estos generadores. Se sintetizaron molibdatos de titanio a partir de soluciones TiCl_3 y molibdatos de amonio y se estudió el efecto del pH final de los geles, la concentración del Ti^{+3} y la influencia del lavado de éstos sobre el desempeño de generadores. Las mejores eficiencias y purezas químicas, radioquímicas y radionúclidas de los geles como matrices de generadores $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ fueron conseguidas con el gel lavado, elaborado con la solución de TiCl_3 0.35M, y a un pH final de 5.9

1. INTRODUCCIÓN

El $^{99\text{m}}\text{Tc}$ es el radionúclido más utilizado en medicina nuclear a escala mundial. La producción de este radioisótopo, se realiza por medio de generadores $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$, que se preparan comercialmente con ^{99}Mo de alta actividad específica, adsorbido en alúmina (2mg $^{99}\text{Mo}/\text{g}$ alúmina) y que son eluidos cada 23 horas, para obtener el $^{99\text{m}}\text{Tc}$.

Investigaciones realizadas en geles de molibdatos de zirconio, que actúan como matrices de generadores $^{99}\text{Mo} \rightarrow ^{99\text{m}}\text{Tc}$, demuestran que se ha podido incorporar hasta un 30% en peso del ^{99}Mo , vía la reacción nuclear $^{98}\text{Mo}(n,\gamma)^{99}\text{Mo}$ [1]. En estos trabajos se ha demostrado que la irradiación de los geles previamente sintetizados afectan de manera importante a las eficiencias de los generadores, por lo que es necesario realizar la síntesis partiendo de $^{99}\text{MoO}_3$, situación que

implica el uso de sistemas de síntesis adecuados para la manipulación de materiales radiactivos y el consumo de por lo menos 7 horas de proceso [2, 3, 4]. De esta manera, con el objeto de encontrar nuevas alternativas de producción de generadores $^{99}\text{Mo} \rightarrow ^{99m}\text{Tc}$, fáciles de producir y con altas eficiencias de elución, se propone el desarrollo de un generador a base de geles de molibdatos de titanio, que serán irradiados después de ser sintetizados, dada la corta vida media del único radioisótopo producido por el titanio: ^{51}Ti ($t_{1/2}$ 5.79min).

Las características físicas y químicas de estos geles dependen fuertemente de sus condiciones de preparación [5, 6, 7]. Parámetros como el pH de las soluciones iniciales de molibdato y titanio, la relación molar Mo:Ti, el secado del producto final, etc. determinan la eficiencia y la pureza radioquímica del generador. Geles de titanio molibdato sintetizados a partir de soluciones de tetracloruro de titanio, ya han sido estudiados por nuestro grupo, sin embargo, la preparación de las soluciones de tetracloruro de titanio implican el trabajar con atmósfera controlada, dada la gran explosividad de este compuesto, así como la determinación de la concentración exacta de estas soluciones por métodos espectrofotométricos [8]. Estos trabajos han sugerido la utilización de relaciones molares 1:1 de Mo y Ti, así como la adición de la solución de titanio a la de molibdeno en el proceso de síntesis [9], debido a que han demostrado proporcionar las mejores características a los generadores $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$. En este trabajo se estudió el efecto que tienen las condiciones de pH final de los geles, así como del uso de soluciones de tricloruro de titanio a distintas concentraciones y del lavado del gel. Se trabajó con TiCl_3 a dos concentraciones, que fueron estabilizadas con agua y/o ácido clorhídrico, así como con distintos pH's finales de los geles, con el objetivo de determinar que influencia tienen estas condiciones de síntesis sobre la eficiencia de los generadores $^{99}\text{Mo} \rightarrow ^{99m}\text{Tc}$, así como sobre la pureza radionúclida, radioquímica y química de los eluatos.

2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

El procedimiento experimental comprende en primer lugar, la síntesis de los geles de molibdatos de titanio, en segundo término la irradiación de estos y finalmente, la preparación del generador $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ y la cuantificación de los parámetros asociados a su desempeño.

2.1 Síntesis de Molibdatos de Titanio

Para la preparación de los geles fue necesaria en principio la obtención de soluciones de molibdato de amonio y de tricloruro de titanio.

Las soluciones de molibdatos de amonio se elaboraron sinterizando 1g de trióxido de molibdeno (MoO_3) a 650°C a una velocidad de $10^\circ\text{C}/\text{min}$ durante una hora, y disolviendo este en 6.9 ml de NH_4OH 2M. Las soluciones de tricloruro de titanio de concentración 0.7M se obtuvieron directamente del frasco de reactivo, y las de concentración 0.35M se prepararon disolviendo en una relación 1:1 en agua y en HCl 6N la solución 0.71 M.

La síntesis de los geles se efectuó ajustando el pH de la solución de molibdatos de amonio a 4.5, y adicionando a ésta la solución de tricloruro de titanio a una velocidad aprox. de 40gotas/min; posteriormente se ajusta a diversos valores de pH con NH_4OH 7M. El sólido obtenido se colocó

en cajas Petri y se secó en una lámpara infrarroja por 24 h, y más tarde en una estufa a 40°C por 24 h. El sólido obtenido se dividió en dos porciones iguales, una de ellas se conservó sin cambios y la otra fue lavada con 200 mL de agua destilada utilizando papel filtro Whatman #1, para eliminar el exceso de sal formado; esta porción es descrita con “L” en la tabla I, donde se detallan las condiciones de síntesis utilizadas para cada gel.

Tabla I. Condiciones de síntesis de los geles de molibdatos de titanio

Gel	Ti:Mo	[TiCl ₃]/ disolvente	pH molibdatos	pH gel	Gel lavado	Geles Irradiados
1	1:1	0.35/HCl	4.5	5.9	1L	1,1L
2	1:1	0.35/HCl	4.5	8.5	2L	2, 2L
3	1:1	0.35/HCl	4.5	1	3L	3, 3L
4	1:1	0.35/HCl	4.5	9.0	4L	4, 4L
5	1:1	0.35/H ₂ O	4.5	9.0	5L	5, 5L
6	1:1	0.35/H ₂ O	4.5	5.4	6L	6, 6L
7	1:1	0.35/H ₂ O	4.5	9	7L	7
8	1:1	0.35/HCl	4.5	1	No lavado	No irradiado
9	1:1	0.7	4.5	8.7	9L	9

2.2 Irradiación de Molibdatos de Titanio y Construcción de Generadores ⁹⁹Mo/^{99m}Tc

Las porciones lavadas y no lavadas se colocaron en viales de polietileno de alta densidad y en contenedores del mismo material, y fueron llevados al reactor *Triga Mark III* del ININ, donde se irradiaron con un flujo de neutrones de $1.65 \times 10^{12} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, por 2 h. Posteriormente los geles se colocaron en columnas de vidrio marca Wheaton de 80 X 2mm, provistas de una capa de vidrio sinterizado, sobre la que se colocó un filtro y 1g alúmina (Al₂O₃) lavada previamente con ácido clorhídrico 1N, seguida de otro filtro, encima del cual se alojó el material irradiado.

2.3 Determinación de las Características de los Generadores ⁹⁹Mo/^{99m}Tc

La columna se lavó con 20mL de una solución de NaCl 0.9% y se eluyó con la misma solución cada 23h durante 3 días, para conocer el volumen necesario para extraer todo el ^{99m}Tc. Se cuantificó la actividad de ⁹⁹Mo y ^{99m}Tc contenida en la columna en una cámara de ionización

CAPINTEC modelo CRC-10R. La relación entre la actividad de ^{99m}Tc eluido de la columna, cuantificada en la cámara de ionización, y la actividad de ^{99m}Tc teórico de ésta, nos proporciona la eficiencia de la elución.

El contenido de ^{99}Mo de los eluatos, es decir, su pureza radionúclida, se cuantificó a partir de las actividades del ^{99m}Tc y ^{99}Mo presentes en los eluatos, determinadas en un detector de Germanio Hiperpuro modelo 72229P a 10cm entre el detector y el eluato, con la correspondiente corrección por tiempo de decaimiento desde el final de la elución hasta el conteo; la relación entre la actividad del ^{99}Mo y la actividad total del eluato determinan la pureza radionúclida.

La pureza radioquímica, es decir la cantidad de ^{99m}Tc en forma de TcO_4^- en el eluato, se determinó mediante cromatografía ascendente en papel, utilizando como fase móvil una mezcla de agua y metanol a una relación 15:85 respectivamente.

La determinación de la pureza química se realizó mediante la cuantificación del titanio y aluminio presentes en los eluatos. La concentración titanio se determinó mediante una identificación con peróxido de hidrógeno al 31.3%, aplicando una gota a cada eluato y observando la aparición de una coloración amarilla, que surge a partir de 50ppm [8], y la del aluminio mediante la prueba de la aluminona, aplicando en un extremo de una tira de papel impregnada de éste reactivo, una solución patrón de Al^{+3} , y en el otro extremo una gota de eluato, comparando las intensidades en la coloración de ambas aplicaciones [9]. El pH de los eluatos y los lavados se determinó 30 días después de realizadas las eluciones. Tanto los geles lavados como los no lavados fueron caracterizados mediante microscopía electrónica de barrido de alto vacío (SEM) con un equipo marca Philips XL30 provisto de un sistema analizador EDEX, a una distancia de trabajo de 10 ± 10^{-6} mbars y magnificaciones a 500 y 1000X; se utilizó también difracción de rayos X, mediante un equipo marca Siemens modelo D5000, con tubo de cobre, λ de 1.5406Å y un filtro de níquel, operando con el programa ININ 1 a 2Θ 1 de 2.5 y 2Θ 2 de 70, sd 0.02, st 1s, rt 58min.

3. RESULTADOS

Las características de los geles sintetizados estuvieron en función de los pH's finales, del tipo de diluyente usado en la preparación de las soluciones de titanio, y del lavado que en cada gel se realizó para la eliminación del cloruro de amonio formado durante la síntesis. Tales características se dividen en: eficiencia de elución, pureza radionúclida, pureza radioquímica y pureza química.

3.1 Geles no Lavados

3.1.1 Eficiencia de elución

De acuerdo a la tabla II, los geles sintetizados a pH's ácidos, es decir, los sintetizados a pH finales de 1 y 5.9, muestran eficiencias de elución promedio más altas que los sintetizados a pH's básicos (~ 9). La eficiencia de los generadores preparados con las soluciones 0.35 M diluidas en HCl 6N a pH's de 1 y 5.9, fue superior a los sintetizados a pH's de 8.5 y 9. Este mismo

comportamiento fue obtenido en los geles sintetizados a partir de soluciones de titanio diluidas en agua (gel 5 y 7); sin embargo existe una notoria diferencia que hace más eficientes a los diluidos en HCl. La tabla II también muestra que el gel 3 presenta la mejor eficiencia promedio.

Tabla II. Características de los geles no lavados

gel	Vol. el. (mL)	Eficiencia (%)	% ⁹⁹ Mo	% ^{99m} TcO ₄ ⁻	Al ⁺³	pH	Ti ⁺³
1	5,9	90	0,0046	74,82	>10ppm	4,4	<50ppm
2	6,15	72,8	0,0028	47.02	<10ppm	4,4	<50ppm
3	6,3	94,8	0	89,53	<10ppm	4,8	<50ppm
4	5,9	64,7	0,0182	76,15	>10ppm	4,4	<50ppm
5	5,9	69,2	0,0006	94,56	<10ppm	4,4	<50ppm
6	5,9	80.2	0,02662	95.57	<10ppm	4,6	<50ppm
7	4	62,1	0,04196	96,36	<10ppm	4.5	<50ppm
9	4,4	88,5	0,0008	52,10	<10ppm	4.7	<50ppm

3.1.2 Curvas de elución

En general, todos los geles sintetizados presentaron curvas de elución con comportamientos tipo Gaussiano, mismas que evidenciaron los volúmenes de elución, que para los geles no lavados alcanzaron los 6 mL de solución salina como se muestra en la figura 1.

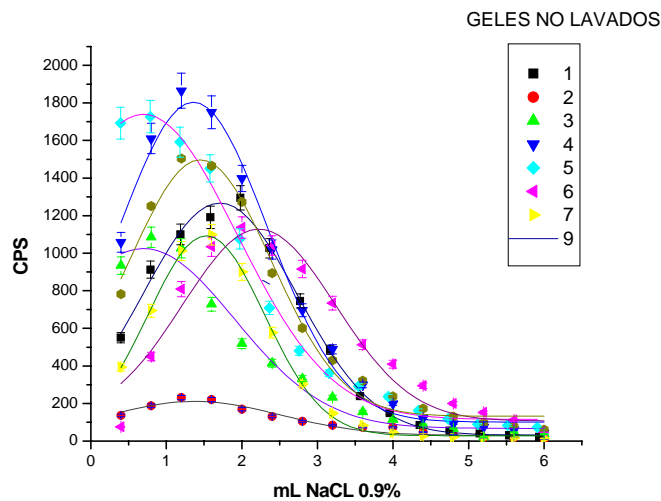


Figura 1 Curvas de elución para geles no lavados

3.1.3 Pureza radionúclida.

El contenido de molibdeno en los eluatos se ve afectado de manera importante por las condiciones de pH final de cada gel. A pH's ácidos es apreciable una considerable disminución en la pureza radionúclida con respecto a los geles sintetizados a pH básico. Por otra parte, el diluyente usado para la preparación de las soluciones de titanio también influye significativamente sobre la pureza radionúclida, ya que excepto el gel 5, los generadores compuestos de geles elaborados con las soluciones 0.35 M, diluidas en HCl, y las 0.7 M no diluidas, alcanzaron porcentajes promedio ampliamente menores de ^{99}Mo que las 0.35 M diluidas en agua.

3.1.4 Pureza radioquímica

Este parámetro está relacionado con la forma química en la que se encuentra el ^{99m}Tc , la que para nuestros fines, es $^{99m}\text{TcO}_4^-$, y su valor lo determina el contenido de esta especie en relación a otras de ^{99m}Tc presentes. Según los resultados obtenidos, tanto el diluyente usado para las soluciones de TiCl_3 , como el pH final del gel, tienen un efecto importante sobre la pureza radioquímica, ya que cuando se utiliza HCl como diluyente, la pureza radioquímica se ve considerablemente reducida. El gel 4, sintetizado a pH de 9.0 con TiCl_3 0.35M en ácido clorhídrico, adquirió menor pureza radioquímica que el sintetizado al mismo pH con dilución en agua (gel 5).

3.1.5 Pureza química

Las pruebas analíticas cualitativas indican que solo en los geles 1 y 4 existieron diferencias en relación al contenido de Aluminio con respecto a los otros geles, el cual excedió las 10 ppm, lo que significa que están fuera de los límites permitidos por la National Radiopharmacology Comition (NRC) para el uso de radiofármacos. De igual forma, las pruebas del peróxido de hidrógeno indican que el contenido de titanio no rebasó el límite de 50 ppm en ninguno de los casos.

3.1.6 pH de los eluatos

Los pH's promedio de los eluatos de los geles no lavados oscilan entre 4.4 y 4.8. En el caso específico de los geles 4 y 5, sintetizados a pH's básicos, los eluatos no mostraron el comportamiento básico que hipotéticamente mostrarían, por lo que el pH de los eluatos no se puede asociar directamente a las condiciones de síntesis. Estos valores de pH se ajustan al rango de pH establecido por las Farmacopeas Americana y Europea, para ser utilizados como eluatos radiactivos en medicina nuclear.

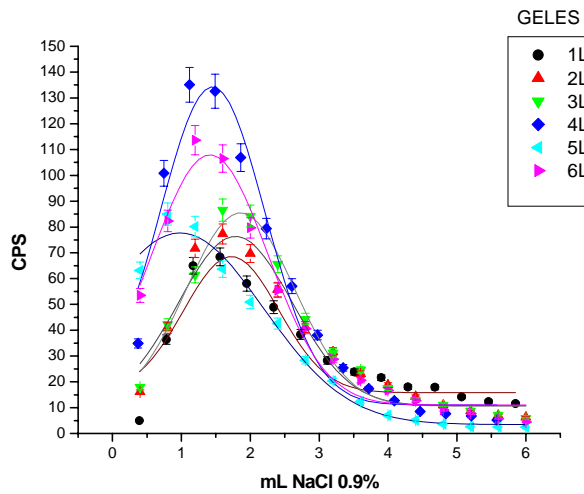


Figura 2 Curvas de elución para los geles lavados

3.2 Geles Lavados

3.2.1 Eficiencia de elución

De acuerdo a la tabla III, todos los geles lavados presentaron eficiencias de elución por encima del 90%, lo que significa que el lavado tuvo un efecto decisivo en el mejoramiento de la eficiencia. La mejor eficiencia obtenida, fue la conseguida por el gel 3L, que fue sintetizado con un pH final ácido (1) y con la solución de titanio diluida en ácido clorhídrico. El efecto substancial que el pH tuvo sobre la eficiencia de los geles no lavados disminuye ampliamente con el proceso de lavado dadas las pocas variaciones observadas en la tabla III, sin embargo es posible aun esté presente, pues los geles sintetizados a pH's básicos mantienen eficiencias ligeramente menores a los sintetizados a pH's básicos.

Tabla III. Características de los geles lavados

Gel	Vol. El. (mL)	Eficiencia (%)	% ⁹⁹ Mo	% ^{99m} TcO ₄ ⁻	Al ⁺³	pH	Ti ⁺³
1L	3,7	95,36	0	94,15	<10ppm	5,9	<50ppm
2L	4,1	94,31	0,0167	94,89	<10ppm	5,7	<50ppm
3L	4,1	95,66	0,013	92,54	<10ppm	5,5	<50ppm
4L	4,09	94,62	0,009	76,51	<10ppm	6	<50ppm
5L	4	93,49	0,021	67,09	<10ppm	6,5	<50ppm
6L	3.9	92.65	0	96.35	<10ppm	6,3	<50ppm

3.2.2 Curvas de elución

Las curvas de elución para los geles lavados mantuvieron el mismo comportamiento que en los geles no lavados, de acuerdo a la figura 2, no obstante, el volumen de elución se vio notoriamente afectado, en gran parte debido al efecto que tiene la sal en la elución. La eliminación de la sal con el lavado causa una disminución de hasta en 2 mL el volumen de elución.

3.2.3 Pureza radionúclida

El contenido de ^{99}Mo en los geles lavados no varió significativamente del obtenido en los no lavados, incluso en los geles 2L, 3L y 5L (tabla III) se nota un ligero aumento en este valor debido principalmente a los efectos del lavado, que provoca una mayor salida de ^{99}Mo al no haber impurezas salinas. A pesar de esto, en los geles 1L y 6L no se detectó la presencia de ^{99}Mo , y el porcentaje más alto obtenido fue de 0.021% para el gel 5L.

3.2.4. Pureza radioquímica

Los geles sintetizados a pH's básicos, excepto el 2L, mantienen las purezas radioquímicas más bajas, mientras que los elaborados con pH's finales bajos, tienden a presentar valores más altos (ver Tabla III).

3.2.5 Pureza química

El nivel de aluminio, superior a las 10 ppm en geles no lavados, disminuyó a niveles inferiores a éste en los eluatos de sus respectivos geles lavados. En lo referente a los demás valores de titanio y aluminio para los geles lavados, no se observaron coloraciones que revelaran un aumento en sus concentraciones en los eluatos, por lo que la pureza química consigue los valores óptimos para el uso de estos eluatos radiactivos en medicina nuclear.

3.2.6 pH de los eluatos

Después de medir el pH de los eluatos en los geles lavados, se observó un notorio aumento de éste con respecto a los no lavados, ya que los valores para estos geles oscilaron entre 5.5 y 6.5, debido principalmente a que durante el lavado, especies con carácter ácido fueron eliminadas, lo cual aumentó el carácter básico de los geles.

3.4 Caracterización de los Geles de Molibdatos de Titanio.

3.4.1 Microscopía electrónica

El análisis por microscopía electrónica reveló principalmente la existencia de grandes cantidades de sal en forma de sólidos blanquizcos incrustados en las paredes de las partículas de gel, las cuales dificultan la elucidación de la estructura, forma y textura de las mismas (figura 3); sin embargo, al ser lavados los geles, es posible observar la presencia de estructuras amorfas y con textura lisa, es decir, sin irregularidades (figura 4).

Figura 3 Micrografía del gel 2

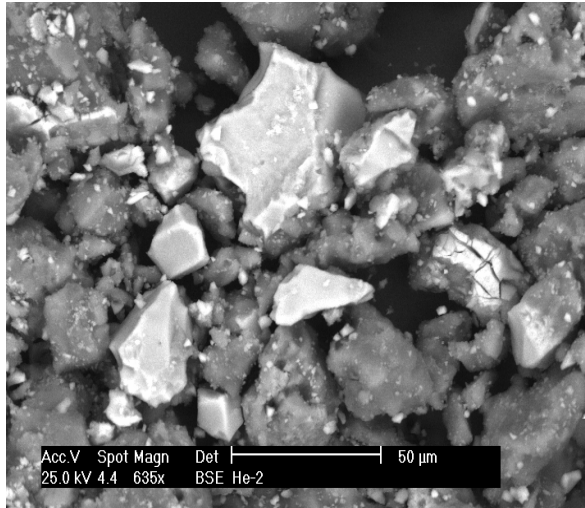
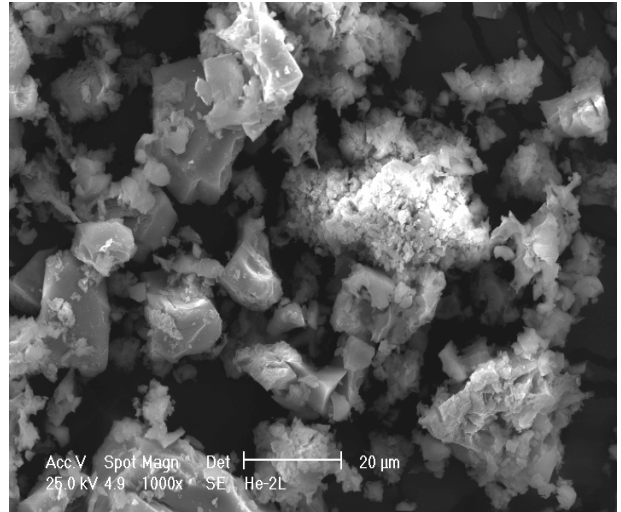


Figura 4 Micrografía del gel 2L



El sistema analizador por energía de rayos X dispersivos (EDEX) determinó la composición elemental de los geles, de la que corrobora para ambos casos (lavados y no lavados) la relación molar 1:1 de Ti y Mo, así como la presencia de titanio, molibdeno y oxígeno en los geles lavados (figura 5), así como cloro y nitrógeno como elementos adicionales en los no lavados (figura 6).

Figura 5 Espectro EDEX del gel 2L

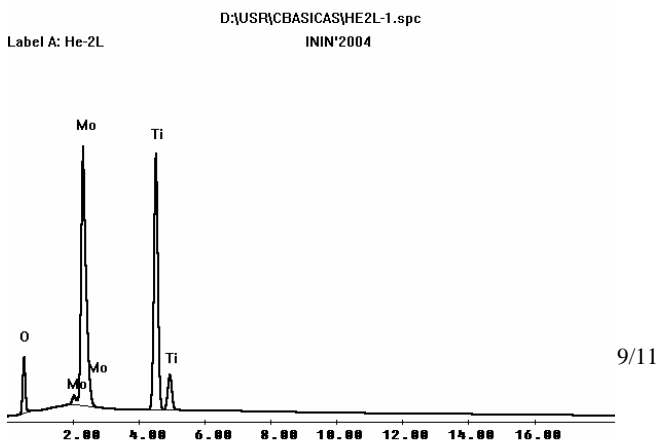
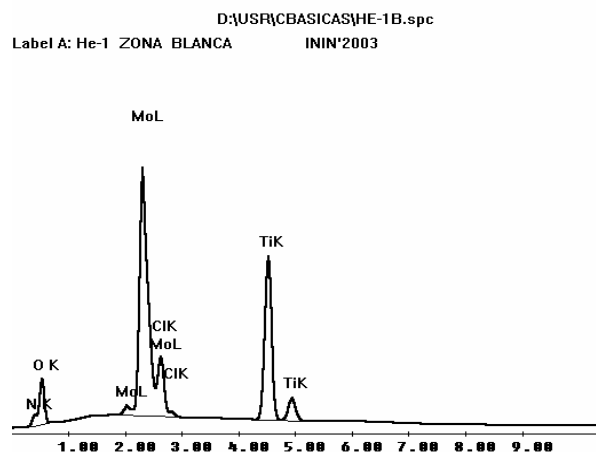


Figura 6 Espectro EDEX del gel 1



3.4.2 Difracción de rayos X

El comportamiento de los difractogramas con respecto a los geles lavados y no lavados es una evidencia de que el único compuesto con estructura cristalina presente en los geles no lavados fue el cloruro de amonio, dados los patrones de difracción exhibidos (figura 7), y de que en los lavados no existen estructuras cristalinas (figura 8).

Figura 7 Difractograma del gel 1

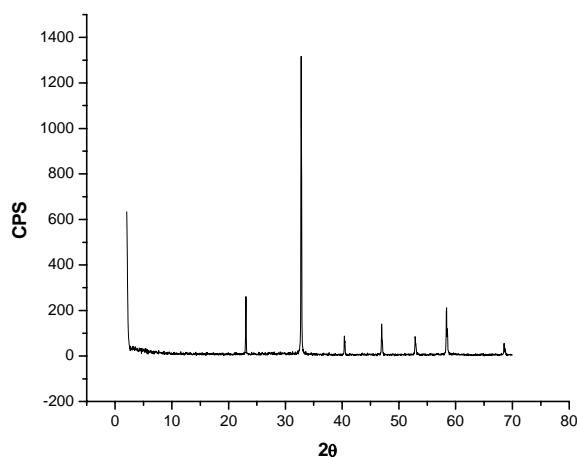
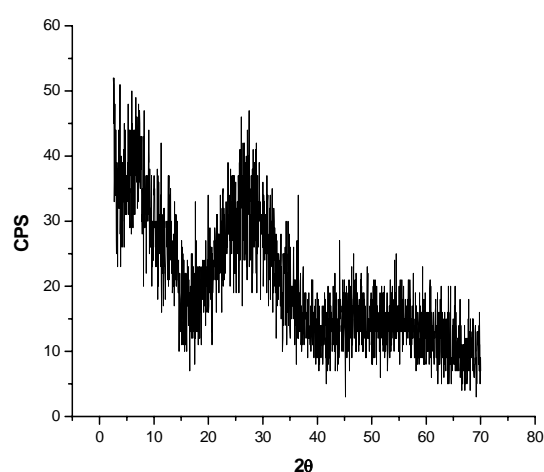


Figura 8 Difractograma del gel 1L



4. CONCLUSIONES

Las condiciones de pH final de cada gel, así como la solución de titanio utilizada en la síntesis de molibdatos de titanio a base de tricloruro de titanio y molibdato de amonio, influyen de manera importante en la eficiencia de los generadores $^{99m}\text{Tc}/^{99}\text{Mo}$, así como en la pureza radioquímica, radionúclida y química de los eluatos de ^{99m}Tc . Los geles que se sintetizan en medios ácidos y con soluciones de TiCl_3 0.35M, producen las mejores eficiencias de elución promedio para los geles no lavados. El gel 3 fue el que, para los geles no lavados, proporcionó la mejor eficiencia en esta serie, así como la mejor pureza radionúclida y una pureza radioquímica que entra en el rango adoptado por los organismos reguladores.

Por otro lado, el lavado de los geles aumenta hasta a 96% la eficiencia de elución, así como también la pureza radioquímica, llegando hasta 96%. En esta serie se llegaron a obtener eluatos con una total ausencia de molibdeno en el medio. De igual manera los pH's se vieron afectados por el proceso de lavado, aumentando hasta 6.5 con respecto al de 4.8 para los no lavados. Tanto en los geles lavados como en los no lavados, se obtuvieron altas purzas químicas, es decir, niveles de aluminio y titanio menores a 10 y 50 ppm respectivamente. En esta serie el gel que produjo los mejores resultados fue el 1L, sintetizado con una solución 0.35M de TiCl_3 en HCl 6N a un pH final de 5.9, dado que la combinación de sus características resultó la más adecuada.

Dado el mejoramiento en las propiedades de los geles como matrices de generadores $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ en geles lavados, se atribuye al proceso de lavado, ya que al eliminar la sal, suprime el efecto de las impurezas dentro del gel, que provoque en primer lugar un gasto extra de solución salina, lo que causa un aumento en los volúmenes y bajas eficiencias de elución; asimismo las purezas radioquímicas son desfavorecidas por posibles reacciones óxido-reducción entre el molibdeno y el titanio, con la formación de especies reducidas que modifican la forma química del $^{99\text{m}}\text{Tc}$ producido.

AGRADECIMIENTOS

Al personal que labora en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares por las facilidades otorgadas para la realización del trabajo, así como al CONACYT, quien lo financió mediante el proyecto CONACYT J33049.

REFERENCIAS

1. Díaz, A. L. V., Evaluación de la Influencia del pH en la Eficiencia del Generador $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ a base de Molibdatos de Zirconio, tesis de licenciatura, ITT-ININ, 2003.
2. Boyd, R. E., Appl. Radiat. Isot. 1997, 42(8), 1027-1033.
3. Evans, J. V., Moore, P. W., Shying, M. E. and Sodeau, J. M., Appl. Radiat. Isot. 1987, 38(1), 19-23.
4. Saraswathy, P., Sarkar, S. K., Patel, R. R. Arora, S. S. and Narasimhan D. V. S., *Radiochim. Acta*, 1998, 83, p. 97-102.
5. Vanaja, P., Ramamoorth, N., Saraswathy, P. I. And Mani, R. S., *radiochim. Acta*, 1987, 42, 49-52.
6. El Absy, M. A., El Nagar, M. and Audah, A. I. *J. radioanal. Nucl. Chem., Articles*, 183(2), 339-3350, 1994.
7. Veseley, V. and Pekarek, V. *Talanta, radioanal. Nucl. Chem.* 19, 219-262, 1972.
8. Special issue on technetium-99m, edited by W. C. Eckelman, B. M. Coursay, *Int. J. Appl. Radiation Isótopes*, 1982, 33, 10.
9. Kodama, K., *Methods of Quantitative Inorganic Analysis*, John Wiley & Sons., Great Britain, 1963.
10. Cortes R. O., Generador $^{99}\text{Mo}-^{99\text{m}}\text{Tc}$ a Base de Geles de Molibdatos de Titanio, tesis de licenciatura, UNAM-ININ, 2004