



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Química

Determinación de los niveles de Torio en Suelos.

Autor:

Gutiérrez Diez, Raquel

Tutor:

**Sánchez Báscones, María Isabel.
Dpto. de Química Analítica.**

Valladolid, Junio 2018.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría comenzar expresando mi más sincero agradecimiento a mi tutora, Isabel Sánchez, por darme la oportunidad de realizar este trabajo en el departamento de Química Analítica, además del apoyo y la confianza que ha depositado en mí durante estos meses.

Agradecer a Edmundo toda su ayuda aportada para que esto saliera adelante, gracias por transmitirme tus conocimientos, tu tiempo, tu paciencia y sobre todo por solucionar todas mis dudas y problemas.

Agradecer a mi compañera Silvia, a Rafa, a Marta, a Begoña y demás compañeros con los que he compartido horas de laboratorios y han hecho que esas horas fueran menos duras.

A mi familia, en especial a mis padres y a mi hermano, sin ellos esto no hubiera sido posible, gracias por aguantar mis frustraciones y quejas, gracias por apoyarme y levantarme cuando más lo he necesitado durante todos estos años, pero, por su puesto gracias por animarme siempre y enseñarme que uno en la vida debe de hacer lo que le gusta.

A ti, Alberto, por darme fuerza cada día, por mostrarme tu cariño y tu confianza en mí, simplemente gracias por todo lo que me estás dando.

A mis amigos y amigas, por sacarme una sonrisa por animarme y motivarme, gracias por creer en mí y darme energía, por sacarme de casa cuando los días eran demasiado oscuros y gracias por entenderme en cada momento.

Sin vosotros y toda la gente que ha estado presente durante estos años de ingeniería esto no hubiera sido posible.

Muchas gracias a todos.

RESUMEN Y PALABRAS CLAVES

Este trabajo forma parte de un proyecto de investigación más amplio realizado en el Departamento de Química Analítica de la Universidad de Valladolid. Centrado en la caracterización y análisis del contenido de radionúclidos en muestras de suelo provenientes de México. En concreto, mi estudio se ha centrado en el Torio como principal elemento de estudio. Para su caracterización se han utilizado diversas técnicas analíticas: fluorescencia y difracción de rayos X, ICP-OES, ICP-MS y espectrometría alfa, con el objetivo de poder comprobar en las diferentes muestras si los niveles de concentración obtenidos por los diferentes isótopos de Torio de manera experimental están dentro de los rangos aceptables para futuros usos. Se ha llevado a cabo cada uno de los pretratamientos de las muestras necesarios para poder analizarlas por las diversas técnicas mencionadas, calibración y medición de forma que, tras su lectura, se han obtenido datos de concentración y actividad para los diferentes radioisótopos. Por último, se ha realizado un estudio estadístico que nos ha permitido comparar las diferentes técnicas analíticas, hemos podido establecer que la técnica de espectrometría alfa es la más apropiada para analizar Torio.

Torio, espectrometría alfa, radioisótopos, actividad, concentración, rendimiento químico y espectros son las palabras clave para definir este proyecto.

ABSTRACT AND KEYWORDS

This work is part of a global research project belonging to the Department of Analytical Chemistry of the University of Valladolid. It has focused on the characterization and analysis of radionuclide content in soil samples from Mexico, specifically my Project is focusing on thorium as the main element of study. For this purpose, several analytical techniques have been carried out: X-ray fluorescence and diffraction, ICP-OES, ICP-MS and alpha spectrometry, with the aim of being able to verify in the different samples if the concentration levels obtained for the different isotopes of Thorium in an experimental way are within the acceptable range for future uses. It has been necessary apply the specific pre-treatments of the samples necessary to be able to analyze them by the different techniques mentioned, after reading them, concentration and activity data have been obtained for the different radioisotopes. Finally, a statistical study and comparison of analytical techniques has been carried out, through which it has been decided that the alpha spectrometry technique is the most appropriate for analysing Thorium.

Thorium, alpha spectrometry, radioisotopes, activity, concentration, chemical performance and spectra are the key words to define this project.

ÍNDICE

Capítulo 1:

OBJETIVOS	15
-----------------	----

Capítulo 2:

INTRODUCCIÓN	19
--------------------	----

2.1 TORIO	21
-----------------	----

2.1.1 Origen del Torio	24
------------------------------	----

2.1.2 Importancia del estudio del Torio	26
---	----

2.2 RADIOACTIVIDAD	27
--------------------------	----

2.2.1 Radiación α	27
-------------------------	----

2.3 TÉCNICAS DE ANÁLISIS	29
--------------------------------	----

2.3.1 Técnicas de conteo de fotones	30
---	----

2.3.2 Técnica de conteo de iones	31
--	----

Capítulo 3:

ZONA DE ESTUDIO	35
-----------------------	----

3.1 OROGRAFÍA E HIDROGRAFÍA	41
-----------------------------------	----

3.2 CLIMA	43
-----------------	----

3.3 LEGISLACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	44
---	----

Capítulo 4:

METODOLOGÍA	47
-------------------	----

4.1 FLUORESCENCIA RAYOS X	51
---------------------------------	----

4.1.1 Procedimientos para la preparación de la muestra	52
--	----

4.2 DIFRACCIÓN RAYOS X	52
------------------------------	----

4.2.1 Procedimientos para la preparación de la muestra	53
--	----

4.3 ICP-MASAS	53
---------------------	----

4.3.1 Principios del plasma de acoplamiento inductivo de argón	55
--	----

4.3.2 Procedimientos para la preparación de la muestra	57
--	----

4.4 ICP-OES	59
-------------------	----

4.4.1 Procedimientos para la preparación de la muestra	60
--	----

4.5 ESPECTROMETRÍA ALFA	61
-------------------------------	----

4.5.1 Procedimientos para la preparación de la muestra	65
--	----

4.5.2 Sofware Alpha Acquisition & Analysis	68
4.6 PRECAUCIONES EN LAS DIFERENTES TÉCNICAS ANALÍTICAS.....	76
Capítulo 5:	
CÁLCULOS.....	79
5.1 ICP-OES.....	81
5.2 ESPECTROMETRÍA ALFA	87
5.3 ICP-MS	95
Capítulo 6:	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	103
6.1 RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE ICP-OES	105
6.2 RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE ICP-MS	108
6.3 RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE ESPECTROMETRÍA ALFA	110
6.4 RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE DIFRACCIÓN DE RAYOS X Y MEDIANTE FLUORESCENCIA.....	117
6.5 COMPARACIÓN DE TÉCNICAS ANALÍTICAS	126
Capítulo 7:	
CONCLUSIONES.....	129
Capítulo 8:	
LÍNEAS FUTRURAS	129
Capítulo 9:	
BIBLIOGRAFÍA	129
Anexos.....	129
Anexo I	
ESPECTROMETRÍA ALFA	129
Anexo II	
ICP-MS.....	129
Anexo III	
ICP-OES	129
Anexo IV:	
FLUORESCENCIA Y DIFRACCIÓN DE RAYOS X.....	129

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2. 1: Serie de decaimiento del Torio natural	23
Ilustración 2. 2: Serie decaimiento del Urano natural.....	24
Ilustración 2. 3: Pozo potencial debido al núcleo.....	29
Ilustración 3. 1: Localización de los puntos de muestreo	38
Ilustración 3. 2: Mapa orográfico de Zacatecas	42
Ilustración 3.3: Mapa hidrográfico de Zacatecas	43
Ilustración 3. 4: Mapa climatológico de Zacatecas	44
Ilustración 4. 1:Esquema del procedimiento a seguir para cada técnica.....	49
Ilustración 4. 2:Mufla.....	50
Ilustración 4. 3:Funcionamiento de la técnica por fluorescencia de rayos X ..	51
Ilustración 4. 4: Equipo de difracción de rayos X.....	53
Ilustración 4. 5: Equipo ICPMS.....	54
Ilustración 4. 6:Trayectoria de una partícula cargada en un campo constante	55
Ilustración 4. 7: Antorcha, fuente de iones y conos de muestreo en un equipo de ICP-MS	56
Ilustración 4. 8:Horno de digestión.....	57
Ilustración 4. 9: Reactores para el horno microondas	58
Ilustración 4. 10: Cama de arena	58
Ilustración 4. 11: Equipo ICP-MS del LTI	59
Ilustración 4. 12: Funcionamiento ICP-OES	60
Ilustración 4. 13: Equipo de medición ICP-OES del LTI	61
Ilustración 4. 14: Equipo de espectrometría alfa	61
Ilustración 4. 15: Ejemplo muestra CRM-IAEA-B.....	62
Ilustración 4. 16: Ejemplo muestra L2M17	63
Ilustración 4. 17: Ejemplo muestra L2M21	64
Ilustración 4. 18: Ejemplo muestra L2M24-B.....	64
Ilustración 4. 19: Extracción del Torio por cámara de vacío.....	66
Ilustración 4. 20: Equipo de electrodeposición	67
Ilustración 4. 21: Electrodeposición muestras L1M9 y L1M10	67
Ilustración 4. 22: Equipo de medición espectrometría alfa del LTI.....	68
Ilustración 5. 1:Curva de calibrado sin blanco.....	82
Ilustración 5. 2: Curva de calibrado con blanco	82

Ilustración 5. 3: Espectro muestra L2-M19	87
Ilustración 5. 4: Curva de regresión con STD-Int y con blanco	97
Ilustración 5. 5: Curva de regresión con STD-Int y sin blanco	97
Ilustración 6. 1: Diagrama de cajas y bigotes ICPOES.....	107
Ilustración 6. 2: Distribución normal para datos ICP-OES.....	107
Ilustración 6. 3: Diagrama de cajas y bigotes ICP-MS.....	109
Ilustración 6. 4:Distribución normal para datos ICP-MS	110
Ilustración 6. 5: Diagrama de caja y bigote para la concentración en espectrometría alfa.....	112
Ilustración 6. 6: Distribución normal para la concentración en espectrometría alfa	113
Ilustración 6. 7: Diagrama de caja y bigotes para rendimiento químico en espectrometría alfa	113
Ilustración 6. 8:Distribución normal para datos del rendimiento químico en espectrometría alfa	114

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1:Resumen características Torio.....	22
Tabla 2. 2: Isotopos del Torio en la naturaleza.....	23
Tabla 3. 1: Coordenadas geográficas y estados de los puntos de muestreo lote 2.....	40
Tabla 3. 2: Localización y estados de los puntos de muestreo lote 1	40
Tabla 4. 1: Tabla de energías para los diferentes isotopos de Torio en las muestras.....	63
Tabla 5. 1:Tabla de calibrado ICP-OES.....	81
Tabla 5. 2: Parámetros y datos ICP-OES.....	82
Tabla 5. 3: Cálculos ICP-OES	86
Tabla 5. 4: energía y abundancias de los isotopos de Torio.....	87
Tabla 5. 5: Tabla de eficiencias	89
Tabla 5. 6: Tabla regresión ICP-MS.....	96
Tabla 5. 7: Parámetros y datos ICP-MS	97
Tabla 5. 8: Cálculos muestras ICP-MS.....	101
Tabla 6. 1: Resultados obtenidos mediante ICP-OES.....	106
Tabla 6. 2: Datos estadísticos ICP-OES	106
Tabla 6. 3: Resultados obtenidos mediante ICP-MS	109
Tabla 6. 4: Datos estadísticos ICP-MS.....	109
Tabla 6. 5: Resultados obtenidos mediante espectrometría alfa	111
Tabla 6. 6: Datos estadísticos para la concentración de espectrometría alfa	112
Tabla 6. 7: Datos estadísticos para el rendimiento químico en espectrometría alfa	113
Tabla 6. 8: Concentraciones en el estado de Aguascalientes	115
Tabla 6. 9: Concentraciones en el estado de Zacatecas	115
Tabla 6. 10: Resultados estadísticos para ambos estados	116
Tabla 6. 11: Resultados de concentración de Torio por Fluorescencia y difracción	125
Tabla 6. 12: Resultado comparación de técnicas Esp.Alfa e ICP-MS	127
Tabla 6. 13: Resultados estadísticos comparación de espec. alfa e ICP-MS	128

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1:Límite de detección	83
Ecuación 2: Límite de cuantificación.....	83
Ecuación 3: Concentración de dilución ICP-OES.....	83
Ecuación 4: Incertidumbre concentración de dilución ICP-OES	83
Ecuación 5: Factor de dilución	83
Ecuación 6: Concentración de extracto.....	84
Ecuación 7: Concentración de la muestra ICP-OES.....	84
Ecuación 8: Incertidumbre de la concentración de la muestra.....	84
Ecuación 9: Incertidumbre relativa.....	84
Ecuación 10: Eficiencia de las cámaras.....	88
Ecuación 11: Rendimiento químico	89
Ecuación 12: Rendimiento químico para diferentes tiempos	89
Ecuación 13: Actividad	90
Ecuación 14: Incertidumbre cuentas del trazador	91
Ecuación 15: Incertidumbre masa del trazador	91
Ecuación 16: Incertidumbre de la masa	92
Ecuación 17: Incertidumbre relativa dela eficiencia del detector.....	92
Ecuación 18: Incertidumbre del rendimiento químico	92
Ecuación 19: Incertidumbre de la actividad del Th-232	93
Ecuación 20: Umbral de decisión	94
Ecuación 21: Límite de detección muestras.....	95
Ecuación 22: Incertidumbre concentración de dilución ICP-MS.....	98
Ecuación 23: Concentración de muestra ICP-MS	98

Capítulo 1:

OBJETIVOS

Este proyecto se plantea con un objetivo principal, la determinación de Torio en muestras de Suelos. Se engloba dentro de un trabajo de investigación más amplio de caracterización de radionúclidos en suelos del Departamento de Química Analítica. Ese objetivo redactado de manera tan general, se concreta en una serie de objetivos específicos que se detallan a continuación:

- La determinación de Torio se realizará en suelos procedentes de México, en concreto, de Zacatecas y en menor medida de Aguascalientes y Nuevo León.
- Se Estudiarán los diferentes radioisótopos de Torio: ^{228}Th , ^{229}Th , ^{230}Th , ^{232}Th en las técnicas analíticas gracias al conocimiento de la energía de cada uno de ellos y de su abundancia con la cual aparecen en la naturaleza.
- Estudiar cada una de las técnicas analíticas por las que se ha medido el Torio presente en las muestras: fluorescencia y difracción de rayos X, ICP-OES, ICP-MS y espectrometría alfa. Especificando el pretratamiento necesario que se debe de llevar a cabo en las muestras para poder realizar la lectura mediante dichas técnicas.
- Realizar los cálculos y analizar los resultados de la concentración y actividad obtenidas por cada una de las muestras, comprobando si la concentración de Torio en las muestras de CRM es parecida a la especificada en el documento del material certificado.
- Optimización de la técnica de espectrometría alfa para conseguir rendimientos en las muestras lo más elevados posibles, mediante la aplicación de pruebas estadísticas decidir por un lado cuál de las técnicas utilizadas es la más adecuada en la determinación de este elemento y por otro lado comprobar si existen diferencias significativas entre las concentraciones de los diferentes estados de México.
- Determinar si los niveles de concentración obtenidos de Torio se encuentran entre los niveles aceptables de la media a nivel mundial y de forma que se pueda decidir el uso posterior que pueda darse a esos suelos.

Capítulo 2:

INTRODUCCIÓN

Dado que este proyecto tiene como objetivo la determinación de Torio, un elemento radiactivo, es importante mostrar algunas características de dicho elemento, como potencial contaminante, así como comentar los aspectos principales acerca de su determinación.

2.1 TORIO

El Torio (Th) es un elemento que pertenece a la serie de los Actínidos. Se presenta con una estructura cristalina cúbica centrada en sus caras. Su número atómico es 90, masa atómica de 232,0381 u y radio medio de 180 pm. Su estado habitual en la naturaleza es sólido, se encuentra en minerales como la monacita (obtenida en forma de arena), torita (silicato de Torio) y torianita (mezcla de Torio y óxidos de Urano). Aunque en su estado puro se encuentra en forma de un metal blando de color blanco-plata que se puede oxidar lentamente, este metal puede arder y emitir luz cuando se tritura y se calienta. Pertenece a la familia de las sustancias radioactivas y su periodo de desintegración es extremadamente largo. El punto de fusión es de 1755,85 °C y el de ebullición de 4788,85°C. En cuanto a su posición dentro de la tabla periódica pertenece al periodo 7 y grupo IV, cuya configuración electrónica es [Rn] 6d²7s².

A continuación en la Tabla 2. 1 se pueden ver las características más importantes que presenta este elemento:

Propiedades del Torio			
Clasificación del elemento	Serie de actínidos radioactivos	Símbolo químico	Th
Aspecto	Blanco plateado	Estado	Sólido
Número atómico	90	Masa atómica	232.0381 u
Grupo	IV.B	Periodo	7
Punto de Fusión	1750 °C	Punto de ebullición	4790 °C
Calor de fusión	82,8 J/g	Calor de evaporación	2202 J/g
Configuración electrónica	[Rn]6d ² 7s ²	Radio medio	180 pm
Radio iónico	0,95 Å	Radio covalente	1,65 Å
Estado de oxidación	4	Estructura cristalina	Cúbica centrada en las caras
Densidad (20°C)	11724 kg/m ³	Electronegatividad	1,3 (Pauling)

Propiedades del Torio			
Conductividad eléctrica	$6,53 \cdot 10^6 \text{ m}^{-1}\Omega^{-1}$	Conductividad térmica	54 W/(m·K)
Calor específico (25°C)	113 J/(kg·K)	Resistividad eléctrica (20°C)	14 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$
Dureza (escala de Mohs)	3	Dureza Vickers	350 Mpa
Dureza Brinell	400 Mpa	Módulo de Young	79 Gpa
Módulo de cizalladura	31 Gpa	Poisson ratio	0,26
1ª Energía de ionización	6,08 eV	2ª Energía de ionización	11,504 eV

Tabla 2. 1:Resumen características Torio

El Torio se llamó así en honor a Thor, el dios nórdico del relámpago y la tormenta. Jons Jakob Berzelius lo aisló por primera en 1828. En el último decenio del siglo XIX, los investigadores Pierre Curie y Marie Curie descubrieron que este elemento emitía radiactividad.

(Educaplus.org 2018)

Este elemento es muy común en la corteza terrestre ya que es casi tan abundante como el plomo y tres veces más abundante que el uranio. Se puede encontrar en rocas y suelos, pero en cantidades pequeñas, aunque naturalmente se suele encontrar con una concentración litosférica entre 8-12 $\mu\text{g g}^{-1}$ en la corteza terrestre. Los compuestos de óxido de torio se utilizan en la producción de mantas de gas incandescentes. El óxido de torio se ha empleado también incorporado al tungsteno metálico, y sirve para producir filamentos para lámparas eléctricas. Se emplea en catalizadores para facilitar ciertas reacciones y tiene aplicaciones como material cerámico de alta temperatura. El torio tiene aplicaciones importantes como agente de aleaciones en algunas estructuras metálicas, pero su uso más importante además del campo nuclear es la tecnología del magnesio. En un reactor nuclear el torio puede ser convertido en ^{233}U , que es un combustible atómico. Se ha estimado que la energía que se puede obtener de las reservas mundiales de torio es tan grande como la energía combinada que puede proporcionar todo el uranio, el carbón y el petróleo en el mundo. Los isótopos de ^{232}Th , ^{230}Th y ^{228}Th se han utilizado para rastrear los orígenes de partículas y sedimentos marinos debido a sus orígenes.

El Torio tiene 25 radioisótopos, estos pueden ser tanto naturales como artificiales. Los isótopos del Torio tienen diferentes propiedades y diferentes vidas medias desde segundos hasta 1010 años. En el entorno natural se pueden encontrar seis isótopos del Torio, los cuales se van a especificar en la Tabla 2. 2. En la serie del Urano, Ilustración 2. 2, estos son emisores β ^{234}Th ($T_{1/2}$: 24,10 días) y emisores α ^{230}Th ($T_{1/2}$: $7,54 \cdot 10^4$ años). Sin embargo, en la serie del decaimiento del Torio, Tabla 2. 2, se encuentran emisiones α ^{232}Th

($T_{1/2}$: $1.41 \cdot 10^{10}$ años) y ^{228}Th ($T_{1/2}$: 1,913 años). Por último, también podemos encontrar Torio en la serie de los actínidos, que puede aparecer mediante emisiones β ^{231}Th ($T_{1/2}$: 25,52 horas) o mediante emisiones α ^{227}Th ($T_{1/2}$: 18,72 días). De todos estos isotopos los más importantes debido a su vida más larga, a su abundancia en la naturaleza y a su alta concentración son ^{232}Th , ^{230}Th , ^{228}Th .

Isotopo	Semivida	Decaimiento		
		Ruta(s)	Energía(s) MeV	Producto inmediato
^{227}Th	18.72 d	α	6.03, 5.97	^{223}Ra
^{228}Th	1.913 a	α	5.4, 5.3	^{224}Ra
^{230}Th	7.53E4 a	α	4.6	^{226}Ra
^{231}Th	25.52 h	β	0.30, 0.28	^{231}Pa
^{232}Th	1.4E10 a	α	4.0, 3.9	^{228}Ra
^{234}Th	24.1 d	β	0.19, 0.10	$^{234\text{m}}\text{Pa}$

Tabla 2. 2: Isotopos del Torio en la naturaleza

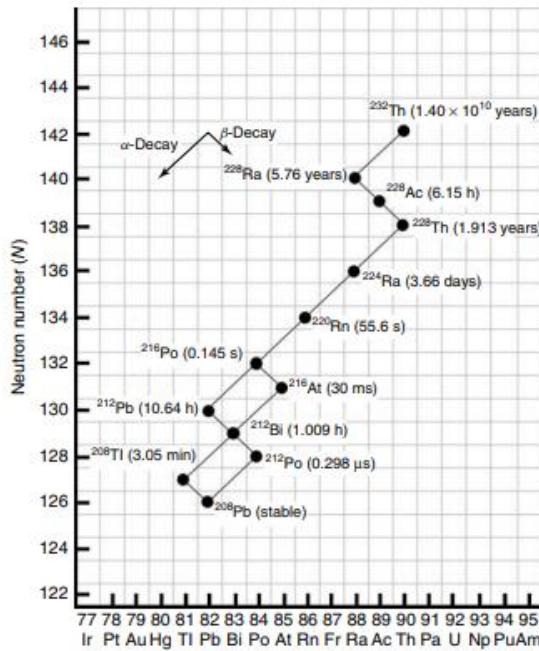


Ilustración 2. 1: Serie de decaimiento del Torio natural

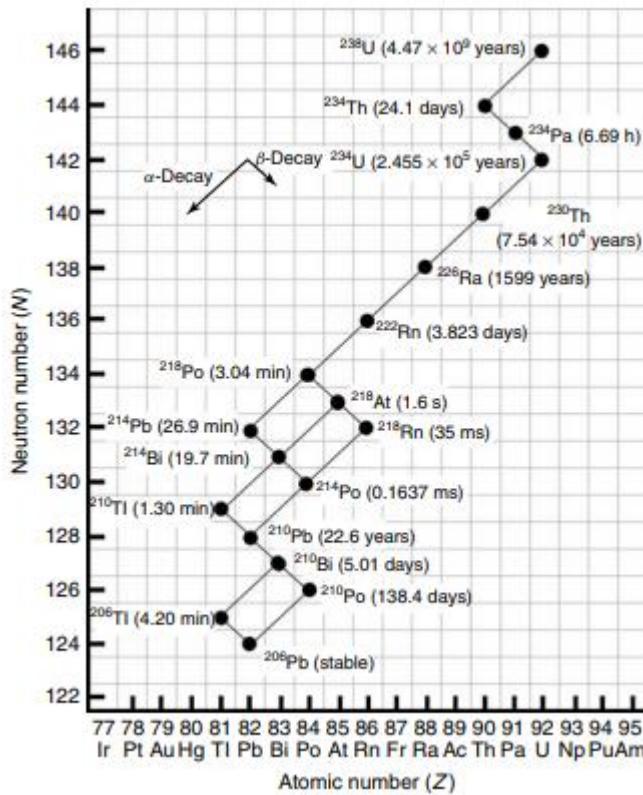


Ilustración 2. 2: Serie decaimiento del Urano natural

El ^{230}Th es ampliamente utilizado como un trazador geoquímico marino cuantitativo debido a su comportamiento químico altamente reactivo. Se produce por la desintegración reactiva de ^{234}U , el cual se encuentra en el agua del mar y tiene un gran tiempo de residencia. El ^{230}Th es insoluble en el agua de mar, por lo que a medida que se produce se elimina rápidamente de la columna de agua por adsorción en partículas que luego se depositan en el fondo marino, a este proceso se le denomina barrido. Las concentraciones de este isótopo en el agua de mar proporcionan información sobre procesos oceanográficos como la dinámica de las partículas marinas o las tasas de mezcla. Además, el estudio de este isótopo sobre sedimentos marinos nos proporciona información sobre flujos de fondo marino pasados.

(Jamison 2014)

2.1.1 Origen del Torio

La Tierra y sus elementos constituyentes como el Fe, O, C, Si, Th, U.... tienen una edad estimada en unos $4.5 \cdot 10^9$ años. El Universo (cuyo origen se sitúa en el instante del Big-Bang) data de unos $13.5 \cdot 10^9$ años. Se supone que fueron necesarios unos $10 \cdot 10^9$ años para fusionar el H y el He en núcleos más pesados, estrellas, novas y supernovas. Puede decirse, que la Tierra y todo lo que contiene son los deshechos de las supernovas.

La radiactividad natural es debida a las desintegraciones de las cadenas de elementos pesados.

(Soria 2011)

El sistema solar está compuesto de elementos los cuales fueron producidos durante la núcleo-síntesis en las estrellas y las subsecuentes explosiones de las supernovas. Las reacciones de fusión en las estrellas conducen a la formación de los elementos hasta el elemento hierro, mientras que los altos flujos de neutrones en las explosiones de las supernovas inducen la producción de elementos más pesados hasta el Urano. Muchos de los radionúclidos así producidos decaen rápidamente; Sin embargo, aquellos con vidas medias de >108 años aún están presentes hasta cierto punto en el planeta tierra y se les llama radionúclidos primordiales. Hay alrededor de 20 radionúclidos primordiales, siendo los más importantes: ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th y ^{40}K , y se encuentran en todas partes del planeta porque ellos eran parte de la nebulosa planetaria de la que se formó el sistema solar, pero las concentraciones varían como consecuencia de los procesos geoquímicos.

Las partículas emitidas por los núclidos hijos de ^{238}U y ^{232}Th producen neutrones al interactuar con los elementos circundantes: Si, O, Al, Mg y otros. Estos neutrones pueden entonces producir radionúclidos tales como ^{36}Cl exactamente de la misma manera que los neutrones lo hacen en la atmósfera. Elementos traza tales como B, Gd, Sm y Li en la roca actuarán como absorbentes de neutrones, reduciendo así su flujo. El flujo de neutrones depende por tanto del contenido de U y Th, así como de la composición elemental de la roca misma. La trayectoria libre media para los neutrones térmicos es de aproximadamente 50 cm, por lo que el proceso de producción puede variar mucho hasta de ~ 1 m. Las tasas estimadas de producción de neutrones para diferentes tipos de rocas son:

Granito: $P = 2.04 [\text{U}] + 0.70 [\text{Th}]$; $\sigma_m = 0.0125$

Arenisca: $P = 1.31 [\text{U}] + 0.38 [\text{Th}]$; $\sigma_m = 0.0123$

Piedra caliza: $P = 1.11 [\text{U}] + 0.29 [\text{Th}]$; $\sigma_m = 0.0055$

Dónde: P = es la producción de neutrones por gramo de roca por año.

$[\text{U}]$ y $[\text{Th}]$ = es la concentración en ppm

σ_m = es la sección eficaz de absorción de neutrones total ponderada en mol x barn por gramo.

La combinación de estos valores proporciona el flujo de neutrones térmicos F_n en neutrones $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$.

$$F_n = 10^{-5} (\alpha[\text{U}] + \beta[\text{Th}])$$

Los valores de α y β dependen de la composición de las rocas y se estiman que son:

Granito: $\alpha=0.86$ $\beta=0.30$

Arenisca: $\alpha=0.56$ $\beta=0.10$

Piedra caliza: $\alpha=1.07$ $\beta=0.28$

La fisión es otra fuente importante de neutrones. Los núcleos pesados como el uranio y el torio sufren fisión en la que el núcleo se divide en partes más pequeñas, a menudo acompañado por la emisión de neutrones y rayos gamma. La fisión puede ocurrir en forma espontánea o inducida por un neutrón incidente. Algunos de los productos de fisión son también radiactivos. Ejemplos bien conocidos de estos son ^{137}Cs , ^{90}Sr y ^{129}I . Los neutrones emitidos en una reacción de fisión pueden inducir nuevas fisiones o interactuar con otros átomos que producen radionúclidos.

(Beer, McCracken, and Steiger 2012)

2.1.2 Importancia del estudio del Torio

Las grandes liberaciones de Torio pueden ser dañinas para las plantas y los animales. Debido a que el óxido de torio es altamente insoluble en agua, sólo pequeñas cantidades de este elemento circulan a través del medio ambiente. Sin embargo, dado que el Torio siempre está presente de forma natural en el medio ambiente, las personas están expuestas a pequeñas cantidades en el aire, los alimentos y el agua, que por lo general presentan poco peligro para la salud. Los productos que contienen Torio, si no alteran por el uso, pueden eliminarse mediante su tratamiento en una instalación permitida para residuos sólidos o según lo aconsejado por la autoridad local reguladora de residuos peligrosos. La principal preocupación de la exposición de bajo a moderado nivel a la radiación ionizante es un mayor riesgo de cáncer. Los estudios han demostrado que la inhalación de polvo de Torio causa un mayor riesgo de desarrollar cáncer de pulmón y páncreas. El riesgo de cáncer óseo también aumenta debido a que el Torio se puede almacenar en los huesos.

(Jamison 2014)

El Torio es un elemento muy importante además de por los daños que puede crear tanto en el medioambiente como en las personas debido a sus usos como se han comentado anteriormente, cabe destacar que puede ser un sustituto al Urano como combustible nuclear ya que el Torio es más rentable y más seguro, implica menos impactos en el medio ambiente y es más fácil de limpiar, implica mejores propiedades térmicas y físicas y es más fácil de irradiar incluso es un elemento menos costoso. Por tanto, se puede decir que el Torio es una de las mayores esperanzas nucleares.

(Nayemi 2011)

El estudio de los isótopos en investigaciones sobre el suelo puede basarse en conocer las características que posee cada uno de los isotopos, sobre todo,

conocer las sustancias nutritivas que presenta un suelo determinado. Es importante tener en cuenta las radiaciones ionizantes sobre las propiedades químicas de los suelos. Se debe de saber que las radiaciones ionizantes esterilizan el suelo, esto puede ser nocivo para la vida vegetal, afectando a la fertilidad de este. La presencia de Torio puede afectar a las sustancias biológicas.

Por todo ello se ha decidido realizar este proyecto, para intentar poner solución a estos puntos.

(S.Ahmed et al., n.d.)

Como se ha dicho al principio del capítulo, al tratarse del estudio de un elemento radiactivo, es necesario tener un mínimo conocimiento sobre este tema.

2.2 RADIOACTIVIDAD

La radiactividad es el fenómeno físico que presentan ciertos cuerpos, el cual consiste en la emisión de partículas o radiaciones, o de ambas a la vez, procedentes de la desintegración espontánea del átomo.

La radiación es la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material. La radiación propagada en forma de ondas electromagnéticas (rayos UV, rayos gamma, rayos X, etc.), esta radiación se llama electromagnética (fotones). Mientras que se llama radiación corpuscular a la radiación transmitida en forma de partículas subatómicas (partículas α , partículas β , neutrones, etc.) que se mueven a gran velocidad con apreciable transporte de energía, estas radiaciones se distinguen por su diferente penetración en la materia.

Si la radiación transporta la energía suficiente para provocar ionización en el medio que atraviesa, se dice que es una radiación ionizante. En caso contrario se dice que es radiación no ionizante. Son radiaciones ionizantes los rayos X, rayos γ , partículas α y parte del espectro de la radiación UV. Por otra parte, radiaciones como los rayos UV, ondas de radio, de televisión o de teléfono son casos de radiaciones no ionizante.

(Enciclopedia libre 2018b)

Este trabajo se centrará en el estudio de recuento de iones mediante la técnica de espectrometría alfa, para ello a continuación se explicará la radiación alfa de manera más detallada.

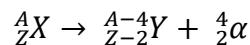
2.2.1 Radiación α

Las partículas α son núcleos completamente ionizados, es decir sin su envoltura de electrones correspondiente. Estos núcleos están formados por

dos protones y dos neutrones, se les considera núcleos de Helio con carga +2. Al carecer de electrones su carga eléctrica es positiva (+2qe), mientras que su masa es de 4 una. Habitualmente se generan en reacciones nucleares o desintegración radiactiva de otros núclidos que se transmutan en elementos más ligeros mediante la emisión de dichas partículas. Tienen una capacidad de penetración pequeña. En la atmósfera pierden rápidamente su energía cinética porque interaccionan con otras moléculas debido a que tienen una gran masa y carga eléctrica, exactamente una carga de $3.2 \cdot 10^{-19}$ coulombs y una masa de $6.68 \cdot 10^{-27}$ kg. Debido a esto, pueden generar una alta capacidad de iones por centímetro de longitud recorrida. En general estas partículas no pueden atravesar espesores de varias hojas de papel. El rango de energías en los que los núcleos emiten las partículas es de 2 a 9 MeV y la velocidad media de dichas partículas son de 15000 km/s.

(*Enciclopedia libre 2018a*)

La desintegración alfa o decaimiento alfa es una variante de desintegración radiactiva por la cual un núcleo atómico emite una partícula alfa y se convierte en un núcleo con cuatro unidades menos de número másico y dos unidades menos de número atómico. La secuencia de este fenómeno de desintegración se representa mediante la ecuación siguiente:



Un ejemplo de dicha desintegración es el siguiente:



(*Ferrer-Soria 2006*)

En los núcleos la repulsión electrostática va aumentando a medida que el número de protones se va haciendo mayor. En los átomos con $Z > 82$ la repulsión coulombiana empieza a ser capaz de romper la estabilidad nuclear, y entonces, es por ello que para determinados núcleos ocurre la desintegración alfa. El motivo de que la partícula emitida sea un núcleo de helio en vez de cualquier otra partícula tiene que ver con la enorme energía de enlace que poseen dichas partículas.

Este tipo de desintegración es una prueba del conocido “efecto túnel”. En este efecto, tenemos la partícula en un pozo de potencial, la partícula tiene una energía positiva pero no suficiente para traspasar la barrera de potencial desde el punto de vista clásico, por lo que debería quedarse confinada en el núcleo. Sin embargo, se observa que experimentalmente escapa, lo que ocurre es que este fenómeno no puede estudiarse clásicamente. La física cuántica dice que la partícula α si puede abandonar el núcleo porque su función de onda tiene una expresión tal que la probabilidad de encontrar la partícula fuera del pozo no es cero. Por lo tanto, lo que tenemos en la desintegración alfa es una prueba

del llamado “efecto túnel”, este efecto se puede visualizar en la Ilustración 2. 3, fue predicho por la mecánica cuántica y planteado por George Gamow.

(Cuentos cuánticos 2018)

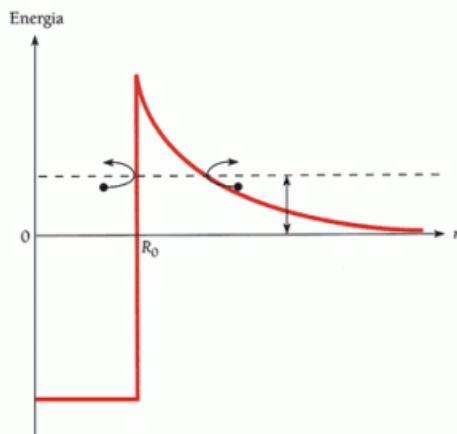


Ilustración 2. 3: Pozo potencial debido al núcleo

2.3 TÉCNICAS DE ANÁLISIS

La elección de un método adecuado para la determinación de Torio en muestras ambientales depende de la matriz y del contenido estimado de Torio. Los métodos analíticos para la determinación de Torio se pueden efectuar “in situ” o en el laboratorio. Podemos encontrar una división en dos grupos:

- Radiométricas o técnicas analíticas nucleares, las cuales miden la cantidad de radiación.
- No radiométricas, también llamadas técnicas de análisis químico instrumentales o convencionales, se dedican a medir la cantidad química del elemento de Torio.

Sin embargo, la instrumentación analítica moderna se puede dividir en dos categorías principales de acuerdo con los principios de funcionamiento:

- Recuento de fotones.
- Recuento de iones.

Otra clasificación de las técnicas analíticas se basa en la propiedad del analito, como la composición isotópica, componentes elementales, constituyentes moleculares, la caracterización morfológica, etc.

Además de las técnicas instrumentales, hay algunos métodos “clásicos” que todavía se utilizan para el ensayo de Torio, como las técnicas de titulación y gravimétricas.

(Escareño 2017)

2.3.1 Técnicas de conteo de fotones

En las técnicas de conteo de fotones, la radiación electromagnética es absorbida o emitida por las moléculas de la muestra.

La absorción de fotones, o cuantos de energía, se mide generalmente cuando las sustancias se encuentran en su estado fundamental, mientras que la emisión se mide después de que los átomos o moléculas están en un estado excitado o inestable e irradian energía en forma de fotones. Es bastante común implementar una combinación de excitación y emisión para fines analíticos.

El rango de longitudes de onda del espectro electromagnético utilizado en estos métodos de análisis cubre desde los rayos gamma, rayos X, ultravioleta, visible, infrarrojo, inclusive hasta longitudes de onda más largas. Las longitudes de onda más cortas son características de los procesos que tienen lugar en el núcleo (rayos gamma) o las capas internas de los átomos (rayos X), luego están las longitudes de onda más largas provenientes de las transiciones de los electrones de valencia (UV-Vis) y rotaciones y vibraciones moleculares (IR), enseguida las longitudes de onda más largas que reflejan el movimiento de los átomos en los compuestos como el de resonancia magnética nuclear (NMR).

La técnica de espectrometría de emisión atómica (ARS) y la espectrometría de emisión óptica (OES) son dos de las técnicas más utilizadas dentro del conteo de fotones. Se basan en la medición de fotones cuando los electrones se mueven de un estado excitado a un estado inferior, contrario a la absorción atómica. Así los fotones emitidos por los átomos o iones excitados se miden conforme decaen a niveles electrónicos inferiores. El procedimiento más utilizado para excitar los átomos del analito, es un plasma inducido por un campo de radiofrecuencia (RF) o microondas. El plasma se forma cuando el gas argón fluye a través de una antorcha hecha de tres tubos de vidrio concéntricos rodeados por una bobina de metal dentro de un campo de radiofrecuencia.

Uno de los métodos más comunes para el análisis elemental que puede procesar tanto muestras sólidas como líquidas es la espectrometría de fluorescencia rayos X (XRF), otra de las técnicas que se lleva a cabo por conteo de fotones. El principio de funcionamiento consiste en irradiar la muestra con fotones de rayos X energéticos que son capaces de “bajar” electrones a una capa interna de átomos de la muestra, la vacante así creada se llena rápidamente por un electrón análogo de la carcasa exterior con la emisión de un fotón, cuya energía es igual a la diferencia de energía entre los dos niveles electrónicos.

Además de estas técnicas se pueden encontrar otras que emplean la radiación electromagnética para fines analíticos y que se pueden utilizar para la caracterización de los compuestos de Torio. Entre ellas se puede encontrar análisis por activación con neutrones (NAA), espectroscopía gamma (GammaSpec), microscopía electrónica (EM), espectroscopía ultravioleta-visible (UV-Vis), espectroscopía de infrarroja y Raman, resonancia magnética

nuclear (RMN), resonancia de spin electrónico (ESR), espectrometría Mössbauer, análisis de espectrometría inducida por láser (LIBS), etc.

(Escareño 2000)

2.3.2 Técnica de conteo de iones

La espectrometría de masas está basada en la obtención de iones a partir de moléculas orgánicas en fase gaseosa; una vez obtenidos estos iones, se separan de acuerdo con su relación masa/carga y finalmente se detectan por medio de un dispositivo adecuado. Los procesos que tienen lugar son de naturaleza química. La presencia y la abundancia en el espectro de determinados tipos de iones, es función de la estructura química de cada compuesto, por lo que la información que ofrece un espectrómetro de masas es comparable a la obtenida mediante una gran cantidad de reacciones de las utilizadas para la determinación de estructuras por vía química. Por ello, esta técnica puede dar una amplia información sobre un compuesto determinado.

En la técnica de espectrometría de masas se introduce la muestra líquida a analizar, dicha muestra es transformada en un fino aerosol que es dirigido hacia la antorcha donde se genera un plasma de argón. La muestra es sometida a procesos tales como desolvatación, vaporización, atomización y, por último, ionización. Los iones generados pasan al espectrómetro de masas a través de una interfase de acondicionamiento, luego se dirigen al analizador donde son separados por su relación masa/carga.

La espectrometría alfa es otra técnica de conteo de iones, donde la desintegración radiactiva de núclidos pesados implica comúnmente la emisión de una partícula alfa y la formación de un núclido que tiene un número atómico inferior por dos unidades y un número de masa cuatro unidades más ligero que el nucleido padre. La espectrometría de partículas alfa es la metodología más ampliamente utilizada para la determinar el contenido de isotopos de Torio que son emisiones de alfa (^{232}Th , ^{230}Th , ^{228}Th) en diferentes tipos de muestras ambientales e industriales. Esta metodología conlleva una serie de pasos, en primer lugar, un pretratamiento de la muestra, a continuación, una separación radioquímica, luego una preparación de la muestra para el análisis y por ultimo medición por alfa.

Otras de las técnicas usadas para el conteo de iones es la medición mediante la película fotográfica, placa microcanal, análisis de trazas de fisión, y los métodos electroanalíticos, los más destacados, la potencia, voltametría y la coulometría.

Se debe concluir que los dos principales métodos radiométricos para determinar Torio son el análisis por activación de neutrones (NAA), método de centelleo líquido, y el de espectrometría alfa. Mientras que los métodos no radiométricos más utilizados son ICP-MS e ICP-OES, aunque también se puede

encontrar los de espectrometría de absorción atómica y fluorescencia rayos X, pero en menor medida.

(Fleurence et al. 1999)

Capítulo 3:

ZONA DE ESTUDIO

Este proyecto realizado en las instalaciones del Departamento de Química Analítica de la Universidad de Valladolid, ha sido realizado en colaboración con la Universidad de Zacatecas, en Méjico.

En concreto, como apoyo a la tesis doctoral de D.Edmundo Escareño. Por este motivo las muestras de suelos en las que se determina este elemento corresponden a la zona de Zacatecas en Méjico y son idénticas a las utilizadas en un estudio anterior para la determinación de Urano, realizado por Rocío García, alumna de esta Escuela y de esta Titulación también y que se utilizarán en otros estudios de la zona.

Por este motivo, la descripción que se hará a continuación, es similar a la realizada por mi compañera Rocío.

Zacatecas es uno de los treinta y un estados que junto a la ciudad de Méjico forman los Estados Unidos Mejicanos. Fue fundado el 23 de diciembre de 1588. Se ubica en la región centro-norte del país.

Lima al norte con Coahuila, al noreste con Nuevo León, al este con San Luis Potosí, al sur con Guanajuato, Jalisco y Aguascalientes, al suroeste con Nayarit y al oeste con Durango. Se divide en 58 municipios y su capital es Zacatecas. Sus principales actividades económicas son la minería, la agricultura y el turismo.

El estado es conocido por sus grandes depósitos de plata y otros minerales, su arquitectura colonial y su importancia durante la revolución Mejicana. Esta ciudad ostenta los títulos de La Muy Noble y Leal Ciudad de Nuestra Señora de Zacatecas, otorgados por el Rey Felipe II de España el día 20 de junio de 1588 en San Lorenzo de El Escorial, Madrid. También se le concedió el Escudo de Armas, emblema en el que fue incluido el cerro de la Bufa. Esta ciudad además destaca puesto que era un punto importante hacia los territorios del norte de la Nueva España.

Cuenta con una extensión de 75539 Km² siendo el octavo estado más extenso, con 1579209 habitantes en 2015, el octavo menos poblado y con 19,73 hab/Km², el sexto menos densamente poblado.

(Educaplus.org 2015)

Los 36 puntos de muestreo elegidos a lo largo de Zacatecas, se puede observar en la Ilustración 3. 1. Para poder seleccionar los puntos de muestreo se ha realizado un estudio previo de este estado, concluyendo que las zonas seleccionadas pueden tener mayor concentración de Torio en dichos suelos.

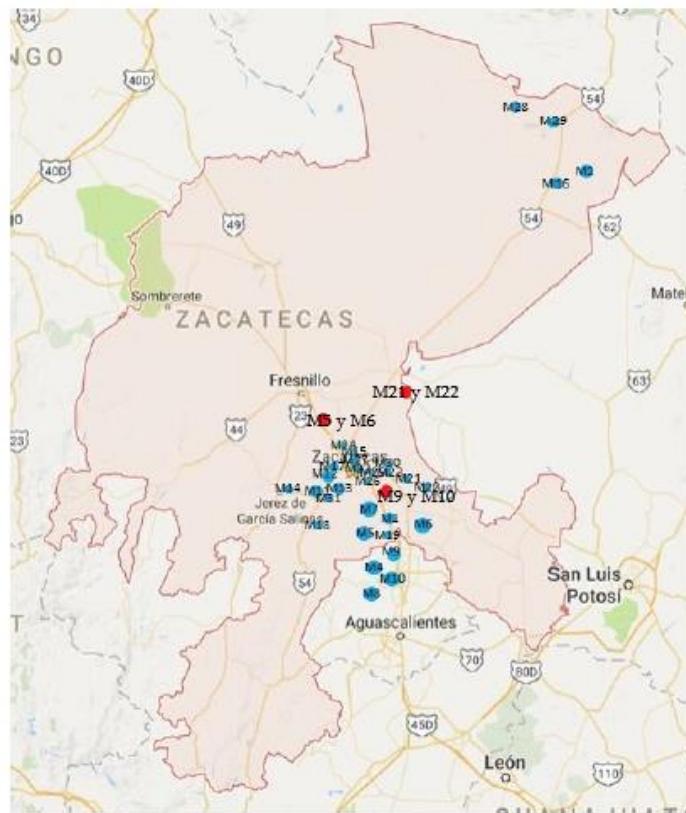


Ilustración 3. 1: Localización de los puntos de muestreo

Hay cinco muestras fuera del estado de Zacatecas, cuatro pertenecen al estado de Aguascalientes, y otra pertenece al estado de Nuevo León.

Las muestras se han codificado simplemente con la enumeración de la 1 hasta la 30, para el lote 2, cada una de ellas tiene una localización específica. Las coordenadas geográficas correspondientes a cada punto de muestreo se pueden consultar en la Tabla 3. 1.

Punto de muestreo	Localización	Estados
MUESTRAS LOTE 2		
Muestra 1	22°35'00.2"N 102°15'12.2"W	Zacatecas
Muestra 2	24°18'53.3"N 101°13'13.4"W	Zacatecas
Muestra 3	24°18'01.8"N 100°35'08.9"W	Nuevo León
Muestra 4	22°13'26.4"N 102°31'28.9"W	Aguascalientes
Muestra 5	22°21'37.1"N 102°27'18.7"W	Zacatecas
Muestra 6	22°26'34.8"N 102°12'09.4"W	Zacatecas

Punto de muestreo	Localización	Estados
MUESTRAS LOTE 2		
Muestra 7	22°26'28.7"N 102°24'11.9"W 102°24'11.9"W	Zacatecas
Muestra 8	22°03'07.2"N 102°33'39.6"W	Aguascalientes
Muestra 9	22°09'51.1"N 102°30'37.8"W	Aguascalientes
Muestra 10	22°06'02.9"N 102°30'11.5"W	Aguascalientes
Muestra 11	22°37'10.8"N 102°47'46.0"W	Zacatecas
Muestra 12	22°40'07.9"N 102°43'36.8"W	Zacatecas
Muestra 13	22°45'30.7"N 102°39'29.7"W	Zacatecas
Muestra 14	22°39'10.6"N 102°57'16.7"W	Zacatecas
Muestra 15	22°47'07.1"N 102°36'38.3"W	Zacatecas
Muestra 16	24°18'00.5"N 101°24'53.7"W	Zacatecas
Muestra 17	22°46'24.3"N 102°38'40.7"W	Zacatecas
Muestra 18	22°27'21.6"N 102°49'31.8"W	Zacatecas
Muestra 19	22°27'54.0"N 102°19'29.3"W	Zacatecas
Muestra 20	22°41'08.1"N 102°07'59.7"W	Zacatecas
Muestra 21	22°41'20.2"N 102°13'53.4"W	Zacatecas
Muestra 22	22°27'40.0"N 102°20'07.1"W	Zacatecas
Muestra 23	22°42'48.1"N 102°17'16.4"W	Zacatecas
Muestra 24	22°49'37.4"N 102°33'34.2"W	Zacatecas
Muestra 25	22°44'48.0"N 102°23'14.7"W	Zacatecas
Muestra 26	22°45'18.2"N 102°25'17.4"W	Zacatecas
Muestra 27	22°27'50.8"N 102°20'07.4"W	Zacatecas
Muestra 28	24°37'11.9"N 101°27'29.0"W	Zacatecas

Punto de muestreo	Localización	Estados
MUESTRAS LOTE 2		
Muestra 29	24°37'19.0"N 101°24'49.0"W	Zacatecas
Muestra 30	22°41'48.2"N 102°18'51.8"W	Zacatecas

Tabla 3. 1: Coordenadas geográficas y estados de los puntos de muestreo lote 2

(Rodríguez 2017)

Sin embargo, para las muestras pertenecientes al lote 1, son pares de muestras de mismo suelo, por tanto, dos tipos de suelo diferente, la primera tomada a una profundidad y la segunda a otra. La localización de estas se puede visualizar en la Tabla 3. 2.

Punto de muestreo	Localización	Estados
MUESTRAS LOTE 1		
Muestra 5	Nor- Este. 0 a 5 cm	Zacatecas
Muestra 6	Nor- Este. 30 a 40 cm	Zacatecas
Muestra 9	Norte – 5 mts. 0 a 5 cm	Zacatecas
Muestra 10	Norte – 5 mts. 30 a 40 cm	Zacatecas
Muestra 21	Nor-Oeste. 0 a 5 cm	Zacatecas
Muestra 22	Nor-Oeste. 30 a 40 cm	Zacatecas

Tabla 3. 2: Localización y estados de los puntos de muestreo lote 1

(Edmundo, 2017)

Las muestras recogidas en estos puntos se han tomado en condiciones similares. Dichas pertenecen a zonas no perturbadas por el ser humano y no han sido utilizada ni para agricultura, ganadería, industria ni como zonas urbanizables. Además, están próximos a carreteras secundarias, facilitando así la llegada para la extracción.

Estudios previos a la extracción de muestras en suelos sobre la homogeneidad de la distribución de Torio en suelos han arrojado resultados

como que las concentraciones de Torio en un mismo punto de la superficie del suelo (de 5 a 10 cm) son similares o incluso algo inferiores a las extraídas en ese mismo punto a profundidad (40-50 cm). Por este motivo y por falta de medios se han cogido muestras de la superficie a un máximo de 10 cm.

Mediante la realización de este proyecto se quiere estudiar la concentración de Torio que tienen diferentes puntos del estado de Zacatecas para posteriores análisis de contaminación o si se quiere edificar en un futuro, ya sea de forma industrial o como urbanizaciones. Dependiendo del uso para el que se vaya a dar el terreno la concentración de Torio puede variar. El límite de concentración de Torio permitido en el agua es como máximo de $0.001 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$, en los diferentes tipos de agua (marina, potable, subterránea...) esta concentración puede variar, pero nunca debe de superar dicho límite. La dosis permitida de la cantidad de Torio en el agua bebida es de $0.0144 \mu\text{Sv}\cdot\text{yr}^{-1}$ y la concentración media de Torio permitida en suelos es de $6 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

(Jia et al. 2008)

Es muy importante realizar un estudio de la orografía e hidrografía de la zona de estudio como se hace en el apartado 3.1, esto puede afectar tanto a la concentración de Torio como a la humedad de las muestras que se van a estudiar. También es necesario hacer un pequeño estudio sobre el clima de la zona además de la legislación de la zona de estudio ya que el Torio se trata de un elemento peligroso y contaminante y para su manejo y utilización se debe de seguir una normativa, la cual se detallará en el apartado 3.3 de este capítulo.

3.1 OROGRAFÍA E HIDROGRAFÍA

El Torio está presente en nuestro planeta desde su formación y se ha diseminado en el planeta principalmente a través del aire, ya que algunos compuestos de Torio reaccionan principalmente con el oxígeno del aire. Aunque también se ha diseminado debido a su solubilidad en agua por lo que es importante conocer la hidrografía del territorio donde han sido tomadas las muestras.

El territorio zacatecano ocupa parte de tres grandes regiones orográficas: La Sierra Madre Occidental al oeste, la Altiplanicie Mejicana y la Sierra Madre Oriental. La Sierra Madre Occidental es abrupta, con cumbres que sobrepasan los 2500 m. Sobre el nivel del mar, y cañones de Juchipila y Tlaltenango. Toda esta zona es muy quebrada debido a sus numerosas serranías que encierran pequeñas llanuras, mesas valles, cañadas y desfiladeros. Al centro de Zacatecas tenemos la sierra de Fresnillo, cuyas ramificaciones dan origen a un cerro que cobró celebridad mundial: el cerro Proaño. Con sus yacimientos de plomo, plata y zinc.

Finalmente, al noreste de la entidad se localiza la sierra de Sombrerete, donde se levanta una montaña riolítica conocida como el Sombreretillo, a cuyos pies está uno de los pueblos mineros más ricos del estado. No lejos de dicha población, el terreno se eleva súbitamente para dar altura a la Sierra de Órganos. Se ha mencionado que Zacatecas ocupa parte de la Altiplanicie Mejicana precisamente la Meseta Norte. El mapa orográfico de Zacatecas puede visualizarse en la Ilustración 3. 2.

(Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México 2018)

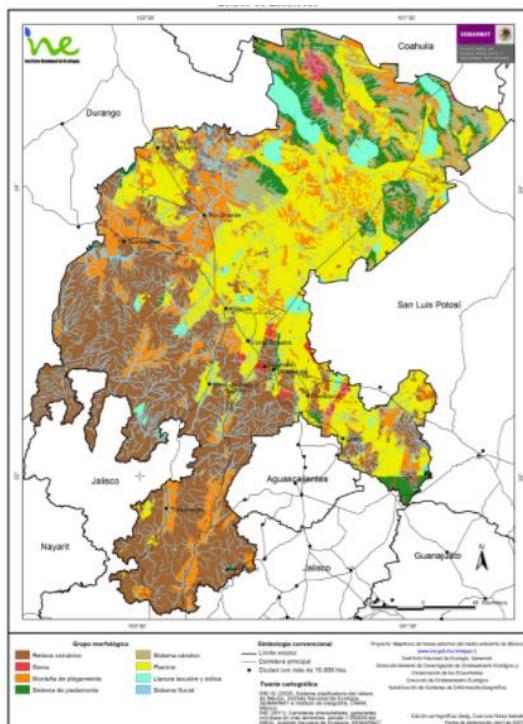


Ilustración 3.2: Mapa orográfico de Zacatecas

En cuanto a la hidrografía, Ilustración 3.3, la ciudad carece de ríos importantes; los que hay, en su mayor parte son temporales y se forman al escurrir el agua de las montañas en la época de lluvias. El sistema hidrográfico está formado por dos cuencas: la cuenca del Pacífico, integrada por el sistema Chapala-río Grande de Santiago (en este último desembocan los ríos del sureste de la entidad); la cuenca inferior o endorreica que no tiene salida al mar. Permanecen a la cuenca del Pacífico los ríos San Pedro, Juchipila, Jerez y Tlaltenango. El estado cuenta con un total de 80 preses con una capacidad de 595,337 millones de metros cúbicos destacándose las presas de: Leobardo Reynoso, (Fresnillo); Miguel Alemán, (Tlaltenango) y el Chique, (Tabasco).

Existen 20 zonas geohidrológicas en el estado en las cuales se localizan 5,891 pozos profundos con fines agrícolas con gastos hidráulicos que oscilan entre 15 y 60 l/s. Con profundidades de 150 a 250 m. y niveles dinámicos promedio de 80 m. Además, se tienen 2,441 norias o pozos a cielo abierto de

poca profundidad y bajo costo de 5 a 10 l/s. Igualmente, en diversas regiones del estado se localizan 483 pozos de bajo gasto con fines de abrevadero para ganado. El principal problema que enfrenta el agricultor que extrae agua para usos agrícolas es el costo de la electricidad.

(*Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México 2018*)



Ilustración 3.3: Mapa hidrográfico de Zacatecas

3.2 CLIMA

El clima en Zacatecas, estado Mexicano, es predominantemente seco y semiseco. Alrededor del 75% del estado posee este tipo de clima. Se caracteriza por tener poca presencia de lluvias y temperaturas moderadas en verano y frescas en invierno.

También hay zonas de clima muy seco o desértico (aproximadamente un 6% del territorio). Se da principalmente en la parte norte del estado, en la zona de El Salado. Es la región más seca de toda la región. Las temperaturas son similares, aunque con inviernos mucho más fríos. Con heladas frecuentes entre noviembre y marzo. Este clima es una limitación para la agricultura, esta se practica de riego y temporal, siendo los principales cultivos: maíz, avena, trigo, chile, frijol, sorgo, nopal y durazno.

Una tercera variedad es la templada subhúmeda (casi un 19% de la región). En la cercanía con la Sierra Madre. Es una región con temperaturas más calurosas y con abundancia de lluvias. Zona de ríos y arroyos.

La temperatura media anual de la región de Zacatecas es de 16°C. Entre noviembre y enero se presenta el frío más severo. Mientras que entre junio y septiembre se registran las temperaturas más elevadas. La temperatura máxima promedio es de 30°C y se presenta en el mes de mayo, la temperatura mínima promedio es de 3°C y se presenta en el mes de enero.

La pluviosidad no alcanza los 800 mm anuales y se concentran en más de un 50% durante los meses de junio a septiembre. Durante el resto del año las lluvias son escasas y de poca intensidad.

(clima de.com 2018)

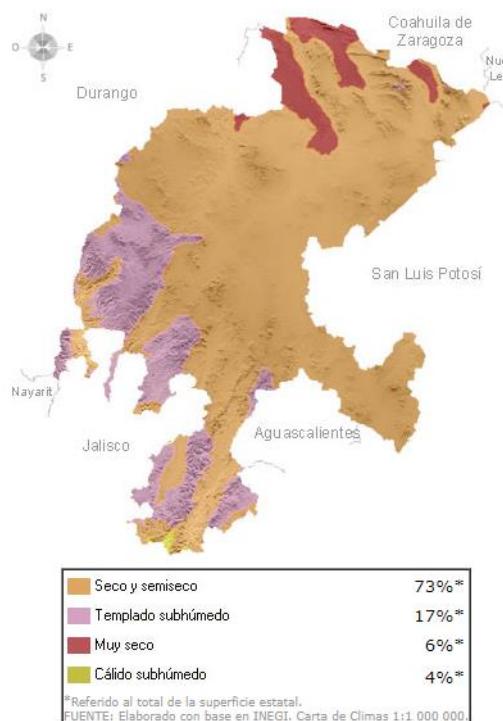


Ilustración 3. 4: Mapa climatológico de

Como se puede observar en la Ilustración 3. 4 la mayoría de las muestras a estudiar en este proyecto pertenecen a un clima seco o semiseco.

3.3 LEGISLACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El Torio es un material peligroso y radiactivo, para ello en cada país se encuentra una normativa que regule su extracción. En distintos estados de México, está regulado por la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia Nuclear. Esta ley fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el 4 de febrero de 1985 y entró en vigor a partir del 5 de febrero de ese mismo

año. Su última modificación se dio el 9 de abril de 2012. Consta de 6 capítulos y 52 artículos. Regula la exploración, la explotación y el beneficio de minerales radiactivos, así como el aprovechamiento de los combustibles nucleares, los usos de la energía nuclear, la investigación de la ciencia y técnicas nucleares, la industria nuclear y todo lo relacionado con la misma.

La ley de 1984 sobre actividades nucleares estableció que el gobierno, a través de la Secretaría de Energía, es responsable del establecimiento del marco para el uso y desarrollo de la energía nuclear y la tecnología, de acuerdo con la política energética nacional.

La Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS) es un organismo semi-autónomo bajo la autoridad de Ministerio de Energía, que asume el papel de regulador. CNSNS es responsable de asegurar la correcta aplicación de las normas y garantías de seguridad nuclear y radiológica y protección física de materiales nucleares y las instalaciones radiológicas para garantizar la seguridad pública.

La CNSNS también es responsable de revisar, evaluar y aprobar los criterios para la ubicación, diseño y operación de construcción de desmantelamiento de instalaciones nucleares, proponer las regulaciones pertinentes. Tiene el poder de modificar y/o suspender las licencias de instalaciones nucleares, que se concede la aprobación CNSNS a través del Ministerio de Energía.

Méjico es rico en recursos de hidrocarburos y es un exportador neto de energía. El interés del país en materia de energía nuclear se basa en la necesidad de reducir su dependencia de estas fuentes de energía. En los últimos años la energía en Méjico depende cada vez más del gas natural. El interés de Méjico en la energía nuclear se hizo oficial en 1956 con la creación de la Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEN). Esa organización asumió la responsabilidad general de todas las actividades nucleares en el país, excepto el uso de radioisótopos y la generación de energía eléctrica. La comisión Federal de Electricidad (CFE) se le asignó el papel de generador nuclear en el futuro.

El CNEN se transformó más tarde en el Instituto Nacional de Energía Nuclear (INEN) que se dividió en el Instituto Nacional de Investigadores Nucleares (ININ), Urano Mexicano (Uramex) Y LA Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS).

(Congreso de la Unión 2012)

Capítulo 4:

METODOLOGÍA

Una vez analizada la zona de estudio, se van a analizar las diferentes etapas llevadas a cabo para la determinación de Torio mediante las técnicas analíticas utilizadas, principalmente, espectrometría alfa e ICP-MS.

En el diagrama de flujo correspondiente a la Ilustración 4. 1 se puede observar de forma esquemática y secuencial los pasos que se han de seguir en la determinación.

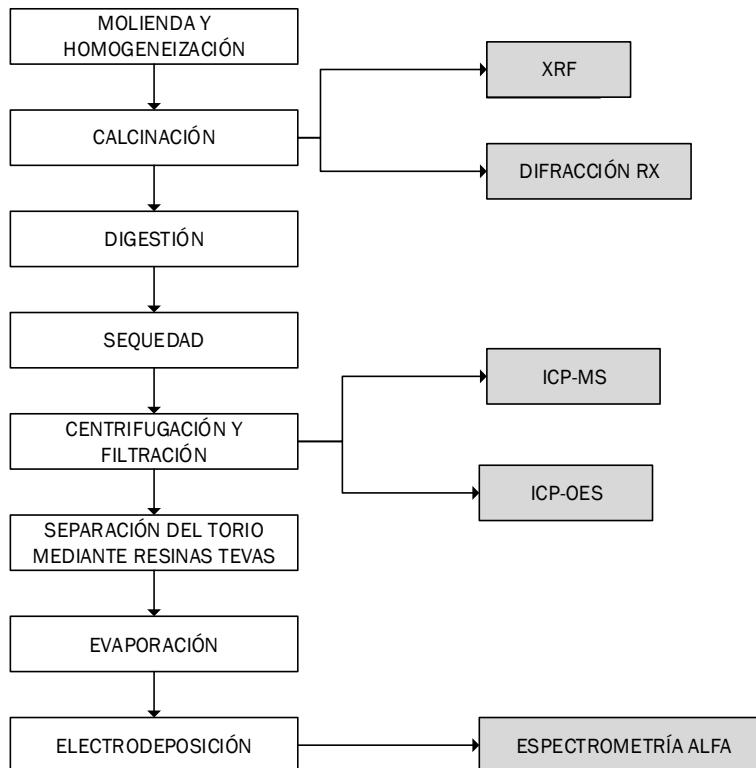


Ilustración 4. 1:Esquema del procedimiento a seguir para cada técnica

En dicho diagrama se puede observar como solo hay dos pasos comunes para todas las técnicas, que son el paso de molienda y homogeneización y el de calcinación. Con estos dos pretratamientos sólo se pueden medir las muestras mediante fluorescencia de rayos X o mediante difracción de rayos X. Para poder medir mediante ICP-OES o ICP-MS se deben realizar otros tres pretratamientos adicionales, digestión, sequedad en cama de arena y centrifugación y, por último, filtración.

Para la medida mediante espectrometría alfa es necesario dar otros tratamientos diferentes, separación de Torio a vacío a través de resinas TEVA, una segunda evaporación y por último una electrodeposición.

Una descripción más detallada de cada uno de estos tratamientos se realizará en el apartado de procedimientos.

Se van a explicar los pasos comunes para todas las técnicas, molienda y homogeneización y calcinación:

Molienda, tamizado y homogeneizado

Los pretratamientos de los suelos constan de varias etapas que dependen del tipo de muestra y su naturaleza, además de los análisis que se vayan a realizar. Las diferentes operaciones de pretratamiento van a ser secado, para eliminar la humedad de la muestra, tamizado para eliminar sólidos voluminosos y homogeneización por mezcla y/o trituración hasta un determinado tamaño de grano.

Cuando la muestra de suelo está seca, a veces presenta unos terrones de tierra por lo que es necesario llevar a cabo un proceso de trituración. Antes de iniciar la trituración se deben de eliminar cantos, fragmentos de vidrio, fragmentos de plástico, etc. que pueda contener la muestra. La tamización se debe de realizar para que nos quede un tamaño de partícula de aproximadamente 2 mm. Para el pretratamiento de estas se ha usado un molino de bolas de alta energía para cantidades entre 0,2 y 10 gramos, este es usado principalmente para rocas, minerales, arena, suelos, cemento, etc.

Si el material que se estudia es un residuo o un suelo contaminado será necesario realizar un proceso de pulverización hasta que el conjunto pase por un tamiz de 2 mm.

La muestra después de cualquier operación de separación, triturado o pulverizado debe rehomogeneizarse ya que siempre se puede producir la segregación de las partículas de diferente tamaño.

Calcinación de la muestra

Se pesa en la balanza analítica aproximadamente 10 g de suelo previamente molido, tamizado y homogeneizado. A continuación, la muestra será sometida a secado y calcinación en una mufla, Ilustración 4. 2, durante 4 horas y a una temperatura de 600°C para eliminarla al completo la humedad y la materia orgánica que pueda poseer, tras la calcinación, se almacena en un recipiente hermético para evitar que se hidrate.



Ilustración 4. 2:Mufla

4.1 FLUORESCENCIA RAYOS X

Esta técnica se basa en el estudio de las emisiones de fluorescencia generadas después de la excitación de partículas mediante una fuente de rayos X. La radiación incide sobre la muestra excitando los átomos presentes en la misma, que emiten a su vez radiación característica denominada fluorescencia rayos X. Esta radiación, convenientemente colimada, incide sobre un cristal analizador (con espaciado interatómico d) que la difracta un ángulo (θ) dependiente de su longitud de onda (λ) por la ley de Bragg ($\sin \theta = n \lambda / 2d$). Un detector que puede moverse sobre un determinado rango de dicho ángulo mide el valor de la intensidad de radiación en un ángulo determinado y por tanto para una longitud de onda específica, que es función lineal de la concentración del elemento en la muestra que produce tal radiación de fluorescencia, se puede visualizar en Ilustración 4. 3.

Esta técnica tiene varios usos:

- Mayoritarios por perla de arenas, aluminosilicatos, cales y calizas.
- Aceros de baja y media.
- Aceros inoxidables.
- Algunas aleaciones de plomo.
- Determinación de trazas por pastilla en muestras geológicas con Geoquant de Bruker.

El equipo utilizado para la medición de Torio por esta técnica analítica es el equipo de fluorescencia de Rayos X (FRX) Bruker S8 Tiger, el cual se sitúa en uno de los laboratorios del LTI de la Universidad de Valladolid.

(Laboratorios de Técnicas Instrumentales UVA 2018)

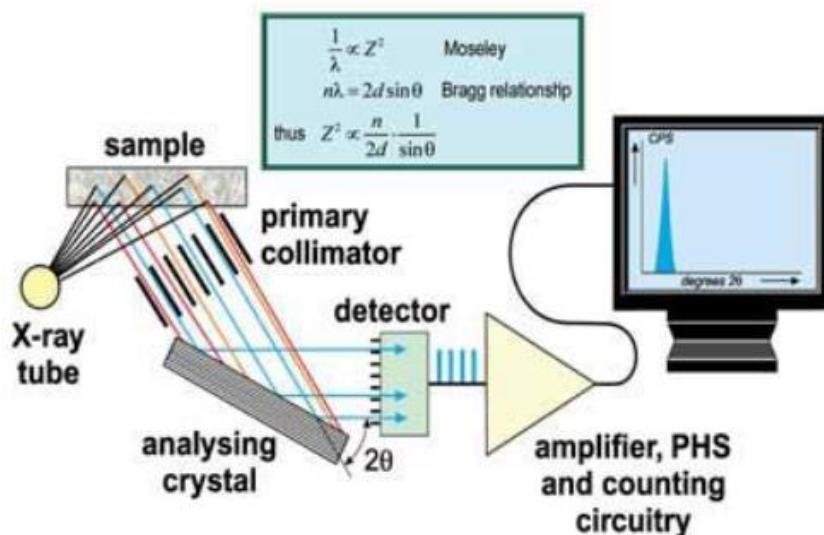


Ilustración 4. 3: Funcionamiento de la técnica por fluorescencia de rayos X

4.1.1 Procedimientos para la preparación de la muestra

Se pesa 10 g aproximadamente de suelo previamente pulverizado, triturado en un molino de bolas, homogeneizado y calcinado, luego se debe de colocar en un mortero ágata. A continuación, con la ayuda de una jeringa de plástico, se añaden 4 ml de ELVACITE (resina acrílica de metil metacrilato y n-butil metacrilato) disuelto en acetona. Se mezcla bien hasta obtener una mezcla homogeneizada de polímero y sedimento. Tras realizar esto se sigue mezclando y machacando la muestra hasta la completa evaporación de la acetona, resultando un polvo muy fino que es prensado durante 8 s. en una prensa hidráulica para obtener una pastilla completa. Por último, esta pastilla es introducida en el equipo y se procede a la determinación de Torio en la muestra.

El análisis del Torio se realiza con un módulo GEO-QUANT v 1.3 de Bruker, mientras que el análisis semicuantitativo se lleva a cabo con QUANT-EXPRESS de Bruker.

Los resultados de las muestras por esta técnica son una estimación de lo que pueden ser en la realidad ya que es una técnica de medición imprecisa.

4.2 DIFRACCIÓN RAYOS X

La radiación procedente de un tubo de rayos X de longitud de onda λ incide sobre la muestra con un espaciado interplanar, si tiene estructura cristalina. Este haz sale reflejado con un ángulo θ de acuerdo con la ley de Bragg ($\sin\theta=n\lambda/2d$). Donde λ es la longitud de onda de los rayos X y $n=1, 2, 3\dots$. Un detector se mueve, variando el ángulo que forma con la muestra y va registrando dicho haz reflejado. El resultado de intensidad en función del ángulo proporciona información sobre la estructura cristalina de la muestra. Las manchas intensas bien definidas que se muestran en la figura se pueden observar sólo si el cristal es lo suficientemente grande para estar compuesto de cientos de capas paralelas. Se puede visualizar este funcionamiento en la Ilustración 4. 4.

La reflexión de rayos X se da a partir de dos capas de átomos. La onda inferior viaja una distancia $2d \sin \theta$ más larga que la onda superior. Para que las dos ondas estén en fase nuevamente después de la reflexión es necesario que $2d \sin \theta = n\lambda$.

Esta técnica analítica tiene numerosas aplicaciones para análisis de fases cristalinas:

- Polvo, materiales varios.
- Metálicas de forma plana.
- Polímeros de forma plana.
- Cerámicos de forma plana.

El equipo utilizado para medir el Torio a través de esta técnica analítica es el equipo de Difracción de Rayos X (DRX) Bruker Discover D8, dicho equipo se encuentra en uno de los laboratorios del LTI de la Universidad de Valladolid.

(*Laboratorio de Técnicas Instrumentales UVA 2018a*)

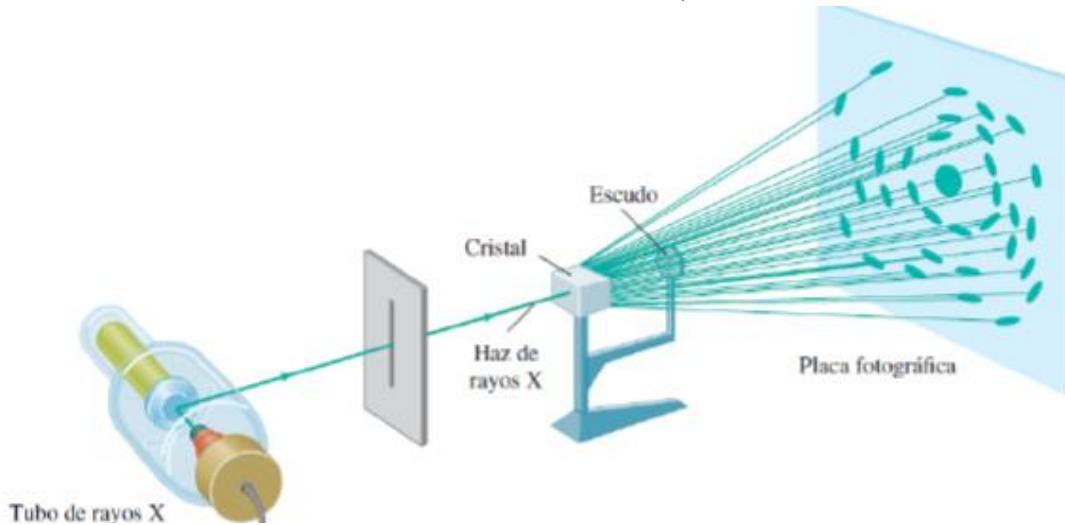


Ilustración 4. 4: Equipo de difracción de rayos X

4.2.1 Procedimientos para la preparación de la muestra

Se pesa entre 0,5-1 g aproximadamente de muestra previamente Triturado y pulverizado a través de un molino de bolas, homogeneizada, calcinada y se rellena el soporte del equipo. A continuación, se introduce este soporte en el equipo y se registra el difractograma de la muestra. Todos los suelos deben ser medidas en las mismas condiciones experimentales.

Una vez finalizado este análisis, se comparan los difractogramas obtenidos con las bases de datos existentes y las librerías específicas para conocer así la composición mineralógica de las muestras de cada uno de los suelos analizados. Se debe marcar en cada una de las muestras de suelo si su concentración es alta, media o baja. Los resultados obtenidos se pueden visualizar en el Anexo IV, en el que se muestran los resultados analizados por el técnico responsable de esta técnica y que se lleva a cabo en uno de los laboratorios del LTI de la Universidad de Valladolid.

4.3 ICP-MASAS

La preparación de la muestra para medir mediante la técnica ICP-MS es poco laboriosa, sólo cuenta con cuatro pasos: molienda y homogeneización, calcinación, digestión y sequedad. Esta técnica proporciona información multielemental en una gran variedad de muestras.

El plasma de acoplamiento inductivo (ICP) es una fuente de ionización a presión atmosférica que junto a un espectrómetro de masas (MS) a vacío, constituye el equipo de ICP-MS.

La muestra líquida es vaporizada e ionizada gracias a un plasma de argón. Los iones una vez formados pasan al espectrómetro de masas donde son separados mediante un analizador y detectados en relación a su carga/masa.

Para analizar el Torio se ha utilizado un ICP-MS con Sistema de Reacción Octopolar HP 7500c de Agilent, el cual se encuentra en un laboratorio del LTI de la Universidad de Valladolid, equipado con un detector de masas cuadrupolo y con una celda de colisión. Este equipo antes de comenzar a medir debe de ser calibrado con patrones previamente preparados por diluciones de un patrón comercial.

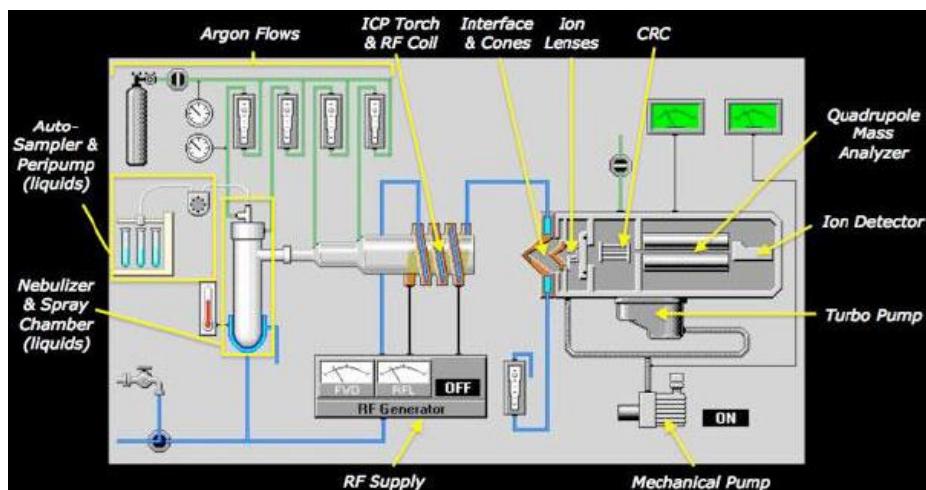


Ilustración 4. 5: Equipo ICPMS

La muestra inyectada se transforma en un fino aerosol que es dirigido hacia la antorcha donde se ha generado un plasma de Argón cuya temperatura llega a alcanzar los 10.000 K. La muestra es sometida a procesos tales como desolvatación, vaporización, atomización y, por último, ionización. Los iones generados pasan al espectrómetro de masas a través de una interfase de acondicionamiento, son focalizados y dirigidos hacia el analizador de tipo cuadrupolo, donde son separados por su relación masa/carga. Como la mayoría poseen carga pueden ser separados por su masa (isótopos), dicho funcionamiento se puede visualizar en Ilustración 4. 5.

Se ha programado en el software para llevar a cabo esta técnica una velocidad del flujo del gas portador de 15 L de Ar/min, una velocidad del flujo de gas auxiliar de 1,5 L de Ar/min, una potencia de 1,25 KW, una presión del nebulizador de 200 kPa. La bomba del nebulizador tiene una velocidad de 15 rpm y el tiempo de lavado de cada muestra es de 20 s.

(Laboratorio de Técnicas Instrumentales UVA 2018c)

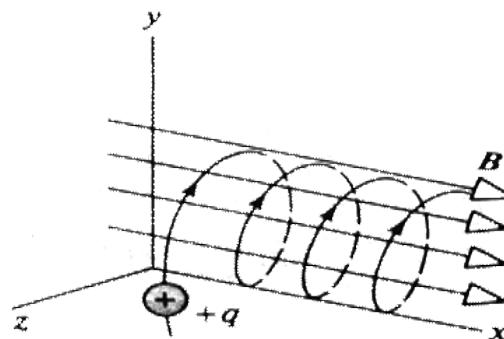
Algunas de las ventajas de esta técnica frente a otras es por ejemplo la alta presión con la que se trabaja, los bajos límites de detección, los razonables costes económicos que supone salvo en la preparación de las muestras y el Argón utilizado para el plasma. También se puede analizar un mayor número

de elementos e isótopos de la tabla periódica de manera simultánea en apenas 5 minutos.

Es necesario conocer los principios del plasma de acoplamiento inducido por argón para entender por completo el funcionamiento de esta técnica.

4.3.1 Principios del plasma de acoplamiento inductivo de argón

Podemos definir un plasma como cualquier volumen de gas con parte de sus moléculas o átomos ionizados y coexistiendo a alta temperatura (8000 °C) en una sopa de iones, electrones, átomos neutros o átomos excitados. Tradicionalmente se suele decir que hay cuatro estados de materia: líquido, sólido, gaseoso y plasma. La generación del plasma se consigue sometiendo un flujo de gas, que se conoce como gas plasmógeno, a la acción de un campo magnético oscilante, inducido por una corriente que oscila a alta frecuencia, Ilustración 4. 6. En el proceso de generación del plasma, los iones de Ar y los electrones libres presentes son acelerados siguiendo trayectorias anulares, debido a la alternancia del campo magnético presente generado por el generador de radiofrecuencia.



Por efecto Joule, en este caso de fricción iónica y electrónica, se consiguen energías altísimas, llegando a obtener temperaturas de hasta 8000 °C en las zonas de máxima intensidad de campo.

Coexistiendo con el plasma encontramos al menos las siguientes especies iónicas: electrones (e^-), iones de argón (Ar^+), moléculas de argón ionizadas (Ar_2^+), neutras (Ar_2^0) y excitadas (Ar_2^*).

Este tipo de procesos explica el hecho de que el plasma aparente ser una llama, cuando en realidad no lo es, no existe ningún proceso de combustión química convencional en el proceso de generación.

La antorcha donde se genera el plasma consiste en tres tubos concéntricos de cuarzo. A los dos tubos más externos les llega Ar en forma tangencialmente, mientras que al más interno le llega un flujo laminar, Ilustración 4. 7.

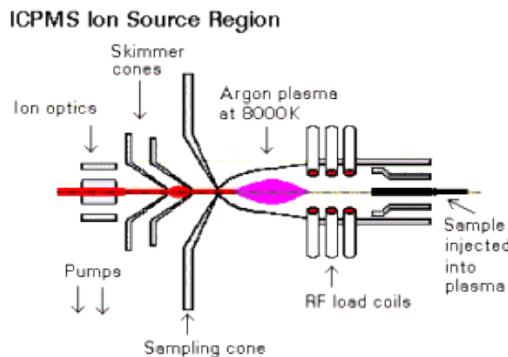


Ilustración 4. 7: Antorcha, fuente de iones y conos de muestreo en un equipo de ICP-MS

El flujo de gas en estos tres tubos es variable. La antorcha está rodeada por una espiral de 2 a 4 vueltas (Load Coils) que transmite una radiofrecuencia al gas interior de la antorcha. El material con el que está construida la espiral es cobre y en su interior circula agua con objeto de refrigerarla. La radiofrecuencia transmitida es de 27 a 40 MHz. La espiral induce un campo electromagnético oscilante al final de la antorcha y en el interior de la espiral. Una chispa de alto voltaje provoca iones de Ar⁺ y e⁻ en las paredes del tubo más externo de la antorcha creando el plasma, el cual llega a la zona de inducción y favorece el acoplado al campo oscilante. La radiofrecuencia origina colisiones no elásticas entre el Ar⁺ y e⁻, de modo que por el efecto Joule, se alcanzan temperaturas de hasta 10000 K, dando lugar a más iones de Ar⁺ y excitando los átomos presentes en el plasma hasta una energía característica del 1º potencial de ionización de 15.76 eV.

En el núcleo del plasma se alcanzan temperaturas de hasta 10000 K. El nebulizador perfora el plasma y las moléculas de muestra son calentadas por conducción y radiación cuando atraviesan el plasma anular. En el centro del canal se alcanzan temperaturas de 5000 a 7000 K. El plasma de Ar excita los átomos presentes en la muestra a un estado M⁺. Conociendo la temperatura en el canal central y los valores de las primeras energías de ionización, se sabe que la mayoría de los elementos se ionizarán y aquellos átomos con valores inferiores a 10 eV lo harán en más de un 50%. Es decir, el Argón es una fuente de ionización eficiente.

Tanto el plasma como los iones deben de pasar desde condiciones atmosféricas a alto vacío en el espectrómetro de masas. Esto se hace gracias a la interfase de extracción de iones. La interfase posee dos conos de metal (Ni o Pt) con un orificio central de 1 mm, a través de un nivel de vacío creciente.

Al primer cono se le denomina sampler y a través de él se accede a una cámara con un vacío de 10 mbar generado por una bomba rotatoria. El segundo cono es el skimmer y a través de él se llega a un cámara con una presión de 10⁻³ mbar generado por una bomba Turbomolecular. Una vez dentro de la cámara principal, el gas es separado de los iones + y el bombeado hacia fuera. Los iones remanentes son extraídos y enfocados en el cuadropolo (donde la presión es de 10⁻⁶ mbar) a través de las lentes iónicas. Las lentes iónicas tienen

forma cilíndrica o de plato y son cuatro. Junto con las lentes también existe una barrera de fotones, el cual impide que la luz emitida por los procesos de desexcitación en el plasma pase a través del analizador de masas y llegue al detector.

(Robert Thomas 2003)

4.3.2 Procedimientos para la preparación de la muestra

Los primeros pasos a realizar son los dos comunes para todas las técnicas explicados al comienzo del apartado 4.3. Por lo que lo primero es una preparación de la muestra para que pueda ser medida mediante espectrometría alfa.

Digestión en microondas

En cada proceso de digestión se van a poder digerir seis muestras ya que contiene seis reactores o tubos de teflón y por cada reactor se procesará una muestra de suelo. Por tanto, en cada uno de los tubos de teflón se van a pesar aproximadamente 0.5 g de suelo, adicionando 8 ml de HNO_3 , 5 ml de HCl y 3 ml de HF. Después se debe de tapar y apretar perfectamente los tubos según el manual de instrucción para evitar fugas y favorecer la digestión completa de los silicatos. Por último, se lleva a microondas y se selecciona en el software Inorganic/Soil total digest 1 para poder realizar la digestión completa. Ilustración 4. 8 e Ilustración 4. 9.



Ilustración 4. 8:Horno de digestión



Ilustración 4. 9: Reactores para el horno microondas

Sequedad en cama de arena

Acabado el proceso de digestión se pone cada muestra en un tubo de teflón y se somete a su sequedad en una cama de arena para eliminar todos los ácidos, pero sobre todo el fluorhídrico. Después de sequedad se debe de adicionar 10 ml de HNO₃ a cada vaso de teflón para conseguir que las muestras estén completamente nitradas, disolver el residuo que queda y llevarlo otra vez a la cama de arena hasta sequedad. Para finalizar esta etapa se debe de disolver el residuo con HNO₃ al 4% en un matraz aforado, Ilustración 4. 10.



Ilustración 4. 10: Cama de arena

Filtración

Cada una de las muestras disueltas con el HNO₃ al 4% se debe de filtrar para eliminar las pequeñas partículas de residuo que hayan quedado sin disolver. Una vez realizada la filtración, el último paso es enrasar cada una de las muestras en un matraz aforado de 25 ml antes de su medición por ICP-OES o ICP-MS. Se obtiene una solución entre el 2% y el 4% de concentración.

Medición por ICP-MS

Nos basta con colocar 5 ml de cada muestra en un tubo de ensayo de 5 ml. Este equipo se debe de calibrar con patrones previamente preparados de un patrón comercial a diferentes concentraciones. Tras haber realizado la calibración se van colocando las muestras según el orden que se ha programado en el software y algunas de las muestras se deben de repetir para comprobar la exactitud de medición. El equipo con el que se ha llevado a cabo la medición de las muestras se muestra en Ilustración 4. 11.

El funcionamiento de esta técnica de medición de Torio es el comentado anteriormente.



Ilustración 4. 11: Equipo ICP-MS del LTI

4.4 ICP-OES

El plasma de acoplamiento inductivo (ICP) es una fuente de ionización que junto a un espectrofotómetro de emisión óptico (OES) constituye el equipo de ICP-OES.

En esta técnica, la introducción continua de la muestra líquida y un sistema de nebulización forma un aerosol que es transportado por el Argón a la antorcha del plasma, acoplado inductivamente por radio frecuencia. En el plasma, debido a las altas temperaturas generadas, los analitos son atomizados e ionizados generándose los espectros de Emisión atómicos de líneas características. Los espectros son dispersados por la red de difracción y el detector sensible a la luz se encarga de medir las intensidades de las líneas. La información es procesada por el sistema informático.

El equipo utilizado para llevar a cabo la medición de Torio en las muestras de suelo es el espectrofotómetro de emisión atómica ICP-OES Radial Simultáneo Varian 725-ES, este equipo se encuentra en uno de los laboratorios del LTI de la Universidad de Valladolid.

(Laboratorio de Técnicas Instrumentales UVA 2018d)

Los átomos en su estado fundamental son excitados a estados energéticos superiores denominados estados excitados. Dichos átomos o iones excitados son inestables y tienden a volver a su estado fundamental, devolviendo la energía absorbida en forma de radiaciones electromagnéticas de longitudes de onda características. Las frecuencias de las radiaciones emitidas están

relacionadas directamente con la configuración electrónica y con la energía que proporciona la fuente de excitación. Cada elemento, por tanto, produce un conjunto de radiaciones a longitudes de onda fijas que constituyen su espectro atómico característico. El funcionamiento de la técnica se puede visualizar en la Ilustración 4. 12.

(Escareño 2000)

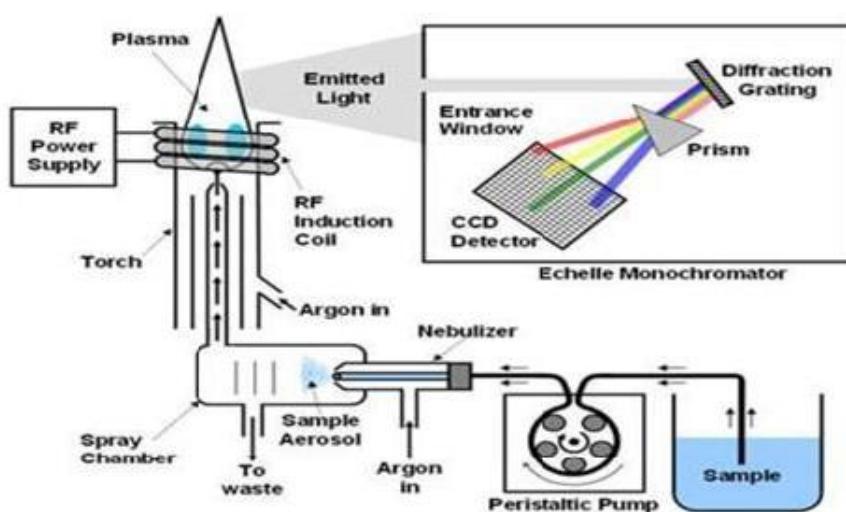


Ilustración 4. 12: Funcionamiento ICP-OES

4.4.1 Procedimientos para la preparación de la muestra

La preparación de las muestras es la misma que la que se ha utilizado para medición mediante ICP-MS, (explicada en el apartado 4.3.2) el único paso que cambia es el último, el de la medición a través del equipo. Antes de comenzar con las mediciones, el equipo se debe de calibrar con unos patrones multielementales previamente preparados y a continuación se van leyendo cada una de las muestras colocadas en un tubo de ensayo, los cuales se encuentran colocados en orden según una programación del software sobre una gradilla. Estos patrones han sido preparados únicamente con Torio nitrados a diferentes concentraciones. La presión del nebulizador se programa a 200kPa y el tiempo de lavado entre las muestras es de aproximadamente 20s. Algunas de las mediciones han sido replicadas y cada 12 muestras se ha colocado un blanco y un QC (quality control) para comprobar la exactitud del método. Las mediciones se hacen para 3 longitudes de onda previamente

programadas pero los resultados son muy bajos y en las longitudes de ondas se detectan otros elementos además de Torio por lo que es un método bastante impreciso. El equipo que se ha usado para medir las muestras ha sido el mostrado en la Ilustración 4. 13.

Los resultados de la concentración de Torio obtenidos por este método son muy bajos por lo que no son lógicos ni fiables. Para ello se decidió medir dichos resultados mediante la técnica de ICP-MS ya que es más fiable.



Ilustración 4. 13: Equipo de medición ICP-OES del LTI

4.5 ESPECTROMETRÍA ALFA

La espectrometría alfa se basa en la medida de las partículas alfa que llegan a un detector, situado en una cámara sometida a vacío (inferior a 1 torr). Cuando las partículas alfa llegan al detector, se produce una señal electrónica que es captada por un analizador multicanal (MCA), que genera un espectro digital en el que se reparten las partículas detectadas en función de su energía. Este espectro es analizado y representado con el software en un ordenador.

Para analizar el Torio mediante esta técnica analítica utilizamos el equipo de Alpha Analyst de la marca Canberra, el cual se encuentra en uno de los laboratorios del LTI de la Universidad de Valladolid, Ilustración 4. 14.

(Laboratorio de Técnicas Instrumentales UVA 2018b)

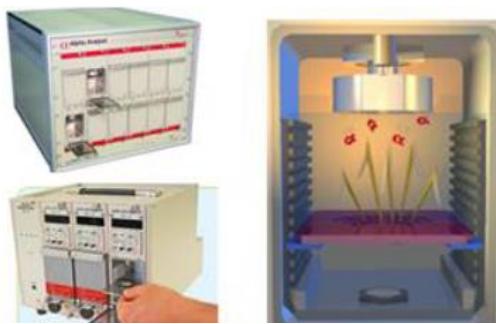


Ilustración 4. 14: Equipo de espectrometría alfa

La espectrometría alfa clásica se realiza utilizando fuentes radiactivas extraordinariamente finas y homogéneas obtenidas por diferentes procedimientos (electrolisis, sublimación en vacío, electrodispersión, etc...) con los que los distintos nucleidos emisores alfa son depositados sobre soportes pulidos de diversos materiales (latino, acero inoxidable, vidrio...).

Los espectros alfa de estas fuentes consisten en una serie de gaussianas o picos más o menos asimétricos cuyos máximos están distribuidos de una forma lineal con respecto a las energías correspondientes y cuya anchura a mitad de su altura depende de una serie de factores (ruido electrónico, superficie del detector, espesor de la fuente, etc...) y es la misma prácticamente para todos los picos si el espectro está realizado con un detector de barrera de silicio.

Si las fuentes son lo suficientemente finas y homogéneas, es decir, de espesores másicos a $50 \mu\text{g/cm}^2$, la degradación de energía de las partículas alfa por efecto de la autoabsorción es mínima, pero, de todas formas, siempre aparece una cola de baja energía que llega hasta el origen de energías y que según experiencias de Patigny et al. Alcanzan un valor integral de aproximadamente el 10% del total de las partículas detectadas por el espectrómetro, y este valor parece ser independiente del procedimiento seguido para la preparación de la fuente, a diferencia de la anchura a media altura del pico.

El análisis de estos espectros se puede realizar de una forma relativamente sencilla y aunque existen picos que puedan solaparse por estar sus energías muy próximas hay procedimientos gráficos y analíticos que permiten descomponer el espectro complejo.

(Barrenechea, Toraño, and Núñez 1977)

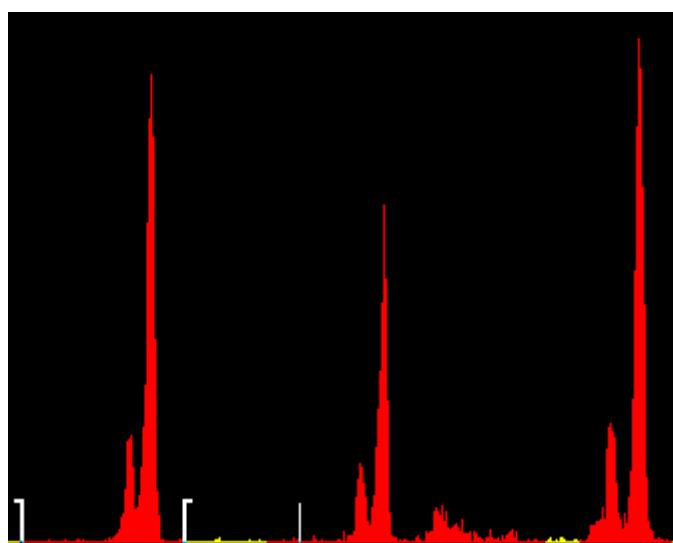


Ilustración 4. 15: Ejemplo muestra CRM-IAEA-B

En el ejemplo anterior, Ilustración 4. 15, se puede observar como en cada pico parece haber dos picos solapados. Cada pico es un Torio diferente, el primero es el ^{232}Th , el segundo ^{230}Th , el tercero ^{229}Th y el cuarto es el ^{228}Th (de izquierda a derecha). Cada uno de los picos solapados se debe a que cada Torio tiene más de una abundancia distinta con diferente energía alfa a la que aparece. A continuación, en la Tabla 4. 1 se representan las diferentes energías a las que aparece cada pico:

		keV	p%	$T_{1/2}$	Progenitor/ Descendiente
Trazador	^{229}Th	4845 4901	56.2 10.2	7340 a	^{225}Ra
Analito	^{230}Th	4620.515 4687.015	23.41 76.33	75400 a	$^{234}\text{U}/^{226}\text{Ra}$
	^{232}Th	3947.22 4012.314	21.713 78.213	1.4E10 a	Progenitor/ ^{228}Ra
	^{228}Th	5423.15 5340.36	72.2 27.2	1.9125 a	$^{232}\text{Th}/^{224}\text{Ra}$

Tabla 4. 1: Tabla de energías para los diferentes isotopos de Torio en las muestras

(Escaño 2000)

Si el espesor de las fuentes alfa se aumenta progresivamente, los picos de los espectros se van ensanchando, empeorando gradualmente la resolución y aumentando las colas de baja energía, que interferirán grandemente en los pocos correspondientes a las partículas alfa de energías inferiores. Cuando el espesor de estas fuentes se hace mayor que el alcance de las partículas más energéticas en la sustancia de la muestra, la degradación de energía es máxima y el espesor radiactivo es constante e igual a dicho alcance.

Un espectro alfa realizado con una fuente de este tipo ya no consistirá en una serie de picos sino en una línea de perfil de escalera cuyas caídas no son verticales debido a las fluctuaciones estadísticas del recuento y tienen una forma más o menos sigmoidal; la abscisa del punto de inflexión coincidirá con la de la energía de las correspondientes partículas.

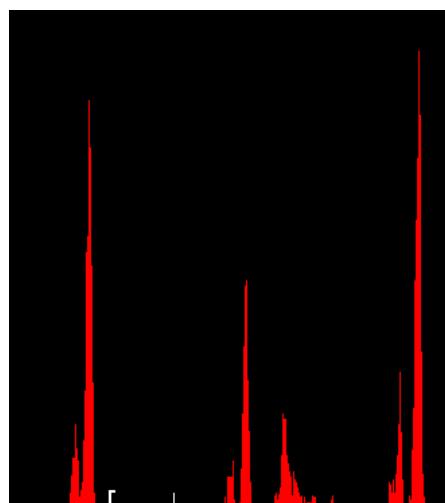


Ilustración 4. 16: Ejemplo muestra L2M17

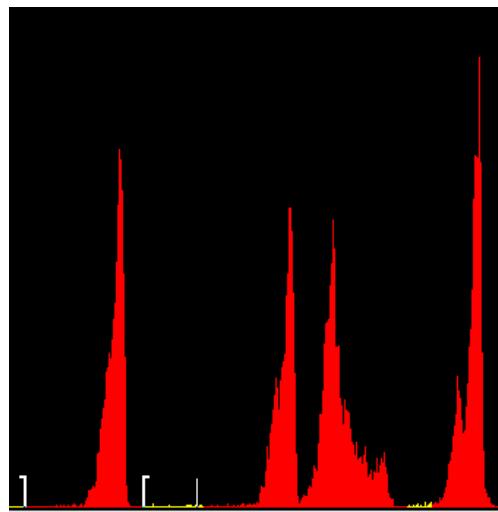


Ilustración 4. 17: Ejemplo muestra L2M21

En la Ilustración 4. 17 aparecen picos más anchos y por lo tanto de mayor resolución que en la Ilustración 4. 16. En ambos espectros existe el fenómeno de autoabsorción y tiene una cola de baja energía que llega hasta el origen de bajas energías. El estudio de los picos de radionúclidos por espectrometría alfa es uno de los objetivos de este proyecto por lo que si los picos están muy juntos tendríamos que tener mucho cuidado en su resolución y poner atención en el origen y final de los ROIs que se van a tomar para medir sus cuentas. Aunque en los picos que se han mostrado en los isotopos anteriores se puede observar como cada uno de los picos de cada isotopo están separados por lo que la resolución pasa a un segundo plano.

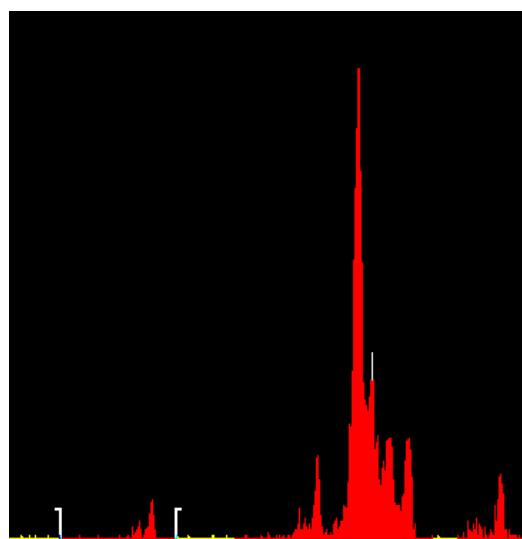


Ilustración 4. 18: Ejemplo muestra L2M24-B

Sin embargo, nos puede aparecer en los espectros otra situación como es el caso del ejemplo de la muestra L2M24-B, en la Ilustración 4. 18, en el que algunos picos de Torio son casi inexistentes, en el anterior se puede apreciar que tenemos ^{229}Th , mientras que el resto de Torios son casi inexistentes, esto

se puede deber a la composición de elementos que hay en las diferentes muestras de los diferentes suelos que se estudian.

La espectrometría alfa de fuentes radiactivas gruesas no parece haber sido muy estudiada hasta el momento y es muy poca la información bibliográfica que se dispone.

Aunque la espectrometría de fuentes finas proporciona mejor información y más fácil interpretación de resultados que la espectrometría de fuentes gruesas, sin embargo, esta última presenta algunas ventajas dignas de ser tenidas en cuenta:

- Es posible realizar medidas no destructivas de muestras sólidas, evitándose la preparación de depósitos finos, representativos de la sustancia a analizar, no siempre fáciles de hacer, como son, por ejemplo, la determinación de equilibrios radiactivos en minerales de uranio y torio.
- Para una misma superficie examinada bajo el mismo ángulo sólido, los recuentos son mucho más elevados y por lo tanto se mejora considerablemente la precisión estadística.
- Las medidas son mucho menos sensibles al fondo debido a contaminaciones accidentales del detector o la cámara de recuento.

(Barrenechea, Toraño, and Núñez 1977)

4.5.1 Procedimientos para la preparación de la muestra

Como se puede observar en la figura del esquema inicial del capítulo, Ilustración 4. 1, para la medición de las muestras por espectrometría alfa se realizan pasos que son iguales a los de otras técnicas analíticas. Primero se realiza una molienda y homogeneizado de la muestra, a continuación, una calcinación en una mufla, después se realiza una digestión en horno microondas, seguida se realiza una evaporación de ácidos en una cama de arena. Todos estos pasos han sido explicados al tratar los procedimientos llevados a cabo para cada una de las muestras, pero la técnica de espectrometría alfa requiere de cuatro etapas a mayores que las técnicas de ICP-MS e ICP-OES para que las muestras puedan ser medidas:

Centrifugación

Esta etapa es sencilla y rápida. Tras obtener el residuo de la segunda evaporación con ácido nítrico, realizada en la cama de arena, se disuelve el residuo con aproximadamente 15 ml de nitrato de aluminio. Estas muestras se deben enrasar en tubos falco con aproximadamente 20 ml antes de centrifugar. Se debe de programar la centrífuga a 4000 rpm durante 15 min.

Separación de Torio mediante resina TEVA

La separación del Torio se lleva a cabo por medio de resina TEVA y a vacío, Ilustración 4. 19. Colocando un vaso debajo de cada columna para la elución. Se añade 5 ml de HNO₃ a cada columna para acondicionar la resina. Después se dejan pasar las muestras, una vez que esta ha pasado se lava con 30 ml de HNO₃. Por último, se debe de cambiar el vaso ya que se añade 15 ml de HCl y con la adición de este ácido conseguimos extraer el torio que contenía la muestra tras el paso por la resina, al igual que eliminar el resto de los actínidos presentes en la muestra.



Ilustración 4. 19: Extracción del Torio por cámara de vacío

Evaporación

Esta etapa consiste en otra evaporación para eliminar los ácidos residuales, agentes oxidantes y material orgánico que pueda interferir en la electrodeposición. Se deja evaporar los 15 ml obtenidos tras la elución hasta sequedad evitando que hierva. Una vez que se ha conseguido su evaporación completa hasta sequedad, se agregan 2 ml de H₂SO₄ concentrado y 2 ml de NaHSO₄ al 5% y se vuelve a poner a evaporar hasta sequedad. Tras la evaporación completa se adicionan 5 ml de H₂SO₄ al 10% y 5 ml de (NH₄)₂SO₄. Por último y antes de la electrodeposición se debe de ajustar el pH, para ello se añade cuatro gotas de azul de timol y se añade NH₃ hasta conseguir un pH de 2.

Electrodeposición

Para la realización de la electrodeposición primero se debe de montar la celda de electrodeposición, colocando una plancheta de acero inoxidable previamente limpia con un algodón con acetona. A continuación, se monta la celda con la plancheta y el cátodo de platino. Tras el montaje de la celda, y la conexión de los electrodos a la misma se debe de añadir la muestra que se obtuvo en el paso anterior y enjuagar el vaso que la contiene con un poco de agua desionizada como se muestra en la Ilustración 4. 20.

Se aplica una corriente durante 90 min, durante los 5 primeros minutos se la corriente debe de ser de 0,3 A y durante el resto de 0,6 A.

Cuando falte un minuto se debe de añadir 1 ml de amoníaco para parar la reacción. Por último, se apaga la fuente, se quitan los electrodos y se desecha el electrolito, se lava la plancheta con agua desionizada, tras secarse se enjuaga la plancheta con un chorro de alcohol y se mete a secar al horno durante aproximadamente 10 min. Cada una de las planchetas que se obtienen, Ilustración 4. 21 se guarda en una caja de Petri y se identifica para su posterior medición.

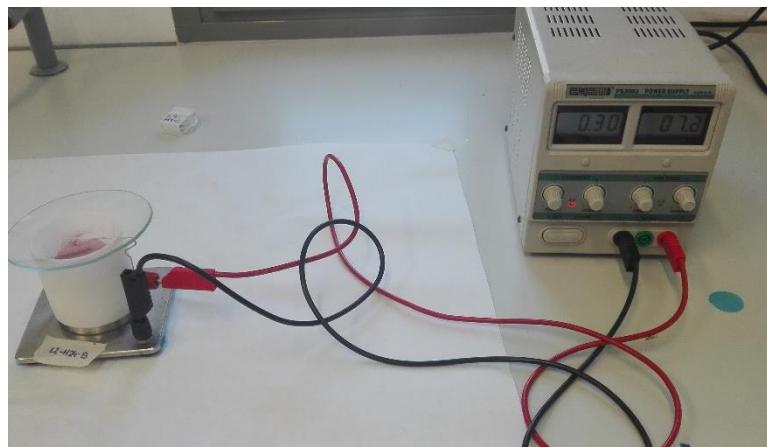


Ilustración 4. 20: Equipo de electrodeposición

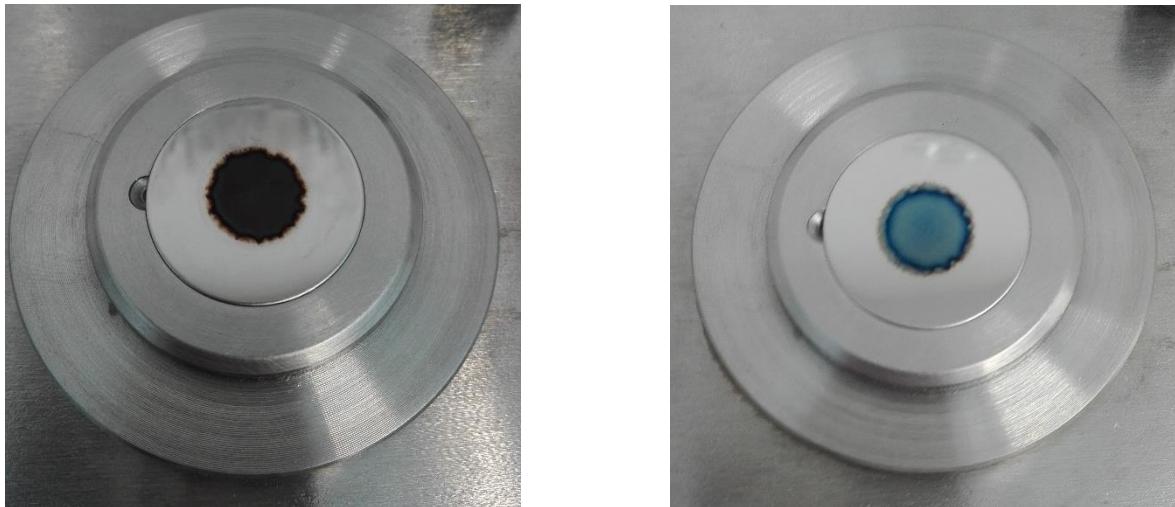


Ilustración 4. 21: Electrodeposición muestras L1M9 y L1M10

Medición por espectrometría alfa

El sistema se calibra en eficiencia y en energía a través de una fuente triple antes de realizar la medición, también se cuenta la medición de fondo. Esto se hace para cada una de las cámaras, Ilustración 4. 22, que se utilicen para el conteo. La medición por este método utiliza 300000 segundos y es necesario medirlo en el LTI (laboratorio de técnicas instrumentales).

Una vez que finaliza la medición, se obtienen unos espectros que posteriormente serán usados para el cálculo de actividad, rendimientos, incertidumbres, etc. de cada una de las muestras que también se realiza para poder elegir cual es la técnica más apropiada para la determinación de Torio y si hay alguna muestra que debe de repetirse por haber obtenido un espectro “raro” debido por ejemplo a un mal procedimiento de la técnica.



Ilustración 4. 22: Equipo de medición espectrometría alfa del LTI

4.5.2 Sofware Alpha Acquisition & Analysis

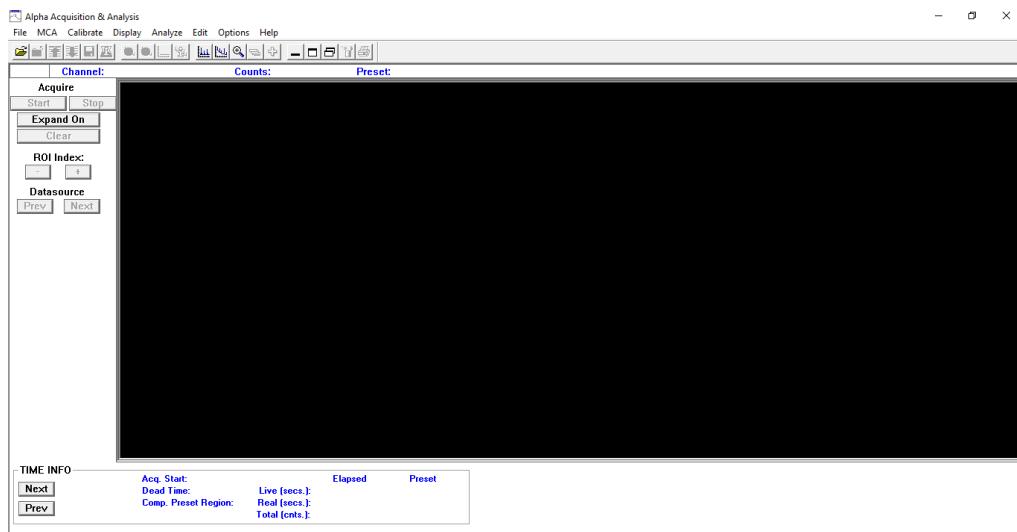
El objetivo que lleva a cabo este sofware es establecer la metodología para la utilización y mantenimiento de las cámaras alfa de un espectrómetro alfa.

Este procedimiento es de aplicación al Alpha Analyst de la marca Canberra, que se utiliza en el LTI.

El equipo está compuesto por el detector semiconductor, la cámara de medida, el sistema de vacío y electrónica asociada, incluyendo el analizador multicanal de altura de impulsos. Primero se debe de encender el equipo desde un interruptor en la parte posterior del equipo. A continuación, se debe de encender la bomba de vacío, y, por último, encender el ordenador, ir a Genie 2000 y después seleccionar el ícono de Alpha Analyst Acquisition el cual presenta el siguiente ícono:



Al seleccionar el programa se nos abre la siguiente pantalla:



El menú File permite abrir, cerrar o guardar una fuente de datos y guardarla con otro nombre (guardar como), imprimir o copiar un gráfico del espectro actual, imprimir el contenido del informe. También permite abrir, guardar o eliminar archivos del espacio de trabajo y salir del programa. Esta pestaña presenta las siguientes opciones:

- Open datasource
- Close
- Save
- Save as
- Data plot
- Plot to clipboard
- Print report window
- Export data plot
- Open workspace
- Save workspace
- Delete workspace
- Exit

El menú MCA, que sólo está disponible cuando la fuente de datos seleccionada actualmente es una entrada de detector, esta contiene el conjunto de operaciones que se realizarán en el MCA y en el hardware de interfaz electrónica. Esta pestaña presenta las siguientes opciones:

- Acquire start
- Acquire stop
- Acquire setup

- Clear
- Adjust
- Status
- Advance
- Load

El menú de calibración proporciona varias opciones para calibrar en eficiencia y energía la fuente de datos, mostrando gráficamente la calibración y configurando las preferencias para la calibración. También permite cargar y almacenar los archivos de calibración. Esta pestaña presenta las siguientes opciones:

- Setup
- Energy only calibration
- Energy coefficients
- Energy full
- Energy Recalibration
- Energy show
- Efficiency
- Efficiency show
- Load
- Store

El menú display contiene varias funciones para la visualización de datos: expandir, escala, comparar, rois y preferencias. Esta pestaña presenta las siguientes opciones:

- Expand
- Scale
- Compare
- ROIS
- Preferences

El menú Analizar le permite seleccionar y ejecutar o abortar (detener) una sola fase de análisis, como “Adquisición”, o una secuencia predefinida de fases de análisis. Una fase incluye todos los parámetros necesarios para su correcta ejecución. Una secuencia es una lista de parámetros incluyendo los algoritmos para una fase dada, los parámetros de procesamiento requeridos para cada algoritmo necesario para analizar y generar informes. Para obtener información sobre la creación o el tratamiento de una secuencia, se debe de consultar Secuencia de análisis.

El menú editar contiene las siguientes opciones:

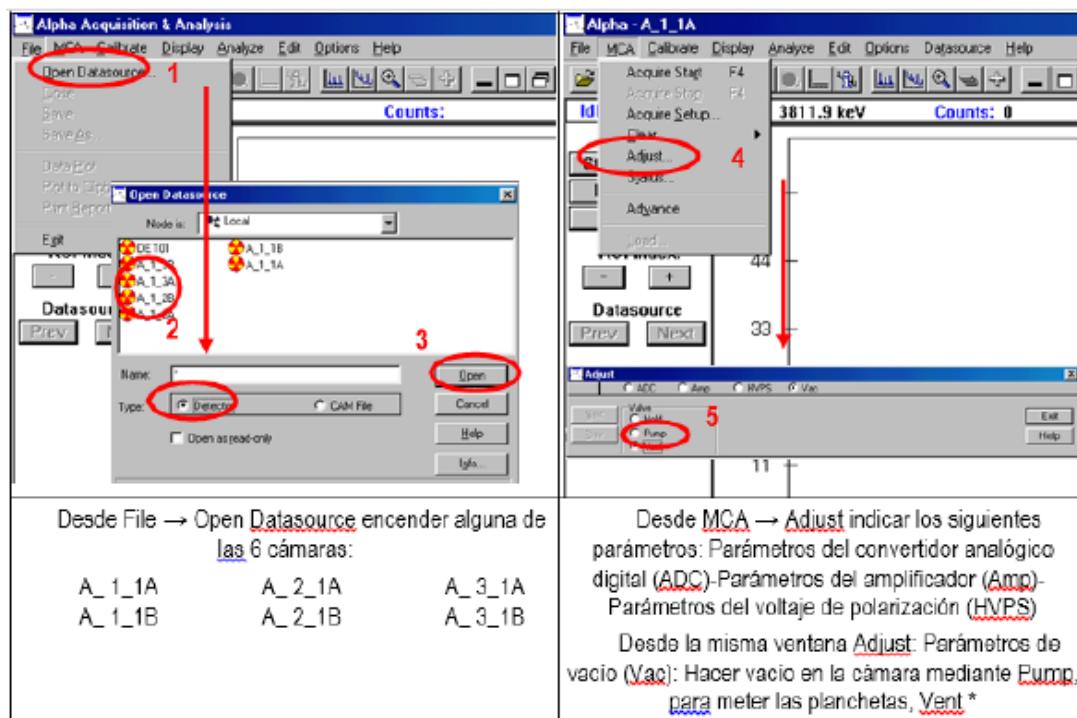
- Edit simple info
- Edit Analysis sequence

El menú de opciones contiene las siguientes pestañas:

- Change operator
- Interactive NID
- Geometry composer
- Strip
- Smooth
- Datasource overview
- Report window

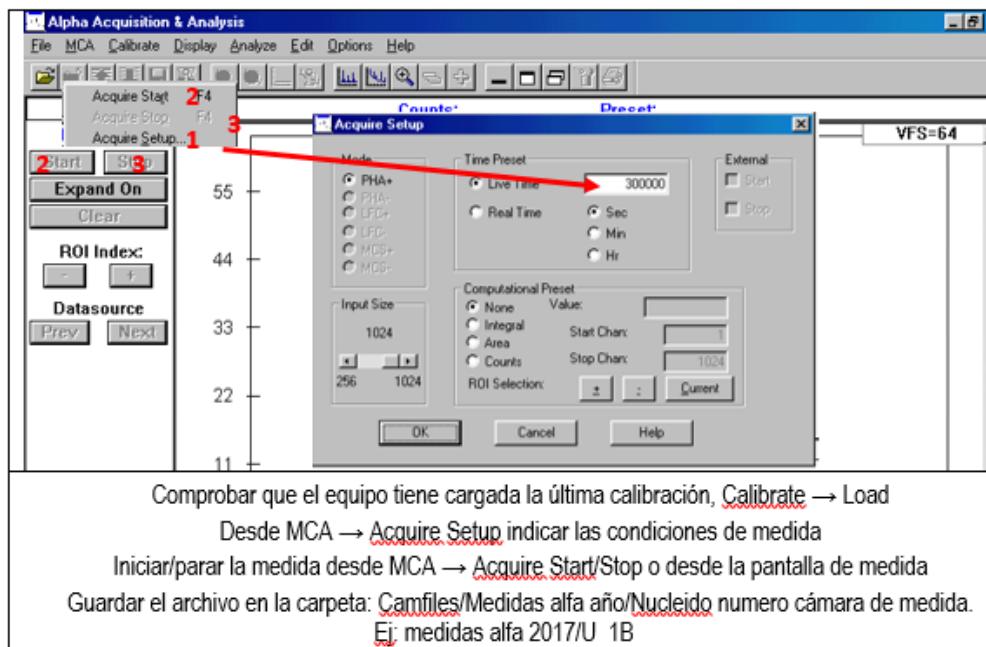
El menú de ayuda nos muestra ayuda para solucionar cualquier duda o problema que se nos pueda plantear.

Para encender el programa debemos de seguir las siguientes indicaciones:

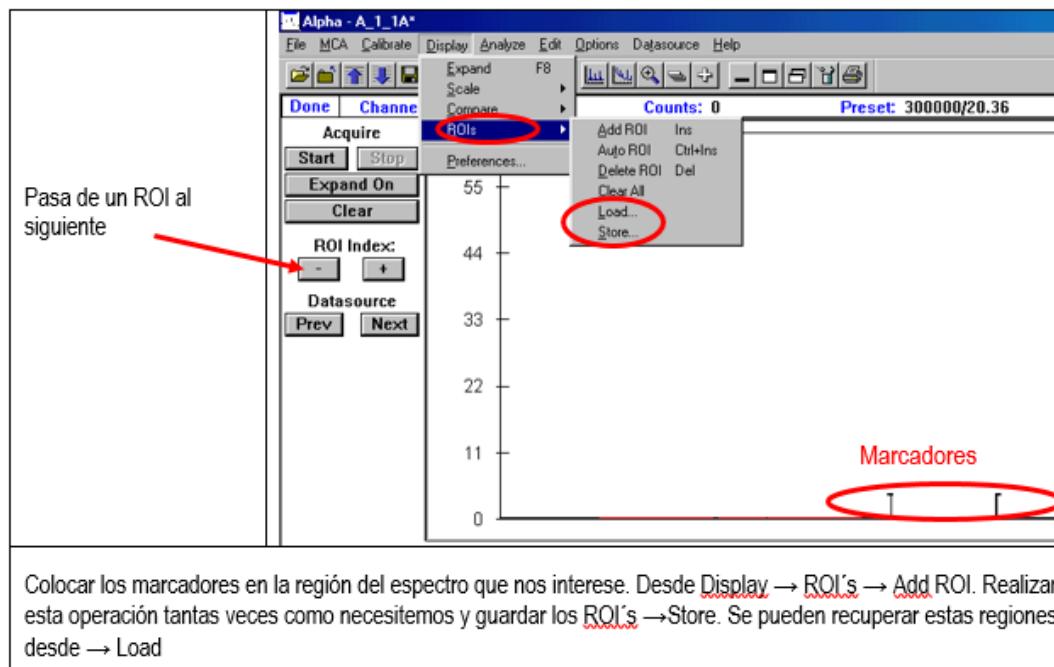


Es conveniente saber que para poner las cámaras a vacío cuando se ventee una de ellas se debe de seleccionar la opción de Hold. Volver a ponerlas en Pump en cuanto se cierre la que hemos abierto.

Para realizar la medida se debe de anotar en el formato F-PNE-AAN-01/02 el código de la muestra que se está analizando junto con la cámara y ranura empleadas y la fecha y hora de inicio de la medida.

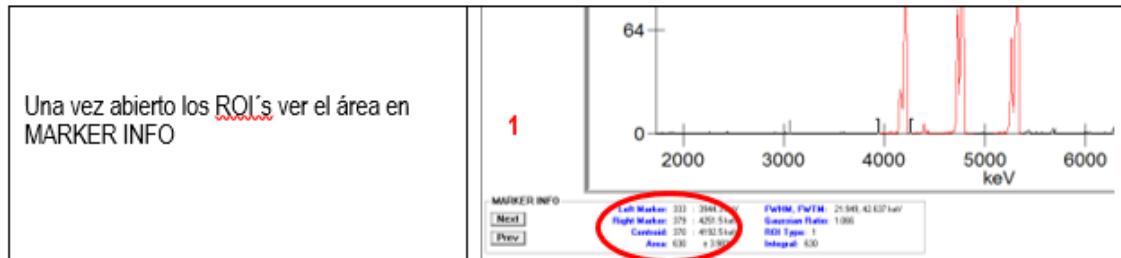


Dado que las medidas en espectrometría alfa suelen ser grupos de picos, lo mejor es integrar en lo que se denomina ROI's (Region Of Interest).

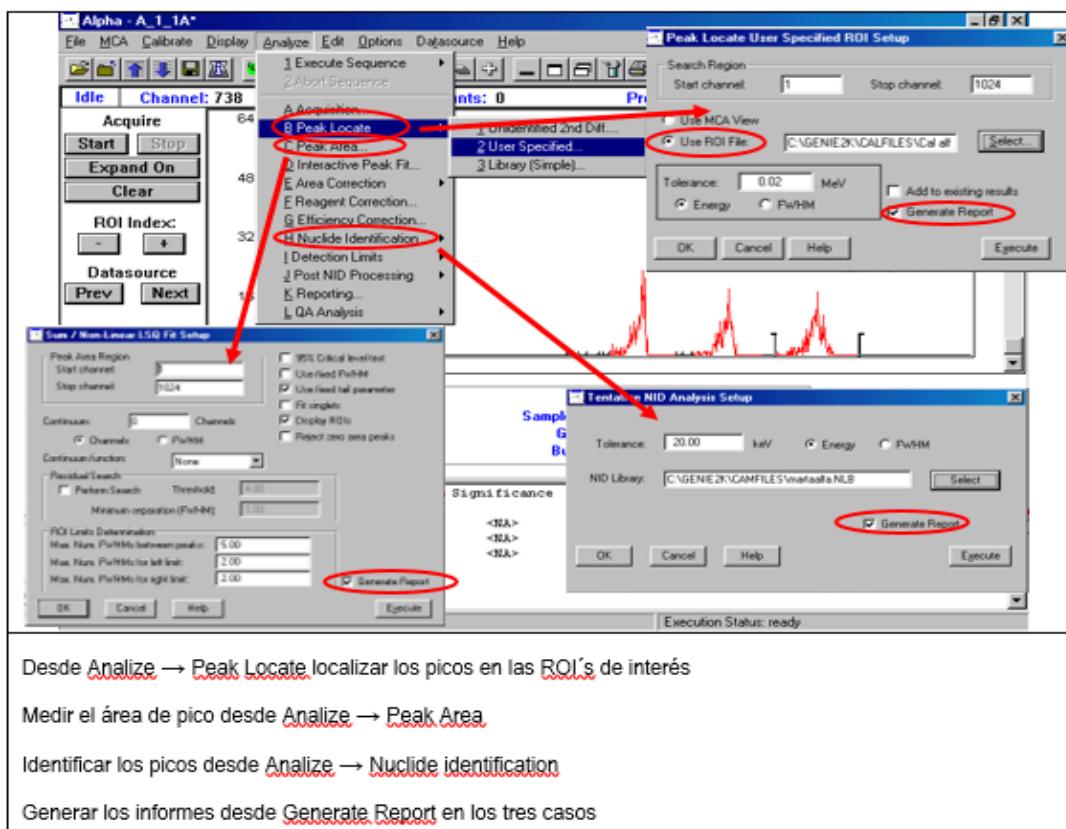


Una vez que se ha hecho la medida hay que integrar las medidas, medir el área de pico e identificar los picos. Esto se puede hacer por dos modos:

A partir de los ROI's



De forma automática



Para el apagado del programa se debe de seguir los siguientes pasos:

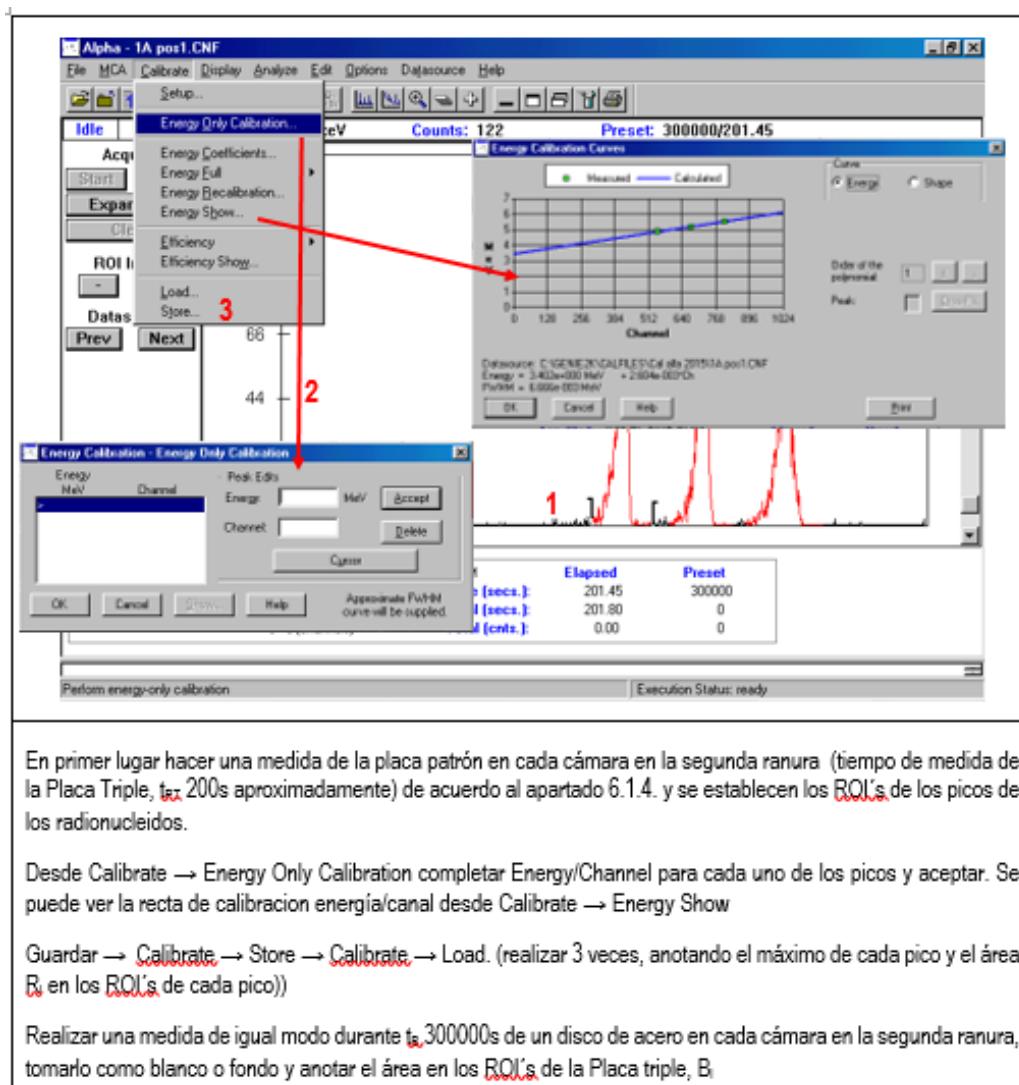
Desde MCA -> Adjust romper vacío, apagar equipo, bomba y software.

El programa dispone de la opción de reiniciar una medida sin llegar a término el tiempo y después de haberla parado y guardado. Para ello: abrir el archivo guardado sin terminar abrir un detector y pulsar LOAD -> seleccionar el archivo de la muestra sin terminar.

Para calibrar el equipo, en primer lugar, se debe de hacer una calibración en energía determinando la relación canal/energía como en eficiencia.

La calibración en energía tiene por objeto determinar la relación entre los números de los canales del analizador multicanal utilizado para la obtención del espectro y la energía de las partículas alfa. Para ello se emplea una fuente radiactiva que contenga al menos dos radionucleidos. Las fuentes patrón normalmente contienen tres nucleídos, de forma que la calibración se realice en el intervalo de energías en que emiten los emisores alfa más comunes en las determinaciones en muestras ambientales.

A continuación, se muestra la relación en energía/canal empleando el formato F-PNE-AAN-01/01:



Sin embargo, la eficiencia de recuento o eficiencia de detección de un sistema de espectrometría alfa se obtiene de la relación entre la actividad alfa de una fuente y la tasa de partículas detectadas por el sistema empleado. Puesto que todas las partículas que llegan al detector con suficiente energía son registradas, la eficiencia de recuento depende básicamente de la geometría del conjunto fuente-detector.

El procedimiento más simple para la obtener la eficiencia de recuento de un equipo con un determinado detector y para una separación fuente detector establecida, consiste en la utilización de una fuente patrón de la actividad alfa conocida y certificada, cuyas dimensiones coincidan con las fuentes que normalmente se miden en este equipo.

La eficiencia del recuento se obtiene de la expresión:

$$\epsilon = \frac{\left(\frac{\sum R_i}{t_{PT}} - \frac{\sum B_i}{t_B} \right)}{A}$$

Donde:

A=actividad certificada de la fuente patrón.

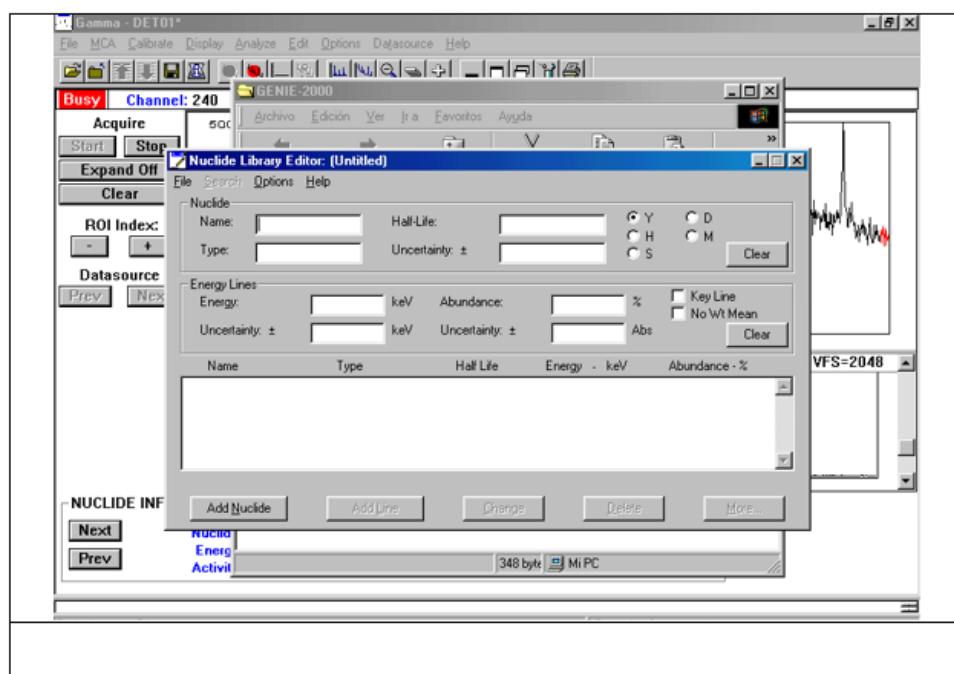
R_i= la tasa de conteo de cada pico de la Placa Triple, cuentas.

B_i= tasa de conteo de cada pico del blanco, cuentas.

t_{PT}=tiempo de medida de la Placa Triple.

t_B= tiempo de medida del blanco.

Para acceder a la librería de los radionucleidos se debe de hacer desde el programa Genie 2000 ir a Nuclide Library Editor y se visualizará:



(Marta Hernández Revilla, n.d.)

4.6 PRECAUCIONES EN LAS DIFERENTES TÉCNICAS ANALÍTICAS

A lo largo del tratamiento de las muestras por cualquiera de las diferentes técnicas, hay que tener en cuenta una serie de precauciones:

- Deben de evitarse las contaminaciones cruzadas, lo cual es complicado ya que en muchos de los pasos se trabaja con teflón, el principal causante de dichas contaminaciones. Es necesario descontaminar el material que se va usando a lo largo del proceso.
- Contaminación a partir de ácido clorhídrico, sobre todo en los reactores, aunque también se ha usado en más partes del proceso, esta contaminación es debida a que no tenemos un descontaminante total de dicho producto.
- Se debe de extremar la precaución durante la manipulación de las fuentes radiactivas que se utilizan en el proceso.
- Se deben de realizar cada uno de los pasos del procedimiento de cada técnica de manera lo más igual para cada una de las muestras y en el mismo orden para evitar que se produzcan diferencias en el método de una muestra a otra.
- Otro de los mayores problemas que se deben de tener en cuenta en la técnica por espectrometría alfa es la descontaminación de la celda electrolítica, dicha descontaminación se debería realizar en aproximadamente 24 horas, debido a la falta de tiempo esto no se ha llevado a cabo y se ha lavado únicamente con agua y jabón. Esto puede conllevar a una contaminación cruzada.
- La contaminación cruzada es una de las cosas que se puede comprobar analizando los resultados obtenidos por cada técnica, por ejemplo, en la espectrometría alfa se puede saber si hay contaminación cruzada si nos dan unos picos muy anchos y poco claros, esto apenas se puede observar en las muestras que se han medido.

Capítulo 5:

CÁLCULOS

En este capítulo se van a detallar todos los cálculos necesarios para la obtención de resultados por cada una de las técnicas analíticas estudiadas. Para la realización de estos cálculos, ha sido necesario elaborar cada uno de los pasos explicados en el anterior capítulo, para poder obtener por cada uno de los equipos específicos de cada técnica analítica la lectura de cada muestra.

5.1 ICP-OES

El equipo de medición para la técnica de espectrometría óptica nos proporciona para cada una de las muestras medidas datos de respuesta, el objetivo consiste en realizar los cálculos necesarios para transformar esas respuestas en datos de concentración. Para ello es necesario realizar una recta de regresión a partir de unos patrones.

A partir de la Tabla 5. 1, que se elaborará a través del Excel, se podrán realizar las curvas de calibrado. En ella se va a representar cada uno de los blancos y los patrones elegidos con sus concentraciones, también se va a representar la respuesta de Torio para cada blanco y para cada patrón. Se debe de realizar una media de todos los blancos y en otra columna de la tabla se debe de reflejar la respuesta de cada patrón menos la respuesta media de los blancos. Por último, se muestra la columna $(C_i - C_m)^2$, en esta se calcula la concentración de cada patrón menos la concentración media (promedio) de los patrones que se han elegido. Pero para calcular la concentración media no se tiene en cuenta el blanco.

STB	C(mg/L)	R Th (CPS)	R-R _{blanco} (CPS)	$(C_i - C_m)^2$ (mg/L)
Bl	0	6,74		
Bl-1	0,01	9,91		
Bl-2	0	8,24		
Bl-3	0,01	9,30		
Bl-4	0,01	9,26		
Bl-5	0,01	9,35		
0.05 Th	0,05	28,70	19,90	0,1089
0.1Th	0,1	50,80	42,00	0,0784
0.25 Th	0,25	110,20	101,40	0,0169
0.5 Th	0,5	201,50	192,70	0,0144
1 Th	1	406,30	397,50	0,3844

Tabla 5. 1:Tabla de calibrado ICP-OES

Para graficar en Excel la curva de calibración: Datos, análisis de datos y regresión.

Para graficar: (Y= Respuesta) y (X= Concentración de patrones).

Se han realizado dos rectas de calibrado, una de ellas restando la respuesta promedio de los blancos a cada una de las respuestas de los patrones, Ilustración 5. 1 y la otra sin restar la respuesta del blanco, Ilustración 5. 2. Con

ello podremos obtener los valores de los parámetros teniendo en cuenta y sin tener en cuenta la respuesta de los blancos.

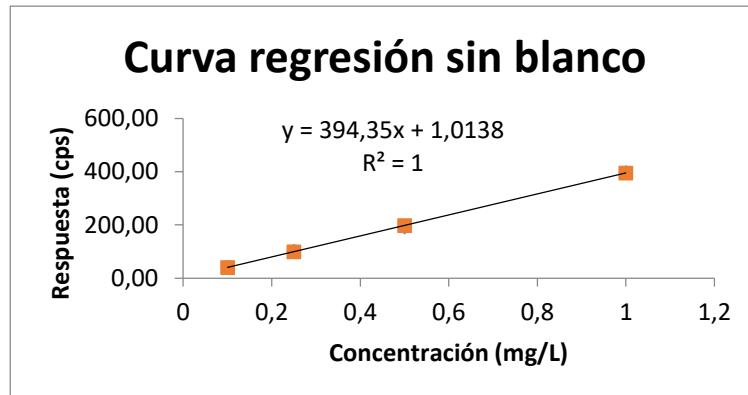


Ilustración 5. 1:Curva de calibrado sin blanco

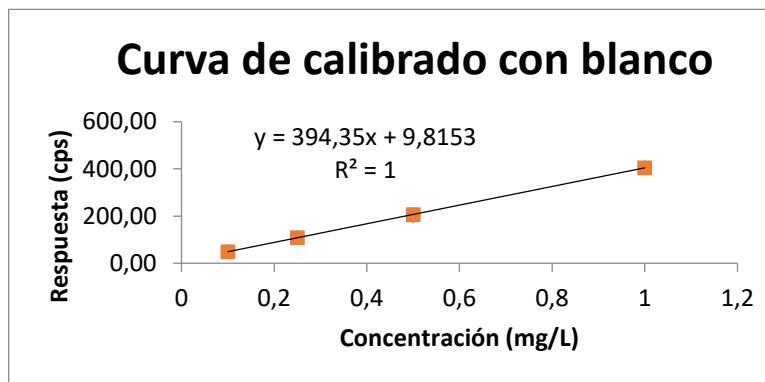


Ilustración 5. 2: Curva de calibrado con blanco

Tras realizar las regresiones como se acaba de comentar se sacan los parámetros necesarios a partir de ellas, estos se van a reflejar en la Tabla 5. 2.

Parametros	R	R-Rbco
b0 (intercepcion)	9,81	1,014
b1 (Pendiente)	394,34	394,34
n (Num de STDs)	5	5
m	1	1
Se (Error tipco)	4,49	4,49
$\Sigma(Ci-Cm)^2$	0,603	0,603
Rm	159,50	150,70
Cm	0,38	0,38
LOD (mg/L)	0,037	0,037
LOQ (mg/L)	0,1138	0,1138
Coeficiente de correlación múltiple	0,9997	0,9997
Coeficiente de determinación R^2	0,9994	0,9994
Observaciones	4	4

Tabla 5. 2: Parámetros y datos ICP-OES

Donde:

- b_0 es la intercepción.
- b_1 es la pendiente de la recta.
- n es el número de estándares.
- m es el coeficiente R^2 .
- Se es el error típico.
- R_m es la respuesta media.
- C_m es la concentración media.
- LOD es el límite de cuantificación:

$$LOD = 3.29 \cdot \frac{Se}{b_1}$$

Ecuación 1:Límite de detección

- LOQ es el límite de cuantificación:

$$LOQ = 10 \cdot \frac{Se}{b_1}$$

Ecuación 2: Límite de cuantificación

Tras realizar la calibración y obtener tanto los valores de la recta como de los parámetros, se hace el cálculo de las concentraciones de dilución y de la concentración de extracto, así como sus respectivas incertidumbres para obtener la concentración de suelo y comprobar a través de las muestras certificadas (CRM-Chino y CRM-IAEA) si nos da la misma cantidad.

Calculo de la concentración de dilución:

$$Cdil = \frac{(R - R_{bco}) - b_0}{b_1}$$

Ecuación 3: Concentración de dilución ICP-OES

Calculo de la incertidumbre de la concentración de dilución:

$$u_{Cdil} = \left(\frac{Se}{b_1} \right) * \sqrt{\left(\frac{1}{m} \right) + \left(\frac{1}{n} \right) + \left(\frac{(R - R_{bco}) - R_{media}}{(b_1)^2 * (\sum(C_i - C_m)^2)} \right)^2}$$

Ecuación 4: Incertidumbre concentración de dilución ICP-OES

Calculo del factor de dilución:

$$\text{Factor de dilucion} = \left[\frac{V_f/m_f}{V_i/m_i} \right]$$

Ecuación 5: Factor de dilución

Donde:

- V_i es el volumen inicial.
- m_i es la masa inicial.

-Vf es el volumen final.

-mf es la masa final.

Calculo de la concentración de extracto:

$$C_{extco} = C_{dil} * Factor\ de\ dilucion$$

Ecuación 6: Concentración de extracto

Calculo de la concentración de la muestra:

$$C_{muestra} = \frac{(C_{extco} * V_{matraz})}{masa}$$

Ecuación 7: Concentración de la muestra ICP-OES

Calculo de la incertidumbre de la concentración de la muestra:

$$u_{C_m} = C_m \sqrt{\left(\frac{u_{bal}}{m}\right)^2 + \left(\frac{u_{C_{dil}}}{C_{extracto}}\right)^2 + \left(\frac{u_{matraz}}{V_{matraz}}\right)^2}$$

Ecuación 8: Incertidumbre de la concentración de la muestra

Calculo de la incertidumbre relativa:

$$u_{rel} = 100 * \frac{u_{C_m}}{C_{muestra}}$$

Ecuación 9: Incertidumbre relativa

Conociendo todas las fórmulas para realizar los cálculos y sabiendo que los datos de u_{bal} y u_{matraz} son proporcionados por el técnico de laboratorio y para todas las muestras es el mismo valor y sabiendo que el volumen del matraz utilizado para los procedimientos ha sido de 25 mL. Se construye una tabla, Tabla 5. 3, en la que aparezcan estos cálculos para cada una de las muestras.

Muestra	R (cps)	R-Rblanco (cps)	Cdil (mg/L)	Vi/mi (g)	Vf/mf (g)	Factor Diluc	Cextracto (mg/L)
CRM GBW07402	88,17	81,47	0,20	6,868	13,7744	2,01	0,40
CRM IAEA	134,80	128,10	0,32	2,82	5,6589	2,01	0,64
CRM IAEA TZ	255,70	249,00	0,62	2,6034	5,218	2,00	1,25
L1-M5	58,76	52,06	0,12	6,7486	13,5018	2,00	0,25
L1-M6	86,84	80,14	0,20	7,0171	14,0106	2,00	0,39
L1-M9	73,89	67,19	0,16	6,1764	12,3491	2,00	0,32
L1-M10	87,06	80,36	0,20	6,6404	13,2963	2,00	0,39
L1-M21	38,51	31,81	0,07	6,384	12,7735	2,00	0,15
L1-M22	48,56	41,86	0,10	4,6528	9,747	2,09	0,21
L2-M1	80,18	73,48	0,18	5,6929	11,3891	2,00	0,36

Muestra	R (cps)	R-Rblanco (cps)	Cdil (mg/L)	Vi/mi (g)	Vf/mf (g)	Factor Diluc	Cextracto (mg/L)
L2-M2	94,38	87,68	0,21	5,8896	11,7755	2,00	0,43
L2-M3	223,80	217,10	0,54	5,8315	11,7587	2,02	1,09
L2-M4	128,60	121,90	0,30	5,503	11,0887	2,02	0,61
L2-M5	103,40	96,70	0,24	5,5792	11,4466	2,05	0,49
L2-M6	75,03	68,33	0,17	5,681	11,4423	2,01	0,33
L2-M7	114,70	108,00	0,27	5,5332	11,0458	2,00	0,53
L2-M8	200,10	193,40	0,48	5,7421	11,4779	2,00	0,96
L2-M9	131,60	124,90	0,31	5,8988	11,8124	2,00	0,62
L2-M10	88,30	81,60	0,20	7,0269	14,1412	2,01	0,40
L2-M11	90,09	83,39	0,20	4,6508	9,3415	2,01	0,41
L2-M12	112,80	106,10	0,26	6,3262	12,5898	1,99	0,52
L2-M13	112,30	105,60	0,26	6,6567	13,4692	2,02	0,53
L2-M14	113,60	106,90	0,26	6,0905	12,1503	1,99	0,53
L2-M15	113,00	106,30	0,26	4,1787	8,3439	2,00	0,52
L2-M16	43,30	36,60	0,08	6,9309	14,1004	2,03	0,17
L2-M17	106,10	99,40	0,24	6,7421	13,4652	2,00	0,49
L2-M18	65,20	58,50	0,14	5,3842	10,7733	2,00	0,28
L2-M19	151,80	145,10	0,36	6,0774	12,0837	1,99	0,72
L2-M20	53,11	46,41	0,11	6,7353	13,5897	2,02	0,22
L2-M21	98,29	91,59	0,22	6,2141	12,4466	2,00	0,45
L2-M22	152,10	145,40	0,36	3,5397	7,4232	2,10	0,76
L2-M23	93,14	86,44	0,21	6,2615	12,6549	2,02	0,43
L2-M24	151,70	145,00	0,36	6,0239	12,5418	2,08	0,75
L2-M25	76,83	70,13	0,17	6,3839	12,7829	2,00	0,34
L2-M26	73,66	66,96	0,16	6,9988	14,0063	2,00	0,32
L2-M27	81,76	75,06	0,18	6,5148	13,1236	2,01	0,37
L2-M28	143,00	136,30	0,34	6,4211	12,8691	2,00	0,68
L2-M29	103,20	96,50	0,24	6,7899	13,5466	2,00	0,47
L2-M30	91,41	84,71	0,21	4,6088	9,3104	2,02	0,42

Muestra	m (g)	Cmuestra (mg/kg)	uCdil (mg/L)	ubal (mg/L)	umatraz (mg/L)	uCm (mg/kg)	urel (%)
CRM GBW07402	0,5182	19,2253	0,0128	0,05	0,0122	0,6155	3,2017
CRM IAEA	0,5032	31,5982	0,0125	0,05	0,0122	0,6222	1,9689
CRM IAEA TZ	0,5177	60,3504	0,0130	0,05	0,0122	0,6293	1,0427
L1-M5	0,5018	12,3713	0,0130	0,05	0,0122	0,6490	5,2461
L1-M6	0,5417	17,9984	0,0128	0,05	0,0122	0,5893	3,2742
L1-M9	0,5037	16,1242	0,0129	0,05	0,0122	0,6392	3,9640
L1-M10	0,5085	19,2831	0,0128	0,05	0,0122	0,6277	3,2552
L1-M21	0,5059	7,1948	0,0133	0,05	0,0122	0,6554	9,1088
L1-M22	0,5018	10,2542	0,0131	0,05	0,0122	0,6547	6,3844

Muestra	m (g)	Cmuestra (mg/kg)	u Cdil (mg/L)	u bal (mg/L)	u matraz (mg/L)	u Cm (mg/kg)	u rel (%)
L2-M1	0,5028	17,7492	0,0128	0,05	0,0122	0,6376	3,5921
L2-M2	0,5058	21,1918	0,0127	0,05	0,0122	0,6284	2,9653
L2-M3	0,5006	54,6430	0,0127	0,05	0,0122	0,6364	1,1647
L2-M4	0,5032	30,1554	0,0125	0,05	0,0122	0,6230	2,0661
L2-M5	0,5008	24,3057	0,0126	0,05	0,0122	0,6318	2,5994
L2-M6	0,5064	16,4439	0,0129	0,05	0,0122	0,6353	3,8632
L2-M7	0,5118	25,9356	0,0126	0,05	0,0122	0,6152	2,3722
L2-M8	0,5007	48,1594	0,0126	0,05	0,0122	0,6290	1,3062
L2-M9	0,5077	30,4525	0,0125	0,05	0,0122	0,6171	2,0263
L2-M10	0,5055	19,8084	0,0128	0,05	0,0122	0,6310	3,1853
L2-M11	0,5126	19,9413	0,0127	0,05	0,0122	0,6216	3,1170
L2-M12	0,5028	25,8414	0,0126	0,05	0,0122	0,6267	2,4252
L2-M13	0,5003	26,2769	0,0126	0,05	0,0122	0,6300	2,3975
L2-M14	0,5047	26,0074	0,0126	0,05	0,0122	0,6242	2,3999
L2-M15	0,5036	25,9371	0,0126	0,05	0,0122	0,6257	2,4123
L2-M16	0,4998	8,6408	0,0132	0,05	0,0122	0,6604	7,6428
L2-M17	0,5068	24,0548	0,0126	0,05	0,0122	0,6235	2,5921
L2-M18	0,5047	13,9203	0,0130	0,05	0,0122	0,6420	4,6120
L2-M19	0,5001	35,7874	0,0125	0,05	0,0122	0,6247	1,7455
L2-M20	0,5148	10,7575	0,0131	0,05	0,0122	0,6356	5,9085
L2-M21	0,5104	22,0112	0,0127	0,05	0,0122	0,6215	2,8233
L2-M22	0,5081	37,2303	0,0125	0,05	0,0122	0,6149	1,6517
L2-M23	0,5026	21,2420	0,0127	0,05	0,0122	0,6328	2,9792
L2-M24	0,5019	37,3133	0,0125	0,05	0,0122	0,6225	1,6684
L2-M25	0,5092	16,7066	0,0128	0,05	0,0122	0,6310	3,7768
L2-M26	0,5317	15,2343	0,0129	0,05	0,0122	0,6056	3,9753
L2-M27	0,5039	18,2335	0,0128	0,05	0,0122	0,6355	3,4855
L2-M28	0,5041	33,5691	0,0125	0,05	0,0122	0,6202	1,8476
L2-M29	0,5067	23,3107	0,0126	0,05	0,0122	0,6245	2,6789
L2-M30	0,5010	20,8578	0,0127	0,05	0,0122	0,6355	3,0467

Tabla 5. 3: Cálculos ICP-OES

Tras realizar todos los cálculos nos debemos de fijar en la concentración de la muestra de CRM-Chino y CRM IAEA (sombreadas) ya que son los patrones que tenemos de referencia y de los cuales sabemos los valores que deben de dar. El valor del CRM-Chino certificado es de $16,6 \pm 0,8$ mg/kg y el del CRM-IAEA es de $91,4 \pm 28,01$ mg/kg, los valores que nos dan para el CRM-Chino de 19,22 mg/kg y para el CRM-IAEA de 31,6 mg/kg, por lo tanto dichos valores se parecen a los certificados y podemos decir que el método se ha realizado de forma correcta. Un inconveniente de este método es que a diferentes intensidades en las que podemos encontrar Torio se encuentran otros elementos los cuales no sabe

diferenciar el instrumento de medida, por lo tanto, es un método poco fiable y el cual no utilizaremos para comparaciones que se realizarán a continuación.

5.2 ESPECTROMETRÍA ALFA

Una vez que se ha realizado la medida de cada plancheta de la manera explicada en el apartado 4.5, se procede al espectro obtenido tras su medición y al análisis de los datos que dicho espectro nos puede facilitar.

Se va a detallar el procedimiento a seguir para una de las muestras y en el Anexo I, se detallará la información específica para cada una de las muestras. La medición de las planchetas se ha realizado durante 300000 segundos en el espectrómetro. Cuando pasan los segundos para completar la medición obtenemos un espectro del estilo al de la Ilustración 5. 3.

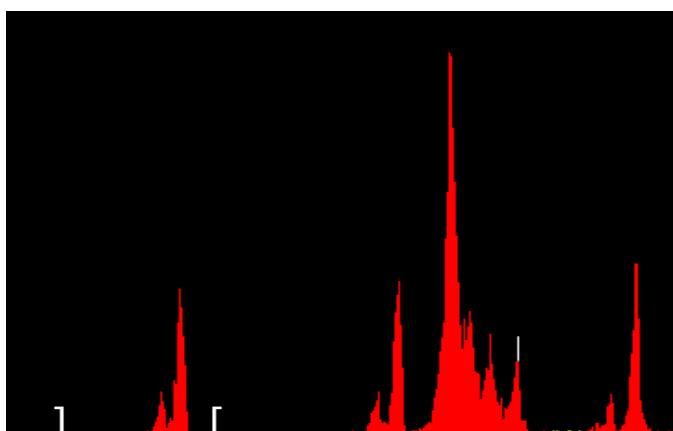


Ilustración 5. 3: Espectro muestra L2-M19

Tras obtener el espectro lo siguiente a realizar es establecer los ROI's (región of interest), conocidos como las regiones de interés. Para ello se debe de saber a qué energía aparece cada frecuencia y con qué abundancia aparece. Por lo que, en una tabla, Tabla 5. 4, se muestra cada uno de los isotopos del Torio y la energía, la abundancia y el tiempo de vida media de cada uno de ellos.

	keV	%p	T _{1/2}
²²⁹ Th	4845	56,2	7340 años
	4901	10,2	
²³⁰ Th	4620,515	23,41	75400 años
	4687,015	76,33	
²³² Th	3947,22	21,713	140000000000 años
	4012,314	78,213	
²²⁸ Th	5423,15	72,2	1,9125 años
	5340,36	27,2	

Tabla 5. 4: energía y abundancias de los isotopos de Torio

(Escareño 2000)

Con la información de la Tabla 5. 4 se puede definir a cada pico la región de interés específica. Además, en la parte inferior del espectro, en el programa nos muestra el área bajo la curva, es decir, el número de cuentas por segundo que se han encontrado en dicha región. Para el primer pico se ha definido un ROI entre 3643.8 y 4102.7 keV (^{232}Th), para el segundo pico el ROI va de 4345.6 a 4743.8 keV (^{230}Th), para el tercer pico el ROI definido ha sido entre 4750.5 y 5135.2 keV (^{229}Th , trazador) y para el último pico entre 5249.9 y 5499.6 keV (^{228}Th).

En el siguiente cuadro, el cual aparece debajo del espectro, abajo del todo aparece el área con la cual vamos a trabajar para intentar transformar dicho dato en un dato de concentración:

MARKER INFO	
Next	Left Marker: 289 : 3645.5 keV FWHM, FWTM: 23.566, 47.952 keV
Prev	Right Marker: 359 : 4108.4 keV Gaussian Ratio: 1.116
	Centroid: 342 : 3993.0 keV ROI Type: 1
	Area: 627 \pm 3.99% Integral: 627

Lo primero tras obtener el valor del área y poder comenzar con la realización de los cálculos es calcular la eficiencia del detector para cada una de las cámaras que se utilizan para la medición, el valor obtenido será constante para cada una de las muestras y para cada muestra se utilizará el valor de la eficiencia de la cámara en la que se han ido midiendo. Para calcular dichos valores utilizamos la siguiente fórmula:

$$\varepsilon = \frac{\frac{CT_{FC} - C_f}{TC_{FC}}}{A_{FC}}$$

Ecuación 10: Eficiencia de las cámaras

Donde:

- CT_{FC} son las cuentas totales de la fuente certificada.

- C_f son las cuentas de fondo en los picos de la fuente certificada.

- TC_{FC} es el tiempo de conteo de la fuente certificada.

- A_{FC} es la actividad de la fuente certificada.

Los valores que se han obtenido para las diversas cámaras se muestran en la Tabla 5. 5.

Cámara	$\epsilon (%)$
1A	13,81
1B	14,04
2A	13,95
2B	14,12
3A	14,54

Tabla 5. 5: Tabla de eficiencias

El siguiente paso es calcular el rendimiento químico de cada muestra para ello nos debemos de fijar en el área del tercer pico, pico del trazador. Para ello se debe de aplicar la Ecuación 11.

$$RQ = \frac{CT_{TZ} - CF_{TZ}}{\epsilon * T * A_{TZ} * m_{TZ}}$$

Ecuación 11: Rendimiento químico

Donde:

- RQ es el rendimiento químico.
- CT_{TZ} son las cuentas totales del trazador [=]Bq.
- CF_{TZ} son las cuentas de fondo del trazador [=]Bq.
- ϵ es la eficiencia.
- T es el tiempo de conteo [=]s.
- A_{TZ} es la actividad añadida de trazador [=]Bq/gr.
- m_{TZ} es la masa añadida de trazador.

El valor del tiempo de conteo ha sido de 300000 segundos para cada una de las muestras y el valor de la actividad añadida de trazador nos lo proporciona el técnico de laboratorio del LTI ya que han sido donde se han medido las muestras y es de 0.1667 Bq/gr.

Es importante saber que la Ecuación 11 se utiliza cuando los tiempos de medición de la muestra y de fondo son los mismos sino deberíamos de utilizar la Ecuación 12.

$$Rq_t = \frac{\left(\frac{c_{tz}}{T_{m,muestra}} \right) - \left(\frac{cF_t}{T_{m,fondo}} \right)}{\epsilon \cdot At \cdot m_{tz}}$$

Ecuación 12: Rendimiento químico para diferentes tiempos

Se van a realizar el cálculo del rendimiento químico para la muestra L2-M19 que es la que vamos a tomar como ejemplo, utilizando la Ecuación 11:

$$RQ = \frac{3335 - 10}{0.1395 * 300000 * 0.1667 * 0.7438} = 0.6408 * 100 = 64.08\%$$

El rendimiento obtenido es de más de la mitad lo que significa que con los procedimientos realizados para la medición de la muestra no se ha perdido mucho analito y que el control de calidad en el análisis se puede considerar bueno.

Después de calcular el rendimiento químico de la muestra lo siguiente es calcular la actividad, es decir, el número de núcleos que se desintegran por unidad de tiempo. La abundancia del ^{232}Th es de 78,21% por lo tanto se va a calcular la actividad para dicho isótopo. Para el resto de isotopos la abundancia es menor lo que significa que el cálculo de la actividad no es fiable por este motivo se realiza para el ^{232}Th , se hace utilizando la Ecuación 13.

$$\begin{aligned} A_{Th-232} &= \frac{CT_{Th-232} - CF_{Th-232}}{\varepsilon * m * RQ * T} \\ &= \frac{CT_{Th-232} - CF_{Th-232}}{CT_{Th-229} - CF_{Th-229}} \cdot A_{Th-229} \cdot m_{Th-229} \cdot \frac{1}{m_{muestra}} \end{aligned}$$

Ecuación 13: Actividad

Donde:

- A_{Th-232} es la actividad del Th-232.
- CT_{Th-232} son las cuentas totales del pico Th-232.
- CF_{Th-232} son las cuentas de fondo en el pico Th-232.
- ε es la eficiencia.
- m es la masa de la muestra.
- RQ es el rendimiento químico.
- T es el tiempo de medición.

Calculamos la actividad para la muestra tomada como ejemplo L2-M19, usando la Ecuación 13:

$$A_{Th-232} = \frac{627 - 3}{0.1395 * 1,9729 * 0,6408 * 300000} = 0,0118 \text{ Bq/gr}$$

Para poder calcular la concentración del Th-232 en ppm para ello calcularemos un factor a partir de la ley del “decaimiento radiactivo”:

$$\begin{aligned} T_{1/2} &= 1,4 \cdot 10^{10} \text{ años} \cdot \frac{365,25 \text{ días}}{1 \text{ año}} \cdot \frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ día}} \cdot \frac{3600 \text{ segundos}}{1 \text{ hora}} \\ &= 4,433 \cdot 10^{17} \text{ s} \end{aligned}$$

$$\tau = \text{vida media} = \frac{\text{periodo de desintegración}}{\ln 2} = \frac{T_{1/2}}{\ln 2} = \frac{4,433 \cdot 10^{17} \text{s}}{\ln 2}$$

$$= 6,395 \cdot 10^{17} \text{s}$$

$$\lambda = \text{constante asociada al decaimiento} = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{6,395 \cdot 10^{17}} = 1,56 \cdot 10^{-18} \frac{1}{\text{s}}$$

$$\frac{1,56 \cdot 10^{-18} \text{ g}}{\text{s}} \cdot \frac{1 \text{ mol}}{232 \text{ g Th}} \cdot \frac{6,022 \cdot 10^{23}}{1 \text{ mol}} = \boxed{\frac{4049,27 \text{ atm}}{\text{s}}} [=] \text{Bq}$$

Se calcula la concentración en ppm de Th-232 para la muestra que hemos cogido como ejemplo, la L2-M19, utilizando el factor de conversión que acabamos de recuadrar:

$$0,0118 \frac{\text{Bq}}{\text{g}} \cdot \frac{1 \text{ g}}{4049,27 \text{ Bq}} \cdot \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} \cdot \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} = 2,91 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} = 2,91 \text{ ppm}$$

El siguiente paso para poder ir finalizando con los cálculos de espectrometría alfa es realizar los cálculos de las incertidumbres:

- Incertidumbre de las cuentas del trazador u_{CT-Th} :

$$u_{CT-Th} = \sqrt{CT_{Th-229}}$$

Ecuación 14: Incertidumbre cuentas del trazador

Siguiendo con el ejemplo de la muestra L2-M19 el cálculo de la incertidumbre de las cuentas del trazador para esta muestra utilizando la Ecuación 14 es:

$$u_{CT-Th} = \sqrt{3335} = 57,7$$

- Incertidumbre de la actividad del trazador, este dato es de 0,0067 para todas las muestras, dato proporcionado por el técnico del LTI, laboratorio donde se ha llevado a cabo el conteo de las muestras.
- Incertidumbre de la masa del trazador, u_t :

$$u_t = m_t \cdot u_{balanza}$$

Ecuación 15: Incertidumbre masa del trazador

Donde:

- m_t es la masa del trazador.

- $u_{balanza}$ es la incertidumbre de la balanza cuyo valor es siempre 0,05. Dato proporcionado por el LTI y el CIEMAT los dos laboratorios donde se lleva a cabo la medición de las muestras.

Procedemos al cálculo de la incertidumbre de la masa del trazador para la muestra L2-M19 a partir de la Ecuación 15:

$$u_t = 0,7834 \cdot 0,05 = 0,03719$$

- Incertidumbre de la masa, u_m :

$$u_m = u_{balanza} \cdot m_{muestra}$$

Ecuación 16: Incertidumbre de la masa

Siguiendo con el ejemplo de la muestra L2-M19 y utilizando la Ecuación 16:

$$u_m = 0,05 \cdot 1,9729 = 0,10$$

- Incertidumbre relativa de la eficiencia del detector, u_ε :

$$u_\varepsilon = \varepsilon \cdot \sqrt{\left(\frac{c_{tfc}}{c_{tfp}}\right)^2 + \left(\frac{u_{tfc}}{t_{fc}}\right)^2 + \left(\frac{u_{actividad\ Am}}{actividad\ Am}\right)^2}$$

Ecuación 17: Incertidumbre relativa de la eficiencia del detector

Donde:

- c_{tfp} son las cuentas del patrón.

- u_{tfc} es la incertidumbre del tiempo de recuento del patrón.

- t_{fc} es el tiempo de recuento del patrón.

- $u_{actividad\ Am}$ es la incertidumbre de la actividad del patrón.

-Actividad Am es la actividad del patrón.

Por tanto, a partir de la Ecuación 17 se ha obtenido un valor relativo de incertidumbre de la eficiencia del detector para todas las muestras, ya que la eficiencia del detector es muy parecida para todas las muestras. Dicho valor ha sido calculado por el técnico del laboratorio del LTI y es de 0,0219. Por lo que el valor de la eficiencia para la muestra tomada como ejemplo es de $13,95 \pm 0,0219\%$.

- Incertidumbre del rendimiento químico, u_{RQ} :

$$u_{RQ} = RQ \cdot \sqrt{\frac{c_t + c_{ft}}{c_t - c_{ft}} + \frac{1}{c_{fc}} + u_t^2 + \frac{u_{fc}}{A_{fc}} + \left(\frac{u_{at}}{At}\right)^2}$$

Ecuación 18: Incertidumbre del rendimiento químico

Donde:

- c_t son las cuentas del trazador.

- C_{ft} son las cuentas del fondo del trazador.
- C_{fc} son las cuentas de la fuente calibrada.
- u_t es la incertidumbre del trazador añadido.
- u_{fc} es la incertidumbre de la fuente calibrada.
- A_{fc} es la actividad de la fuente calibrada.
- u_{at} es la incertidumbre de la actividad del trazador.
- A_t es la actividad del trazador.

Realizando los cálculos para nuestra muestra con la Ecuación 18 se obtiene una u_{RQ} de 0,045. Por tanto, el rendimiento químico de dicha muestra queda $60,08 \pm 0,045\%$.

- Incertidumbre de la actividad del Th-232, $u(A_{Th-232})$:

$$u(A_{232Th}) = A_{232Th} \sqrt{\frac{C_{232Th} + CF_{232Th} \left(\frac{t}{t_0}\right)^2}{\left(C_{232Th} - CF_{232Th} \left(\frac{t}{t_0}\right)\right)^2} + \left(\frac{u(m)}{m}\right)^2 + \left(\frac{u(m_{trazador})}{m_{trazador}}\right)^2 + \left(\frac{u(A_{trazador})}{A_{trazador}}\right)^2 + \frac{C_{229Th} + CF_{229Th} \left(\frac{t}{t_0}\right)^2}{\left(C_{229Th} - CF_{229Th} \left(\frac{t}{t_0}\right)\right)^2}}$$

Ecuación 19: Incertidumbre de la actividad del Th-232

Donde:

- A_{232Th} es la actividad del Th-232.
- C_{232Th} son las cuentas del Th-232.
- CF_{232Th} son las cuentas de fondo del Th-232.
- t es el tiempo de conteo de la muestra.
- t_0 es el tiempo de conteo de fondo.
- $u(m)$ es la incertidumbre de la masa, la cual es siempre 0,0001.
- m es la masa de la muestra.
- $u(m_{trazador})$ es la incertidumbre de la masa del trazador, la cual es siempre 0,0001.
- $m_{trazador}$ es la masa del trazador.
- $u(A_{trazador})$ es la incertidumbre de la actividad del trazador, la cual es siempre 0,0067.
- $A_{trazador}$ es la actividad del trazador.
- C_{229Th} son las cuentas de Th-229.
- CF_{229Th} son las cuentas de fondo del Th-229.

Usando la Ecuación 19 para nuestra muestra tomada como ejemplo nos queda un valor de 0,0007. Para nuestro caso la actividad del Th-232 queda $0,018 \pm 0,0007$ Bq/g.

Con el valor de la incertidumbre de la actividad del Th-232 podemos calcular el valor de la concentración de Th-232 dividiendo el valor de la incertidumbre de la actividad entre el factor calculado arriba de 4049,27 y multiplicado por 1000 para obtener mg/kg, para nuestro ejemplo nos da un valor de 0,1732. Por tanto, la concentración en masa de Th-232 para la muestra L2-M19 es de $2,91 \pm 0,1732$ mg/kg.

El último punto para terminar con estos cálculos es calcular el umbral de decisión (y^*) y el límite de detección ($y^{\#}$), al igual que anteriormente realizaremos los cálculos para la muestra L2-M19.

El umbral de decisión se define de manera que en los casos en que el resultado de la medición, y , supere el umbral de decisión, y^* , la probabilidad de que el valor real del mensurando sea cero, sea menor o igual que la probabilidad elegida, α . Si el resultado, y , está por debajo del umbral de decisión, y^* , el resultado no puede atribuirse al efecto físico, sin embargo, no puede concluirse que esté ausente.

Cálculo del umbral de decisión(y^*):

$$y^* = k_{1-\alpha}(w) \sqrt{\frac{CF_{Th-232}}{t_g} * \left(\frac{1}{t_g} + \frac{1}{t_0} \right)}$$

Ecuación 20: Umbral de decisión

Donde:

- $k_{1-\alpha}=1,65$.

- $w = \frac{1}{m*\epsilon*RQ}$ para nuestro ejemplo $w=0,176$.

- CF_{Th-232} son las cuentas de fondo en el pico del Th-232.

- ϵ es la eficiencia del conteo.

- t_g es el tiempo de conteo de la muestra.

- t_0 es el tiempo de conteo de fondo.

- m es la masa de la muestra.

- RQ es el rendimiento químico.

Después de sustituir en la Ecuación 20 obtenemos un $y^*=2,4 \cdot 10^{-6}$.

Ahora hay que calcular el límite de detección ($y^{\#}$):

$$Y^{\#} = \frac{(2 \cdot y^*) + (w \cdot k_{1-\beta}^2)/t}{1 - (k_{1-\beta}^2 \cdot u(w_{relativa}))}$$

Ecuación 21: Límite de detección muestras

Donde:

- y^* es el umbral de decisión

$$- w = \frac{1}{m * \varepsilon * RQ}$$

-t es el tiempo de conteo de la muestra.

- $k_{1-\beta}^2$ es 1,65.

- $u(w_{relativa})$ es la incertidumbre relativa de w

$$u(w_{relativa}) = \frac{u_w}{w}$$

$$u_w = w \cdot \sqrt{\left(\frac{u_m}{m_{muestra}}\right)^2 + \left(\frac{u_\varepsilon}{\varepsilon}\right)^2 + \left(\frac{u_{RQ}}{RQ}\right)^2}$$

- u_w es la incertidumbre de w y se calcula por la anterior fórmula.

- u_m es la incertidumbre de la muestra.

- $m_{muestra}$ es la masa de la muestra.

- u_ε es la incertidumbre de la eficiencia del conteo.

- ε es la eficiencia de conteo.

- u_{RQ} es la incertidumbre del rendimiento químico.

-RQ es el rendimiento químico.

El valor del límite de detección para la muestra L2-M19 ha sido de $1,238 \cdot 10^{-5}$, calculado con la Ecuación 21. Por lo que el límite de detección de confianza es del 99,99%.

Todas las fórmulas utilizadas han sido proporcionadas por los laboratorios y trabajadores del CIEMAT y este procedimiento se debe de realizar para cada una de las muestras.

5.3 ICP-MS

El estudio de los cálculos de ICP-MS es similar al que se ha realizado por la técnica de ICP-OES, lo único que ahora tendremos en este método un estándar interno para obtener los resultados correctos. El equipo de medición para la técnica de ICP-MS nos proporciona para cada una de las muestras medidas datos de respuesta y el objetivo consiste en realizar los cálculos necesarios

para transformar esas respuestas en datos de concentración al igual que se hizo para la técnica ICP-OES.

En la Tabla 5. 6, que se elabora a través del Excel y con la que se obtienen las curvas de calibrado Ilustración 5. 4 e Ilustración 5. 5 muestra cada uno de los blancos y los patrones elegidos con sus concentraciones, también se representa la respuesta de Torio para cada blanco y para cada patrón al igual que la respuesta del estandar interno, Bismuto.

Como lectura de blanco únicamente vamos a tomar la que se representa en la tabla, ya que las demás presentan valores muy dispersos y altos esto se debe al “efecto de memoria”. Este efecto se presenta después de leer una muestra con lectura muy alta y seguida a ella se lee un blanco y entre ellos no se ha lavado los ductos suficientemente bien.

En la Tabla 5. 6 también aparece un ratio entre la respuesta que se obtiene de Torio y la respuesta que se obtiene de Bismuto y la resta del ratio menos el blanco para cada patrón. Por último, aparece la columna $(C_i - C_m)^2$, en esta se calcula la concentración de cada patrón menos la concentración media (promedio) de los patrones que se han elegido. Pero para calcular la concentración media no se tiene en cuenta el blanco.

STB	C(mg/L)	R Th (CPS)	R Bi 209 (CPS)	Ratio Th/Bi	Ratio-Blanco	$(C_i - C_m)^2$
Bl	0,00	36,60	152300,20	0,000240315		
1.1ppb	0,0011	4631,74	137017,73	0,033803964	0,033563649	0,086624678
2.8ppb	0,0027	12241,70	141890,10	0,086275934	0,086035619	0,085651053
5.5pb	0,0055	24913,64	143895,83	0,173136644	0,172896329	0,084053722
11.7ppb	0,0116	54420,52	147874,38	0,368018613	0,367778298	0,080522177
27.4ppb	0,0271	124510,74	145144,74	0,857838444	0,85759813	0,071971225
55.5ppb	0,0569	252585,17	140212,75	1,801442269	1,801201954	0,056886953
106ppb	0,1089	476815,40	138257,67	3,448744524	3,448504209	0,034764819
270 ppb	0,2725	1193005,85	138253,11	8,62914282	8,628902505	0,000525638
526 ppb	0,5473	2370426,55	136765,97	17,33199042	17,33175011	0,063446807
1055 ppb	1,0434	4644805,17	140570,85	33,04245021	33,04220989	0,559567209

Tabla 5. 6: Tabla regresión ICP-MS

Para graficar en Excel la curva de calibración: Datos, análisis de datos y regresión.

Para graficar: (Y= Respuesta-Bco) y (X= Concentración de patrones).

Se han realizado dos rectas de calibrado, una de ellas restando la respuesta del blanco a cada una de las respuestas de los patrones, Ilustración 5. 5, y la otra sin restar la respuesta del blanco, Ilustración 5. 4.

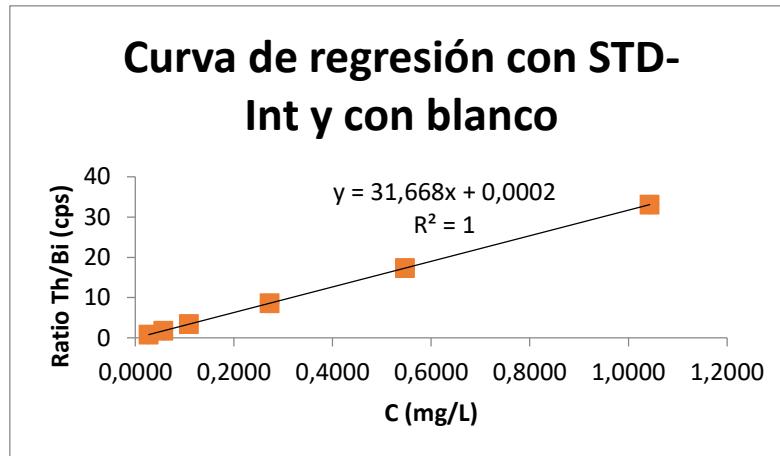


Ilustración 5. 4: Curva de regresión con STD-Int y con blanco

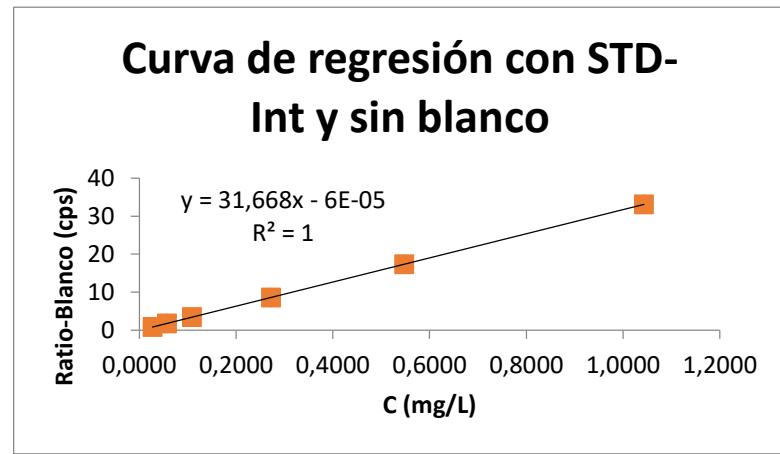


Ilustración 5. 5: Curva de regresión con STD-Int y sin blanco

Tras realizar las regresiones como se acaba de comentar debemos de sacar los parámetros necesarios a partir de ellas, estos se van a mostrar en la Tabla 5. 7.

Parámetros	Ratio Th/Bi	Ratio-Blanco
b_0 (intercepción)	0,000177	-0,000063
b_1 (Pendiente)	31,67	31,67
n (Num de STDs)	6	6
m	1,000	1,000
S_e (Error tipco)	0,000989	0,000989
$\Sigma(C_i - \bar{C})^2$	0,87	0,87
Respuesta _{media}	6,58	6,58
Concentración _{media}	0,30	0,30
LOD (mg/L)	0,000103	0,000103
LOQ (mg/L)	0,000312	0,000312
Coeficiente de correlación múltiple	1,00	1,00
Coeficiente de determinación R^2	1,00	1,00
Observaciones	6	6

Tabla 5. 7: Parámetros y datos ICP-MS

Donde:

- b_0 es la intercepción.
- b_1 es la pendiente de la recta.
- n es el número de estándares.
- m es el coeficiente R^2 .
- S_e es el error típico.
- R_m es la respuesta media.
- C_m es la concentración media.
- LOD es el límite de cuantificación (Ecuación 1).
- LOQ es el límite de cuantificación (Ecuación 2).

Tras realizar la calibración y obtener tanto los valores de la recta como de los parámetros lo siguiente que se debe de realizar es el cálculo de las concentraciones de dilución y de la concentración de suelo y comprobar a través de las muestras certificadas (CRM-Chino y CRM-IAEA) si nos da la misma cantidad o valores de concentración muy similares.

Calculo de la concentración de dilución: Ecuación 3.

Calculo de la incertidumbre de la concentración de dilución:

$$u_{C_{dil}} = \left(\frac{S_e}{b_1} \right) * \sqrt{1 + \left(\frac{1}{n} \right) + \left(\frac{(R - R_{bco}) - R_{media}}{(b_1)^2 * (\sum(C_i - C_m)^2)} \right)^2}$$

Ecuación 22: Incertidumbre concentración de dilución ICP-MS

Calculo de la concentración de la muestra:

$$C_m = C_{dil} * Vol_{Matraz} * \left(\frac{10^{-3}}{m_{suelo}} \right)$$

Ecuación 23: Concentración de muestra ICP-MS

Calculo de la incertidumbre de la concentración de la muestra: Ecuación 8.

Calculo de la incertidumbre relativa: Ecuación 9.

Conociendo todas las fórmulas para realizar los cálculos y sabiendo que los datos de u_{bal} y u_{matraz} son proporcionados por el técnico de laboratorio y para todas las muestras es el mismo valor, y sabiendo que el matraz utilizado para realizar el procedimiento ha sido de 25 mL. Se construye una tabla, Tabla 5. 8, en la que aparezcan estos cálculos para cada una de las muestras.

Muestra	R (Th)	R (Bi 109)	Ratio Th/Bi	Ratio-Blanco	C _{dlL} (mg/L)	C _{dlL} (μg/L)	u (C _{dlL}) (mg/L)
CRM CHino	164534,74	128864,86	1,2768	1,2766	0,040	40,3129	3,17226E-05
CRM IAEA	730224,83	141392,24	5,1645	5,1643	0,163	163,0786	3,12584E-05
CRM IAEA TZ	2292371,50	137452,47	16,6776	16,6773	0,527	526,6338	3,30021E-05
L1-M5	72589,34	131223,39	0,5532	0,5529	0,017	17,4624	3,1867E-05
L1-M6	63978,53	131417,37	0,4868	0,4866	0,015	15,3675	3,18811E-05
L1-M9	67067,88	131163,81	0,5113	0,5111	0,016	16,1410	3,18759E-05
L1-M10	44784,11	133963,18	0,3343	0,3341	0,011	10,5509	3,19142E-05
L1-M21	60238,00	121188,66	0,4971	0,4968	0,016	15,6904	3,18789E-05
L1-M22	130240,62	122034,14	1,0672	1,0670	0,034	33,6956	3,17626E-05
L2-M1	80266,75	134461,64	0,5969	0,5967	0,019	18,8447	3,18578E-05
L2-M2	213474,75	126262,24	1,6907	1,6905	0,053	53,3837	3,16481E-05
L2-M3	25893,09	118392,67	0,2187	0,2185	0,007	6,9006	3,19397E-05
L2-M4	193934,00	119329,72	1,6252	1,6250	0,051	51,3143	3,16595E-05
L2-M5	121286,05	122191,08	0,9926	0,9924	0,031	31,3382	3,17772E-05
L2-M6	54707,08	127159,28	0,4302	0,4300	0,014	13,5799	3,18933E-05
L2-M7	72148,99	118274,03	0,6100	0,6098	0,019	19,2573	3,1855E-05
L2-M8	76750,64	127604,64	0,6015	0,6012	0,019	18,9875	3,18568E-05
L2-M9	60606,34	133778,44	0,4530	0,4528	0,014	14,3002	3,18884E-05
L2-M10	101818,07	163859,94	0,6214	0,6211	0,020	19,6159	3,18526E-05
L2-M11	87475,71	124143,85	0,7046	0,7044	0,022	22,2451	3,18353E-05
L2-M12	116336,62	126027,78	0,9231	0,9229	0,029	29,1439	3,1791E-05
L2-M13	67799,83	124673,49	0,5438	0,5436	0,017	17,1670	3,1869E-05
L2-M14	447427,46	114741,21	3,8994	3,8992	0,123	123,1301	3,1351E-05
L2-M15	109926,90	128486,04	0,8556	0,8553	0,027	27,0109	3,18045E-05
L2-M16	3370,47	121683,74	0,0277	0,0275	0,001	0,8691	3,19829E-05
L2-M17	45501,20	127220,73	0,3577	0,3574	0,011	11,2883	3,1909E-05
L2-M18	137279,87	127862,79	1,0736	1,0734	0,034	33,8978	3,17614E-05

Muestra	R (Th)	R (Bi 109)	Ratio Th/Bi	Ratio-Blanco	C _{dl} (mg/L)	C _{dl} (µg/L)	u (C _{dl}) (mg/L)
L2-M19	61015,74	122140,97	0,4996	0,4993	0,016	15,7691	3,18784E-05
L2-M20	72372,64	137652,16	0,5258	0,5255	0,017	16,5969	3,18728E-05
L2-M21	244119,40	133798,51	1,8245	1,8243	0,058	57,6089	3,16252E-05
L2-M22	34464,99	119227,82	0,2891	0,2888	0,009	9,1225	3,19241E-05
L2-M23	182566,15	130996,50	1,3937	1,3934	0,044	44,0034	3,1701E-05
L2-M24	18929,30	123508,73	0,1533	0,1530	0,005	4,8341	3,19544E-05
L2-M25	196520,95	130940,06	1,5008	1,5006	0,047	47,3877	3,16815E-05
L2-M26	171683,30	118025,79	1,4546	1,4544	0,046	45,9282	3,16899E-05
L2-M27	72623,53	131704,81	0,5514	0,5512	0,017	17,4067	3,18674E-05
L2-M28	146607,18	271060,08	0,5409	0,5406	0,017	17,0737	3,18696E-05
L2-M29	78001,71	1907555,45	0,0409	0,0407	0,001	1,2856	3,19799E-05
L2-M30	73910,80	135003,83	0,5475	0,5472	0,017	17,2823	3,18682E-05

Muestra	msuelo (g)	Csuelo (mg/kg)	u bal (mg/L)	u matraz (mg/L)	u (Csuelo) (mg/L)	Incertidumbre Relativa en %
CRM CHino	0,5182	19,4485	0,0500	0,0122	0,0239	0,1229
CRM IAEA	0,5032	81,0208	0,0500	0,0122	0,0781	0,0964
CRM IAEA TZ	0,5177	254,3142	0,0500	0,0122	0,2405	0,0946
L1-M5	0,5018	8,6999	0,0500	0,0122	0,0179	0,2055
L1-M6	0,5417	7,0923	0,0500	0,0122	0,0162	0,2278
L1-M9	0,5037	8,0112	0,0500	0,0122	0,0175	0,2189
L1-M10	0,5085	5,1873	0,0500	0,0122	0,0164	0,3169
L1-M21	0,5059	7,7537	0,0500	0,0122	0,0174	0,2241
L1-M22	0,5018	16,7874	0,0500	0,0122	0,0224	0,1335
L2-M1	0,5028	9,3699	0,0500	0,0122	0,0181	0,1937
L2-M2	0,5058	26,3858	0,0500	0,0122	0,0294	0,1115
L2-M3	0,5006	3,4462	0,0500	0,0122	0,0163	0,4724
L2-M4	0,5032	25,4940	0,0500	0,0122	0,0288	0,1128
L2-M5	0,5008	15,6441	0,0500	0,0122	0,0217	0,1386
L2-M6	0,5064	6,7041	0,0500	0,0122	0,0170	0,2531

Muestra	msuelo (g)	Csuelo (mg/kg)	u bal (mg/L)	u matraz (mg/L)	u (Csuelo) (mg/L)	Incertidumbre Relativa en %
L2-M7	0,5118	9,4067	0,0500	0,0122	0,0179	0,1905
L2-M8	0,5007	9,4805	0,0500	0,0122	0,0183	0,1926
L2-M9	0,5077	7,0417	0,0500	0,0122	0,0171	0,2422
L2-M10	0,5055	9,7013	0,0500	0,0122	0,0182	0,1879
L2-M11	0,5126	10,8491	0,0500	0,0122	0,0186	0,1714
L2-M12	0,5028	14,4908	0,0500	0,0122	0,0209	0,1443
L2-M13	0,5003	8,5783	0,0500	0,0122	0,0179	0,2083
L2-M14	0,5047	60,9917	0,0500	0,0122	0,0597	0,0978
L2-M15	0,5036	13,4089	0,0500	0,0122	0,0202	0,1510
L2-M16	0,4998	0,4347	0,0500	0,0122	0,0160	3,6814
L2-M17	0,5068	5,5684	0,0500	0,0122	0,0166	0,2980
L2-M18	0,5047	16,7911	0,0500	0,0122	0,0223	0,1331
L2-M19	0,5001	7,8830	0,0500	0,0122	0,0176	0,2232
L2-M20	0,5148	8,0599	0,0500	0,0122	0,0172	0,2140
L2-M21	0,5104	28,2175	0,0500	0,0122	0,0308	0,1092
L2-M22	0,5081	4,4885	0,0500	0,0122	0,0163	0,3625
L2-M23	0,5026	21,8879	0,0500	0,0122	0,0260	0,1188
L2-M24	0,5019	2,4079	0,0500	0,0122	0,0161	0,6677
L2-M25	0,5092	23,2658	0,0500	0,0122	0,0269	0,1157
L2-M26	0,5317	21,5950	0,0500	0,0122	0,0252	0,1168
L2-M27	0,5039	8,6360	0,0500	0,0122	0,0178	0,2060
L2-M28	0,5041	8,4674	0,0500	0,0122	0,0177	0,2092
L2-M29	0,5067	0,6343	0,0500	0,0122	0,0158	2,4893
L2-M30	0,5010	8,6239	0,0500	0,0122	0,0179	0,2072

Tabla 5. 8: Cálculos muestras ICP-MS

Tras realizar todos los cálculos hay que fijarse que la concentración de la muestra de CRM-Chino y CRM IAEA (sombreadas) ya que son los patrones que tenemos de referencia y de los cuales sabemos los valores que deben de dar. El valor del CRM-Chino certificado es de $16,6 \pm 0,8$ mg/kg y el del CRM-IAEA es de $91,4 \pm 28,01$ mg/kg, los valores que nos dan a nosotros son para el CRM-Chino de 19,44 y para el CRM-IAEA de 81,02 por lo tanto dichos valores se parecen a los certificados y podemos decir que el método se ha realizado de forma correcta. Es el método que nos da valores de concentraciones más parecidas junto con la técnica de espectrometría alfa, por lo que en el siguiente capítulo vamos a realizar test estadísticos para comparar estas dos técnicas analíticas.

Capítulo 6:

RESULTADOS Y

DISCUSIÓN

En este capítulo se analizarán los resultados que se han obtenidos en la determinación de las 37 muestras diferentes y se analizará el análisis y la comparación se ha realizado mediante la aplicación de diferentes test estadísticos que nos permiten extraer conclusiones estadísticamente representativas.

Además del análisis de las muestras de suelo, se van a analizar dos muestras certificadas CRM-IAEA y un CRM-Chino. A partir de dichos valores se comprobará si el estudio se ha realizado de forma correcta ya que conocemos el valor de la concentración de Torio en esas muestras.

6.1 RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE ICP-OES

Los resultados de concentración obtenidos mediante esta técnica analítica se muestran en la

Tabla 6. 1, estos han sido posible tras realizar los cálculos especificados paso a paso que se han ido mostrando en el apartado 6.1 del capítulo anterior, antes de los cálculos las muestras han debido de ser preparadas siguiendo el modelo del apartado 4.4.

MUESTRA	C _{MUESTRA}
CRM GBW07402	19,2253
CRM IAEA	31,5982
CRM IAEA TZ	60,3504
L1-M5	12,3713
L1-M6	17,9984
L1-M9	16,1242
L1-M10	19,2831
L1-M21	7,1948
L1-M22	10,2542
L2-M1	17,7492
L2-M2	21,1918
L2-M3	54,6430
L2-M4	30,1554
L2-M5	24,3057
L2-M6	16,4439
L2-M7	25,9356
L2-M8	48,1594
L2-M9	30,4525
L2-M10	19,8084
L2-M11	19,9413
L2-M12	25,8414

MUESTRA	C _{MUESTRA}
L2-M13	26,2769
L2-M14	26,0074
L2-M15	25,9371
L2-M16	8,6408
L2-M17	24,0548
L2-M18	13,9203
L2-M19	35,7874
L2-M20	10,7575
L2-M21	22,0112
L2-M22	37,2303
L2-M23	21,2420
L2-M24	37,3133
L2-M25	16,7066
L2-M26	15,2343
L2-M27	18,2335
L2-M28	33,5691
L2-M29	23,3107
L2-M30	20,8578

Tabla 6. 1: Resultados obtenidos mediante ICP-OES

Los datos estadísticos más importantes obtenidos a partir de la Tabla 6. 1 se visualizan en la Tabla 6. 2.

Recuento=	36
Promedio=	23,193
Desviación estandar=	10,344
Coeficiente de variación=	44,60%
Mínimo=	7,195
Máximo=	54,643
Rango=	47,4482

Tabla 6. 2: Datos estadísticos ICP-OES

Se realiza el diagrama de cajas y bigotes para las concentraciones de las muestras y obtenemos el siguiente diagrama:

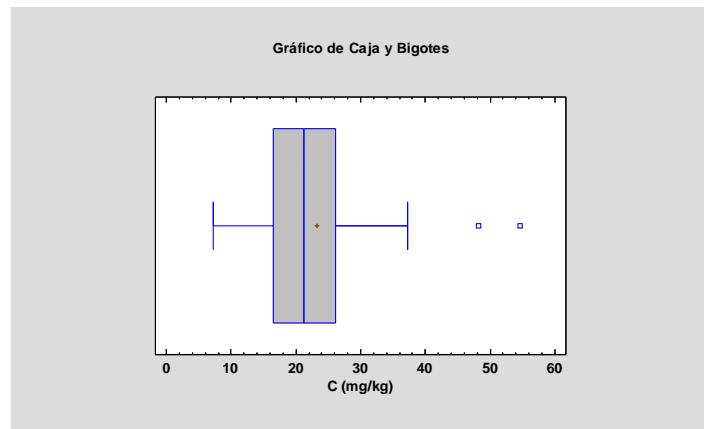


Ilustración 6. 1: Diagrama de cajas y bigotes ICP-OES

Observamos en el diagrama de cajas y bigotes, Ilustración 6. 1, dos datos que pueden ser posibles anómalos, que corresponden a la muestra L2-M3 con una concentración de Torio de 54,64 mg/kg y la muestra L2-M8 con un valor de concentración de 48,16 mg/kg, los valores de estas muestras son muy altos con respecto al valor medio de concentraciones que es aproximadamente de 23,2 mg/kg, por lo que se debería de hacer un estudio específico para estas muestras, así como más repeticiones de las muestras y ver si difieren la concentración entre los resultados de ellas. Tras realizar varias repeticiones de estas muestras se puede realizar una prueba de Q de Dixon para ver si estas muestras se podrían tomar como anómalas y eliminarlas. Como no se han llevado a cabo más repeticiones, se contará con ellas igual que con el resto para próximos estudios estadísticos.

Se han obtenido intervalo de confianza del 95% para la media: $23,1929 \pm 3,4998$.

Por último, vamos a comprobar por esta técnica como nos queda una distribución de la normal para las concentraciones obtenidas de las muestras estudiadas:

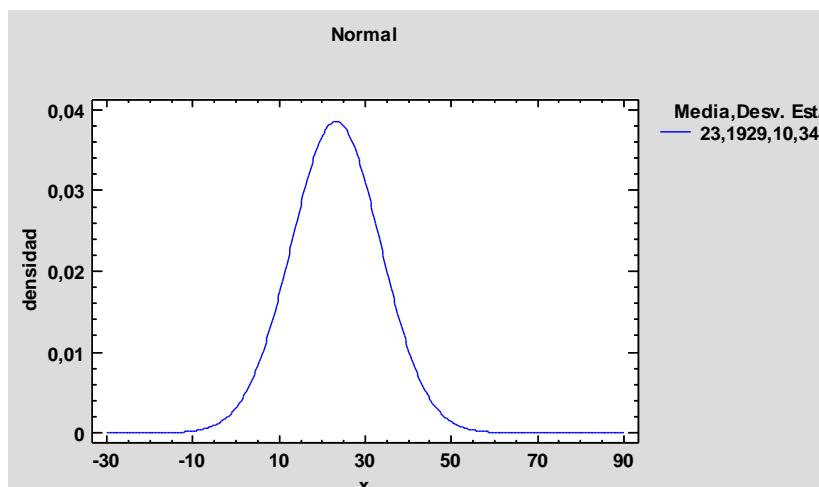


Ilustración 6. 2: Distribución normal para datos ICP-OES

El gráfico de la normal obtenido tras el promedio y la desviación estándar de las muestras, Ilustración 6. 2, es bastante coherente ya que tiene una forma propia de campana de Gaus.

6.2 RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE ICP-MS

Los resultados obtenidos mediante esta técnica se han conseguidos tras seguir los pasos de los cálculos explicados en el apartado 5.3 del anterior capítulo, pero antes de los cálculos la preparación de las muestras se ha realizado siguiendo la explicación del apartado 4.3.

MUESTRA	C _{MUESTRA} (mg/kg)
CRM CHino	19,4485
CRM IAEA	81,0208
L1-M5	8,6999
L1-M6	7,0923
L1-M9	8,0112
L1-M10	5,1873
L1-M21	7,7537
L1-M22	16,7874
L2-M1	9,3699
L2-M2	26,3858
L2-M3	3,4462
L2-M4	25,4940
L2-M5	15,6441
L2-M6	6,7041
L2-M7	9,4067
L2-M8	9,4805
L2-M9	7,0417
L2-M10	9,7013
L2-M11	10,8491
L2-M12	14,4908
L2-M13	8,5783
L2-M14	60,9917
L2-M15	13,4089
L2-M16	0,4347
L2-M17	5,5684
L2-M18	16,7911
L2-M19	7,8830
L2-M20	8,0599
L2-M21	28,2175
L2-M22	4,4885

MUESTRA	C _{MUESTRA} (mg/kg)
L2-M23	21,8879
L2-M24	2,4079
L2-M25	23,2658
L2-M26	21,5950
L2-M27	8,6360
L2-M28	8,4674
L2-M29	0,6343
L2-M30	8,6239

Tabla 6. 3: Resultados obtenidos mediante ICP-MS

Los datos estadísticos más importantes obtenidos a partir de la Tabla 6. 3 se pueden visualizar en la Tabla 6. 4.

Recuento=	36
Promedio=	12,5413
Desviación estandar=	10,9878
Coeficiente de variación=	87,61%
Mínimo=	0,4347
Máximo=	60,9917
Rango=	60,557

Tabla 6. 4: Datos estadísticos ICP-MS

Realizamos el diagrama de cajas y bigotes para las concentraciones de las muestras y obtenemos el siguiente diagrama:

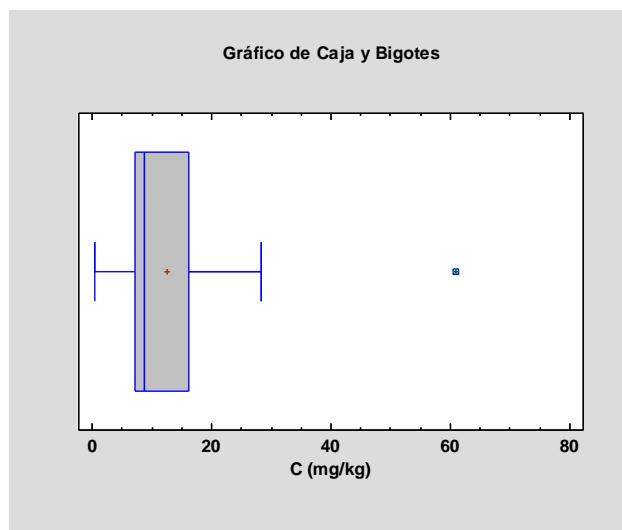


Ilustración 6. 3: Diagrama de cajas y bigotes ICP-MS

Al representar el diagrama de cajas y bigotes, Ilustración 6. 3, se observa como hay un posible valor anómalo ya que se encuentra fuera de rango, este valor pertenece a la muestra L2-M14 con una concentración de 60,99 mg/kg, para saber si este valor es verdaderamente un valor anómalo se deberían de hacer varias repeticiones de la muestra para ver si siempre queda una concentración en torno a la dada y realizar un estudio de Q de Dixon para asegurarnos de que es un valor anómalo. Debido a que por falta de tiempo y de material no ha dado tiempo a realizar varias repeticiones de las muestras este valor se tendrá en cuenta para estudios posteriores ya que no podemos asegurar con confianza su eliminación.

Se han obtenido intervalo de confianza del 95% para la media: $12,5413 \pm 3,7177$.

Por último, se comprueba por esta técnica como nos queda una distribución de la normal para las concentraciones obtenidas de las muestras estudiadas:

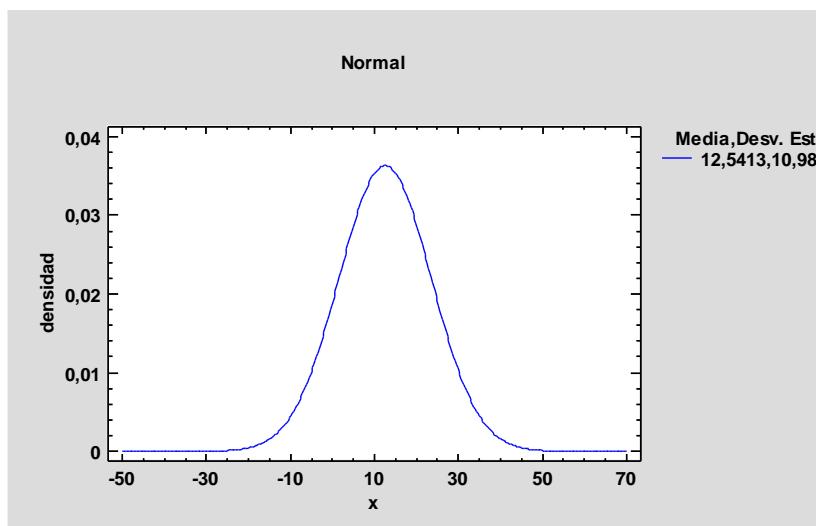


Ilustración 6. 4:Distribución normal para datos ICP-MS

Con los valores obtenidos de la media y de la desviación típica se puede asegurar que los valores de concentración obtenidos de las muestras siguen una distribución normal, Ilustración 6. 4, ya que presentan forma de campana de Gaus.

Como se ha comentado en el capítulo anterior esta técnica no es muy fiable ya que puede proporcionar respuestas de otros elementos en vez del Torio por lo que no se tendrá en cuenta para estudios posteriores.

6.3 RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE ESPECTROMETRÍA ALFA

Después de realizar los cálculos explicados detalladamente en el apartado 5.2 del capítulo anterior y para ello seguir el procedimiento para la preparación de cada una de las muestras explicado en el apartado 4.5 se obtienen los resultados que se muestran en la tabla Tabla 6. 5.

MUESTRA	ACTIVIDAD (Bq/g)	RQ (%)	C _{MUESTRA} (mg/kg)
CRM-CHINA	0,0711	12,41	17,56
CRM-IAEA	0,4717	3,28	116,48
L1-M5	0,0431	11,38	10,64
L1-M6	0,0544	8,67	13,43
L1-M9	0,0416	8,53	10,27
L1-M10	0,0587	6,69	14,50
L1-M21	0,0109	24,89	2,69
L1-M22	0,0129	87,34	3,19
L2-M1	0,0691	7,39	17,07
L2-M2	0,0247	85,50	6,10
L2-M3	0,0280	13,20	6,91
L2-M4	0,0846	26,58	20,88
L2-M5	0,0577	16,16	14,26
L2-M6	0,0431	21,82	10,65
L2-M7	0,0511	11,93	12,62
L2-M8	0,0803	11,57	19,83
L2-M9	0,0781	8,49	19,28
L2-M10	0,0799	3,71	19,74
L2-M11	0,0530	20,94	13,08
L2-M12	0,0411	38,93	10,16
L2-M13	0,0529	12,61	13,06
L2-M14	0,0464	66,46	11,46
L2-M15	0,0188	48,54	4,64
L2-M16	0,0141	70,73	3,48
L2-M17	0,1154	8,27	28,49
L2-M18	0,0320	14,04	7,91
L2-M19	0,0118	64,08	2,91
L2-M20	0,0327	17,84	8,06
L2-M21	0,0472	54,64	11,65
L2-M22	0,0205	18,36	5,06
L2-M23	0,0407	34,94	10,06
L2-M24	0,0022	37,78	0,55
L2-M25	0,0197	41,24	4,87
L2-M26	0,0182	12,52	4,50
L2-M27	0,0560	7,91	13,82
L2-M28	0,0591	29,96	14,61
L2-M29	0,0142	8,04	3,50
L2-M30	0,0477	11,13	11,79

Tabla 6. 5: Resultados obtenidos mediante espectrometría alfa

Se van a extraer los resultados estadísticos para la concentración y el rendimiento químico a partir de los datos de la Tabla 6. 5.

Para la concentración de las muestras se ha obtenido:

Recuento=	36
Promedio=	10,7174
Desviación típica=	6,23
Coeficiente de variación=	58,11%
Mínimo=	0,55
Máximo=	28,49
Rango=	27,94

Tabla 6. 6: Datos estadísticos para la concentración de espectrometría alfa

El diagrama de cajas y bigotes para la concentración de las muestras por la técnica de espectrometría alfa es el siguiente:

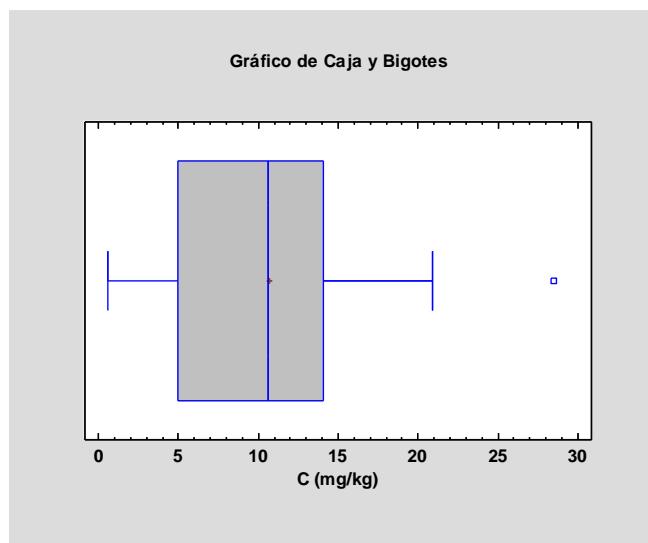


Ilustración 6. 5: Diagrama de caja y bigote para la concentración en espectrometría alfa

En la Ilustración 6. 5 sólo se nos presenta un posible valor anómalo, el cual corresponde a la muestra L2-M17 con una concentración de 28,49 mg/kg valor muy alejado del valor promedio de 10,71 mg/kg. Para saber si dicho valor es un valor anómalo y poder eliminarlo se debe de realizar varias repeticiones de esta muestra y realizar un estudio de Q de Dixon. Como estas repeticiones por falta de tiempo y de suelo no se han podido realizar, esta muestra se tendrá en cuenta para estudios estadísticos posteriores.

Se ha obtenido intervalo de confianza del 95% para los valores promedio de la concentración, siendo el intervalo: $10,7144 \pm 2,1067$.

Comprobamos si con los datos de promedio y desviación estándar de la concentración los valores de las muestras se asemejan a una distribución normal:

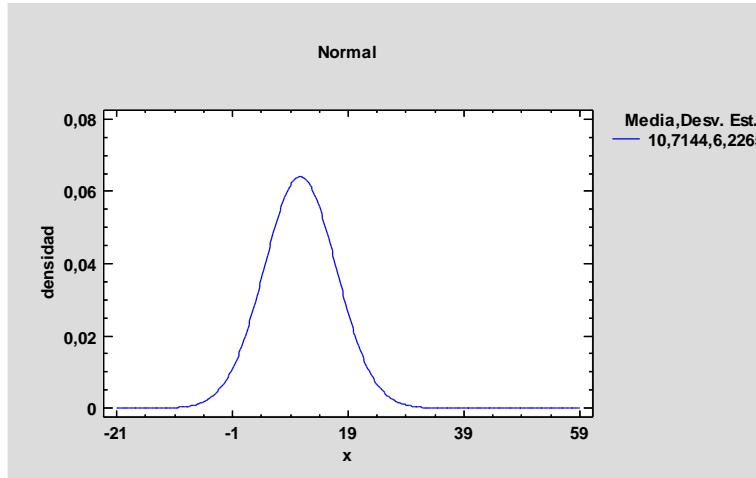


Ilustración 6. 6: Distribución normal para la concentración en espectrometría alfa

Al fijarse en la Ilustración 6. 6, aparentemente estos datos si pertenecen a una distribución normal, ya que presenta forma de campana de Gaus.

A continuación aparecen los datos estadísticos para el rendimiento químico de las muestras:

Recuento=	36
Promedio=	27,0225
Desviación típica=	23,41
Coeficiente de variación=	86,64%
Mínimo=	3,71
Máximo=	87,34
Rango=	83,63

Tabla 6. 7: Datos estadísticos para el rendimiento químico en espectrometría alfa

Se realiza el diagrama de cajas y bigotes para el rendimiento químico de las muestras por la técnica de espectrometría alfa:

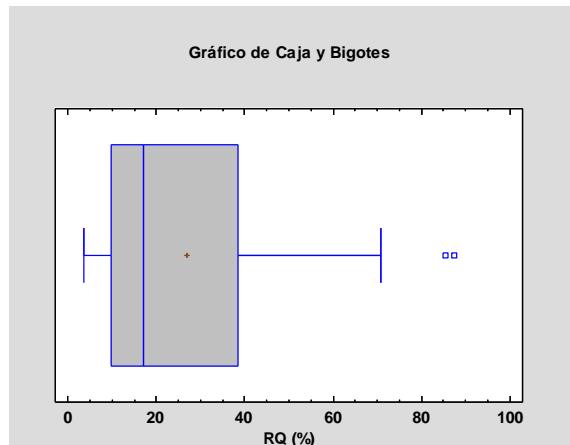


Ilustración 6. 7: Diagrama de caja y bigotes para rendimiento químico en espectrometría alfa

En la Ilustración 6. 7 nos salen dos posibles valores anómalos el de la muestra L1-M22 con un rendimiento químico de 87,34% y el de la muestra L2-M2 con un rendimiento químico de 85,5% estos valores se nos presentan como valores anómalos ya que el promedio del rendimiento químico está en un 26%. Dichos valores en verdad son los que mejor rendimiento químico dan, pero al sobresalir tanto sobre el valor medio podrían ser considerados como posibles anómalos, para saber si dichos valores son anómalos se podrían realizar varias repeticiones de las muestras y realizar una Q de Dixon. La obtención de rendimientos químicos tan bajos podría ser debido a los componentes de la matriz de la muestra. Otro proceso importante que puede afectar al rendimiento es la separación radioquímica por medio de vacío ya que al controlar la velocidad de paso de la muestra y al hacer que el procedimiento de separación radioquímica no se haya realizado por gravedad (proceso mucho más lento) haya podido influir de manera pronunciada en los rendimientos obtenidos. Es importante tener en cuenta el proceso de electrodeposición tanto la posición en la que se coloca el electrodo de platino de plancheta como el tiempo de electrodeposición, ya que puede influir también de manera pronunciada en el rendimiento químico. Por último, otro punto muy importante a tener en cuenta y que puede afectar gravemente al rendimiento químico es la absorbancia que se puede crear en las muestras durante su lectura a través del programa Alpha acquisition & analyst, esto se debe al mal vacío que puede crearse en la cámara de medición y a la absorción de las partículas por el aire.

Se ha obtenido intervalo de confianza del 95% para valores promedio del rendimiento químico, siendo el intervalo: $27,0225 \pm 7,9212$.

Comprobamos si con los datos de promedio y desviación estándar de la concentración los valores de las muestras se asemejan a una distribución normal:

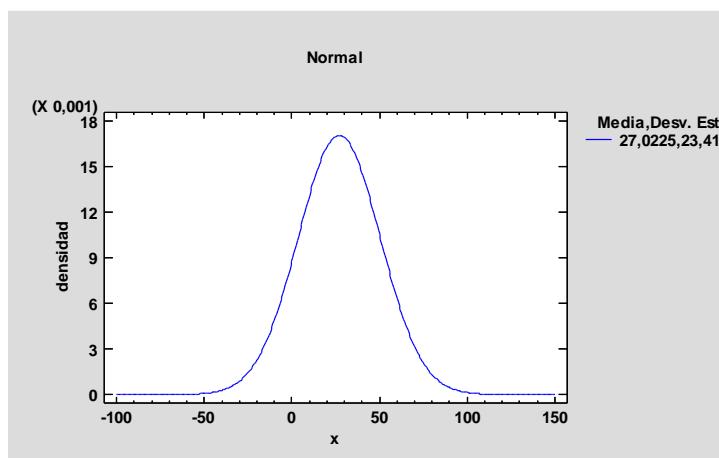


Ilustración 6. 8:Distribución normal para datos del rendimiento químico en espectrometría alfa

En la Ilustración 6. 8 se observa como a partir del promedio de los rendimientos químicos y de la desviación estándar, aparece una forma de

campana de Gaus, por lo que los rendimientos químicos siguen una distribución normal.

Para terminar con los resultados de espectrometría alfa se va a hacer un estudio comparativo entre las diferentes zonas donde se han tomado las muestras para comprobar si la concentración de Torio dependiendo de la zona tiene mucha diferencia, para ello se va a realizar una prueba de hipótesis. Una de las muestras fue tomada en el estado de Nuevo Leon y al ser sólo una, no participará en esta comparación.

Los datos de los siguientes estados (Zacatecas y Aguascalientes) con sus respectivas concentraciones se presentan en Tabla 6. 8 y Tabla 6. 9.

ZACATECAS	C (mg/kg)
L2-M1	17,07
L2-M2	6,10
L2-M5	14,26
L2-M6	10,65
L2-M7	12,62
L2-M11	13,08
L2-M12	10,16
L2-M13	13,06
L2-M14	11,46
L2-M15	4,64
L2-M16	3,48
L2-M17	28,49
L2-M18	7,91
L2-M19	2,91
L2-M20	8,06
L2-M21	11,65
L2-M22	5,06
L2-M23	10,06
L2-M24	0,55
L2-M25	4,87
L2-M26	4,50
L2-M27	13,82
L2-M28	14,61
L2-M29	3,50
L2-M30	11,79
L1-M5	10,64
L1-M6	13,43
L1-M9	10,27
L1-M10	14,50
L1-M21	2,69
L1-M22	3,19

AGUASCALIENTES	C (mg/kg)
L2-M4	20,88
L2-M8	19,83
L2-M9	19,28
L2-M10	19,74

Tabla 6. 8: Concentraciones en el estado de Aguascalientes

Tabla 6. 9: Concentraciones en el estado de Zacatecas

Los resultados obtenidos para cada uno de los estados han sido:

Zacatecas		Aguascaliente	
Muestras	31	Muestras	4
Media	9,6477	Media	19,9325
Desviación	5,6743	Desviación	0,6760

Tabla 6. 10: Resultados estadísticos para ambos estados

Primero se debe de realizar una prueba de hipótesis, prueba F, para comprobar si sus varianzas difieren. Esta prueba consiste en una prueba para comparar las medias y las varianzas y ver si sus valores difieren ya que al observar la Tabla 6. 10 se observa que entre la media de las muestras de una zona y de la otra hay bastante diferencia, lo mismo ocurre con las desviaciones.

$$F = \frac{S^2_1}{S^2_2} = \frac{5,67^2}{0,68^2} = 69,52$$

Comparamos la F que hemos calculado con F crítica (2 colas, 95%, $\chi_1=30$ y $\chi_2=3$) = 8,62.

(Mendoza, n.d.)

Fcrítica < Fcalculada > si hay evidencias de que las varianzas de distintos estados difieran significativamente.

Una vez conocido esto, se puede pasar a la comparación de medias con la ecuación para varianzas que son significativamente diferentes:

$$t = \frac{\overline{x}_1 - \overline{x}_2}{\left(\frac{S_1}{n_1} + \frac{S_2}{n_2} \right)^{1/2}} = 17,33$$

Comparamos el valor de t calculado con tcrítico, t al 99% con 33 grados de libertad es aproximadamente 2,75.

(Miller and Miller, n.d.)

tcrítica < tcalculada por lo que si existen diferencias significativamente entre las muestras.

Con esto se puede deducir que dependiendo de la zona de muestreo afecta a la concentración de Torio de las muestras, aunque ambos estados estén cercanos.

Esta técnica de espectrometría alfa junto con la técnica de medición de ICP-MS son las técnicas que mejores resultados proporcionan, pero al observar los datos estadísticos obtenidos por cada una de las técnicas se observa a simple vista que puede haber diferencias de los resultados de concentraciones al medirlos por una técnica u otra por lo que en el apartado 6.5 se va a realizar una comparación de estas dos técnicas para comprobar si existen diferencias significativas.

6.4 RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE DIFRACCIÓN DE RAYOS X Y MEDIANTE FLUORESCENCIA

Las mediciones obtenidas mediante estas dos técnicas se han realizado en el laboratorio de rayos X del LTI con la ayuda del técnico responsable de estas técnicas. Para obtener estos resultados ha sido necesario seguir el procedimiento de las muestras explicado en el apartado 4.1 y 4.2, también ha sido necesario conocer el funcionamiento de la técnica el cual también ha sido detallado e ilustrado.

A continuación, se van a mostrar cada uno de los componentes que posee cada muestra y al lado del componente irá una letra (A=alto, M=medio, B=bajo) indicando como es la concentración de cada uno de los componentes de cada muestra. También puede aparecer un * o dos **.

*: Feldespato de Sodio y Calcio (plagioclasas) y de potasio suelen ir asociados al cuarzo y hay muchas variedades con picos muy similares.

**: Arcillas identificadas con las reservas comunes a estos minerales.

Las técnicas analíticas que se han estudiado se han realizado para muestras pertenecientes a dos lotes diferentes por tanto vamos a dividir los resultados obtenidos en los dos lotes que se han utilizado.

- **LOTE 1**

MUESTRA 5

Cuarzo	SiO ₂	A
Kaolinita	Al ₂ Si ₂₀₅ (OH) ₄	B
Plagioclasas (Anortita)	(CaNa)AlSi ₃ O ₈	B*
Feldespato de potasio	KAlSi ₃ O ₈	B *

MUESTRA 6

Cuarzo	SiO ₂	A
Kaolinita	Al ₂ Si ₂₀₅ (OH) ₄	B-M
Plagioclasas (Anortita)	(CaNa)AlSi ₃ O ₈	B*
Feldespato de potasio	KAlSi ₃ O ₈	B *
Magnetita	Fe ₃ O ₄	I

MUESTRAS 9 Y 10

Cuarzo	SiO ₂	A
--------	------------------	---

Kaolinita	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	B
Plagioclasas (Anortita)	(CaNa)AlSi3O8	B*
Feldespato de potasio	KAlSi3O8	B *

MUESTRA 21

Cuarzo	SiO2	A
Calcita	CaCO3	A
Plagioclasas (Anortita)	(CaNa)AlSi3O8	B *
Feldespato de potasio	KAlSi3O8	B *
Basanita	CaSO4.1/2H2O	B
Halita	NaCl	B-M

MUESTRA 22

Cuarzo	SiO2	A
Calcita	CaCO3	B
Plagioclasas (Anortita)	(CaNa)AlSi3O8	B *
Feldespato de potasio	KAlSi3O8	B *
Basanita	CaSO4.1/2H2O	B
Halita	NaCl	B
Yeso	CaSO4.2H2O	I

• LOTE 2

MUESTRA 1

Cuarzo	SiO2	A
Plagioclasas (Albita.....)	(CaNa)AlSi3O8	B*
Feldespato de potasio	KAlSi3O8	B *
Montmorillonita	Ca(Al,Mg)2Si4O10(OH)2. 4H2O	B**
Kaolinita	Al2Si2O5(OH)4	B**
Piroxeno (augite...)	(Ca,Fe,Mg)SiO3	B
Anfibol (Horblenda....)	Ca2 Mg5 Si8 O22 (OH)2	B

MUESTRA 2

Cuarzo	SiO ₂	A
Calcita	CaCO ₃	A
Plagioclasas (Albita...)	(CaNa)AlSi ₃ O ₈	B*
Feldespato de potasio	KAlSi ₃ O ₈	B *
Moscovita	H ₂ KAl ₃ Si ₃ O ₁₂	B
Montmorillonita	Ca(Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ . 4H ₂ O	B**
Piroxeno (augite...)	(Ca,Fe,Mg)SiO ₃	B

MUESTRA 3

Cuarzo	SiO ₂	A
Plagioclasas (Albita.....)	(CaNa)AlSi ₃ O ₈	B*
Feldespato de potasio	KAlSi ₃ O ₈	B *
Montmorillonita	Ca(Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ . 4H ₂ O	B**
Kaolinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	B**
Piroxeno (augite...)	(Ca,Fe,Mg)SiO ₃	B
Hematite	Fe ₂ O ₃	I

MUESTRA 4

Cuarzo	SiO ₂	A
Plagioclasas (Albita.....)	(CaNa)AlSi ₃ O ₈	B*
Feldespato de potasio	KAlSi ₃ O ₈	B *
Montmorillonita	Ca(Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ . 4H ₂ O	B**
Kaolinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	B**
Piroxeno (augite...)	(Ca,Fe,Mg)SiO ₃	B
Calcita	CaCO ₃	I

MUESTRA 5,6,7,8 ,12,13,30,31

Cuarzo	SiO ₂	A
Plagioclasas (Albita.....)	(CaNa)AlSi ₃ O ₈	B*

Feldespato de potasio	KAlSi3O8	B *
Montmorillonita	Ca(Al,Mg)2Si4O10(OH)2. 4H2O	B**
Piroxeno (augite...)	(Ca,Fe,Mg)SiO3	B
Calcita	CaCO3	I
Hematite	Fe2O3	I

MUESTRA 9,10,11,22

Cuarzo	SiO2	A
Plagioclasas (Albita.....)	(CaNa)AlSi3O8	B*
Feldespato de potasio	KAlSi3O8	B *
Montmorillonita	Ca(Al,Mg)2Si4O10(OH)2. 4H2O	B**
Piroxeno (augite...)	(Ca,Fe,Mg)SiO3	B
Hematite	Fe2O3	I

MUESTRA 14

Cuarzo	SiO2	A
Calcita	CaCO3	A
Plagioclasas (Albita, Anortita)	(CaNa)AlSi3O8	B*
Feldespato de potasio	KAlSi3O8	B *
Montmorillonita	Ca(Al,Mg)2Si4O10(OH)2. 4H2O	B**
Piroxeno (augite...)	(Ca,Fe,Mg)SiO3	B
Heulandita	Ca(Si7Al2)O18. 6H2O	B
Hematite	Fe2O3	I

MUESTRA 15

Cuarzo	SiO2	A
Plagioclasas (Albita...)	(CaNa)AlSi3O8	B*
Feldespato de potasio	KAlSi3O8	B *
Moscovita	H2KAl3Si3O12	B
Calcita	CaCO3	B

Montmorillonita	$\text{Ca}(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	B**
Piroxeno (augite...)	$(\text{Ca,Fe,Mg})\text{SiO}_3$	B

MUESTRA 16

Calcita	CaCO_3	A
Cuarzo	SiO_2	A
Plagioclasas (Albita...)	$(\text{CaNa})\text{AlSi}_3\text{O}_8$	B*
Feldespato de potasio	KAlSi_3O_8	I*
Montmorillonita	$\text{Ca}(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	I**

MUESTRA 17

Cuarzo	SiO_2	A
Plagioclasas (Albita...)	$(\text{CaNa})\text{AlSi}_3\text{O}_8$	B*
Feldespato de potasio	KAlSi_3O_8	B *
Moscovita	$\text{H}_2\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_1_2$	B
Montmorillonita	$\text{Ca}(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	B**
Piroxeno (augite...)	$(\text{Ca,Fe,Mg})\text{SiO}_3$	B
Hematite	Fe_2O_3	I

MUESTRA 18

Cuarzo	SiO_2	A
Plagioclasas (Albita...)	$(\text{CaNa})\text{AlSi}_3\text{O}_8$	B*
Feldespato de potasio	KAlSi_3O_8	B *
Piroxeno (augite...)	$(\text{Ca,Fe,Mg})\text{SiO}_3$	B
Montmorillonita	$\text{Ca}(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	I

MUESTRA 19

Cuarzo	SiO_2	A
Plagioclasas (Albita.....)	$(\text{CaNa})\text{AlSi}_3\text{O}_8$	B*
Feldespato de potasio	KAlSi_3O_8	B *

Calcita	CaCO ₃	B
Dolomita	CaMgCO ₃	B
Montmorillonita	Ca(Al,Mg)2Si4O10(OH)2. 4H ₂ O	B**
Piroxeno (augite...)	(Ca,Fe,Mg)SiO ₃	B

MUESTRA 20

Cuarzo	SiO ₂	A
Plagioclasas (Albita...)	(CaNa)AlSi ₃ O ₈	B*
Feldespato de potasio	KAlSi ₃ O ₈	B *
Moscovita	H ₂ KAl ₃ Si ₃ O ₁₂	B
Piroxeno (augite...)	(Ca,Fe,Mg)SiO ₃	B
Calcita	CaCO ₃	I

MUESTRA 21,23

Cuarzo	SiO ₂	A
Calcita	CaCO ₃	B
Plagioclasas (Albita, Anortita)	(CaNa)AlSi ₃ O ₈	B*
Feldespato de potasio	KAlSi ₃ O ₈	B *
Moscovita	H ₂ KAl ₃ Si ₃ O ₁₂	B
Montmorillonita	Ca(Al,Mg)2Si4O10(OH)2. 4H ₂ O	B**
Piroxeno (augite...)	(Ca,Fe,Mg)SiO ₃	B
Heulandita	Ca(Si ₇ Al ₂)O ₁₈ . 6H ₂ O	B
Hematite	Fe ₂ O ₃	I

MUESTRA 24

Cuarzo	SiO ₂	A
Plagioclasas (Albita.....)	(CaNa)AlSi ₃ O ₈	M*
Feldespato de potasio	KAlSi ₃ O ₈	B *
Dolomita	CaMgCO ₃	B
Clorita	(Mg,Fe,Al)Si ₄ O ₁₀ (OH) ₈	B**

Piroxeno (augite...)	(Ca,Fe,Mg)SiO ₃	B
Hematite	Fe ₂ O ₃	B
Anfibol (Horblenda....)	Ca ₂ Mg ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂	I

MUESTRA 25

Cuarzo	SiO ₂	A
Calcita	CaCO ₃	A
Plagioclasas (Albita, Anortita)	(CaNa)AlSi ₃ O ₈	B*
Feldespato de potasio	KAlSi ₃ O ₈	B *
Montmorillonita	Ca(Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ .4H ₂ O	B**
Piroxeno (augite...)	(Ca,Fe,Mg)SiO ₃	B
Hematite	Fe ₂ O ₃	I

MUESTRA 26

Cuarzo	SiO ₂	A
Calcita	CaCO ₃	M
Plagioclasas (Albita...)	(CaNa)AlSi ₃ O ₈	B*
Feldespato de potasio	KAlSi ₃ O ₈	B *
Moscovita	H ₂ KAl ₃ Si ₃ O ₁₂	B
Montmorillonita	Ca(Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ .4H ₂ O	B
Piroxeno (augite...)	(Ca,Fe,Mg)SiO ₃	B
Hematite	Fe ₂ O ₃	I

MUESTRA 27

Cuarzo	SiO ₂	A
Plagioclasas (Albita, Anortita)	(CaNa)AlSi ₃ O ₈	B*
Feldespato de potasio	KAlSi ₃ O ₈	B *
Montmorillonita	Ca(Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ .4H ₂ O	B**
Piroxeno (augite...)	(Ca,Fe,Mg)SiO ₃	B
Hematite	Fe ₂ O ₃	I

MUESTRA 28

Cuarzo	SiO ₂	A
Plagioclasas (Albita.....)	(CaNa)AlSi ₃ O ₈	M*
Feldespato de potasio	KAlSi ₃ O ₈	B *
Piroxeno (augite...)	(Ca,Fe,Mg)SiO ₃	B
Anfibol (Horblenda....)	Ca ₂ Mg ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂	B
Montmorillonita	Ca(Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ .4H ₂ O	B**
Hematite	Fe ₂ O ₃	I

MUESTRA 29

Calcita	CaCO ₃	A
Cuarzo	SiO ₂	A
Plagioclasas (Albita...)	(CaNa)AlSi ₃ O ₈	B*
Feldespato de potasio	KAlSi ₃ O ₈	I*
Montmorillonita	Ca(Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ .4H ₂ O	I**
Hematite	Fe ₂ O ₃	I

MUESTRA IAEA-313 SOIL

Cuarzo	SiO ₂	A
Gipsita	Al(OH) ₃	B
Plagioclasas (Albita.....)	(CaNa)AlSi ₃ O ₈	B*
Feldespato de potasio	KAlSi ₃ O ₈	B *
Montmorillonita	Ca(Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ .4H ₂ O	B**
Kaolinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	B**
Calcita	CaCO ₃	I
Piroxeno (augite...)	(Ca,Fe,Mg)SiO ₃	I

Todas las muestras tienen un único elemento en común, el cuarzo SiO₂ con una concentración alta, en todas las muestras las plagioclásas especialmente la albita y los feldespatos de potasio presentan una concentración baja. Estos elementos sobre todo el cuarzo son comunes en todo tipo de suelo y rocas de ahí viene su abundancia en todas las muestras estudiadas.

Se ha realizado también un estudio cuantitativo de los elementos de traza con GEOQUANT por pastilla, de este estudio únicamente vamos a capturar la

concentración de Torio obtenida en cada muestra, ya que es el elemento en el que nos estamos centrando en este proyecto.

El suelo certificado de China no se ha podido analizar por esta técnica debido a la falta de contenido, el resto de muestras además de ser analizadas por esta técnica se han obtenido resultados mediante otras técnicas, cuyos resultados serán estudiados a continuación.

MUESTRAS	Th (ppm)
LOTE 1	
M5	12
M6	13
M9	14
M10	19
M21	11
M22	6
LOTE 2	
IAEA-312 soil	132
M1	19
M2	9
M3	7
M4	25
M5	18
M6	15
M7	14
M8	26
M9	18
M10	17
M11	16
M12	16
M13	17
M14	16
M15	8
M16	7
M17	13
M18	20
M19	6
M20	10
M21	16
M22	5
M23	15
M24	3
M25	7
M26	7

MUESTRAS	Th (ppm)
M27	15
M28	19
M29	35
M30	14

Tabla 6. 11: Resultados de concentración de Torio por Fluorescencia y difracción

El procedimiento para realizar la técnica de difracción y de fluorescencia de rayos X como se ha dicho al principio de este apartado fue descrito en el capítulo 4, en el capítulo de metodología. Como se explicó en la descripción de estas técnicas analíticas el primer paso es la perdida de fuego, procedimiento que también se ha realizado en nuestro laboratorio. Los resultados analizados tanto en la perdida de fuego como en la medición de la traza se pueden ver en el Anexo IV.

El suelo certificado, CRM-IAEA presenta una concentración de Torio de 91,4 ppm. Sin embargo, por esta técnica hemos obtenido un valor de 132 ppm. Estos valores se difieren en varias unidades ya que esta técnica trata de estudiar los componentes que posee cada muestra, así como de dar una pequeña estimación de la concentración que tiene cada uno de esos componentes. Por este motivo, estas técnicas analíticas, difracción y fluorescencia de rayos X, no se van a tener en cuenta para la realización comparativa de estudios estadísticos y comparación de técnicas porque son técnicas poco fiables.

6.5 COMPARACIÓN DE TÉCNICAS ANALÍTICAS

A continuación, después de los estudios realizados anteriormente se va a realizar un estudio entre las concentraciones de las muestras obtenidas mediante espectrometría alfa y mediante la técnica de ICP-MS ya que se ha comprobado que son las técnicas más fiables y que mejores concentraciones de Torio dan con respecto a los patrones certificados. Las otras dos técnicas estudiadas ICP-OES y fluorescencia y difracción de rayos X dan resultados más imprecisos.

En la Tabla 6. 12 se muestra para cada una de las muestras la concentración obtenida por cada una de las técnicas y la diferencia de concentración que se ha obtenido restando cada una de las concentraciones obtenidas por cada muestra según cada una de las técnicas.

MUESTRA	ESPECT. ALFA	ICP-MS	d
CRM-CHINA	17,56	19,4485	-1,8891
CRM-IAEA	116,48	81,0208	35,4576
L1-M5	10,64	8,6999	1,9422
L1-M6	13,43	7,0923	6,3373
L1-M9	10,27	8,0112	2,2585
L1-M10	14,50	5,1873	9,3116
L1-M21	2,69	7,7537	-5,0590
L1-M22	3,19	16,7874	-13,6009
L2-M1	17,07	9,3699	7,7005
L2-M2	6,10	26,3858	-20,2825
L2-M3	6,91	3,4462	3,4593
L2-M4	20,88	25,4940	-4,6122
L2-M5	14,26	15,6441	-1,3830
L2-M6	10,65	6,7041	3,9482
L2-M7	12,62	9,4067	3,2142
L2-M8	19,83	9,4805	10,3489
L2-M9	19,28	7,0417	12,2362
L2-M10	19,74	9,7013	10,0424
L2-M11	13,08	10,8491	2,2358
L2-M12	10,16	14,4908	-4,3343
L2-M13	13,06	8,5783	4,4774
L2-M14	11,46	60,9917	-49,5277
L2-M15	4,64	13,4089	-8,7696
L2-M16	3,48	0,4347	3,0445
L2-M17	28,49	5,5684	22,9227
L2-M18	7,91	16,7911	-8,8777
L2-M19	2,91	7,8830	-4,9702
L2-M20	8,06	8,0599	0,0049
L2-M21	11,65	28,2175	-16,5627
L2-M22	5,06	4,4885	0,5729
L2-M23	10,06	21,8879	-11,8301
L2-M24	0,55	2,4079	-1,8619
L2-M25	4,87	23,2658	-18,3944
L2-M26	4,50	21,5950	-17,0919
L2-M27	13,82	8,6360	5,1880
L2-M28	14,61	8,4674	6,1387
L2-M29	3,50	0,6343	2,8698
L2-M30	11,79	8,6239	3,1655

Tabla 6. 12: Resultado comparación de técnicas Esp.Alfa e ICP-MS

A menudo se comparan dos métodos de análisis estudiando muestras de ensayo que contienen sustancialmente diferentes cantidades de analito. Como siempre existe variación entre las medidas debida al error aleatorio de la medida. Además, las diferencias entre los métodos pueden contribuir también a la variación entre las medidas. Esto es lo que nos interesa, conocer si los métodos producen resultados significativamente diferentes.

El contraste entre comparar dos medidas no es apropiado en este caso porque no separa la variación debida al método. Esta dificultad se soluciona observando la diferencia, d , entre cada par de resultados por los dos métodos como se ha mostrado en la tabla anterior. Si no existen diferencias entre los dos métodos, entonces estas diferencias se obtienen de una población con $\mu_d=0$. Para probar la hipótesis nula se prueba si d difiere significativamente de cero utilizando el estadístico t .

$$t = \frac{\bar{x}_d}{S_d} \cdot \sqrt{n}$$

(Miller and Miller, n.d.)

A continuación, mostramos los valores estadísticos para las diferencias (columna d) entre muestras, contamos con 36 muestras más dos CRM:

d
Muestras= 38
Promedio= 9,10327
Desviación= 9,98768

Tabla 6. 13: Resultados estadísticos comparación de espec. alfa e ICP-MS

Calculamos la t y obtenemos un valor de 5,618 y comprobamos en tablas el valor de la t crítica (95%,37) = 2,02.

t crítica < t calculada-> se rechaza la hipótesis nula, los métodos proporcionan resultados significativamente diferentes para la concentración de Torio en suelos.

Aunque ambos métodos resulten significativamente diferentes el método más recomendable para la determinación de Torio y más preciso es el de espectrometría alfa, ya que, en cada muestra, gracias al uso de un trazador, se puede conocer el rendimiento químico. Esto es más preciso que los cálculos de ICP-MS ya que para cada muestra se ha tomado un factor de dilución y no todas las muestras se han procesado a la vez ni tienen el mismo rendimiento. Además, mediante la técnica de espectrometría alfa se pueden estudiar los diferentes isótopos de Torio mientras que por las otras solo se estudia el ^{232}Th .

Por último, se va a comprobar si la concentración media de Torio 232 obtenida en las muestras por espectrometría alfa se encuentra dentro del rango de estudios que se han realizado en muestras de suelos de la corteza terrestre por dicha técnica. En estos estudios se ha obtenido un rango de concentración de

Torio 232 entre 30,2 y 48,6 Bq/kg que se corresponde con un rango entre 7,46 y 12 mg/kg. La concentración media de Torio 232 obtenida mediante la técnica de espectrometría alfa ha sido de aproximadamente 10,72 mg/kg por tanto esta concentración se encuentra dentro de rango.

(Jia et al. 2008)

Cabe destacar, que la media obtenida está muy por debajo de los límites máximos admisibles para la construcción de zonas verdes y urbanas, así como zonas industriales. Por lo que, en un futuro, si se desea, se puede edificar en estas zonas.

Además, observamos que la concentración obtenida por esta técnica de Torio en el CRM-Chino ha sido de 17,56 mg/kg y el material de referencia tiene una concentración de Torio de $16,6 \pm 0,8$ mg/kg por tanto la concentración obtenida del CRM-Chino se encuentra dentro de rango. Para el CRM-IAEA se ha obtenido una concentración de 116,48 mg/kg y el material de referencia certificado presenta una concentración de $91,4 \pm 10,01$ mg/kg, por lo que también se puede decir que la concentración de Torio obtenida en la muestra de CRM-IAEA se encuentra dentro de rango.

Capítulo 7:

CONCLUSIONES

En este capítulo del trabajo se muestran las conclusiones de cada uno de los apartados que se han ido desarrollando:

- Se ha cumplido el objetivo principal de este proyecto, ya que se ha llevado a cabo la determinación de Torio en los suelos de los diferentes estados de México. Este elemento presente en las muestras de suelos se ha podido detectar sobre todo a partir de la técnica de fluorescencia y difracción de rayos X, en estas técnicas se nos muestran los diferentes compuestos presentes en las muestras, así como la cantidad de cada uno de ellos.
- Se ha obtenido tanto la concentración como la actividad de los isótopos de torio más abundantes en la naturaleza para cada muestra de suelo a analizar: ^{228}Th , ^{229}Th (trazador), ^{230}Th y ^{232}Th . Las actividades mínimas detectables han dado valores demasiado bajos, esto se ha podido llevar a cabo a partir de la técnica de espectrometría alfa.
- Se han conseguido los rendimientos químicos para cada una de las muestras, mediante la técnica de espectrometría alfa gracias al uso de un trazador ^{229}Th . Para conseguir el mayor rendimiento posible se ha intentado optimizar cada uno de los procesos llevados a cabo durante la técnica, principalmente los procesos de digestión de microondas, separación radioquímica y electrodeposición. La obtención de un rendimiento químico promedio de las muestras de casi un 30%, rendimiento no muy elevado, puede ser afectado por los componentes de la matriz de la muestra, otro proceso importante que puede afectar al rendimiento es la separación radioquímica por medio de vacío ya que al controlar la velocidad de paso de la muestra y al hacer que el procedimiento de separación radioquímica no se haya realizado por gravedad (proceso mucho más lento) haya podido influir de manera pronunciada en los rendimientos obtenidos. Es importante tener en cuenta el proceso de electrodeposición tanto la posición en la que se coloca el electrodo de platino de plancheta como el tiempo de electrodeposición, ya que puede influir también de manera pronunciada en el rendimiento químico. Por último, otro punto muy importante a tener en cuenta y que puede afectar gravemente al rendimiento químico es la absorbancia que se puede crear en las muestras durante su lectura a través del programa Alpha acquisition & analyst, esto se debe al mal vacío que puede crearse en la cámara de medición y a la absorción de las partículas por el aire.
- La comparación de las concentraciones obtenidas para las distintas muestras nos ha dado mediante un estudio estadístico que tienen diferencias significativas. Por lo que se deduce que, dependiendo de la

zona de muestreo, la concentración de Torio varía, aunque ambos estados estén relativamente cerca.

- Se han comparado las técnicas analíticas de ICP-MS y espectrometría alfa porque son las dos técnicas que mejores resultados proporcionan para el análisis de radionúclidos. Realizando un estudio estadístico para comprobar si la concentración mediante el análisis entre ambas técnicas tiene diferencias significativas se ha obtenido que sí que presentan diferencias. Aunque estos métodos resulten significativamente diferentes, la decisión por el mejor método para el análisis de Torio ha sido la espectrometría alfa, ya que es un método más preciso porque permite determinar y analizar propiedades químicas que otros métodos no nos proporcionan, como el rendimiento químico, esto es posible como se ha dicho antes gracias a la ayuda de un trazador, además mediante esta técnica se pueden estudiar los diferentes isótopos de Torio mientras que por las otras solo se estudia el ^{232}Th .
- Por último, se ha obtenido mediante la técnica elegida como la mejor, espectrometría alfa, una concentración media de Torio que se encuentra dentro de los límites admisibles. Los valores obtenidos están muy por debajo de los límites máximos admisibles para la construcción de zonas verdes y urbanas, así como zonas industriales, por lo que, en un futuro, si se desea, se puede edificar en estas zonas.

Capítulo 8:

LÍNEAS FUTRURAS

Un trabajo de investigación nos lleva a despejar algunas incógnitas sobre el tema del que trata, pero, de forma simultánea, genera nuevas preguntas, nuevas ideas y/o abre nuevas vías para siguientes trabajos. Atendiendo a este Trabajo de Fin de Grado, en este capítulo se van a establecer algunas líneas futuras que podrían ser tema de estudio de otro tipo de investigaciones futuras.

Uno de los aspectos más importantes que se puede mejorar enfocando a la Química Analítica es la mejora de la calidad de los resultados obtenidos. Un punto importante es conseguir aumentar el rendimiento químico que se ha obtenido de las muestras. Para ello es importante la realización de un método en la que la separación del Torio no se realice con cámara de vacío sino mediante gravedad ya que es un proceso bastante más lento y lo cual permitiría realizar una mejor separación del elemento. Otro proceso a mejorar del procedimiento realizado es la electrodeposición ya que esta también puede afectar de manera pronunciada al rendimiento químico que se obtienen de las muestras. Para optimizar el método de electrodeposición se debe de tener en cuenta tanto el tiempo de electrodeposición como la distancia del electrodo de platino a la plancheta, la cual puede ser fija, al igual que el tipo de electrodo utilizado, pudiendo utilizar un electrodo en forma de espiral, también se pueden utilizar celdas de un único uso para evitar la contaminación cruzada. Otro tema importante que se debe de tener en cuenta para mejorar el rendimiento químico de las muestras es el fenómeno de la autoabsorción, al realizar la lectura en las cámaras de espectrometría alfa se debe de controlar que la cámara haga buen vacío para evitar que las partículas se queden en el aire, tema que puede ser estudiado en proyectos posteriores. Además de todo esto, si se quiere certificar el laboratorio, puede estudiarse las normas ISO-9001, lo cual permitiría tener unos procedimientos para ser auditables externamente y convertirse en un laboratorio certificado. Con estas normas ISO por supuesto que se conseguiría mejorar el proceso.

Otra posible alternativa de estudio sería realizar más pruebas de Torio y más repeticiones de cada muestra para poder realizar más estudios de los resultados obtenidos y comprobar si ha habido algún fallo en la realización de una muestra concreta.

Otra posible vía de estudio podría ser la automatización del método o intentar que el método se realice siempre por la misma persona y de la misma manera para conseguir que todas las muestras hayan sido realizadas por igual.

Por último, otra posibilidad que planteo para un estudio de detección de Torio es la determinación de este elemento mediante otras técnicas analíticas o realizar la separación radioquímica para poderlo medir por las técnicas de ICP-OES al igual que para la técnica de ICP-MS.

Capítulo 9:

BIBLIOGRAFÍA

- Barrenechea, M.L Aceña, E. García Toraño, and M.C.Rivero Núñez. 1977. "Espectronietría Alfa de Fuentes Radiactivas Gruesas . I . -Aplicación a La Determinación de Emisores Alfa."
- Casado-Martinez, C. 2013. 10 Journal of environmental pathology *Radionuclides in the Environment*.
- Clima de.com. "Clima de Zacatecas. Estado Y Municipio - Clima-De.com." <http://www.clima-de.com/zacatecas/> (May 7, 2018).
- Congreso de la Union. 2012. "LEY REGLAMENTARIA DEL ARTÍCULO 27 CONSTITUCIONAL EN MATERIA NUCLEAR CAPITULO I Disposiciones Generales." : 1–19.
- Cuentame. "Clima. Zacatecas." <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/zac/territorio/clima.aspx?tema=me&e=32> (May 7, 2018).
- Cuentos cuanticos. "Desintegración Alfa." <https://cuentos-cuanticos.com/tag/desintegracion-alfa/> (May 8, 2018).
- Educaplus.org. 2015. "Zacatecas."
- *Elementos Químicos: Torio.* http://www.juntadeandalucia.es/averroes/~jpccec/tablap/4propiedades/4_90.html (May 7, 2018).
- Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. "Medio Físico - Zacatecas." <http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM32zacatecas/mediofisico.html> (May 7, 2018).
- Enciclopedia libre, wikipedia. "Partícula Alfa - Wikipedia, La Enciclopedia Libre." https://es.wikipedia.org/wiki/Partícula_alfa (May 8, 2018a).
- "Radiactividad - Wikipedia, La Enciclopedia Libre." <https://es.wikipedia.org/wiki/Radiactividad> (May 8, 2018b).
- Escareño, Edmundo. 2000. "Principios Básicos de Espectrometría Alfa, ICP-MS, ICP-OES, XRF."
- "El Urano Y La Radiactividad Natural."2007.
- Ferrer-Soria, A. 2006. *Física Nuclear Y de Partículas*. Universidad de Valencia.

- Fleurence, J et al. 1999. "Espectrometría de Masas." *Trends Food Sci Tech.* 10: 25–28.
http://www.mncn.csic.es/docs/repositorio/es_ES/investigacion/cromatografia/espectrometria_de_masas.pdf.
- Herranz, M. et al. 2017. "Low-Level Determination of Th-Isotopes by Alpha Spectrometry. Part 1: Evaluation of Radiochemical Separation Methods." *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 314(3): 2507–17.
- Jamison, Renae. 2014. *Thorium. Chemical Properties, Uses and Environmental Effects*. Nova.
- Jia, Guogang et al. 2008. "Determination of Thorium Isotopes in Mineral and Environmental Water and Soil Samples by α -Spectrometry and the Fate of Thorium in Water." *Applied Radiation and Isotopes* 66(10): 1478–87.
- Laboratorio de Técnicas Instrumentales UVA. "Difractometría de Rayos X (Polvo)." <http://laboratoriotecnicasinstrumentales.es/analisis-quimicos/difractometra-de-rayos-x-polvo> (May 7, 2018a).
- "Espectrometría Alfa." <http://laboratoriotecnicasinstrumentales.es/analisis-quimicos/espectrometra-alfa> (May 7, 2018b).
- "Espectroscopía de Plasma ICP-MS." <http://laboratoriotecnicasinstrumentales.es/analisis-quimicos/espectroscopa-de-plasma-icp-ms> (May 7, 2018c).
- "Espectroscopía de Plasma ICP-OES." <http://laboratoriotecnicasinstrumentales.es/analisis-quimicos/espectroscopa-de-plasma-icp-oes> (May 7, 2018d).
- Laboratorios de Técnicas Instrumentales UVA. "Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X." <http://laboratoriotecnicasinstrumentales.es/analisis-quimicos/espectrometra-de-fluorescencia-de-rayos-x> (May 7, 2018).
- LENNTECH. "Torio (Th) Propiedades Químicas Y Efectos Sobre La Salud Y El Medio Ambiente." <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/th.htm> (May 7, 2018).
- Lozano, J. C. et al. 2017. "Low-Level Determination of Th-Isotopes by Alpha Spectrometry. Part 2: Evaluation of Methods for Dissolution of Samples and for Test Sample Preparation." *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 314(3): 2519–29.

- Marta Hernández Revilla. "Camaras Alfa."
- Mendoza, Facultad Regional. "Valores Críticos de La Distribución F (0,05)." : 3.
- Miller, James N, and Jane C Miller. *Estadística Y Quimiometría Para Química Analítica*. 4^a.
- Robert Thomas. 2003. "La Técnica de ICP-MS. @Ramón Fernández Ruiz,2003." https://www.uam.es/personal_pas/txrf/icpms.html (May 7, 2018).
- Rodríguez, Rocío García. 2017. *Radionucleidos En Suelos: Caracterización Y Contenido*.
- A.Skoog, Dougla, F.James Holler, and Stanley R.Crouch. 2007. *Principios de Análisis Instrumental*. Sexta. eds. Sergio Cervantes González and Abril Vega Orozco.
- Holler, F.James, and Stanley R. Crouch. 2003. *14 Fundamentos de Química Analítica*. Novena. ed. Abril Vega Orozco.
- S.Ahmed, H.J.M Bowen, L.A. Dean, A.R.Gopal-Ayengar, A.H.Merzari, S.Nerpin, and H.W.Scharpenseel. n.d. "Los Isótopos En El Estudio de La Nutrición de Las Plantas Por El Suelo."
- Soria, Antonio Ferrer. 2011. *Física Nuclear Y de Partículas*. 2^a.
- Nayemi. 2011. "Natura: Torio: Sustituto Para El Uranio Como Combustible Nuclear." <http://100ciasnaturales.blogspot.com/2011/01/torio-sustituto-para-el-uranio-como.html> (June 7, 2018).
- Beer, Jürg, Ken McCracken, and Rudolf Steiger. 2012. *Cosmogenic Radionuclides- Theory and Applications in the Terrestrial and Space Environments*.

Anexos

Anexo I

ESPECTROMETRÍA ALFA

Alpha Spectrum Analysis Report 05/06/2018 19:48:30

***** ANALISIS DE ESPECTROS ALFA
***** UNIVERSIDAD DE VALLADOLID*****

Titulo Muestra: Suelo de Zacatecas
 Descripcion del Espectro:
 Identificacion de Muestra:CRM-IAEA
 Tipo de Muestra: Suelo
 Geometria de Muestra: Disco
 Archivo del Espectro: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Fondo Ambiente: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Blanco Reactivo: <not performed>

Tamaño de la muestra: 1.000 Unit
 Muestra Fecha/Hora:
 Adquisicion Fecha/Hora: 02/03/2018 11:24:00
 Adquisicion Tiempo Vivo: 300000.0 seconds
 Adquisicion Tiempo Real: 300001.3 seconds

Archivo Trazador Certificado: C:\GENIE2K\CALFILES\Trazador Th-229 - L
 Cantidad de Trazador: 0.800 mL
 Eficiencia Efectiva: 0.0029 +/- 0.0002
 Calibracion en Eficiencia: <none>

Tolerancia de Coincidencia Picos: 0.050 MeV

----- INFORME DE AREA DE PICOS -----

FWHM (keV)	Nuclido	Energia	Net	Pk Area	Ambient	Reagent
		(MeV)	Pk Area	Error %	Backgnd	Backgnd
27.3	Th-228	5.423	1526.00	2.65	13.00	0.00
41.7	Th-229 T	4.845	237.00	7.59	5.00	0.00
25.3	Th-230	4.687	900.00	3.36	2.00	0.00
29.2	Th-232	4.012	1356.00	2.73	1.00	0.00

T = Pico del Trazador usado para Eficiencia Efectiva

----- INFORME ACTIVIDAD NUCLIDO -----

Nuclido	Actividad (Bq/Unit)	Actividad Error %	MDA (Bq/Unit)	MDA Error %

Alpha Spectrum Analysis Report 05/06/2018 19:56:17

***** ANALISIS DE ESPECTROS ALFA
 ***** UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

Titulo Muestra: Suelo Zacatecas
 Descripcion del Espectro:
 Identificacion de Muestra: CRM-Chino
 Tipo de Muestra: Suelo
 Geometria de Muestra: Disco
 Archivo del Espectro: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Fondo Ambiente: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Blanco Reactivo: <not performed>

Tamaño de la muestra: 1.000 Unit
 Muestra Fecha/Hora:
 Adquisicion Fecha/Hora: 02/02/2018 9:25:36
 Adquisicion Tiempo Vivo: 300000.0 seconds
 Adquisicion Tiempo Real: 300000.6 seconds

Archivo Trazador Certificado: C:\GENIE2K\CALFILES\Trazador Th-229 - L
 Cantidad de Trazador: 0.800 mL
 Eficiencia Efectiva: 0.0056 +/- 0.0003
 Calibracion en Eficiencia: <none>

Tolerancia de Coincidencia Picos: 0.050 MeV

----- INFORME DE AREA DE PICOS -----

FWHM	Nuclido	Energia (keV)	Net (MeV)	Pk Area	Ambient	Reagent
				Error %	Backgnd	Backgnd
26.4	Th-228	5.423	795.00	3.82	11.00	0.00
37.9	Th-229 T	4.845	435.00	5.37	5.00	0.00
23.7	Th-230	4.687	286.00	6.03	4.00	0.00
30.5	Th-232	4.012	772.00	3.63	3.00	0.00

T = Pico del Trazador usado para Eficiencia Efectiva

----- INFORME ACTIVIDAD NUCLIDO -----

Nuclido	Actividad (Bq/Unit)	Actividad Error %	MDA (Bq/Unit)	MDA Error %

Alpha Spectrum Analysis Report 05/06/2018 19:58:21

***** ANALISIS DE ESPECTROS ALFA
 ***** UNIVERSIDAD DE VALLADOLID*****

Titulo Muestra: Suelo Zacatecas
 Descripción del Espectro:
 Identificación de Muestra:Ll- M5
 Tipo de Muestra: Suelo
 Geometría de Muestra: Disco
 Archivo del Espectro: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Fondo Ambiente: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Blanco Reactivo: <not performed>

Tamaño de la muestra: 1.000 Unit
 Muestra Fecha/Hora:
 Adquisición Fecha/Hora: 20/03/2018 8:51:35
 Adquisición Tiempo Vivo: 300000.0 seconds
 Adquisición Tiempo Real: 300001.3 seconds

Archivo Trazador Certificado: C:\GENIE2K\CALFILES\Trazador Th-229 - L
 Cantidad de Trazador: 0.800 mL
 Eficiencia Efectiva: 0.0080 +/- 0.0004
 Calibración en Eficiencia: <none>
 Tolerancia de Coincidencia Picos: 0.050 MeV

----- INFORME DE AREA DE PICOS -----

FWHM (keV)	Nuclido	Energia	Net	Pk Area	Ambient	Reagent
		(MeV)	Pk Area	Error %	Backgnd	Backgnd
47.2	Th-228	5.423	457.00	4.97	29.00	0.00
42.6	Th-229 T	4.845	605.00	4.44	1.00	0.00
35.6	Th-230	4.687	419.00	4.93	4.00	0.00
45.9	Th-232	4.012	409.00	5.16	2.00	0.00

T = Pico del Trazador usado para Eficiencia Efectiva

----- INFORME ACTIVIDAD NUCLIDO -----

Nuclido	Actividad (Bq/Unit)	Actividad Error %	MDA (Bq/Unit)	MDA Error %

Alpha Spectrum Analysis Report 05/06/2018 19:59:58

***** ANALISIS DE ESPECTROS ALFA *****
 ***** UNIVERSIDAD DE VALLADOLID *****

Titulo Muestra: Suelo de Zacatecas
 Descripcion del Espectro:
 Identificacion de Muestra:L1-M6
 Tipo de Muestra: Suelo
 Geometria de Muestra: Disco

Archivo del Espectro: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Fondo Ambiente: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Blanco Reactivo: <not performed>

Tamaño de la muestra: 1.000 Unit
 Muestra Fecha/Hora: 11/05/2017 22:00:00
 Adquisicion Fecha/Hora: 20/03/2018 8:51:44
 Adquisicion Tiempo Vivo: 300000.0 seconds
 Adquisicion Tiempo Real: 300001.3 seconds

Archivo Trazador Certificado: C:\GENIE2K\CALFILES\Trazador Th-229 - L
 Cantidad de Trazador: 0.800 mL
 Eficiencia Efectiva: 0.0053 +/- 0.0003
 Calibracion en Eficiencia: <none>

Tolerancia de Coincidencia Picos: 0.050 MeV

----- INFORME DE AREA DE PICOS -----

FWHM Nuclido (keV)	Energia (MeV)	Net Pk Area	Pk Area Error %	Ambient Backgnd	Reagent Backgnd
27.7	Th-228	5.423	433.00	5.17	13.00
36.8	Th-229 T	4.845	453.00	5.54	5.00
21.4	Th-230	4.687	270.00	6.13	2.00
15.5	Th-232	4.012	407.00	5.01	1.00

T = Pico del Trazador usado para Eficiencia Efectiva

----- INFORME ACTIVIDAD NUCLIDO -----

Nuclido	Actividad (Bq/Unit)	Actividad Error %	MDA (Bq/Unit)	MDA Error %
---------	-------------------------	----------------------	-------------------	----------------

Alpha Spectrum Analysis Report

05/06/2018 20:02:18

```
***** ANALISIS DE ESPECTROS ALFA
***** UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
*****
```

Titulo Muestra: Suelo Zacatecas
 Descripcion del Espectro:
 Identificacion de Muestra:L1-M9
 Tipo de Muestra: Suelo
 Geometria de Muestra: Disco
 Archivo del Espectro: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Fondo Ambiente: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Blanco Reactivo: <not performed>

Tamaño de la muestra: 1.000 Unit
 Muestra Fecha/Hora:
 Adquisicion Fecha/Hora: 23/03/2018 9:47:47
 Adquisicion Tiempo Vivo: 300000.0 seconds
 Adquisicion Tiempo Real: 300001.8 seconds

Archivo Trazador Certificado: C:\GENIE2K\CALFILES\Trazador Th-229 - L
 Cantidad de Trazador: 0.800 mL
 Eficiencia Efectiva: 0.0074 +/- 0.0003
 Calibracion en Eficiencia: <none>

Tolerancia de Coincidencia Picos: 0.050 MeV

----- INFORME DE AREA DE PICOS -----

FWHM	Nuclido	Energia (keV)	Net (MeV)	Pk Area	Ambient	Reagent
				Error %	Backgnd	Backgnd
30.4	Th-228	5.423	312.00	6.58	21.00	0.00
36.9	Th-229	T	4.845	603.00	4.64	3.00
28.0	Th-230		4.687	258.00	6.12	2.00
27.3	Th-232		4.012	313.00	5.77	2.00

T = Pico del Trazador usado para Eficiencia Efectiva

----- INFORME ACTIVIDAD NUCLIDO -----

Nuclido	Actividad (Bq/Unit)	Actividad Error %	MDA (Bq/Unit)	MDA Error %

Alpha Spectrum Analysis Report

05/06/2018 20:06:18

```
*****
*****      A N A L I S I S   D E   E S P E C T R O S   A L F A
*****      UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
*****
```

Titulo Muestra: Suelo Zacatecas
 Descripcion del Espectro:
 Identificacion de Muestra:L1-M10
 Tipo de Muestra: suelo
 Geometria de Muestra: Disco

 Archivo del Espectro: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Fondo Ambiente: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Blanco Reactivo: <not performed>

 Tamaño de la muestra: 1.000
 Muestra Fecha/Hora:
 Adquisicion Fecha/Hora: 20/03/2018 8:51:52
 Adquisicion Tiempo Vivo: 300000.0 seconds
 Adquisicion Tiempo Real: 300001.3 seconds

 Archivo Trazador Certificado: C:\GENIE2K\CALFILES\Trazador Th-229 - L
 Cantidad de Trazador: 0.800 mL
 Eficiencia Efectiva: 0.0057 +/- 0.0003
 Calibracion en Eficiencia: <none>

 Tolerancia de Coincidencia Picos: 0.050 MeV

 INFORME DE AREA DE PICOS

FWHM	Nuclido	Energia (keV)	Net (MeV)	Pk Area	Ambient	Reagent
				Error %	Backgnd	Backgnd
22.4	Th-228	5.423	411.00	5.33	9.00	0.00
31.0	Th-229 T	4.845	292.00	5.36	5.00	0.00
25.3	Th-230	4.687	272.00	5.92	6.00	0.00
25.7	Th-232	4.012	343.00	5.34	1.00	0.00

T = Pico del Trazador usado para Eficiencia Efectiva

 INFORME ACTIVIDAD NUCLIDO

Nuclido	Actividad (Bq/)	Actividad Error %	MDA (Bq/)	MDA Error %

Alpha Spectrum Analysis Report 05/06/2018 20:08:39

***** ANALISIS DE ESPECTROS ALFA *****

***** UNIVERSIDAD DE VALLADOLID *****

Titulo Muestra: Suelo Zacatecas
 Descripcion del Espectro:
 Identificacion de Muestra:L1-M21
 Tipo de Muestra: Suelo
 Geometria de Muestra: Disco
 Archivo del Espectro: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Fondo Ambiente: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Blanco Reactivo: <not performed>

Tamaño de la muestra: 1.000 Unit
 Muestra Fecha/Hora:
 Adquisicion Fecha/Hora: 16/03/2018 8:55:05
 Adquisicion Tiempo Vivo: 300000.0 seconds
 Adquisicion Tiempo Real: 300001.2 seconds

Archivo Trazador Certificado: C:\GENIE2K\CALFILES\Trazador Th-229 - L
 Cantidad de Trazador: 0.800 mL
 Eficiencia Efectiva: 0.0206 +/- 0.0006
 Calibracion en Eficiencia: <none>

Tolerancia de Coincidencia Picos: 0.050 MeV

----- INFORME DE AREA DE PICOS -----

FWHM (keV)	Nuclido	Energia	Net	Pk Area	Ambient	Reagent
		(MeV)	Pk Area	Error %	Backgnd	Backgnd
24.0	Th-228	5.423	298.00	7.10	29.00	0.00
32.0	Th-229 T	4.845	1623.00	2.77	1.00	0.00
21.7	Th-230	4.687	1704.00	2.42	4.00	0.00
23.1	Th-232	4.012	234.00	6.70	2.00	0.00

T = Pico del Trazador usado para Eficiencia Efectiva

----- INFORME ACTIVIDAD NUCLIDO -----

Nuclido	Actividad (Bq/Unit)	Actividad Error %	MDA (Bq/Unit)	MDA Error %

Alpha Spectrum Analysis Report

05/06/2018 20:10:25

 ***** ANALISIS DE ESPECTROS ALFA

 ***** UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

Titulo Muestra: Suelo Zacatecas
 Descripcion del Espectro:
 Identificacion de Muestra:L1-M22
 Tipo de Muestra: Suelo
 Geometria de Muestra: Disco
 Archivo del Espectro: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Fondo Ambiente: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Blanco Reactivo: <not performed>

Tamaño de la muestra: 1.000 Unit
 Muestra Fecha/Hora:
 Adquisicion Fecha/Hora: 23/03/2018 9:48:07
 Adquisicion Tiempo Vivo: 300000.0 seconds
 Adquisicion Tiempo Real: 300001.9 seconds

Archivo Trazador Certificado: C:\GENIE2K\CALFILES\Trazador Th-229 - L
 Cantidad de Trazador: 0.800 mL
 Eficiencia Efectiva: 0.0752 +/- 0.0011
 Calibracion en Eficiencia: <none>

Tolerancia de Coincidencia Picos: 0.050 MeV

----- INFORME DE AREA DE PICOS -----

FWHM Nuclido (keV)	Energia (MeV)	Net		Pk Area	Ambient	Reagent
		Pk Area	Error %			
26.0	Th-228	5.423	850.00	3.47	11.00	0.00
39.5	Th-229 T	4.845	5805.00	1.45	5.00	0.00
28.7	Th-230	4.687	16911.00	0.77	4.00	0.00
32.0	Th-232	4.012	958.00	3.28	3.00	0.00

T = Pico del Trazador usado para Eficiencia Efectiva

----- INFORME ACTIVIDAD NUCLIDO -----

Nuclido	Actividad (Bq/Unit)	Actividad Error %	MDA (Bq/Unit)	MDA Error %

Alpha Spectrum Analysis Report 05/06/2018 20:12:50

 ***** ANALISIS DE ESPECTROS ALFA

 ***** UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

Titulo Muestra: Suelo Zacatecas

Descripcion del Espectro:

Identificación de Muestra:L2-M1

Tipo de Muestra: Suelo

Geometria de Muestra: Disco

Archivo del Espectro: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\

Archivo Fondo Ambiente: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\

Archivo Blanco Reactivo: <not performed>

Tamaño de la muestra: 1.000 Unit

Muestra Fecha/Hora:

Adquisicion Fecha/Hora: 26/03/2018 7:24:26

Adquisicion Tiempo Vivo: 300000.0 seconds

Adquisicion Tiempo Real: 300001.3 seconds

Archivo Trazador Certificado: C:\GENIE2K\CALFILES\Trazador Th-229 - L

Cantidad de Trazador: 0.800 mL

Eficiencia Efectiva: 0.0047 +/- 0.0003

Calibracion en Eficiencia: <none>

Tolerancia de Coincidencia Picos: 0.050 MeV

----- INFORME DE AREA DE PICOS -----

FWHM	Nuclido	Energia (keV)	Net (MeV)	Pk Area	Error %	Ambient Backgnd	Reagent Backgnd

30.9	Th-228	5.423	546.00	4.81	29.00	0.00
47.1	Th-229 T	4.845	372.00	5.80	1.00	0.00
22.9	Th-230	4.687	351.00	5.34	4.00	0.00
32.4	Th-232	4.012	442.00	4.81	2.00	0.00

T = Pico del Trazador usado para Eficiencia Efectiva

----- INFORME ACTIVIDAD NUCLIDO -----

Nuclido	Actividad (Bq/Unit)	Actividad Error %	MDA (Bq/Unit)	MDA Error %

Alpha Spectrum Analysis Report 05/06/2018 20:25:25

***** ANALISIS DE ESPECTROS ALFA *****
 ***** UNIVERSIDAD DE VALLADOLID *****

Titulo Muestra: Suelo de Zacatecas
 Descripcion del Espectro:
 Identificacion de Muestra:L2-M2
 Tipo de Muestra: Suelo
 Geometria de Muestra: Disco

Archivo del Espectro: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Fondo Ambiente: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Blanco Reactivo: <not performed>

Tamaño de la muestra: 1.000 Unit
 Muestra Fecha/Hora: 11/05/2017 22:00:00
 Adquisicion Fecha/Hora: 16/03/2018 14:56:36
 Adquisicion Tiempo Vivo: 300000.0 seconds
 Adquisicion Tiempo Real: 300001.1 seconds

Archivo Trazador Certificado: C:\GENIE2K\CALFILES\Trazador Th-229 - L
 Cantidad de Trazador: 0.800 mL
 Eficiencia Efectiva: 0.0790 +/- 0.0012
 Calibracion en Eficiencia: <none>

Tolerancia de Coincidencia Picos: 0.050 MeV

----- INFORME DE AREA DE PICOS -----

FWHM (keV)	Nuclido	Energia	Net	Pk Area	Ambient	Reagent
		(MeV)	Pk Area	Error %	Backgnd	Backgnd
42.3	Th-228	5.423	1877.00	2.48	13.00	0.00
57.0	Th-229 T	4.845	6037.00	1.42	5.00	0.00
45.1	Th-230	4.687	3197.00	1.69	2.00	0.00
45.0	Th-232	4.012	1826.00	2.43	1.00	0.00

T = Pico del Trazador usado para Eficiencia Efectiva

----- INFORME ACTIVIDAD NUCLIDO -----

Nuclido	Actividad (Bq/Unit)	Actividad Error %	MDA (Bq/Unit)	MDA Error %
---------	-------------------------	----------------------	-------------------	----------------

Alpha Spectrum Analysis Report

05/06/2018 20:18:56

```
*****
*****      A N A L I S I S   D E   E S P E C T R O S   A L F A
*****      UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
*****
```

Titulo Muestra: Suelo Zacatecas
 Descripcion del Espectro:
 Identificacion de Muestra:L2-M3
 Tipo de Muestra: Suelo
 Geometria de Muestra: Disco

 Archivo del Espectro: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Fondo Ambiente: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Blanco Reactivo: <not performed>

 Tamaño de la muestra: 1.000 Unit
 Muestra Fecha/Hora: 19/02/2018 15:19:39
 Adquisicion Fecha/Hora: 19/02/2018 15:19:39
 Adquisicion Tiempo Vivo: 300000.0 seconds
 Adquisicion Tiempo Real: 300000.7 seconds

 Archivo Trazador Certificado: C:\GENIE2K\CALFILES\Trazador Th-229 - L
 Cantidad de Trazador: 0.800 mL
 Eficiencia Efectiva: 0.0062 +/- 0.0003
 Calibracion en Eficiencia: <none>

 Tolerancia de Coincidencia Picos: 0.050 MeV

 INFORME DE AREA DE PICOS

FWHM Nuclido (keV)	Energia (MeV)	Net Pk Area	Pk Area Error %	Ambient Backgnd	Reagent Backgnd
59.4	Th-228	5.423	344.00	6.21	21.00
64.1	Th-229 T	4.845	487.00	5.08	3.00
42.5	Th-230	4.687	299.00	5.67	2.00
48.6	Th-232	4.012	320.00	5.73	2.00

T = Pico del Trazador usado para Eficiencia Efectiva

 INFORME ACTIVIDAD NUCLIDO

Nuclido	Actividad (Bq/Unit)	Actividad Error %	MDA (Bq/Unit)	MDA Error %

Alpha Spectrum Analysis Report 05/06/2018 20:21:02
***** ANALISIS DE ESPECTROS ALFA *****
***** UNIVERSIDAD DE VALLADOLID *****

Titulo Muestra: Suelo Zacatecas
Descripción del Espectro:
Identificación de Muestra:L2-M4
Tipo de Muestra: Suelo
Geometría de Muestra: Disco

Archivo del Espectro: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
Archivo Fondo Ambiente: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
Archivo Blanco Reactivo: <not performed>

Tamaño de la muestra: 1.000 Unit
Muestra Fecha/Hora:
Adquisición Fecha/Hora: 20/02/2018 11:25:47
Adquisición Tiempo Vivo: 300000.0 seconds
Adquisición Tiempo Real: 300001.0 seconds

Archivo Trazador Certificado: C:\GENIE2K\CALFILES\Trazador Th-229 - L
Cantidad de Trazador: 0.800 mL
Eficiencia Efectiva: 0.0119 +/- 0.0004
Calibración en Eficiencia: <none>

Tolerancia de Coincidencia Picos: 0.050 MeV

----- INFORME DE AREA DE PICOS -----

FWHM	Nuclido	Energia (keV)	Net (MeV)	Pk Area	Ambient	Reagent
				Error %	Backgnd	Backgnd
40.6	Th-228	5.423	1986.00	2.38	29.00	0.00
58.1	Th-229 T	4.845	901.00	3.64	1.00	0.00
28.7	Th-230	4.687	1006.00	3.15	4.00	0.00
40.4	Th-232	4.012	2085.00	2.24	2.00	0.00

T = Pico del Trazador usado para Eficiencia Efectiva

----- INFORME ACTIVIDAD NUCLIDO -----

Nuclido	Actividad (Bq/Unit)	Actividad Error %	MDA (Bq/Unit)	MDA Error %

Alpha Spectrum Analysis Report

05/06/2018 20:23:25

```
*****
*****      A N A L I S I S   D E   E S P E C T R O S   A L F A
*****      U N I V E R S I D A D   D E   V A L L A D O L I D
*****
```

Titulo Muestra: Suelo de Zacatecas
 Descripcion del Espectro:
 Identificacion de Muestra:L2-M5
 Tipo de Muestra: Suelo
 Geometria de Muestra: Disco

 Archivo del Espectro: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Fondo Ambiente: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Blanco Reactivo: <not performed>

 Tamaño de la muestra: 1.000 Unit
 Muestra Fecha/Hora: 11/05/2017 22:00:00
 Adquisicion Fecha/Hora: 21/02/2018 10:43:39
 Adquisicion Tiempo Vivo: 300000.0 seconds
 Adquisicion Tiempo Real: 300001.0 seconds

 Archivo Trazador Certificado: C:\GENIE2K\CALFILES\Trazador Th-229 - L
 Cantidad de Trazador: 0.800 mL
 Eficiencia Efectiva: 0.0137 +/- 0.0005
 Calibracion en Eficiencia: <none>

Tolerancia de Coincidencia Picos: 0.050 MeV

```
----- INFORME DE AREA DE PICOS -----
```

FWHM (keV)	Nuclido	Energia	Net	Pk Area	Ambient	Reagent
		(MeV)	Pk Area	Error %	Backgnd	Backgnd
24.3	Th-228	5.423	828.00	3.61	13.00	0.00
30.4	Th-229 T	4.845	1121.00	3.41	5.00	0.00
31.3	Th-230	4.687	593.00	4.09	2.00	0.00
27.1	Th-232	4.012	818.00	3.52	1.00	0.00

T = Pico del Trazador usado para Eficiencia Efectiva

```
----- INFORME ACTIVIDAD NUCLIDO -----
```

Nuclido	Actividad (Bq/Unit)	Actividad Error %	MDA (Bq/Unit)	MDA Error %

Alpha Spectrum Analysis Report

05/06/2018 20:22:36

```
*****
*****      A N A L I S I S   D E   E S P E C T R O S   A L F A
*****      U N I V E R S I D A D   D E   V A L L A D O L I D
*****
```

Titulo Muestra: Suelo Zacatecas
 Descripcion del Espectro:
 Identificacion de Muestra:L2-M6
 Tipo de Muestra: Suelo
 Geometria de Muestra:
 Archivo del Espectro: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Fondo Ambiente: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Blanco Reactivo: <not performed>

Tamaño de la muestra: 1.000 Unit
 Muestra Fecha/Hora:
 Adquisicion Fecha/Hora: 20/02/2018 15:13:28
 Adquisicion Tiempo Vivo: 300000.0 seconds
 Adquisicion Tiempo Real: 300001.1 seconds

Archivo Trazador Certificado: C:\GENIE2K\CALFILES\Trazador Th-229 - L
 Cantidad de Trazador: 0.800 mL
 Eficiencia Efectiva: 0.0189 +/- 0.0006
 Calibracion en Eficiencia: <none>

Tolerancia de Coincidencia Picos: 0.050 MeV

----- INFORME DE AREA DE PICOS -----

FWHM Nuclido (keV)	Nuclido	Energia	Net	Pk Area	Ambient	Reagent
		(MeV)	Pk Area	Error %	Backgnd	Backgnd
27.9	Th-228	5.423	552.00	3.64	11.00	0.00
38.2	Th-229 T	4.845	1520.00	2.90	5.00	0.00
27.5	Th-230	4.687	759.00	3.62	4.00	0.00
26.6	Th-232	4.012	784.00	3.62	3.00	0.00

T = Pico del Trazador usado para Eficiencia Efectiva

----- INFORME ACTIVIDAD NUCLIDO -----

Nuclido	Actividad (Bq/Unit)	Actividad Error %	MDA (Bq/Unit)	MDA Error %

Alpha Spectrum Analysis Report 05/06/2018 20:28:17

***** ANALISIS DE ESPECTROS ALFA *****
 ***** UNIVERSIDAD DE VALLADOLID *****

Titulo Muestra: Suelo Zacatecas
 Descripcion del Espectro:
 Identificacion de Muestra:L2-M7
 Tipo de Muestra: Suelo
 Geometria de Muestra: Disco

Archivo del Espectro: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Fondo Ambiente: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Blanco Reactivo: <not performed>

Tamaño de la muestra: 1.000 Unit
 Muestra Fecha/Hora:
 Adquisicion Fecha/Hora: 27/03/2018 13:58:37
 Adquisicion Tiempo Vivo: 300000.0 seconds
 Adquisicion Tiempo Real: 300000.9 seconds

Archivo Trazador Certificado: C:\GENIE2K\CALFILES\Trazador Th-229 - L
 Cantidad de Trazador: 0.800 mL
 Eficiencia Efectiva: 0.0109 +/- 0.0004
 Calibracion en Eficiencia: <none>

Tolerancia de Coincidencia Picos: 0.050 MeV

----- INFORME DE AREA DE PICOS -----

FWHM (keV)	Nuclido	Energia	Net	Pk Area	Ambient	Reagent
		(MeV)	Pk Area	Error %	Backgnd	Backgnd
25.9	Th-228	5.423	534.00	4.72	21.00	0.00
41.6	Th-229 T	4.845	847.00	3.82	3.00	0.00
25.1	Th-230	4.687	382.00	5.02	2.00	0.00
30.5	Th-232	4.012	523.00	4.41	2.00	0.00

T = Pico del Trazador usado para Eficiencia Efectiva

----- INFORME ACTIVIDAD NUCLIDO -----

Nuclido	Actividad (Bq/Unit)	Actividad Error %	MDA (Bq/Unit)	MDA Error %
---------	-------------------------	----------------------	-------------------	----------------

Alpha Spectrum Analysis Report

05/06/2018 20:27:03

```
*****
*****      A N A L I S I S   D E   E S P E C T R O S   A L F A
*****      U N I V E R S I D A D   D E   V A L L A D O L I D
*****
```

Titulo Muestra: Suelo Zacatecas
 Descripcion del Espectro:
 Identificacion de Muestra:L2-M8
 Tipo de Muestra: Suelo
 Geometria de Muestra: Disco

 Archivo del Espectro: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Fondo Ambiente: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Blanco Reactivo: <not performed>

 Tamaño de la muestra: 1.000 Unit
 Muestra Fecha/Hora:
 Adquisicion Fecha/Hora: 27/03/2018 13:58:43
 Adquisicion Tiempo Vivo: 300000.0 seconds
 Adquisicion Tiempo Real: 300001.0 seconds

 Archivo Trazador Certificado: C:\GENIE2K\CALFILES\Trazador Th-229 - L
 Cantidad de Trazador: 0.800 mL
 Eficiencia Efectiva: 0.0098 +/- 0.0004
 Calibracion en Eficiencia: <none>

 Tolerancia de Coincidencia Picos: 0.050 MeV

----- INFORME DE AREA DE PICOS -----

FWHM (keV)	Nuclido	Energia	Net	Pk Area	Ambient	Reagent
		(MeV)	Pk Area	Error %	Backgnd	Backgnd
25.3	Th-228	5.423	837.00	3.78	11.00	0.00
42.3	Th-229 T	4.845	797.00	4.05	5.00	0.00
27.4	Th-230	4.687	472.00	4.70	4.00	0.00
22.3	Th-232	4.012	787.00	3.61	3.00	0.00

T = Pico del Trazador usado para Eficiencia Efectiva

----- INFORME ACTIVIDAD NUCLIDO -----

Nuclido	Actividad (Bq/Unit)	Actividad Error %	MDA (Bq/Unit)	MDA Error %

Alpha Spectrum Analysis Report

05/06/2018 20:31:08

```
*****
*****      A N A L I S I S   D E   E S P E C T R O S   A L F A
*****      U N I V E R S I D A D   D E   V A L L A D O L I D
*****
```

Titulo Muestra: Suelo Zacatecas
 Descripcion del Espectro:
 Identificacion de Muestra:L2-M9
 Tipo de Muestra: Suelo
 Geometria de Muestra: Disco
 Archivo del Espectro: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Fondo Ambiente: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Blanco Reactivo: <not performed>

Tamaño de la muestra: 1.000 Unit
 Muestra Fecha/Hora:
 Adquisicion Fecha/Hora: 26/02/2018 8:18:16
 Adquisicion Tiempo Vivo: 300000.0 seconds
 Adquisicion Tiempo Real: 300001.4 seconds

Archivo Trazador Certificado: C:\GENIE2K\CALFILES\Trazador Th-229 - L
 Cantidad de Trazador: 0.800 mL
 Eficiencia Efectiva: 0.0080 +/- 0.0004
 Calibracion en Eficiencia: <none>

Tolerancia de Coincidencia Picos: 0.050 MeV

----- INFORME DE AREA DE PICOS -----

FWHM Nuclido (keV)	Nuclido	Energia	Net	Pk Area	Ambient	Reagent
		(MeV)	Pk Area	Error %	Backgnd	Backgnd
53.8	Th-228	5.423	527.00	5.62	29.00	0.00
128.3	Th-229 T	4.845	587.00	4.45	1.00	0.00
15.4	Th-230	4.687	629.00	4.36	4.00	0.00
67.1	Th-232	4.012	552.00	5.86	2.00	0.00

T = Pico del Trazador usado para Eficiencia Efectiva

----- INFORME ACTIVIDAD NUCLIDO -----

Nuclido	Actividad (Bq/Unit)	Actividad Error %	MDA (Bq/Unit)	MDA Error %
---------	-------------------------	----------------------	-------------------	----------------

Alpha Spectrum Analysis Report

05/06/2018 20:34:26

 ***** ANALISIS DE ESPECTROS ALFA

 ***** UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

Titulo Muestra: Suelo Zacatecas
 Descripcion del Espectro:
 Identificacion de Muestra:L2-M10
 Tipo de Muestra: Suelo
 Geometria de Muestra: Disco
 Archivo del Espectro: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Fondo Ambiente: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Blanco Reactivo: <not performed>

Tamaño de la muestra: 1.000 Unit
 Muestra Fecha/Hora:
 Adquisicion Fecha/Hora: 06/03/2018 8:59:08
 Adquisicion Tiempo Vivo: 300000.0 seconds
 Adquisicion Tiempo Real: 300001.5 seconds

Archivo Trazador Certificado: C:\GENIE2K\CALFILES\Trazador Th-229 - L
 Cantidad de Trazador: 0.800 mL
 Eficiencia Efectiva: 0.0024 +/- 0.0002
 Calibracion en Eficiencia: <none>

Tolerancia de Coincidencia Picos: 0.050 MeV

----- INFORME DE AREA DE PICOS -----

FWHM (keV)	Nuclido	Energia	Net	Pk Area	Ambient	Reagent
		(MeV)	Pk Area	Error %	Backgnd	Backgnd
21.7	Th-228	5.423	401.00	5.83	29.00	0.00
27.8	Th-229 T	4.845	199.00	8.19	1.00	0.00
21.1	Th-230	4.687	162.00	8.24	4.00	0.00
24.3	Th-232	4.012	234.00	6.65	2.00	0.00

T = Pico del Trazador usado para Eficiencia Efectiva

----- INFORME ACTIVIDAD NUCLIDO -----

Nuclido	Actividad (Bq/Unit)	Actividad Error %	MDA (Bq/Unit)	MDA Error %
---------	-------------------------	----------------------	-------------------	----------------

Alpha Spectrum Analysis Report

05/06/2018 20:32:54

```
*****
*****      A N A L I S I S   D E   E S P E C T R O S   A L F A
*****      UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
*****
```

Titulo Muestra: Suelo de Zacatecas
 Descripcion del Espectro:
 Identificacion de Muestra:L2-M11
 Tipo de Muestra: Suelo
 Geometria de Muestra: Disco
 Archivo del Espectro: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Fondo Ambiente: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Blanco Reactivo: <not performed>

Tamaño de la muestra: 1.000 Unit
 Muestra Fecha/Hora: 11/05/2017 22:00:00
 Adquisicion Fecha/Hora: 26/02/2018 12:05:00
 Adquisicion Tiempo Vivo: 300000.0 seconds
 Adquisicion Tiempo Real: 300001.5 seconds

Archivo Trazador Certificado: C:\GENIE2K\CALFILES\Trazador Th-229 - L
 Cantidad de Trazador: 0.800 mL
 Eficiencia Efectiva: 0.0136 +/- 0.0005
 Calibracion en Eficiencia: <none>

Tolerancia de Coincidencia Picos: 0.050 MeV

 INFORME DE AREA DE PICOS

FWHM (keV)	Nuclido	Energia (MeV)	Net Pk Area	Pk Area Error %	Ambient Backgnd	Reagent Backgnd
24.3	Th-228	5.423	986.00	3.29	13.00	0.00
39.8	Th-229 T	4.845	1105.00	3.42	5.00	0.00
24.9	Th-230	4.687	755.00	3.65	2.00	0.00
28.0	Th-232	4.012	953.00	3.26	1.00	0.00

T = Pico del Trazador usado para Eficiencia Efectiva

 INFORME ACTIVIDAD NUCLIDO

Nuclido	Actividad (Bq/Unit)	Actividad Error %	MDA (Bq/Unit)	MDA Error %
---------	-------------------------	----------------------	-------------------	----------------

Alpha Spectrum Analysis Report

05/06/2018 20:38:58

 ***** ANALISIS DE ESPECTROS ALFA

 ***** UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

Titulo Muestra: Suelo Zacatecas
 Descripcion del Espectro:
 Identificacion de Muestra:L2-M12
 Tipo de Muestra: suelo
 Geometria de Muestra: Disco
 Archivo del Espectro: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Fondo Ambiente: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Blanco Reactivo: <not performed>
 Tamaño de la muestra: 1.000
 Muestra Fecha/Hora: 11/05/2017 22:00:00
 Adquisicion Fecha/Hora: 26/02/2018 12:05:13
 Adquisicion Tiempo Vivo: 300000.0 seconds
 Adquisicion Tiempo Real: 300001.5 seconds
 Archivo Trazador Certificado: C:\GENIE2K\CALFILES\Trazador Th-229 - L
 Cantidad de Trazador: 0.800 mL
 Eficiencia Efectiva: 0.0267 +/- 0.0007
 Calibracion en Eficiencia: <none>
 Tolerancia de Coincidencia Picos: 0.050 MeV

----- INFORME DE AREA DE PICOS -----

FWHM (keV)	Nuclido	Energia	Net	Pk Area	Ambient	Reagent
		(MeV)	Pk Area	Error %	Backgnd	Backgnd
27.8	Th-228	5.423	1518.00	2.63	9.00	0.00
35.4	Th-229 T	4.845	2130.00	2.44	5.00	0.00
29.6	Th-230	4.687	1121.00	2.97	6.00	0.00
29.1	Th-232	4.012	1417.00	2.67	1.00	0.00

T = Pico del Trazador usado para Eficiencia Efectiva

----- INFORME ACTIVIDAD NUCLIDO -----

Nuclido	Actividad (Bq/)	Actividad Error %	MDA (Bq/)	MDA Error %
---------	---------------------	----------------------	---------------	----------------

Alpha Spectrum Analysis Report

05/06/2018 20:36:54

***** ANALISIS DE ESPECTROS ALFA *****

***** UNIVERSIDAD DE VALLADOLID *****

Titulo Muestra: Suelo Zacatecas
 Descripción del Espectro:
 Identificación de Muestra:L2-M13
 Tipo de Muestra: Suelo
 Geometría de Muestra: Disco
 Archivo del Espectro: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Fondo Ambiente: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Blanco Reactivo: <not performed>

Tamaño de la muestra: 1.000 Unit
 Muestra Fecha/Hora:
 Adquisición Fecha/Hora: 27/02/2018 15:00:01
 Adquisición Tiempo Vivo: 300000.0 seconds
 Adquisición Tiempo Real: 300001.6 seconds

Archivo Trazador Certificado: C:\GENIE2K\CALFILES\Trazador Th-229 - L
 Cantidad de Trazador: 0.800 mL
 Eficiencia Efectiva: 0.0082 +/- 0.0004
 Calibración en Eficiencia: <none>

Tolerancia de Coincidencia Picos: 0.050 MeV

----- INFORME DE AREA DE PICOS -----

FWHM (keV)	Nuclido	Energia	Net	Pk Area	Ambient	Reagent
		(MeV)	Pk Area	Error %	Backgnd	Backgnd
24.9	Th-228	5.423	654.00	4.19	21.00	0.00
25.1	Th-229 T	4.845	652.00	4.42	3.00	0.00
26.4	Th-230	4.687	514.00	4.43	2.00	0.00
24.1	Th-232	4.012	568.00	4.24	2.00	0.00

T = Pico del Trazador usado para Eficiencia Efectiva

----- INFORME ACTIVIDAD NUCLIDO -----

Nuclido	Actividad (Bq/Unit)	Actividad Error %	MDA (Bq/Unit)	MDA Error %
---------	-------------------------	----------------------	-------------------	----------------

Alpha Spectrum Analysis Report

05/06/2018 20:38:00

```
*****
*****      A N A L I S I S   D E   E S P E C T R O S   A L F A
*****      U N I V E R S I D A D   D E   V A L L A D O L I D
*****
```

Titulo Muestra: Suelo Zacatecas
 Descripcion del Espectro:
 Identificacion de Muestra:L2-M14
 Tipo de Muestra: Suelo
 Geometria de Muestra: Disco

 Archivo del Espectro: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Fondo Ambiente: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Blanco Reactivo: <not performed>

Tamaño de la muestra: 1.000 Unit
 Muestra Fecha/Hora:
 Adquisicion Fecha/Hora: 28/02/2018 11:18:35
 Adquisicion Tiempo Vivo: 300000.0 seconds
 Adquisicion Tiempo Real: 300001.8 seconds

Archivo Trazador Certificado: C:\GENIE2K\CALFILES\Trazador Th-229 - L
 Cantidad de Trazador: 0.800 mL
 Eficiencia Efectiva: 0.0421 +/- 0.0008
 Calibracion en Eficiencia: <none>

Tolerancia de Coincidencia Picos: 0.050 MeV

 ----- INFORME DE AREA DE PICOS -----

FWHM (keV)	Nuclido	Energia	Net	Pk Area	Ambient	Reagent
		(MeV)	Pk Area	Error %	Backgnd	Backgnd
40.2	Th-228	5.423	2902.00	1.95	11.00	0.00
53.3	Th-229 T	4.845	3339.00	1.94	5.00	0.00
38.9	Th-230	4.687	1950.00	2.26	4.00	0.00
36.8	Th-232	4.012	2715.00	1.93	3.00	0.00

T = Pico del Trazador usado para Eficiencia Efectiva

 ----- INFORME ACTIVIDAD NUCLIDO -----

Nuclido	Actividad (Bq/Unit)	Actividad Error %	MDA (Bq/Unit)	MDA Error %

Alpha Spectrum Analysis Report

05/06/2018 20:35:26

```
*****
*****      A N A L I S I S   D E   E S P E C T R O S   A L F A
*****      U N I V E R S I D A D   D E   V A L L A D O L I D
*****
```

Titulo Muestra: Suelo Zacatecas
 Descripcion del Espectro:
 Identificacion de Muestra:L2-M15
 Tipo de Muestra: Suelo
 Geometria de Muestra: Disco
 Archivo del Espectro: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Fondo Ambiente: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Blanco Reactivo: <not performed>

Tamaño de la muestra: 1.000 Unit
 Muestra Fecha/Hora:
 Adquisicion Fecha/Hora: 02/03/2018 8:46:03
 Adquisicion Tiempo Vivo: 300000.0 seconds
 Adquisicion Tiempo Real: 300001.4 seconds

Archivo Trazador Certificado: C:\GENIE2K\CALFILES\Trazador Th-229 - L
 Cantidad de Trazador: 0.800 mL
 Eficiencia Efectiva: 0.0301 +/- 0.0007
 Calibracion en Eficiencia: <none>

Tolerancia de Coincidencia Picos: 0.050 MeV

 INFORME DE AREA DE PICOS

FWHM	Nuclido	Energia (keV)	Net (MeV)	Pk Area	Ambient	Reagent
				Error %	Backgnd	Backgnd
20.7	Th-228	5.423	812.00	3.79	29.00	0.00
31.6	Th-229 T	4.845	2450.00	2.29	1.00	0.00
27.7	Th-230	4.687	674.00	3.80	4.00	0.00
25.4	Th-232	4.012	282.00	3.66	2.00	0.00

T = Pico del Trazador usado para Eficiencia Efectiva

 INFORME ACTIVIDAD NUCLIDO

Nuclido	Actividad (Bq/Unit)	Actividad Error %	MDA (Bq/Unit)	MDA Error %

Alpha Spectrum Analysis Report

05/06/2018 20:42:24

```
*****
*****      A N A L I S I S   D E   E S P E C T R O S   A L F A
*****      UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
*****
```

Titulo Muestra: Suelo Zacatecas
 Descripcion del Espectro:
 Identificacion de Muestra:L2-M16
 Tipo de Muestra: Suelo
 Geometria de Muestra: Disco
 Archivo del Espectro: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Fondo Ambiente: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Blanco Reactivo: <not performed>

Tamaño de la muestra: 1.000 Unit
 Muestra Fecha/Hora: 19/03/2018 8:48:47
 Adquisicion Fecha/Hora: 19/03/2018 8:48:47
 Adquisicion Tiempo Vivo: 300000.0 seconds
 Adquisicion Tiempo Real: 300001.3 seconds

Archivo Trazador Certificado: C:\GENIE2K\CALFILES\Trazador Th-229 - L
 Cantidad de Trazador: 0.800 mL
 Eficiencia Efectiva: 0.0569 +/- 0.0010
 Calibracion en Eficiencia: <none>

Tolerancia de Coincidencia Picos: 0.050 MeV

 ----- INFORME DE AREA DE PICOS -----

FWHM	Nuclido	Energia (MeV)	Net Pk Area	Pk Area Error %	Ambient Backgnd	Reagent Backgnd
		(keV)				

27.5	Th-228	5.423	932.00	3.60	11.00	0.00
35.7	Th-229 T	4.845	4461.00	1.67	5.00	0.00
29.1	Th-230	4.687	1696.00	2.43	4.00	0.00
32.7	Th-232	4.012	842.00	3.48	3.00	0.00

T = Pico del Trazador usado para Eficiencia Efectiva

 ----- INFORME ACTIVIDAD NUCLIDO -----

Nuclido	Actividad (Bq/Unit)	Actividad Error %	MDA (Bq/Unit)	MDA Error %
---------	-------------------------	----------------------	-------------------	----------------

Alpha Spectrum Analysis Report 05/06/2018 20:44:45

***** ANALISIS DE ESPECTROS ALFA *****
 ***** UNIVERSIDAD DE VALLADOLID *****

Titulo Muestra: Suelo Zacatecas
 Descripción del Espectro:
 Identificación de Muestra:L2-M17
 Tipo de Muestra: suelo
 Geometría de Muestra: Disco

Archivo del Espectro: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Fondo Ambiente: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Blanco Reactivo: <not performed>

Tamaño de la muestra: 1.000
 Muestra Fecha/Hora:
 Adquisición Fecha/Hora: 02/03/2018 8:46:31
 Adquisición Tiempo Vivo: 300000.0 seconds
 Adquisición Tiempo Real: 300001.4 seconds

Archivo Trazador Certificado: C:\GENIE2K\CALFILES\Trazador Th-229 - L
 Cantidad de Trazador: 0.800 mL
 Eficiencia Efectiva: 0.0055 +/- 0.0003
 Calibración en Eficiencia: <none>

Tolerancia de Coincidencia Picos: 0.050 MeV

----- INFORME DE AREA DE PICOS -----

FWHM	Nuclido	Energia (keV)	Net (MeV)	Pk Area	Error %	Ambient Backgnd	Reagent Backgnd
25.0	Th-228	5.423	998.00	3.30	9.00	0.00	
33.4	Th-229 T	4.845	448.00	5.45	5.00	0.00	
26.6	Th-230	4.687	485.00	4.59	6.00	0.00	
27.4	Th-232	4.012	828.00	3.49	1.00	0.00	

T = Pico del Trazador usado para Eficiencia Efectiva

----- INFORME ACTIVIDAD NUCLIDO -----

Nuclido	Actividad (Bq/)	Error %	Actividad (Bq/)	MDA (Bq/)	Error %
---------	------------------	---------	------------------	------------	---------

Alpha Spectrum Analysis Report

05/06/2018 20:41:00

***** ANALISIS DE ESPECTROS ALFA *****

***** UNIVERSIDAD DE VALLADOLID *****

Titulo Muestra: Suelo Zacatecas

Descripcion del Espectro:

Identificacion de Muestra:L2-M18

Tipo de Muestra:

Suelo

Geometria de Muestra:

Disco

Archivo del Espectro: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\

Archivo Fondo Ambiente: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\

Archivo Blanco Reactivo: <not performed>

Tamaño de la muestra: 1.000 Unit

Muestra Fecha/Hora:

Adquisicion Fecha/Hora: 05/03/2018 8:55:26

Adquisicion Tiempo Vivo: 300000.0 seconds

Adquisicion Tiempo Real: 300001.5 seconds

Archivo Trazador Certificado: C:\GENIE2K\CALFILES\Trazador Th-229 - L

Cantidad de Trazador: 0.800 mL

Eficiencia Efectiva: 0.0086 +/- 0.0004

Calibracion en Eficiencia: <none>

Tolerancia de Coincidencia Picos: 0.050 MeV

----- INFORME DE AREA DE PICOS -----

FWHM (keV)	Nuclido	Energia	Net	Pk Area	Ambient	Reagent
		(MeV)	Pk Area	Error %	Backgnd	Backgnd
25.7	Th-228	5.423	365.00	5.53	21.00	0.00
38.4	Th-229 T	4.845	691.00	4.32	3.00	0.00
27.1	Th-230	4.687	416.00	4.93	2.00	0.00
22.8	Th-232	4.012	383.00	5.23	2.00	0.00

T = Pico del Trazador usado para Eficiencia Efectiva

----- INFORME ACTIVIDAD NUCLIDO -----

Nuclido	Actividad (Bq/Unit)	Actividad Error %	MDA (Bq/Unit)	MDA Error %

Alpha Spectrum Analysis Report

05/06/2018 20:43:26

```
*****
*****          A N A L I S I S   D E   E S P E C T R O S   A L F A
*****          U N I V E R S I D A D   D E   V A L L A D O L I D
*****
```

Titulo Muestra: Suelo Zacatecas
 Descripcion del Espectro:
 Identificacion de Muestra:L2-M19
 Tipo de Muestra: Suelo
 Geometria de Muestra: Disco
 Archivo del Espectro: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Fondo Ambiente: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Blanco Reactivo: <not performed>

Tamaño de la muestra: 1.000 Unit
 Muestra Fecha/Hora:
 Adquisicion Fecha/Hora: 05/03/2018 8:55:44
 Adquisicion Tiempo Vivo: 300000.0 seconds
 Adquisicion Tiempo Real: 300001.5 seconds

Archivo Trazador Certificado: C:\GENIE2K\CALFILES\Trazador Th-229 - L
 Cantidad de Trazador: 0.800 mL
 Eficiencia Efectiva: 0.0409 +/- 0.0008
 Calibracion en Eficiencia: <none>

Tolerancia de Coincidencia Picos: 0.050 MeV

 INFORME DE AREA DE PICOS

FWHM	Nuclido	Energia (keV)	Net (MeV)	Pk Area	Ambient	Reagent
				Error %	Backgnd	Backgnd
24.8	Th-228	5.423	769.00	3.79	11.00	0.00
34.2	Th-229	T	4.845	3335.00	1.97	5.00
27.7	Th-230		4.687	700.00	3.77	4.00
23.6	Th-232		4.012	627.00	4.04	3.00

T = Pico del Trazador usado para Eficiencia Efectiva

 INFORME ACTIVIDAD NUCLIDO

Nuclido	Actividad (Bq/Unit)	Actividad Error %	MDA (Bq/Unit)	MDA Error %

Alpha Spectrum Analysis Report

05/06/2018 20:53:38

 ***** ANALISIS DE ESPECTROS ALFA

 ***** UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

Titulo Muestra: Suelo de Zacatecas
 Descripcion del Espectro:
 Identificacion de Muestra:L2-M20
 Tipo de Muestra: Suelo
 Geometria de Muestra: Disco
 Archivo del Espectro: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Fondo Ambiente: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Blanco Reactivo: <not performed>

Tamaño de la muestra: 1.000 Unit
 Muestra Fecha/Hora: 11/05/2017 22:00:00
 Adquisicion Fecha/Hora: 06/03/2018 8:59:20
 Adquisicion Tiempo Vivo: 300000.0 seconds
 Adquisicion Tiempo Real: 300001.4 seconds

Archivo Trazador Certificado: C:\GENIE2K\CALFILES\Trazador Th-229 - L
 Cantidad de Trazador: 0.800 mL
 Eficiencia Efectiva: 0.0113 +/- 0.0004
 Calibracion en Eficiencia: <none>

Tolerancia de Coincidencia Picos: 0.050 MeV

----- INFORME DE AREA DE PICOS -----

FWHM (keV)	Nuclido	Energia	Net	Pk Area	Ambient	Reagent
		(MeV)	Pk Area	Error %	Backgnd	Backgnd
24.8	Th-228	5.423	598.00	4.32	13.00	0.00
29.5	Th-229 T	4.845	949.00	3.77	5.00	0.00
21.5	Th-230	4.687	380.00	5.06	2.00	0.00
22.9	Th-232	4.012	502.00	4.51	1.00	0.00

T = Pico del Trazador usado para Eficiencia Efectiva

----- INFORME ACTIVIDAD NUCLIDO -----

Nuclido	Actividad (Bq/Unit)	Actividad Error %	MDA (Bq/Unit)	MDA Error %
---------	-------------------------	----------------------	-------------------	----------------

Alpha Spectrum Analysis Report

05/06/2018 20:56:21

```
*****
*****      A N A L I S I S   D E   E S P E C T R O S   A L F A
*****      U N I V E R S I D A D   D E   V A L L A D O L I D
*****
```

Titulo Muestra: Suelo Zacatecas
 Descripcion del Espectro:
 Identificacion de Muestra:L2-M21
 Tipo de Muestra: suelo
 Geometria de Muestra: Disco
 Archivo del Espectro: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Fondo Ambiente: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Blanco Reactivo: <not performed>
 Tamaño de la muestra: 1.000
 Muestra Fecha/Hora: 11/05/2017 22:00:00
 Adquisicion Fecha/Hora: 06/03/2018 8:59:18
 Adquisicion Tiempo Vivo: 300000.0 seconds
 Adquisicion Tiempo Real: 300001.6 seconds
 Archivo Trazador Certificado: C:\GENIE2K\CALFILES\Trazador Th-229 - L
 Cantidad de Trazador: 0.800 mL
 Eficiencia Efectiva: 0.0367 +/- 0.0008
 Calibracion en Eficiencia: <none>
 Tolerancia de Coincidencia Picos: 0.050 MeV

 INFORME DE AREA DE PICOS

FWHM (keV)	Nuclido	Energia	Net	Pk Area	Ambient	Reagent
		(MeV)	Pk Area	Error %	Backgnd	Backgnd
36.9	Th-228	5.423	2600.00	2.02	9.00	0.00
58.2	Th-229 T	4.845	2869.00	2.08	5.00	0.00
44.2	Th-230	4.687	2026.00	2.20	6.00	0.00
47.1	Th-232	4.012	2266.00	2.12	1.00	0.00

T = Pico del Trazador usado para Eficiencia Efectiva

 INFORME ACTIVIDAD NUCLIDO

Nuclido	Actividad (Bq/)	Actividad Error %	MDA (Bq/)	MDA Error %
---------	---------------------	----------------------	---------------	----------------

Alpha Spectrum Analysis Report

05/06/2018 20:47:40

```
*****
*****      A N A L I S I S   D E   E S P E C T R O S   A L F A
*****      U N I V E R S I D A D   D E   V A L L A D O L I D
*****
```

Titulo Muestra: Suelo Zacatecas
 Descripcion del Espectro:
 Identificacion de Muestra:L2-M22
 Tipo de Muestra: Suelo
 Geometria de Muestra: Disco
 Archivo del Espectro: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Fondo Ambiente: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Blanco Reactivo: <not performed>

Tamaño de la muestra: 1.000 Unit
 Muestra Fecha/Hora:
 Adquisicion Fecha/Hora: 09/03/2018 8:59:02
 Adquisicion Tiempo Vivo: 300000.0 seconds
 Adquisicion Tiempo Real: 300001.0 seconds

Archivo Trazador Certificado: C:\GENIE2K\CALFILES\Trazador Th-229 - L
 Cantidad de Trazador: 0.800 mL
 Eficiencia Efectiva: 0.0123 +/- 0.0004
 Calibracion en Eficiencia: <none>

Tolerancia de Coincidencia Picos: 0.050 MeV

```
----- INFORME DE AREA DE PICOS -----
```

FWHM (keV)	Nuclido	Energia	Net	Pk Area	Ambient	Reagent
		(MeV)	Pk Area	Error %	Backgnd	Backgnd
25.2	Th-228	5.423	369.00	6.19	21.00	0.00
32.3	Th-229 T	4.845	953.00	3.60	3.00	0.00
32.0	Th-230	4.687	386.00	4.99	2.00	0.00
23.9	Th-232	4.012	320.00	5.68	2.00	0.00

T = Pico del Trazador usado para Eficiencia Efectiva

```
----- INFORME ACTIVIDAD NUCLIDO -----
```

Nuclido	Actividad (Bq/Unit)	Actividad Error %	MDA (Bq/Unit)	MDA Error %
---------	-------------------------	----------------------	-------------------	----------------

Alpha Spectrum Analysis Report

05/06/2018 20:51:11

```
*****
*****      A N A L I S I S   D E   E S P E C T R O S   A L F A
*****      UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
*****
```

Titulo Muestra: Suelo Zacatecas

Descripcion del Espectro:

Identificación de Muestra:L2-M23

Tipo de Muestra: Suelo

Geometría de Muestra: Disco

Archivo del Espectro: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\

Archivo Fondo Ambiente: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\

Archivo Blanco Reactivo: <not performed>

Tamaño de la muestra: 1.000 Unit

Muestra Fecha/Hora:

Adquisicion Fecha/Hora: 09/03/2018 8:59:05

Adquisicion Tiempo Vivo: 300000.0 seconds

Adquisicion Tiempo Real: 300000.9 seconds

Archivo Trazador Certificado: C:\GENIE2K\CALFILES\Trazador Th-229 - L

Cantidad de Trazador: 0.800 mL

Eficiencia Efectiva: 0.0309 +/- 0.0007

Calibracion en Eficiencia: <none>

Tolerancia de Coincidencia Picos: 0.050 MeV

----- INFORME DE AREA DE PICOS -----

FWHM (keV)	Nuclido	Energia	Net	Pk Area	Ambient	Reagent
		(MeV)	Pk Area	Error %	Backgnd	Backgnd
32.8	Th-228	5.423	1312.00	2.93	11.00	0.00
44.3	Th-229 T	4.845	2433.00	2.27	5.00	0.00
28.2	Th-230	4.687	947.00	3.24	4.00	0.00
39.3	Th-232	4.012	1197.00	2.93	3.00	0.00

T = Pico del Trazador usado para Eficiencia Efectiva

----- INFORME ACTIVIDAD NUCLIDO -----

Nuclido	Actividad (Bq/Unit)	Actividad Error %	MDA (Bq/Unit)	MDA Error %

Alpha Spectrum Analysis Report

05/06/2018 20:54:19

 ***** ANALISIS DE ESPECTROS ALFA

 ***** UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

Titulo Muestra: Suelo de Zacatecas
 Descripcion del Espectro:
 Identificacion de Muestra:L2-M24
 Tipo de Muestra: Suelo
 Geometria de Muestra: Disco
 Archivo del Espectro: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Fondo Ambiente: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Blanco Reactivo: <not performed>

Tamaño de la muestra: 1.000 Unit
 Muestra Fecha/Hora: 11/05/2017 22:00:00
 Adquisicion Fecha/Hora: 26/03/2018 7:25:16
 Adquisicion Tiempo Vivo: 300000.0 seconds
 Adquisicion Tiempo Real: 300001.3 seconds

Archivo Trazador Certificado: C:\GENIE2K\CALFILES\Trazador Th-229 - L
 Cantidad de Trazador: 0.800 mL
 Eficiencia Efectiva: 0.0240 +/- 0.0006
 Calibracion en Eficiencia: <none>

Tolerancia de Coincidencia Picos: 0.050 MeV

----- INFORME DE AREA DE PICOS -----

FWHM (keV)	Nuclido	Energia	Net	Pk Area	Ambient	Reagent
		(MeV)	Pk Area	Error %	Backgnd	Backgnd
24.4	Th-228	5.423	155.00	9.83	13.00	0.00
38.2	Th-229 T	4.845	1970.00	2.58	5.00	0.00
24.5	Th-230	4.687	187.00	6.85	2.00	0.00
24.0	Th-232	4.012	79.00	11.62	1.00	0.00

T = Pico del Trazador usado para Eficiencia Efectiva

----- INFORME ACTIVIDAD NUCLIDO -----

Nuclido	Actividad (Bq/Unit)	Actividad Error %	MDA (Bq/Unit)	MDA Error %

Alpha Spectrum Analysis Report

05/06/2018 20:54:58

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

Título muestra: Suelo de Zacatecas

Descripción del Espectro:

Identificación de Muestra:L2-M25

Tipo de Muestra: Suelo

Geometría de Muestra: Disco

Archivo del Espectro: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
Archivo Fondo Ambiente: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
Archivo Blanco Reactivo: <not performed>

Tamaño de la muestra: 1.000 Unit
Muestra Fecha/Hora: 11/05/2017 22:00:00
Adquisicion Fecha/Hora: 12/03/2018 8:50:47
Adquisicion Tiempo Vivo: 300000.0 seconds
Adquisicion Tiempo Real: 300001.3 seconds

Archivo Trazador Certificado: C:\GENIE2K\CALFILES\Trazador Th-229 - L
Cantidad de Trazador: 0.800 mL
Eficiencia Efectiva: 0.0264 +/- 0.0007
Calibracion en Eficiencia: <none>

Tolerancia de Coincidencia Picos: 0.050 MeV

INFORME DE ÁREA DE RICOS

FWHM (keV)	Nuclido	Energia (MeV)	Net Pk Area	Pk Area Error %	Ambient Backgnd	Reagent Backgnd
30.8	Th-228	5.423	786.00	3.77	13.00	0.00
54.9	Th-229	T	4.845	2103.00	2.45	5.00
26.3	Th-230		4.687	889.00	3.27	2.00
31.3	Th-232		4.012	703.00	3.80	1.00

T = Pico del Trazador usado para Eficiencia Efectiva

INFORME ACTIVIDAD NUCLEAR

Nuclido	Actividad (Bq/Unit)	Error %	MDA (Bq/Unit)	Error %
---------	-------------------------	---------	-------------------	---------

Alpha Spectrum Analysis Report

05/06/2018 20:57:15

***** ANALISIS DE ESPECTROS ALFA *****
***** UNIVERSIDAD DE VALLADOLID *****

Titulo Muestra: Suelo Zacatecas
Descripcion del Espectro:
Identificacion de Muestra:L2-M26
Tipo de Muestra: suelo
Geometria de Muestra: Disco

Archivo del Espectro: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
Archivo Fondo Ambiente: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
Archivo Blanco Reactivo: <not performed>

Tamaño de la muestra: 1.000
Muestra Fecha/Hora: 11/05/2017 22:00:00
Adquisicion Fecha/Hora: 12/03/2018 8:50:55
Adquisicion Tiempo Vivo: 300000.0 seconds
Adquisicion Tiempo Real: 300001.2 seconds

Archivo Trazador Certificado: C:\GENIE2K\CALFILES\Trazador Th-229 - L
Cantidad de Trazador: 0.800 mL
Eficiencia Efectiva: 0.0084 +/- 0.0004
Calibracion en Eficiencia: <none>

Tolerancia de Coincidencia Picos: 0.050 MeV

INFORME DE ÁREA DE PECOS

FWHM (keV)	Nuclido	Energia (MeV)	Net Pk Area	Pk Area	Ambient	Reagent Backgnd
31.4	Th-228	5.423	227.00	7.34	9.00	0.00
38.8	Th-229	T	664.00	4.38	5.00	0.00
35.1	Th-230		242.00	6.50	6.00	0.00
22.5	Th-232		200.00	7.16	1.00	0.00

T = Pico del Trazador usado para Eficiencia Efectiva

INFORME ACTIVIDAD NUCLEAR

Nuclido	Actividad (Bq/)	Error %	MDA (Bq/)	Error %
---------	---------------------	---------	---------------	---------

Alpha Spectrum Analysis Report

05/06/2018 20:46:37

 ***** ANALISIS DE ESPECTROS ALFA

 ***** UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

Titulo Muestra: Suelo Zacatecas
 Descripcion del Espectro:
 Identificacion de Muestra:L2-M27
 Tipo de Muestra: Suelo
 Geometria de Muestra: Disco
 Archivo del Espectro: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Fondo Ambiente: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Blanco Reactivo: <not performed>

Tamaño de la muestra: 1.000 Unit
 Muestra Fecha/Hora:
 Adquisicion Fecha/Hora: 12/03/2018 15:46:29
 Adquisicion Tiempo Vivo: 300000.0 seconds
 Adquisicion Tiempo Real: 300001.2 seconds

Archivo Trazador Certificado: C:\GENIE2K\CALFILES\Trazador Th-229 - L
 Cantidad de Trazador: 0.800 mL
 Eficiencia Efectiva: 0.0051 +/- 0.0003
 Calibracion en Eficiencia: <none>

Tolerancia de Coincidencia Picos: 0.050 MeV

----- INFORME DE AREA DE PICOS -----

FWHM Nuclido (keV)	Energia (MeV)	Net Pk Area	Pk Area Error %	Ambient Backgnd	Reagent Backgnd
25.4 Th-228	5.423	405.00	5.64	29.00	0.00
27.2 Th-229 T	4.845	407.00	5.59	1.00	0.00
24.0 Th-230	4.687	264.00	6.28	4.00	0.00
25.4 Th-232	4.012	363.00	5.32	2.00	0.00

T = Pico del Trazador usado para Eficiencia Efectiva

----- INFORME ACTIVIDAD NUCLIDO -----

Nuclido	Actividad (Bq/Unit)	Actividad Error %	MDA (Bq/Unit)	MDA Error %
---------	-------------------------	----------------------	-------------------	----------------

Alpha Spectrum Analysis Report

05/06/2018 20:48:53

```
*****
*****      A N A L I S I S   D E   E S P E C T R O S   A L F A
*****      U N I V E R S I D A D   D E   V A L L A D O L I D
*****
```

Titulo Muestra: Suelo Zacatecas
 Descripcion del Espectro:
 Identificacion de Muestra:L2-M28
 Tipo de Muestra: Suelo
 Geometria de Muestra: Disco
 Archivo del Espectro: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Fondo Ambiente: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Blanco Reactivo: <not performed>
 Tamaño de la muestra: 1.000 Unit
 Muestra Fecha/Hora:
 Adquisicion Fecha/Hora: 13/03/2018 8:48:16
 Adquisicion Tiempo Vivo: 300000.0 seconds
 Adquisicion Tiempo Real: 300001.3 seconds
 Archivo Trazador Certificado: C:\GENIE2K\CALFILES\Trazador Th-229 - L
 Cantidad de Trazador: 0.800 mL
 Eficiencia Efectiva: 0.0203 +/- 0.0006
 Calibracion en Eficiencia: <none>
 Tolerancia de Coincidencia Picos: 0.050 MeV

----- INFORME DE AREA DE PICOS -----

FWHM (keV)	Nuclido	Energia	Net	Pk Area	Ambient	Reagent
		(MeV)	Pk Area	Error %	Backgnd	Backgnd
34.9	Th-228	5.423	1736.00	2.56	21.00	0.00
48.8	Th-229 T	4.845	1577.00	2.80	3.00	0.00
37.9	Th-230	4.687	1837.00	2.32	2.00	0.00
40.9	Th-232	4.012	1518.00	2.60	2.00	0.00

T = Pico del Trazador usado para Eficiencia Efectiva

----- INFORME ACTIVIDAD NUCLIDO -----

Nuclido	Actividad (Bq/Unit)	Actividad Error %	MDA (Bq/Unit)	MDA Error %
---------	-------------------------	----------------------	-------------------	----------------

Alpha Spectrum Analysis Report

05/06/2018 20:52:23

***** ANALISIS DE ESPECTROS ALFA *****

***** UNIVERSIDAD DE VALLADOLID *****

Titulo Muestra: Suelo Zacatecas
 Descripcion del Espectro:
 Identificacion de Muestra:L2-M29
 Tipo de Muestra: Suelo
 Geometria de Muestra: Disco
 Archivo del Espectro: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Fondo Ambiente: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Blanco Reactivo: <not performed>
 Tamaño de la muestra: 1.000 Unit
 Muestra Fecha/Hora:
 Adquisicion Fecha/Hora: 13/03/2018 8:48:28
 Adquisicion Tiempo Vivo: 300000.0 seconds
 Adquisicion Tiempo Real: 300001.3 seconds
 Archivo Trazador Certificado: C:\GENIE2K\CALFILES\Trazador Th-229 - L
 Cantidad de Trazador: 0.800 mL
 Eficiencia Efectiva: 0.0050 +/- 0.0003
 Calibracion en Eficiencia: <none>
 Tolerancia de Coincidencia Picos: 0.050 MeV

----- INFORME DE AREA DE PICOS -----

FWHM (keV)	Nuclido	Energia	Net	Pk Area	Ambient	Reagent
		(MeV)	Pk Area	Error %	Backgnd	Backgnd
25.3	Th-228	5.423	150.00	10.73	11.00	0.00
52.6	Th-229 T	4.845	393.00	5.70	5.00	0.00
35.7	Th-230	4.687	288.00	6.06	4.00	0.00
40.5	Th-232	4.012	101.00	11.22	3.00	0.00

T = Pico del Trazador usado para Eficiencia Efectiva

----- INFORME ACTIVIDAD NUCLIDO -----

Nuclido	Actividad (Bq/Unit)	Actividad Error %	MDA (Bq/Unit)	MDA Error %
---------	-------------------------	----------------------	-------------------	----------------

Alpha Spectrum Analysis Report

05/06/2018 20:49:57

***** ANALISIS DE ESPECTROS ALFA *****

***** UNIVERSIDAD DE VALLADOLID *****

Titulo Muestra: Suelo Zacatecas
 Descripcion del Espectro:
 Identificacion de Muestra:L2-M30
 Tipo de Muestra: Suelo Zacatecas
 Geometria de Muestra: Disco
 Archivo del Espectro: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Fondo Ambiente: C:\GENIE2K\CAMFILES\Muestras alfa 2018\
 Archivo Blanco Reactivo: <not performed>

Tamaño de la muestra: 1.000 Unit
 Muestra Fecha/Hora:
 Adquisicion Fecha/Hora: 02/04/2018 11:32:57
 Adquisicion Tiempo Vivo: 300000.0 seconds
 Adquisicion Tiempo Real: 300000.7 seconds

Archivo Trazador Certificado: C:\GENIE2K\CALFILES\Trazador Th-229 - L
 Cantidad de Trazador: 0.800 mL
 Eficiencia Efectiva: 0.0073 +/- 0.0003
 Calibracion en Eficiencia: <none>

Tolerancia de Coincidencia Picos: 0.050 MeV

----- INFORME DE AREA DE PICOS -----

FWHM Nuclido (keV)	Energia (MeV)	Net	Pk Area	Ambient	Reagent
		Pk Area	Error %	Backgnd	Backgnd
27.9	Th-228	5.423	463.00	5.06	21.00
37.1	Th-229 T	4.845	590.00	4.67	3.00
24.6	Th-230	4.687	322.00	5.50	2.00
26.5	Th-232	4.012	448.00	4.77	2.00

T = Pico del Trazador usado para Eficiencia Efectiva

----- INFORME ACTIVIDAD NUCLIDO -----

Nuclido	Actividad (Bq/Unit)	Actividad Error %	MDA (Bq/Unit)	MDA Error %
---------	-------------------------	----------------------	-------------------	----------------

Anexo II

ICP-MS

SIN STDint			
	232 Th [1]		
Sample Name	Conc.	Conc. RSD	CPS
blanco	0,00	260,48	36,67
bl	0,00	N/A	28,61
1.1ppb	1,04	9,86	4631,74
2.8ppb	2,76	1,75	12241,70
5.5pb	5,63	2,48	24913,64
11.7ppb	12,29	2,02	54420,52
27.4ppb	28,14	1,60	124510,74
55.5ppb	57,09	1,63	252585,17
106ppb	107,77	1,63	476815,40
270 ppb	269,66	2,01	1193005,85
526 ppb	535,81	2,29	2370426,55
1055 ppb	1049,92	1,89	4644805,17
bl	0,38	30,90	1699,38
qc 27.4	28,53	1,40	126225,40
L1-M5	16,40	1,90	72589,34
L1-M6	14,46	2,14	63978,53
L1-M9	15,15	1,14	67067,88
L1-M10	10,12	5,99	44784,11
L1-M21	13,61	1,19	60238,00
L1-M22	29,43	1,61	130240,62
L2-M30	16,70	1,28	73910,80
L2-M29	17,63	0,88	78001,71
L2-M28	33,13	1,84	146607,18
L2-M27	16,41	3,21	72623,53

Con 209 Bi de STDint			
	232 Th [1]		
Sample Name	Conc. [ug/l]	Conc. RSD	Ratio
blanco	0,00	348,49	0,00
bl	0,00	N/A	0,00
1.1ppb	1,06	5,39	0,03
2.8ppb	2,72	1,72	0,09
5.5pb	5,46	1,72	0,17
11.7ppb	11,62	1,70	0,37
27.4ppb	27,11	4,17	0,86
55.5ppb	56,87	1,12	1,80
106ppb	108,93	2,32	3,45
270 ppb	272,45	2,00	8,63
526 ppb	547,27	2,55	17,33
1055 ppb	1043,42	2,33	33,05
bl	0,36	31,21	0,01
qc 27.4	27,08	0,95	0,86
L1-M5	17,46	2,06	0,55
L1-M6	15,36	2,17	0,49
L1-M9	16,15	3,05	0,51
L1-M10	10,55	5,26	0,33
L1-M21	15,69	1,88	0,50
L1-M22	33,69	1,93	1,07
L2-M30	17,29	2,93	0,55
L2-M29	1,29	2,08	0,04
L2-M28	17,07	2,36	0,54
L2-M27	17,42	2,86	0,55

L2-M26	38,80	1,58	171683,30
L2-M25	44,42	1,89	196520,95
bl	0,02	24,04	126,67
aire	0,03	132,46	143,90
L1-M5r	15,72	2,21	69589,91
CRM IAEA TZ	518,17	2,40	2292371,50
L2-M24	4,27	1,35	18929,30
L2-M23	41,26	1,57	182566,15
L2-M22	7,78	1,95	34464,99
L2-M21	55,17	1,21	244119,40
L2-M20	16,35	1,32	72372,64
L2-M19	13,79	1,50	61015,74
L2-M18	31,02	1,91	137279,87
L2-M17	10,28	1,67	45501,20
L2-M16	0,76	106,13	3370,47
L2-M15	24,84	2,14	109926,90
L2-M14	101,13	2,04	447427,46
L2-M13	15,32	1,46	67799,83
bl	0,05	32,64	248,63
qc 27.4	25,84	1,88	114362,04
L2-M24r	4,01	3,45	17789,16
L1-M5rr	15,16	1,18	67117,03
CRM IAEA	165,06	1,15	730224,83
L2-M12	26,29	1,56	116336,62
L2-M11	19,77	1,56	87475,71
L2-M10	23,01	1,99	101818,07
L2-M9	13,69	1,87	60606,34
L2-M8	17,34	1,44	76750,64
L2-M7	16,30	1,78	72148,99
L2-M6	12,36	1,86	54707,08
L2-M5	27,41	1,67	121286,05

L2-M26	45,93	2,10	1,45	118025,79	1,95
L2-M25	47,38	1,66	1,50	130940,06	1,63
bl	0,02	24,61	0,00	144891,33	1,38
aire	0,02	95,94	0,00	239360,13	91,31
L1-M5r	17,82	2,47	0,56	123265,86	1,88
CRM IAEA TZ	526,65	2,71	16,68	137452,47	2,07
L2-M24	4,83	1,72	0,15	123508,73	1,27
L2-M23	44,00	1,76	1,39	130996,50	2,06
L2-M22	9,12	1,91	0,29	119227,82	1,47
L2-M21	57,63	3,01	1,83	133798,51	2,73
L2-M20	16,59	1,53	0,53	137652,16	1,45
L2-M19	15,77	1,90	0,50	122140,97	0,96
L2-M18	33,90	2,20	1,07	127862,79	2,06
L2-M17	11,29	1,80	0,36	127220,73	1,63
L2-M16	0,85	100,32	0,03	121683,74	2,46
L2-M15	27,01	1,53	0,86	128486,04	2,02
L2-M14	123,11	2,16	3,90	114741,21	1,18
L2-M13	17,16	1,48	0,54	124673,49	1,43
bl	0,05	30,95	0,00	138292,61	1,39
qc 27.4	27,06	4,93	0,86	133693,69	5,11
L2-M24r	4,79	2,35	0,15	117070,50	2,21
L1-M5rr	17,37	1,95	0,55	121989,52	1,51
CRM IAEA	163,11	2,11	5,17	141392,24	2,32
L2-M12	29,14	1,60	0,92	126027,78	1,84
L2-M11	22,24	1,88	0,70	124143,85	1,78
L2-M10	19,61	1,91	0,62	163859,94	1,88
L2-M9	14,30	1,75	0,45	133778,44	2,87
L2-M8	18,98	1,49	0,60	127604,64	1,44
L2-M7	19,33	6,38	0,61	118274,03	6,80
L2-M6	13,58	1,97	0,43	127159,28	1,39
L2-M5	31,33	1,73	0,99	122191,08	1,46

L2-M4	43,83	2,31	193934,00
L2-M3	5,85	1,50	25893,09
L2-M2	48,25	1,39	213474,75
L2-M1	18,14	1,52	80266,75
CRM CHino	37,19	1,73	164534,74
bl	0,01	53,00	83,89
qc27.4	26,44	1,81	117001,74
L2M12r	25,18	1,61	111406,81
L1-M5rrr	15,13	2,02	66979,72
L2-M24rr	4,08	1,45	18070,70
L2M24 sin dilu	8,00	2,50	35439,80
L2M25 sin dilu	84,25	1,90	372732,67
L2M4 sin dilu	93,21	1,45	412367,46
L2M3 sin dilu	14,36	1,40	63566,47
L2M12 sin dilu	50,24	2,32	222302,86
L2M17+20ppb	30,70	6,97	135843,18
L1M10+20ppb	27,67	2,19	122438,22
QC 11.7 ppb	11,21	1,91	49601,71
QC 1ppB	1,00	3,98	4471,66
BI	0,02	31,90	96,39
BI	0,02	22,03	130,01
BI	0,50	315,09	2228,96

L2-M4	51,33	3,23	1,63	119329,72	2,75
L2-M3	6,90	1,59	0,22	118392,67	1,47
L2-M2	53,38	1,30	1,69	126262,24	1,56
L2-M1	18,84	1,30	0,60	134461,64	1,36
CRM CHino	40,30	1,26	1,28	128864,86	1,19
bl	0,01	51,11	0,00	132750,53	2,28
qc27.4	27,39	1,82	0,87	134829,94	1,19
L2M12r	29,32	1,91	0,93	119932,12	1,25
L1-M5rrr	17,26	3,44	0,55	122561,55	3,22
L2-M24rr	5,03	1,63	0,16	113351,81	2,23
L2M24 sin dilu	10,22	2,56	0,32	109448,74	2,13
L2M25 sin dilu	90,49	3,36	2,87	130193,97	4,47
L2M4 sin dilu	107,59	1,83	3,41	121024,87	1,77
L2M3 sin dilu	16,85	2,50	0,53	119118,92	1,93
L2M12 sin dilu	57,64	2,56	1,83	121776,34	1,76
L2M17+20ppb	33,90	1,33	1,07	126506,67	6,86
L1M10+20ppb	31,87	3,13	1,01	121336,63	2,28
QC 11.7 ppb	11,94	3,12	0,38	131134,41	2,61
QC 1ppB	1,10	2,65	0,03	127945,34	2,59
BI	0,02	30,97	0,00	130276,48	2,22
BI	0,03	21,23	0,00	127152,43	1,60
BI	0,50	311,23	0,02	126850,51	4,55

Muestra	R (Th)	R (Bi 109)	Ratio Th/Bi	Ratio-Blanco	C _{dil} (mg/L)	C _{dil} (µg/L)	u (C _{dil}) (mg/L)	m _{suelo} (g)	C _{suelo} (mg/kg)	u bal (mg/L)	u matraz (mg/L)	u (Csuelo) (mg/L)	Incertidumbre Relativa en %
CRM CHino	164534,74	128864,86	1,2768	1,2766	0,040	40,3129	3,17226E-05	0,5182	19,4485	0,0500	0,0122	0,0239	0,122873969
CRM IAEA	730224,83	141392,24	5,1645	5,1643	0,163	163,0786	3,12584E-05	0,5032	81,0208	0,0500	0,0122	0,0781	0,096414012
CRM IAEA TZ	229237,1,50	137452,47	16,6776	16,6773	0,527	526,6338	3,30021E-05	0,5177	254,3142	0,0500	0,0122	0,2405	0,094581814
L1-M5	72589,34	131223,39	0,5532	0,5529	0,017	17,4624	3,1867E-05	0,5018	8,6999	0,0500	0,0122	0,0179	0,2055064
L1-M6	63978,53	131417,37	0,4868	0,4866	0,015	15,3675	3,18811E-05	0,5417	7,0923	0,0500	0,0122	0,0162	0,227843766
L1-M9	67067,88	131163,81	0,5113	0,5111	0,016	16,1410	3,18759E-05	0,5037	8,0112	0,0500	0,0122	0,0175	0,218923096
L1-M10	44784,11	133963,18	0,3343	0,3341	0,011	10,5509	3,19142E-05	0,5085	5,1873	0,0500	0,0122	0,0164	0,316880516
L1-M21	60238,00	121188,66	0,4971	0,4968	0,016	15,6904	3,18789E-05	0,5059	7,7537	0,0500	0,0122	0,0174	0,224062378
L1-M22	130240,62	122034,14	1,0672	1,0670	0,034	33,6956	3,17626E-05	0,5018	16,7874	0,0500	0,0122	0,0224	0,133476665
L2-M1	80266,75	134461,64	0,5969	0,5967	0,019	18,8447	3,18578E-05	0,5028	9,3699	0,0500	0,0122	0,0181	0,193670383
L2-M2	213474,75	126262,24	1,6907	1,6905	0,053	53,3837	3,16481E-05	0,5058	26,3858	0,0500	0,0122	0,0294	0,111529497
L2-M3	25893,09	118392,67	0,2187	0,2185	0,007	6,9006	3,19397E-05	0,5006	3,4462	0,0500	0,0122	0,0163	0,472403942
L2-M4	193934,00	119329,72	1,6252	1,6250	0,051	51,3143	3,16595E-05	0,5032	25,4940	0,0500	0,0122	0,0288	0,112848566
L2-M5	121286,05	122191,08	0,9926	0,9924	0,031	31,3382	3,17772E-05	0,5008	15,6441	0,0500	0,0122	0,0217	0,138615152
L2-M6	54707,08	127159,28	0,4302	0,4300	0,014	13,5799	3,18933E-05	0,5064	6,7041	0,0500	0,0122	0,0170	0,253141678

L2-M7	72148,9 9	118274, 03	0,6100	0,6098	0,019	19,257 3	3,1855E- 05	0,511 8	9,4067	0,0500	0,0122	0,0179	0,1904682 42
L2-M8	76750,6 4	127604, 64	0,6015	0,6012	0,019	18,987 5	3,18568E- 05	0,500 7	9,4805	0,0500	0,0122	0,0183	0,1925656 32
L2-M9	60606,3 4	133778, 44	0,4530	0,4528	0,014	14,300 2	3,18884E- 05	0,507 7	7,0417	0,0500	0,0122	0,0171	0,2421709 83
L2-M10	101818, 07	163859, 94	0,6214	0,6211	0,020	19,615 9	3,18526E- 05	0,505 5	9,7013	0,0500	0,0122	0,0182	0,1878627 09
L2-M11	87475,7 1	124143, 85	0,7046	0,7044	0,022	22,245 1	3,18353E- 05	0,512 6	10,8491	0,0500	0,0122	0,0186	0,1714493 28
L2-M12	116336, 62	126027, 78	0,9231	0,9229	0,029	29,143 9	3,1791E- 05	0,502 8	14,4908	0,0500	0,0122	0,0209	0,1443188 79
L2-M13	67799,8 3	124673, 49	0,5438	0,5436	0,017	17,167 0	3,1869E- 05	0,500 3	8,5783	0,0500	0,0122	0,0179	0,2083158 74
L2-M14	447427, 46	114741, 21	3,8994	3,8992	0,123	123,13 01	3,1351E- 05	0,504 7	60,9917	0,0500	0,0122	0,0597	0,0978479 12
L2-M15	109926, 90	128486, 04	0,8556	0,8553	0,027	27,010 9	3,18045E- 05	0,503 6	13,4089	0,0500	0,0122	0,0202	0,1509701 26
L2-M16	3370,47	121683, 74	0,0277	0,0275	0,001	0,8691	3,19829E- 05	0,499 8	0,4347	0,0500	0,0122	0,0160	3,6813903 93
L2-M17	45501,2 0	127220, 73	0,3577	0,3574	0,011	11,288 3	3,1909E- 05	0,506 8	5,5684	0,0500	0,0122	0,0166	0,2980374 74
L2-M18	137279, 87	127862, 79	1,0736	1,0734	0,034	33,897 8	3,17614E- 05	0,504 7	16,7911	0,0500	0,0122	0,0223	0,1330605 37
L2-M19	61015,7 4	122140, 97	0,4996	0,4993	0,016	15,769 1	3,18784E- 05	0,500 1	7,8830	0,0500	0,0122	0,0176	0,2231607 44
L2-M20	72372,6 4	137652, 16	0,5258	0,5255	0,017	16,596 9	3,18728E- 05	0,514 8	8,0599	0,0500	0,0122	0,0172	0,2139871 96
L2-M21	244119, 40	133798, 51	1,8245	1,8243	0,058	57,608 9	3,16252E- 05	0,510 4	28,2175	0,0500	0,0122	0,0308	0,1092282 79
L2-M22	34464,9 9	119227, 82	0,2891	0,2888	0,009	9,1225	3,19241E- 05	0,508 1	4,4885	0,0500	0,0122	0,0163	0,3624698 62
L2-M23	182566, 15	130996, 50	1,3937	1,3934	0,044	44,003 4	3,1701E- 05	0,502 6	21,8879	0,0500	0,0122	0,0260	0,1188245 42
L2-M24	18929,3 0	123508, 73	0,1533	0,1530	0,005	4,8341	3,19544E- 05	0,501 9	2,4079	0,0500	0,0122	0,0161	0,6677421 26

L2-M25	196520, 95	130940, 06	1,5008	1,5006	0,047	47,387 7	3,16815E- 05	0,509 2	23,2658	0,0500	0,0122	0,0269	0,1157097 01
L2-M26	171683, 30	118025, 79	1,4546	1,4544	0,046	45,928 2	3,16899E- 05	0,531 7	21,5950	0,0500	0,0122	0,0252	0,1168241 92
L2-M27	72623,5 3	131704, 81	0,5514	0,5512	0,017	17,406 7	3,18674E- 05	0,503 9	8,6360	0,0500	0,0122	0,0178	0,2060185 75
L2-M28	146607, 18	271060, 08	0,5409	0,5406	0,017	17,073 7	3,18696E- 05	0,504 1	8,4674	0,0500	0,0122	0,0177	0,2092088 96
L2-M29	78001,7 1	190755 5,45	0,0409	0,0407	0,001	1,2856	3,19799E- 05	0,506 7	0,6343	0,0500	0,0122	0,0158	2,4892573 33
L2-M30	73910, 80	135003, 83	0,5475	0,5472	0,017	17,282 3	3,18682E- 05	0,501	8,6239	0,0500	0,0122	0,0179	0,2072058 3

Anexo III

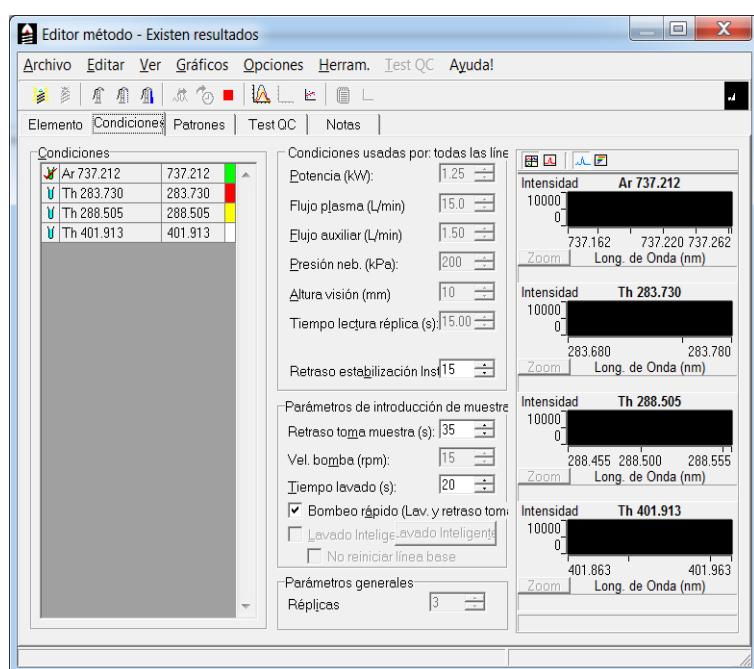
ICP-OES

Tubo	Nombres	muestras	Th 283.730	Th 401.913	Th 288.505
0 : 1	Blanco		6,744	7,984	6,388
0 : 2	0.05 Th		28,74	25,76	12,79
0 : 3	0.1Th		50,77	40,41	16,34
0 : 4	0.25 Th		110,2	91,83	35,39
0 : 5	0.5 Th		201,5	167,2	62,67
0 : 6	1 Th		406,3	336,2	120,3
0 : 7	2.5 Th		997,2	826,8	286,9
0 : 8	5 Th		2003	1655	574,2
0 : 9	10 Th		3708	3067	1061
1 : 1	Bvi		9,909	8,547	7,455
1 : 2	Qc 2.58		997,6	822,3	287,4
1 : 3	L1-M5		58,76	15,46	5.240 uv
1 : 4	L1-M6		86,84	16,67	4.078 uv
1 : 5	L1-M9		73,89	16,56	3.306 uv
1 : 6	L1-M10		87,06	15,08	4.487 uv
1 : 7	L1-M21		38,51	49,8	7.125 uv
1 : 8	L1-M22		48,56	53,53	7,308
1 : 9	L2-M30		91,41	23,4	7,013
1 : 10	L2-M29		103,2	64,14	10,18
1 : 11	L2-M28		143	33,27	8,048
1 : 12	L2-M27		81,76	16,79	5.349 uv
1 : 13	L2-M26		73,66	47,29	8,387
1 : 14	L2-M25		76,83	56,43	10,44
1 : 15	2BI	8.238 uv		8,463	8,848
1 : 16	2QC 0.27		115,4	93,99	37,51
	CRM IAEA				
1 : 17	TZ		255,7	180,4	58,69
1 : 18	L2-M24		151,7	35,28	8.038 uv
1 : 19	L2-M23		93,14	37,01	5.164 uv
1 : 20	L2-M22		152,1	23,43	3.601 uv
1 : 21	L2-M21		98,29	41,94	7,56
1 : 22	L2-M20		53,11	20,21	5.874 uv
1 : 23	L2-M19		151,8	28,21	3.397 uv
1 : 24	L2-M18		65,2	21,59	5.827 uv
1 : 25	L2-M17		106,1	15,13	5.248 uv
1 : 26	L2-M16		43,3	57,79	5.401 uv
1 : 27	L2-M15		113	31,36	4.160 uv
1 : 28	L2-M14		113,6	78,75	12,58
1 : 29	L2-M13		112,3	19,82	4.543 uv
1 : 30	2BI	9.302 uv	8.183 uv	7.307 uv	
1 : 31	2QC 0.106		51,81	39,95	19
1 : 32	CRM IAEA		134,8	73,36	19,8
1 : 33	L2-M12		112,8	30,4	5.665 uv
1 : 34	L2-M11		90,09	23,56	3.487 uv
1 : 35	L2-M10		88,3	21,87	5.747 uv

1 : 36	L2-M9	131,6	36,95	7,514
1 : 37	L2-M8	200,1	42,46	4.774 uv
1 : 38	L2-M7	114,7	17,5	3.735 uv
1 : 39	L2-M6	75,03	19,09	5.328 uv
1 : 40	L2-M5	103,4	31,45	6.904 uv
1 : 41	L2-M4	128,6	35,21	10,33
1 : 42	L2-M3	223,8	26,87	7.085 uv
1 : 43	L2-M2	94,38	79,61	10,28
1 : 44	L2-M1	80,18	18,74	5.966 uv
1 : 45	CRM CHino	88,17	35,46	11,92
1 : 46	2QC 0.1	51,15	40,74	18,44
1 : 47	bl	9,264	8,196	5.370 uv
1 : 48	bl	9,352	7,311	6.458 uv

Type	Solution Label	Th	Th	Th
Blank	Blanco	0,00000	0,00000	0,00000
Standard	0.05 Th	0,05550	0,05550	0,05550
Standard	0.1Th	0,10610	0,10610	0,10610
Standard	0.25 Th	0,27000	0,27000	0,27000
Standard	0.5 Th	0,52600	0,52600	0,52600
Standard	1 Th	1,05500	1,05500	1,05500
Standard	2.5 Th	2,58000	2,58000	2,58000
Standard	5 Th	5,21000	5,21000	5,21000
Standard	10 Th	9,69000	9,69000	9,69000
Sample	Bvi	0,00815	0,00677	0,01500
Sample	2Bl	0,00378	0,00651	0,02779
Sample	2Bl	0,00656	0,00562	0,01365
Sample	bl	0,00669	0,00286	0,00585
Sample	bl	0,00646	0,00566	-0,00413
Sample	2QC 0.106	0,11777	0,10613	0,12094
Sample	2QC 0.1	0,11603	0,10862	0,11584
Sample	2QC 0.27	0,28418	0,27712	0,29082
Sample	Qc 2.58	2,59218	2,58138	2,58458
Sample	CRM CHino	0,21288	0,09193	0,05597
Sample	CRM IAEA	0,33483	0,21184	0,12828
	CRM IAEA			
Sample	TZ	0,65127	0,55066	0,48525
Sample	L1-M5	0,13594	0,02864	-0,00532
Sample	L1-M6	0,20942	0,03249	-0,01599
Sample	L1-M9	0,17552	0,03212	-0,02307
Sample	L1-M10	0,20999	0,02743	-0,01223
Sample	L1-M21	0,08297	0,13731	0,01198
Sample	L1-M22	0,10927	0,14910	0,01366
Sample	L2-M01	0,19198	0,03903	0,00134

Sample	L2-M02	0,22912	0,23161	0,04094
Sample	L2-M03	0,56768	0,06475	0,01161
Sample	L2-M4	0,31875	0,09112	0,04134
Sample	L2-M5	0,25285	0,07925	0,00995
Sample	L2-M6	0,17852	0,04013	-0,00451
Sample	L2-M7	0,28234	0,03510	-0,01913
Sample	L2-M8	0,50572	0,11408	-0,00960
Sample	L2-M9	0,32654	0,09664	0,01555
Sample	L2-M10	0,21324	0,04893	-0,00067
Sample	L2-M11	0,21790	0,05428	-0,02142
Sample	L2-M12	0,27738	0,07592	-0,00142
Sample	L2-M13	0,27599	0,04244	-0,01172
Sample	L2-M14	0,27948	0,22889	0,06207
Sample	L2-M15	0,27794	0,07894	-0,01524
Sample	L2-M16	0,09551	0,16258	-0,00384
Sample	L2-M17	0,25991	0,02758	-0,00525
Sample	L2-M18	0,15280	0,04803	0,00006
Sample	L2-M19	0,37945	0,06899	-0,02224
Sample	L2-M20	0,12117	0,04366	0,00050
Sample	L2-M21	0,23937	0,11243	0,01597
Sample	L2-M22	0,38025	0,05387	-0,02037
Sample	L2-M23	0,22590	0,09682	-0,00602
Sample	L2-M24	0,37901	0,09135	0,02035
Sample	L2-M25	0,18323	0,15826	0,04244
Sample	L2-M26	0,17494	0,12937	0,02356
Sample	L2-M27	0,19611	0,03286	-0,00432
Sample	L2-M28	0,35645	0,08501	0,02045
Sample	L2-M29	0,25214	0,18268	0,04003
Sample	L2-M30	0,22136	0,05375	0,01095



Muestra	Th 283.730										u Cdil	u bal	u matraz	u Cm	u rel
	R	R-Rblanco	Cdil	Vi/mi	Vf/mf	Factor Diluc	Cextracto	m	Cmuestra	mg/L					
	CPS		mg/L	g	g		mg/L	g	mg/kg						
CRM GBW07402	88,17	81,47	0,20	6,868	13,7744	2,01	0,40	0,5182	19,2253	0,0128	0,05	0,0122	0,6155	3,2017	
CRM IAEA	134,80	128,10	0,32	2,82	5,6589	2,01	0,64	0,5032	31,5982	0,0125	0,05	0,0122	0,6222	1,9689	
CRM IAEA TZ	255,70	249,00	0,62	2,6034	5,218	2,00	1,25	0,5177	60,3504	0,0130	0,05	0,0122	0,6293	1,0427	
L1-M5	58,76	52,06	0,12	6,7486	13,5018	2,00	0,25	0,5018	12,3713	0,0130	0,05	0,0122	0,6490	5,2461	
L1-M6	86,84	80,14	0,20	7,0171	14,0106	2,00	0,39	0,5417	17,9984	0,0128	0,05	0,0122	0,5893	3,2742	
L1-M9	73,89	67,19	0,16	6,1764	12,3491	2,00	0,32	0,5037	16,1242	0,0129	0,05	0,0122	0,6392	3,9640	
L1-M10	87,06	80,36	0,20	6,6404	13,2963	2,00	0,39	0,5085	19,2831	0,0128	0,05	0,0122	0,6277	3,2552	
L1-M21	38,51	31,81	0,07	6,384	12,7735	2,00	0,15	0,5059	7,1948	0,0133	0,05	0,0122	0,6554	9,1088	
L1-M22	48,56	41,86	0,10	4,6528	9,747	2,09	0,21	0,5018	10,2542	0,0131	0,05	0,0122	0,6547	6,3844	
L2-M1	80,18	73,48	0,18	5,6929	11,3891	2,00	0,36	0,5028	17,7492	0,0128	0,05	0,0122	0,6376	3,5921	
L2-M2	94,38	87,68	0,21	5,8896	11,7755	2,00	0,43	0,5058	21,1918	0,0127	0,05	0,0122	0,6284	2,9653	
L2-M3	223,80	217,10	0,54	5,8315	11,7587	2,02	1,09	0,5006	54,6430	0,0127	0,05	0,0122	0,6364	1,1647	
L2-M4	128,60	121,90	0,30	5,503	11,0887	2,02	0,61	0,5032	30,1554	0,0125	0,05	0,0122	0,6230	2,0661	
L2-M5	103,40	96,70	0,24	5,5792	11,4466	2,05	0,49	0,5008	24,3057	0,0126	0,05	0,0122	0,6318	2,5994	
L2-M6	75,03	68,33	0,17	5,681	11,4423	2,01	0,33	0,5064	16,4439	0,0129	0,05	0,0122	0,6353	3,8632	
L2-M7	114,70	108,00	0,27	5,5332	11,0458	2,00	0,53	0,5118	25,9356	0,0126	0,05	0,0122	0,6152	2,3722	
L2-M8	200,10	193,40	0,48	5,7421	11,4779	2,00	0,96	0,5007	48,1594	0,0126	0,05	0,0122	0,6290	1,3062	
L2-M9	131,60	124,90	0,31	5,8988	11,8124	2,00	0,62	0,5077	30,4525	0,0125	0,05	0,0122	0,6171	2,0263	
L2-M10	88,30	81,60	0,20	7,0269	14,1412	2,01	0,40	0,5055	19,8084	0,0128	0,05	0,0122	0,6310	3,1853	
L2-M11	90,09	83,39	0,20	4,6508	9,3415	2,01	0,41	0,5126	19,9413	0,0127	0,05	0,0122	0,6216	3,1170	
L2-M12	112,80	106,10	0,26	6,3262	12,5898	1,99	0,52	0,5028	25,8414	0,0126	0,05	0,0122	0,6267	2,4252	
L2-M13	112,30	105,60	0,26	6,6567	13,4692	2,02	0,53	0,5003	26,2769	0,0126	0,05	0,0122	0,6300	2,3975	
L2-M14	113,60	106,90	0,26	6,0905	12,1503	1,99	0,53	0,5047	26,0074	0,0126	0,05	0,0122	0,6242	2,3999	
L2-M15	113,00	106,30	0,26	4,1787	8,3439	2,00	0,52	0,5036	25,9371	0,0126	0,05	0,0122	0,6257	2,4123	

L2-M16	43,30	36,60	0,08	6,9309	14,1004	2,03	0,17	0,4998	8,6408	0,0132	0,05	0,0122	0,6604	7,6428
L2-M17	106,10	99,40	0,24	6,7421	13,4652	2,00	0,49	0,5068	24,0548	0,0126	0,05	0,0122	0,6235	2,5921
L2-M18	65,20	58,50	0,14	5,3842	10,7733	2,00	0,28	0,5047	13,9203	0,0130	0,05	0,0122	0,6420	4,6120
L2-M19	151,80	145,10	0,36	6,0774	12,0837	1,99	0,72	0,5001	35,7874	0,0125	0,05	0,0122	0,6247	1,7455
L2-M20	53,11	46,41	0,11	6,7353	13,5897	2,02	0,22	0,5148	10,7575	0,0131	0,05	0,0122	0,6356	5,9085
L2-M21	98,29	91,59	0,22	6,2141	12,4466	2,00	0,45	0,5104	22,0112	0,0127	0,05	0,0122	0,6215	2,8233
L2-M22	152,10	145,40	0,36	3,5397	7,4232	2,10	0,76	0,5081	37,2303	0,0125	0,05	0,0122	0,6149	1,6517
L2-M23	93,14	86,44	0,21	6,2615	12,6549	2,02	0,43	0,5026	21,2420	0,0127	0,05	0,0122	0,6328	2,9792
L2-M24	151,70	145,00	0,36	6,0239	12,5418	2,08	0,75	0,5019	37,3133	0,0125	0,05	0,0122	0,6225	1,6684
L2-M25	76,83	70,13	0,17	6,3839	12,7829	2,00	0,34	0,5092	16,7066	0,0128	0,05	0,0122	0,6310	3,7768
L2-M26	73,66	66,96	0,16	6,9988	14,0063	2,00	0,32	0,5317	15,2343	0,0129	0,05	0,0122	0,6056	3,9753
L2-M27	81,76	75,06	0,18	6,5148	13,1236	2,01	0,37	0,5039	18,2335	0,0128	0,05	0,0122	0,6355	3,4855
L2-M28	143,00	136,30	0,34	6,4211	12,8691	2,00	0,68	0,5041	33,5691	0,0125	0,05	0,0122	0,6202	1,8476
L2-M29	103,20	96,50	0,24	6,7899	13,5466	2,00	0,47	0,5067	23,3107	0,0126	0,05	0,0122	0,6245	2,6789
L2-M30	91,41	84,71	0,21	4,6088	9,3104	2,02	0,42	0,5010	20,8578	0,0127	0,05	0,0122	0,6355	3,0467

Anexo IV:

FLUORESCENCIA Y

DIFRACCIÓN DE RAYOS X

LOTE 1:***Resultados semicuantitativos elementos mayoritarios Quantexpress por pastilla con perdida fuego y normalizando a 100***

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	TiO ₂	MgO	P ₂ O ₅	SO ₃	MnO	Perdida fuego
Th1	75,4%	11,9%	2,5%	3,1%	1,0%	0,6%	0,6%	0,4%	0,1%	0,05%	0,03%	4,2%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	CaO	TiO ₂	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	MnO	
Th2	57,9%	22,9%	5,5%	2,0%	1,2%	0,8%	0,6%	0,3%	0,0%	0,05%	0,02%	8,6%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	TiO ₂	MgO	P ₂ O ₅	MnO	SO ₃	
Th3	74,4%	13,7%	2,7%	3,0%	0,9%	0,6%	0,6%	0,5%	0,1%	0,04%	0,03%	3,3%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	CaO	TiO ₂	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	MnO	
Th4	58,5%	22,4%	5,2%	2,1%	1,4%	0,8%	0,6%	0,4%		0,05%	0,04%	8,5%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	CaO	MgO	P ₂ O ₅	MnO	SO ₃	
Th5	76,3%	12,5%	2,5%	3,0%	1,0%	0,6%	0,6%	0,5%	0,1%	0,04%	0,03%	2,8%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	CaO	TiO ₂	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	MnO	
Th6	64,5%	18,9%	4,6%	2,3%	1,0%	0,6%	0,5%	0,5%	0,1%	0,04%	0,03%	7,0%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	TiO ₂	MgO	P ₂ O ₅	SO ₃	MnO	
Th7	74,8%	13,4%	2,6%	3,0%	0,9%	0,6%	0,6%	0,5%	0,1%	0,04%	0,04%	3,2%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	CaO	TiO ₂	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	SO ₃	
Th8	62,8%	20,0%	4,8%	2,3%	1,1%	0,7%	0,5%	0,5%	0,1%	0,04%	0,04%	7,0%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	Na ₂ O	MgO	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SO ₃	
Th9	69,8%	15,1%	3,3%	2,6%	1,2%	1,2%	0,7%	0,5%	0,1%	0,10%	0,05%	5,1%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	CaO	TiO ₂	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	SO ₃	
Th10	64,9%	18,0%	4,4%	2,6%	0,9%	0,8%	0,6%	0,5%	0,1%	0,07%	0,05%	6,9%

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	Na ₂ O	MgO	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SO ₃	
Th11	69,1%	15,4%	3,4%	2,6%	1,1%	1,0%	0,7%	0,5%	0,1%	0,09%	0,06%	5,6%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	CaO	TiO ₂	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	SO ₃	
Th12	56,3%	22,9%	5,9%	2,0%	1,4%	0,9%	0,5%	0,3%	0,1%	0%	0,03%	9,6%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	Na ₂ O	MgO	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SO ₃	
Th13	69,9%	15,3%	3,5%	2,5%	1,2%	0,9%	0,7%	0,6%	0,1%	0,10%	0,07%	5,0%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	CaO	TiO ₂	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	SO ₃	
Th14	65,1%	17,5%	5,0%	2,6%	1,0%	0,8%	0,5%	0,5%	0,1%	0,09%	0,03%	6,6%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	Na ₂ O	MgO	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SO ₃	
Th15	70,3%	14,9%	3,3%	2,5%	1,3%	0,9%	0,7%	0,5%	0,1%	0,10%	0,06%	5,1%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	CaO	TiO ₂	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	SO ₃	
Th16	66,2%	17,0%	4,9%	2,7%	0,8%	0,8%	0,6%	0,5%	0,1%	0,11%	0,07%	6,1%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	Na ₂ O	MgO	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SO ₃	
Th17	70,2%	15,1%	3,4%	2,5%	1,3%	1,0%	0,7%	0,6%	0,1%	0,10%	0%	4,8%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	CaO	TiO ₂	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	SO ₃	
Th18	57,3%	22,5%	5,8%	2,1%	1,3%	1,0%	0,5%	0,3%	0,1%	0,06%	0,04%	8,9%

	SiO ₂	CaO	SO ₃	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Cl	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Perdida fuego
Th19	47,7%	18,5%	6,9%	5,6%	2,7%	2,0%	2,0%	1,4%	1,3%	0,3%	0,2%	0,03%	11,6%
	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	MgO	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	Cl	SO ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	
Th20	77,3%	5,7%	4,5%	2,1%	1,8%	1,4%	1,1%	1,0%	0,4%	0,2%	0,1%	0,01%	4,3%
	SiO ₂	CaO	Na ₂ O	Cl	Al ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	
Th21	41,4%	19,6%	6,4%	5,1%	3,8%	3,1%	2,3%	1,2%	1,0%	0,2%	0,1%	0,02%	15,4%
	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	Cl	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	SO ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	
Th22	65,6%	11,4%	3,9%	2,9%	2,7%	1,6%	1,2%	1,1%	0,4%	0,2%	0,1%	0,02%	8,7%
	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	MgO	SO ₃	Cl	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	
Th23	38,3%	24,9%	4,5%	3,6%	3,6%	2,2%	2,0%	1,4%	1,2%	0,2%	0,1%	0,03%	17,7%

	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Cl	SO ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	
Th24	54,7%	18,5%	3,7%	2,7%	2,0%	1,2%	1,2%	0,9%	0,7%	0,2%	0,1%	0,02%	14,0%
	SiO ₂	CaO	SO ₃	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Cl	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	
Th25	46,5%	19,9%	8,3%	5,2%	2,6%	1,6%	1,6%	1,4%	0,7%	0,3%	0,2%	0,03%	11,3%
	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Cl	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	
Th26	71,1%	10,0%	3,9%	2,4%	1,3%	1,3%	1,0%	0,3%	0,2%	0,2%	0,1%	0,01%	8,1%
	SiO ₂	CaO	Na ₂ O	Cl	MgO	Al ₂ O ₃	SO ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	
Th27	33,8%	25,8%	6,0%	4,5%	3,9%	2,6%	1,1%	1,0%	0,8%	0,1%	0,1%	0,02%	19,8%
	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Cl	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	
Th28	72,1%	10,1%	3,9%	2,4%	1,3%	1,3%	1,0%	0,3%	0,2%	0,2%	0,1%	0,02%	7,0%
	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	TiO ₂	Cl	P ₂ O ₅	MnO	
Th29	50,5%	19,7%	7,0%	2,5%	2,5%	1,7%	1,1%	1,1%	0,4%	0,3%	0,2%	0,04%	12,8%
	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	Cl	SO ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	
Th30	77,5%	5,3%	4,4%	2,3%	2,0%	1,4%	1,1%	0,8%	0,6%	0,2%	0,1%	0,02%	4,0%

**Resultados cuantitativos elementos
traza con GEOQUANT por pastilla**

Sampl e	Sc (PP M)	V (PP M)	Cr (PP M)	Co (PP M)	Ni (PP M)	Cu (PP M)	Zn (PP M)	Ga (PP M)	As (PP M)	Rb (PP M)	Sr (PP M)	Y (PP M)	Zr (PP M)	Nb (PP M)	Mo (PP M)	Sn (PP M)	Sb (PP M)	Cs (PP M)	Ba (PP M)	La (PP M)	Ce (PP M)	Pb (PP M)	Th (PP M)	U (PP M)
RafaG Th1	6	51	45	30	15	15	48	16	21	152	99	22	519	21	0	3	8	24	526	14	36	22	13	4
RafaG Th2	17	75	49	5	36	17	104	31	17	216	82	24	313	25	2	6	11	69	272	16	53	20	14	2

RafaG																									
Th3	7	53	44	17	19	16	51	17	17	155	101	24	560	23	1	2	10	26	502	8	47	21	12	3	
RafaG																									
Th4	16	74	46	13	40	18	99	30	16	217	87	40	319	25	1	5	11	73	259	26	171	21	16	3	
RafaG																									
Th5	8	54	51	9	16	16	45	16	16	147	101	21	551	22	1	3	8	20	514	13	38	20	12	4	
RafaG																									
Th6	13	76	43	11	25	17	75	24	21	187	67	23	262	21	1	4	11	54	322	15	54	23	13	3	
RafaG																									
Th7	5	52	42	22	18	15	50	18	17	161	103	23	552	23	1	4	8	27	497	10	40	21	13	4	
RafaG																									
Th8	15	76	42	14	30	15	87	27	20	208	78	25	293	22	2	3	10	59	303	24	79	25	16	3	
RafaG																									
Th9	9	53	47	20	31	26	86	21	18	154	186	42	404	27	1	3	8	20	754	35	81	35	14	3	
RafaG																									
Th10	15	72	72	15	42	30	89	24	22	204	85	50	417	29	1	4	9	39	601	44	82	28	19	5	
RafaG																									
Th11	8	53	47	23	33	27	98	23	16	162	168	45	395	27	1	4	7	24	740	42	85	39	15	4	
RafaG																									
Th12	17	76	85	11	76	31	132	34	19	237	68	81	314	27	1	5	8	57	344	90	109	24	16	2	
RafaG																									
Th13	10	54	52	6	34	25	90	22	15	158	176	44	403	27	1	4	8	27	755	38	91	34	15	4	
RafaG																									
Th14	13	88	81	16	50	32	92	24	26	205	72	55	339	24	1	3	10	41	568	45	115	29	17	4	
RafaG																									
Th15	8	51	42	5	31	22	88	22	15	155	188	42	405	27	1	2	6	21	770	41	82	33	14	4	
RafaG																									
Th16	13	92	74	20	45	30	87	23	29	204	74	54	361	26	1	7	12	39	631	43	131	35	19	4	
RafaG																									
Th17	8	53	52	5	30	23	88	22	14	154	191	42	383	27	1	4	7	18	745	42	90	33	14	3	

RafaG																									
Th18	18	75	76	14	67	32	124	33	20	234	70	62	322	28	1	5	8	58	444	58	123	25	18	3	
RafaG																									
Th19	1	83	45	1	15	19	43	9	32	66	970	13	174	8	13	0	16	10	446	13	16	16	7	15	
RafaG																									
Th20	4	107	19	50	10	12	23	9	35	57	407	15	105	8	1	0	11	2	913	2	8	6	6	30	
RafaG																									
Th21	2	91	14	0	11	15	28	8	64	72	0	3	104	6	19	0	5	6	334	0	4	4	11	23	
RafaG																									
Th22	1	138	28	36	9	13	25	8	61	55	598	12	105	8	3	0	7	0	545	9	16	6	6	39	
RafaG																									
Th23	0	168	42	2	16	20	39	8	56	59	0	10	123	6	5	0	13	17	434	13	7	14	7	17	
RafaG																									
Th24	3	191	25	32	12	14	30	8	63	53	862	12	82	7	5	0	12	11	468	9	14	13	6	28	
RafaG																									
Th25	3	79	48	0	15	19	43	10	29	65	2	14	184	9	7	0	15	11	453	7	16	17	7	11	
RafaG																									
Th26	2	200	20	34	10	10	24	8	83	53	509	15	95	8	3	0	9	3	621	11	16	6	5	43	
RafaG																									
Th27	0	136	11	10	8	15	29	5	67	61	7	3	80	5	11	0	3	2	253	3	9	5	11	19	
RafaG																									
Th28	3	128	30	25	8	12	22	8	49	54	494	14	110	8	2	0	8	2	703	3	8	5	5	35	
RafaG																									
Th29	5	101	72	3	22	26	46	10	46	77	686	15	180	10	4	0	32	24	490	14	29	18	6	8	
RafaG																									
Th30	3	126	19	10	9	9	24	9	30	55	386	14	114	8	2	0	10	9	763	5	11	6	6	33	

LOTE 2

Resultados semicuantitativos elementos mayoritarios Quantexpres por pastilla con perdida fuego y normalizando a 100

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	MgO	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	SO ₃	Na ₂ O	Perdida fuego
IAEA-312 soil	52,2%	27,8%	2,5%	2,2%	1,7%	1,7%	0,5%	0,1%	0,06%	0,04%	0,04%	11,1%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	Na ₂ O	MgO	TiO ₂	SO ₃	P ₂ O ₅	MnO	
Th1	67,4%	16,2%	3,0%	2,0%	1,2%	1,0%	0,6%	0,5%	0,16%	0,13%	0,08%	7,6%
	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	MnO	
Th2	37,0%	22,7%	9,5%	3,0%	1,9%	1,5%	0,4%	0,4%	0,25%	0,17%	0,08%	23,0%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	CaO	TiO ₂	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	SO ₃	
Th3	58,1%	17,7%	7,0%	2,8%	1,5%	1,0%	1,0%	0,7%	0,22%	0,17%	0,11%	9,5%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	MnO	
Th4	59,7%	20,1%	4,2%	2,2%	2,2%	1,2%	0,5%	0,4%	0,08%	0,08%	0,06%	9,1%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	MnO	
Th5	62,9%	16,9%	3,9%	2,6%	1,7%	1,5%	0,6%	0,5%	0,10%	0,09%	0,06%	9,0%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	MnO	
Th6	62,7%	15,6%	4,1%	2,7%	1,7%	1,1%	0,6%	0,5%	0,22%	0,17%	0,09%	10,3%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	MnO	
Th7	60,7%	16,5%	4,9%	2,4%	2,0%	1,3%	0,7%	0,5%	0,17%	0,13%	0,11%	10,3%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	SO ₃	
Th8	59,7%	19,8%	4,7%	3,0%	1,8%	1,3%	0,7%	0,4%	0,08%	0,04%	0,04%	8,2%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	Na ₂ O	TiO ₂	MgO	SO ₃	P ₂ O ₅	MnO	
Th9	64,3%	12,6%	2,5%	2,1%	1,1%	1,0%	0,4%	0,4%	0,22%	0,18%	0,11%	15,0%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	Na ₂ O	SO ₃	MgO	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	
Th10	61,7%	11,3%	3,1%	3,0%	1,6%	1,1%	0,9%	0,6%	0,42%	0,28%	0,08%	15,9%

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SO ₃	
Th11	69,1%	15,4%	3,4%	2,7%	1,4%	1,3%	0,6%	0,6%	0,09%	0,06%	0,05%	5,2%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SO ₃	
Th12	66,2%	13,7%	4,1%	2,7%	2,5%	2,5%	0,7%	0,6%	0,08%	0,06%	0,05%	6,8%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	SO ₃	
Th13	63,9%	16,3%	4,9%	2,5%	1,4%	1,2%	0,7%	0,7%	0,13%	0,11%	0,07%	7,9%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	SO ₃	P ₂ O ₅	MnO	
Th14	49,6%	13,4%	13,3%	3,4%	2,1%	1,3%	0,4%	0,3%	0,21%	0,11%	0,04%	15,3%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	MnO	
Th15	62,0%	14,7%	5,5%	4,0%	2,6%	2,0%	0,7%	0,4%	0,15%	0,14%	0,11%	7,3%
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	SO ₃	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	
Th16	36,9%	21,9%	5,1%	1,6%	1,3%	0,9%	0,3%	0,3%	0,24%	0,10%	0,03%	31,2%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	Na ₂ O	MgO	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SO ₃	
Th17	64,7%	17,6%	4,6%	2,1%	1,3%	0,8%	0,8%	0,7%	0,10%	0,09%	0,09%	7,0%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	CaO	TiO ₂	MgO	P ₂ O ₅	SO ₃	MnO	
Th18	72,7%	14,6%	2,7%	2,2%	1,3%	0,7%	0,5%	0,4%	0,12%	0,07%	0,05%	4,6%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	TiO ₂	Na ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	SO ₃	
Th19	52,3%	16,4%	8,3%	5,8%	3,4%	2,1%	0,9%	0,6%	0,26%	0,22%	0,13%	9,3%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	MgO	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	MnO	
Th20	73,3%	13,8%	3,6%	2,5%	1,4%	0,9%	0,8%	0,5%	0,15%	0,08%	0,07%	2,8%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	SO ₃	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	
Th21	59,8%	13,5%	4,1%	3,5%	2,7%	1,2%	0,8%	0,7%	0,49%	0,29%	0,08%	12,7%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	MgO	TiO ₂	SO ₃	P ₂ O ₅	MnO	Na ₂ O	
Th22	52,2%	15,1%	6,4%	4,2%	2,1%	1,8%	0,6%	0,4%	0,32%	0,12%	0,11%	16,3%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	MnO	
Th23	62,0%	14,4%	5,1%	3,6%	2,5%	1,1%	1,1%	0,5%	0,14%	0,11%	0,08%	9,3%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	TiO ₂	K ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	SO ₃	
Th24	55,1%	15,0%	8,3%	7,3%	6,8%	1,6%	0,8%	0,6%	0,13%	0,10%	0,04%	4,1%

	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	MnO	
Th25	55,0%	14,7%	9,7%	2,9%	2,7%	1,6%	0,8%	0,4%	0,14%	0,09%	0,06%	11,8%
	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	MnO	
Th26	62,1%	10,7%	10,1%	3,1%	2,1%	1,4%	0,7%	0,5%	0,31%	0,16%	0,06%	8,7%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	P ₂ O ₅	CaO	Na ₂ O	MgO	TiO ₂	SO ₃	MnO	
Th27	60,3%	15,1%	3,5%	3,4%	1,7%	1,1%	0,8%	0,6%	0,44%	0,26%	0,05%	12,6%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SO ₃	
Th28	64,9%	15,1%	4,9%	3,8%	2,4%	2,2%	1,8%	0,6%	0,36%	0,11%	0,07%	3,4%
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	TiO ₂	SO ₃	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	
Th29	32,4%	25,9%	7,3%	4,3%	1,3%	1,2%	0,3%	0,3%	0,27%	0,22%	0,21%	25,9%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	MnO	
Th30	64,4%	15,5%	4,0%	2,7%	2,1%	1,3%	0,7%	0,6%	0,31%	0,16%	0,10%	8,1%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	MnO	
Th31	63,9%	18,1%	3,6%	2,8%	1,3%	0,9%	0,6%	0,4%	0,11%	0,09%	0,06%	8,0%

**Resultados cuantitativos elementos
traza con GEOQUANT por pastilla**

Sample	Sc (PP M)	V (PP M)	Cr (PP M)	Co (PPM)	Ni (PP M)	Cu (PPM)	Zn (PP M)	Ga (PP M)	As (PP M)	Rb (PP M)	Sr (PP M)	Y (PP M)	Zr (PP M)	Nb (PP M)	Mo (PP M)	Sn (PP M)	Sb (PP M)	Cs (PP M)	Ba (PP M)	La (PP M)	Ce (PP M)	Pb (PP M)	Th (PP M)	U (PP M)
IAEA-312																								
soil	7	66	6	0	9	5	62	39	15	219	76	48	666	45	4	12	9	29	223	132	267	42	132	22
Th 1 G	8	47	26	12	20	32	130	25	26	143	218	30	335	30	3	6	6	25	571	30	72	119	19	4
Th 2 G	5	137	35	6	37	55	190	12	38	88	304	23	141	11	4	0	13	7	371	21	40	71	9	6

Th 3 G	30	196	34	19	45	73	189	21	70	140	146	60	223	12	2	2	11	25	827	29	80	79	7	3
Th 4 G	14	54	26	5	30	18	95	31	5	225	105	83	334	31	1	4	4	14	554	62	91	25	25	3
Th 5 G	13	53	23	4	22	21	119	25	7	173	158	50	375	25	1	5	5	20	875	50	95	24	18	3
Th 6 G	14	75	33	9	31	38	180	25	17	212	197	44	359	29	1	5	9	35	927	50	91	85	15	2
Th 7 G	18	100	87	11	52	41	132	23	22	158	185	37	296	21	2	4	8	26	793	24	69	39	14	3
Th 8 G	20	88	23	3	20	29	92	25	19	166	109	45	537	21	1	5	4	30	925	43	97	30	26	6
Th 9 G	8	38	10	5	13	33	143	20	9	128	174	42	372	27	2	3	6	7	705	52	118	93	18	4
Th 10 G	6	62	21	4	20	52	266	20	8	178	174	40	391	24	3	8	7	17	698	45	89	58	17	4
Th 11 G	11	53	25	5	23	18	79	24	10	169	162	47	400	23	0	4	6	9	829	45	83	25	16	5
Th 12 G	15	83	20	2	20	19	100	23	15	137	242	33	327	22	2	2	4	6	625	25	69	33	16	4
Th 13 G	18	96	83	10	53	45	229	25	30	178	125	53	368	33	1	4	8	23	505	34	92	77	17	3
																		201						
Th 14 G	8	55	25	2	24	17	125	22	11	159	219	47	321	21	1	1	1	7	1	43	63	44	16	4
Th 15 G	22	152	142	15	75	70	481	17	58	162	120	28	227	13	2	2	13	15	718	1	47	203	8	3
Th 16 G	0	67	12	1	22	22	56	8	21	46	562	13	107	7	3	0	3	4	420	24	16	13	7	6
Th 17 G	16	99	52	7	38	33	195	24	29	141	138	41	353	27	1	2	5	12	641	24	71	79	13	3
Th 18 G	7	34	13	0	11	12	54	24	9	203	91	33	394	42	1	23	6	8	444	19	58	21	20	4
Th 19 G	39	279	96	27	86	89	296	22	32	161	161	37	180	10	2	1	8	45	419	1	34	93	6	3
																		179						
Th 20 G	8	45	36	4	16	20	54	17	11	210	349	25	272	15	1	2	5	9	1	32	50	40	10	3
Th 21 G	12	83	50	6	32	41	187	21	16	168	215	40	285	23	2	5	8	29	617	35	72	84	16	3
																		191						
Th 22 G	25	259	125	26	76	58	214	20	189	458	129	27	165	9	3	0	13	45	9	14	38	46	5	2
Th 23 G	11	67	31	4	24	27	116	22	15	139	419	38	318	24	2	1	7	15	826	32	78	33	15	4
Th 24 G	48	287	370	36	167	105	92	20	3	16	358	36	90	3	1	0	4	3	149	0	8	13	3	3
Th 25 G	7	68	64	4	40	40	86	14	12	194	192	23	176	11	2	0	10	24	938	11	19	32	7	4
Th 26 G	11	79	80	5	37	34	125	13	19	109	161	23	176	12	1	2	9	13	603	16	34	57	7	3
Th 27 G	11	55	41	4	22	34	169	22	73	271	130	25	259	20	2	4	21	29	759	25	58	176	15	4

Th 28 G	18	132	5	13	19	1296	245	28	137	117	512	34	265	19	7	1	34	8	534	27	73	150	19	7
Th 29 G	2	87	18	8	30	945	665	12	221	78	239	23	138	8	8	5	69	7	269	16	43	538	35	6
Th 30 G	13	72	70	9	38	34	149	23	14	169	168	39	366	25	1	4	9	28	668	26	75	79	14	4
Th 31 G	11	40	17	3	20	15	101	29	10	204	118	53	338	28	1	6	7	15	603	57	107	27	21	4