



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES AVANZADOS
DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

Título:

“Estudio de métodos de determinación de actividad de ^{234}U y ^{238}U en agua y suelo de la zona nogalera de Jiménez en el Estado de Chihuahua”

**TESIS
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AMBIENTAL**

Presenta:

Carmen del Rocío Caraveo Castro

ASESOR:

Dra. María Elena Montero Cabrera

ASESOR EXTERNO:

Dra. Carmen Griselda Méndez García

CHIHUAHUA, CHIH.

FEBRERO, 2018

RESUMEN

El municipio de Jiménez se distingue por sus grandes extensiones agrícolas, principalmente de nogal. El abastecimiento de agua para irrigación y consumo de las nogaleras se obtiene de pozos de agua subterránea. Elementos como el uranio y los metales pesados se encuentran en las rocas características de la región. Con ello, estos elementos son lixiviados y puestos en solución; dichos elementos son altamente tóxicos para los organismos vivos. Además, dichas concentraciones en agua para irrigación producen aumento en las concentraciones de los mismos en suelo, su transferencia hacia las plantas, fitoacumulación en cultivos y propagación por la cadena alimentaria. Como resultado también se tiene reducción en la producción de nuez, problemas en el consumo y disponibilidad de estos recursos, y disminución de ingresos económicos para la población.

En este trabajo se realizó un muestreo de 7 pozos de agua de zona y muestras de suelo. A las muestras de agua se les midió in situ Temperatura (T), pH, Turbidez, Conductividad eléctrica (CE) y Sólidos Disueltos Totales (STD). El contenido de sales presentes en estas aguas supera el límite máximo permisible por la norma mexicana (NOM-127-SSA1). En estas muestras se realizó la determinación de la concentración de actividad de los isótopos naturales de uranio ^{238}U , ^{235}U y ^{234}U . Se aplicaron las técnicas de centelleo líquido, utilizando el equipo PERALS, y de espectroscopia alfa, con la cámara Canberra Modelo 7401VR con detector de semiconductor de implantación iónica tipo PIPS. En estos procedimientos fue necesario aplicar métodos especiales para eliminar las interferencias ocasionadas por el alto contenido de sales.

La calidad del procedimiento para la determinación de uranio en suelos se validó mediante la aplicación en el material de referencia certificado IAEA-375. En el mismo, por el método PERALS encontramos valores de ^{238}U 21.76-22.8 Bq/kg y de ^{234}U 19.64-21.53 Bq/kg. Para espectrometría alfa encontramos valores de ^{238}U 20.46-22.11 Bq/kg y de ^{234}U 17.04-17.61 Bq/kg. También encontramos una concentración de uranio de 1.8 ppm determinado por ICP-MS. Todos los valores anteriormente mencionados se encuentran en el intervalo de referencia del material certificado.

Por técnicas de centelleo líquido se encontraron valores de 0.050-0.676 Bq/kg de uranio total para muestras de suelo de la zona nogalera.

Para muestras de suelo de la zona nogalera, utilizando usando espectrometría alfa con extracción mediante resinas UTEVA, se encontraron valores de 0.061-0.701 Bq/kg.

Por técnicas de centelleo líquido se encontraron valores de 0.344-1.521 Bq/L de uranio total para muestras de agua de la zona nogalera.

Para muestras de agua de la zona nogalera, utilizando usando espectrometría alfa con multiextracción mediante resinas DOWEX-UTEVA, se encontraron valores de 0.027-0.478 Bq/L.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE TABLAS	9
SIGLAS,ABREVIATURAS Y SIMBOLOS	11
AGRADECIMIENTOS	13
Capítulo 1: Introducción.....	14
<i>1.1 Contaminación ambiental</i>	14
Problemática con el agua	14
Problemática de suelo	17
<i>1.2 Radiactividad</i>	18
<i>1.3 Medida de la radiactividad</i>	20
<i>1.4 Desintegraciones Sucesivas y Equilibrio Radiactivo</i>	23
<i>1.5 Uranio Natural</i>	25
<i>1.6 Características físicas</i>	26
<i>1.7 Uranio en el medio ambiente</i>	27
<i>1.8 Uranio en agua</i>	28
<i>1.9 Técnicas experimentales de determinación de uranio</i>	29
<i>1.10 Comportamiento del Uranio en la Naturaleza</i>	29
<i>1.11 Radiación en el medio ambiente</i>	30
Capítulo 2: Antecedentes.....	32
Capítulo 3: Justificación.....	36
Capítulo 4: Objetivo General Y Objetivos Específicos.....	38

4.1 Objetivo general	38
4.2 Objetivos específicos	38
Capítulo 5: Hipótesis.....	38
Capítulo 6: Materiales Y Métodos	39
6.1 Área de Estudio	39
6.2 Muestreo de agua	40
6.3 Equipos y Reactivos	41
6.3.1 Reactivos	41
6.3.2 Equipos	42
6.4 Métodos	42
6.4.1 Medición de pH	42
6.4.2 Medición de conductividad eléctrica (CE).	43
6.4.3 Medición de solidos totales disueltos (STD).	43
6.4.4 Medición de Temperatura	43
6.4.5 Puesta a punto del procedimiento de extracción de uranio y determinación radioquímica de uranio	43
6.4.6 Puesta a punto del procedimiento de extracción de uranio y determinación radioquímica de uranio en muestras de agua con alto contenido en sales.	58
Capítulo 7: Resultados Y Discusión	64
7.1 Resultados de actividad por el detector de centelleo líquido PERALS + URAEX para muestras de agua sintética y agua de grifo.	64

<i>7.2 Resultados de actividad por el detector de centelleo líquido PERALS + ALPHAEX y determinación de la actividad de los isótopos de uranio por el método de espectrometría alfa para muestras ambientales de agua.</i>	66
<i>7.3 Parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua de la zona de riego de Jiménez.</i>	71
<i>7.4 Resultados de actividad para muestras de agua de riego de la zona nogalera obtenidos mediante el detector de centelleo líquido PERALS.</i>	73
<i>7.5 Resultados de concentraciones del material de referencia IAEA-375</i>	78
<i>7.6 Resultados de actividad para muestras ambientales de suelo de la zona nogalera obtenidos por el detector de centelleo líquido PERALS.</i>	85
<i>7.7 Resultados de actividad obtenidos por el espectrómetro alfa para muestras de agua de las zonas nogaleras.</i>	90
<i>7.8 Resultados de actividad obtenidos por el espectrómetro alfa para muestras de suelo de las zonas nogaleras.</i>	95
<i>7.9 Comparación de los resultados obtenidos en muestras de agua por los detectores de centelleo líquido PERALS y el espectrómetro alfa</i>	97
<i>7.10 Comparación de los resultados obtenidos en muestras de suelo de la zona nogalera por los detectores de centelleo líquido PERALS y el espectrómetro alfa</i>	100
Capítulo 8: Conclusiones	102
Capítulo 9: Recomendaciones	103
Capítulo 10: Bibliografía	104
Capítulo 11: Anexos	109
Anexo # 1 Preparación portadora de Fe ⁺³ de 5 mg/ml	109

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: DESINTEGRACIÓN ALFA DEL ^{222}Ra	19
FIGURA 2: DESINTEGRACIÓN BETA DEL H-3.....	19
FIGURA 3: PODER DE PENETRACIÓN DE LAS RADIACIONES.....	19
FIGURA 4: SEMIVIDA O PERÍODO DE SEMIDESINTEGRACIÓN.....	21
FIGURA 5: SERIES O FAMILIAS RADIATIVAS.....	24
FIGURA 6: DISTRITOS URANÍFEROS EN LA REPÚBLICA MEXICANA.....	35
FIGURA 7: LOCALIZACIÓN DEL MUNICIPIO JIMÉNEZ Y EL ACUÍFERO JIMÉNEZ-CAMARGO.....	39
FIGURA 8 DETECTOR DE ESPECTROMETRÍA ALFA (CANBERRA) MODELO 7401 VR CON DETECTOR DE SEMICONDUCTOR DE IMPLANTACIÓN IÓNICA TIPO PIPS.....	44
FIGURA 9: DETECTOR DE CENTELLEO LÍQUIDO PERALS DE ORDELA.....	44
FIGURA 10: ESPECTRO DEL AGUA DESIONIZADA FORTIFICADA CON URANIO DE HPS.....	65
FIGURA 11. ESPECTRO DEL AGUA DE GRIFO FORTIFICADA CON URANIO DE HPS.....	65
FIGURA 12: ESPECTRO ALFA DE CENTELLEO LÍQUIDO DE LA MUESTRA “HIDRONEUMÁTICO” CON ESTÁNDAR DE URANIO NATURAL DE HIGH PURITY STANDARD. LA PRIMERA MANCHA SE CORRESPONDE AL ^{238}U , Y LA SEGUNDA, A LA SUMA $^{235}\text{U} + ^{234}\text{U}$. LA TERCERA MANCHA ES DE ^{218}Po Y LA CUARTA, DE ^{214}Po	67
FIGURA 13 ESPECTRO ALFA DE CENTELLEO LÍQUIDO DE LA MUESTRA “AGUA DE POZO” SIN ESTÁNDAR. LA PRIMERA MANCHA SE CORRESPONDE AL ^{238}U , Y LA SEGUNDA, A LA SUMA $^{235}\text{U} + ^{234}\text{U}$. LA TERCERA MANCHA ES DE ^{218}Po Y LA CUARTA, DE ^{214}Po	67
FIGURA 14: ESPECTRO ALFA DE CENTELLEO LÍQUIDO DE LA MUESTRA “RED MUNICIPAL” DEL MUNICIPIO DELICIAS. ARRIBA APARECE EL ESPECTRO SIN ESTÁNDAR Y ABAJO CON ESTÁNDAR INTERNO LA PRIMERA MANCHA SE CORRESPONDE AL ^{238}U , Y LA SEGUNDA, A LA SUMA $^{235}\text{U} + ^{234}\text{U}$. LA TERCERA MANCHA ES DE ^{218}Po Y LA CUARTA, DE ^{214}Po	68
FIGURA 15: ESPECTRO ALFA DE LA EXTRACCIÓN DE URANIO DE LA MUESTRA DE “HIDRONEUMÁTICO” CON ESTÁNDAR DE ^{232}U . EL PRIMER PICO SE CORRESPONDE AL ^{238}U , EL SEGUNDO (PEQUEÑO) AL ^{235}U , EL TERCERO SE CORRESPONDE AL ^{234}U Y EL CUARTO ES EL PICO DEL ESTÁNDAR ^{232}U	69
FIGURA 16: ESPECTRO ALFA DE LA EXTRACCIÓN DE URANIO DE LA MUESTRA DE “RED MUNICIPAL” CON ESTÁNDAR DE ^{232}U . EL PRIMER PICO SE CORRESPONDE AL ^{238}U , EL SEGUNDO (PEQUEÑO) AL ^{235}U , EL TERCERO SE CORRESPONDE AL ^{234}U Y EL CUARTO ES EL PICO DEL ESTÁNDAR ^{232}U	70

FIGURA 17:ESPECTRO ALFA DE LA EXTRACCIÓN DE URANIO DE LA MUESTRA DE “AGUA DE POZO” CON ESTÁNDAR DE ^{232}U . EL PRIMER PICO SE CORRESPONDE AL ^{238}U , EL SEGUNDO (PEQUEÑO) AL ^{235}U , EL TERCERO SE CORRESPONDE AL ^{234}U Y EL CUARTO ES EL PICO DEL ESTÁNDAR ^{232}U	70
FIGURA 18: ESPECTRO OBTENIDO DEL DETECTOR PERALS DE LA MUESTRA DE AGUA DE RIEGO PAMPAS	75
FIGURA 19:ESPECTRO OBTENIDO DEL DETECTOR PERALS DE LA MUESTRA DE AGUA DE RIEGO DIEGO .	75
FIGURA 20:ESPECTRO OBTENIDO DEL DETECTOR PERALS DE LA MUESTRA DE AGUA DE RIEGO CARMEN	76
FIGURA 21:ESPECTRO OBTENIDO DEL DETECTOR PERALS DE LA MUESTRA DE AGUA DE RIEGO PAVOLARI	76
FIGURA 22:ESPECTRO OBTENIDO DEL DETECTOR PERALS DE LA MUESTRA DE AGUA DE RIEGO CHAMIZAL	77
FIGURA 23:ESPECTRO OBTENIDO DEL DETECTOR PERALS DE LA MUESTRA DE AGUA DE RIEGO CHAMIZAL 2	77
FIGURA 24: ESPECTRO OBTENIDO DEL DETECTOR PERALS DE LA MUESTRA DE AGUA DE RIEGO ÁNGEL FERNÁNDEZ.....	78
FIGURA 25:ESPECTRO OBTENIDO DEL DETECTOR PERALS DEL MATERIAL DE REFERENCIA IAEA-375 ..	80
FIGURA 26:ESPECTRO OBTENIDO DEL ESPECTRÓMETRO ALFA DEL MATERIAL DE REFERENCIA IAEA-375	80
FIGURA 27:ESPECTRO OBTENIDO DEL DETECTOR PERALS DE LA MUESTRA DE LA MUESTRA DE SUELO DELA ZONA PAMPAS	87
FIGURA 28:ESPECTRO OBTENIDO DEL DETECTOR PERALS DE LA MUESTRA DE LA MUESTRA DE SUELO DELA ZONA NOGALERA DIEGO	87
FIGURA 29:ESPECTRO OBTENIDO DEL DETECTOR PERALS DE LA MUESTRA DE LA MUESTRA DE SUELO DELA ZONA NOGALERA CARMEN	88
FIGURA 30:ESPECTRO OBTENIDO DEL DETECTOR PERALS DE LA MUESTRA DE LA MUESTRA DE SUELO DELA ZONA NOGALERA PAVOLARI	88
FIGURA 31:ESPECTRO OBTENIDO DEL DETECTOR PERALS DE LA MUESTRA DE LA MUESTRA DE SUELO DELA ZONA NOGALERA CHAMIZAL 1Y2	89
FIGURA 32:ESPECTRO OBTENIDO DEL DETECTOR PERALS DE LA MUESTRA DE LA MUESTRA DE SUELO DE LA ZONA NOGALERA ÁNGEL FERNÁNDEZ.....	89
FIGURA 33:ESPECTRO OBTENIDO DEL ESPECTRÓMETRO ALFA DE LA MUESTRA DE AGUA DE RIEGO PAMPAS	92

FIGURA 34: ESPECTRO OBTENIDO DEL ESPECTRÓMETRO ALFA DE LA MUESTRA DE AGUA DE RIEGO ÁNGEL FERNÁNDEZ.....	92
FIGURA 35: ESPECTRO OBTENIDO DEL ESPECTRÓMETRO ALFA DE LA MUESTRA DE AGUA DE RIEGO DIEGO	93
FIGURA 36: ESPECTRO OBTENIDO DEL ESPECTRÓMETRO ALFA DE LA MUESTRA DE AGUA DE RIEGO CARMEN.....	93
FIGURA 37 : ESPECTRO OBTENIDO DEL ESPECTRÓMETRO ALFA DE LA MUESTRA DE AGUA DE RIEGO PAVOLARI.....	94
FIGURA 38: ESPECTRO OBTENIDO DEL ESPECTRÓMETRO ALFA DE LA MUESTRA DE AGUA DE RIEGO CHAMIZAL.....	94
FIGURA 39: ESPECTRO OBTENIDO DEL ESPECTRÓMETRO ALFA DE LA MUESTRA DE AGUA DE RIEGO CHAMIZAL 2.....	95

LISTA DE TABLAS

TABLA 1 TIPOS MÁS COMUNES DE LA RADIATIVIDAD.....	18
TABLA 2: TIPOS DE LOS ISÓTOPOS DE URANIO	26
TABLA 3: CONCENTRACIONES DE ²³⁸ U EN DISTINTOS TIPOS DE MATRICES	27
TABLA 4 CONCENTRACIÓN DE ACTIVIDAD DE URANIO EN PRODUCTOS DE ACTIVIDADES INDUSTRIALES .	28
TABLA 5: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS ISÓTOPOS DE URANIO NATURAL	29
TABLA 6: PRETRATAMIENTO PARA MUESTRAS DE SUELO QUE SERÁN LLEVADAS A ELECTRODEPOSICIÓN POR LE MÉTODO HALLSTADIUS	51
TABLA 7: DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE DIGESTIÓN PARA MUESTRAS DE SUELO	55
TABLA 8: PRE-TRATAMIENTO PARA PROCEDIMIENTO DE DETERMINACIÓN DE URANIO MEDIANTE CENTELLEO LÍQUIDO (PERALS) EN MUESTRAS NATURALES DE AGUA	59
TABLA 9: PRETRATAMIENTO MUESTRAS DE AGUA DE UNA ZONA DE RIEGO	61
TABLA 10 MUESTRA DE AGUA SINTÉTICA FORTIFICADA CON HIGH PURITY STANDARDS NO. 100064-1..	64
TABLA 11: MUESTRA DE AGUA DE GRIFO FORTIFICADA CON HIGH PURITY STANDARDS.....	65
TABLA 12: RESULTADOS DE LA ACTIVIDAD OBTENIDA POR EL DETECTOR DE CENTELLEO LIQUIDO PERALS UTILIZANDO ALPAHEX	66
TABLA 13: RESULTADOS DE LA ACTIVIDAD OBTENIDA POR EL ESPECTRÓMETRO ALFA UTILIZANDO EL MÉTODO HALLSTADIUS.....	69
TABLA 14: PARÁMETROS FISIQUÍMICOS DE LAS MUESTRAS DE AGUA DE RIEGO DE LAS ZONAS NOGALERAS Y PARÁMETROS DE NORMATIVIDAD AMBIENTAL.....	72
TABLA 15: CÁLCULOS PARA MUESTRAS DE AGUA DE AGUA DE UNA ZONA NOGALERA OBTENIDOS POR EL EQUIPO DE CENTELLEO LIQUIDO PERALS	74
TABLA 16: RESULTADOS OBTENIDOS DEL MATERIAL DE REFERENCIA IAEA-375, UTILIZANDO COMO EQUIPOS DE DETECCIÓN EL ICP-MS, PERALS Y EL DETECTOR ALFA. SE MUESTRAN LOS VALORES DE REFERENCIA DE LA MUESTRA CERTIFICADA EN ROJO PARA COMPARACIÓN.	79
TABLA 17: RESULTADOS DEL IAEA-375 OBTENIDOS EN EL ICP-OES	81
TABLA 18: CÁLCULOS PARA MUESTRAS DE SUELO DE UNA ZONA NOGALERA OBTENIDOS POR EL EQUIPO DE CENTELLEO LIQUIDO PERALS	86
TABLA 19: ACTIVIDAD DEL URANIO DE LAS MUESTRAS DE AGUA DE LA ZONA NOGALERA OBTENIDOS POR EL ESPECTRÓMETRO ALFA.....	91
TABLA 20: RESULTADOS DE MUESTRAS DE SUELO DE LA ZONA NOGALERA OBTENIDOS POR EL ESPECTRÓMETRO ALFA	96

*TABLA 21: COMPARACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE URANIO OBTENIDAS POR LOS MÉTODOS DE CENTELLEO
LÍQUIDO Y ESPECTROMETRÍA ALFA EN MUESTRAS DE AGUA. EN EL NOMBRE DE CADA MUESTRA APARECE
EL CONTENIDO DE SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS (STD) EN MG/L 97*

TABLA 22: COMPARACIÓN DE RESULTADOS POR ALFA Y PERALS EN SUELOS 101

SIGLAS, ABREVIATURAS Y SIMBOLOS

%	Porcentaje
α	Alpha
β	Beta
γ	Gamma
Bq	Becquerel
°C	Grados Centígrados
cm ³	Centímetros cúbicos
CE	Conductividad Eléctrica
g	Gramos
GPS	Sistema de posicionamiento Global
h	horas
kg	kilogramos
L	Litros
µl	microlitro
mg	Miligramo
ml	Mililitro

mm	Milímetro
M	Molaridad
N	Normalidad
nm	Nanómetro
ng	nanogramo
pH	Potencial de Hidrógeno
pka	Constante de disociación ácida
ppm	Partes por millón
SDT	Sólidos Disueltos Totales
T	Temperatura

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de la maestría.

Le doy gracias a mis padres y a mis hermanos, por apoyarme en todo momento.

Le doy gracias a Leo, por ser mi motor y mi fuerza cada día.

A la Doctora Montero, por ser mi guía y una excelente persona. Por siempre enseñarme algo nuevo.
Y sobre todo gracias por su cariño.

A Isaí por su ayuda.

Le doy las gracias a Silvia y Alex, por siempre estar dispuestos ayudarme y enseñarme con paciencia y cariño aquello que desconozco

A la Doctora Grisel, por compartir conmigo sus habilidades teóricas y prácticas.

A Isela y Laura, porque sé que siempre puedo contar con ustedes y ser la familia que uno elige.

A CIMAV porque en este lugar he tenido la oportunidad de conocer a personas que me han hecho crecer tanto profesional, personal y humanamente.

Un agradecimiento al proyecto del LEMA

Capítulo 1: Introducción.

El agua y suelo son recursos naturales limitados y fundamentales para la vida y salud. Con el crecimiento de la humanidad, sociedad, ciencia y tecnología se ha llegado a un nuevo horizonte, sin embargo, el costo a pagar es muy alto. La sobreexplotación de los recursos naturales provoca el aumento de agentes contaminantes (Zhang et al., 2016).

La contaminación de ambos recursos es una preocupación importante al hablar de la calidad en la salud, así como en el ambiente ya que interactúan con las cadenas tróficas. El origen de estos agentes puede ser por la contaminación industrial, urbanización de sitios o uso excesivo de fertilizantes y pesticidas (Balkhair y Ashraf, 2015).

1.1 Contaminación ambiental

Problemática con el agua.

El agua (del latín agua) es una sustancia cuya molécula está formada por dos átomos de hidrogeno y uno de oxígeno (H₂O). El agua en el planeta tierra está distribuida de la siguiente manera: 97% es agua salada, la cual se encuentra principalmente en los océanos y mares; solo el 3% de su volumen es dulce. De esta última, un 1% está en estado líquido. El 2% restante se encuentra en estado sólido en capas, campos y plataformas de hielo o banquisas en las latitudes próximas a los polos. Fuera de las regiones polares el agua dulce se encuentra principalmente en humedales y, subterráneamente, en acuíferos.

En los estudios ambientales, la calidad del agua ocupa un lugar preponderante. La salud, el bienestar, la higiene y el desarrollo de las actividades diarias del hombre están estrechamente

ligados a la utilización del agua. Sin embargo, debido a diversos agentes otorgados por la propia naturaleza y por la gran variedad de usos que se le da, el vital y escaso líquido se ve sujeto a diversas alteraciones físicas, químicas y biológicas. Es por ello que el hombre se ha visto en la necesidad de mantener dentro de todas sus posibilidades un control estricto de la calidad del agua (Metcalf & Hedi., 1996).

Debido a ciertos factores ambientales, el agua establece vínculos con la superficie de la tierra, y a su vez, entra en contacto con rocas, sedimentos y suelos, por lo que se llevan a cabo diversas reacciones químicas que modifican aún más la composición del agua. Debido a que la composición de la superficie terrestre y de la naturaleza, así como el grado de actividad biológica, incluyendo la actividad del hombre, varían de un lugar a otro, se puede esperar que de éstas reacciones se produzcan aguas de muy diversas características.

El agua subterránea se reabastece o recarga con la lluvia, arroyos y otra agua superficial que se infiltra hacia el suelo. El agua se recarga conforme se filtra hacia abajo en donde se llenan con agua todos los espacios entre partículas de suelo y roca, la zona saturada. La evaporación del suelo, agua superficial y transpiración de las plantas completan el ciclo natural del movimiento del agua, regresando el agua a la atmósfera para que pueda caer otra vez como precipitación. Al agua que empapa el material de suelo subterráneo se le llama agua subterránea. El suelo actúa como “esponja” con el agua subterránea llenando los espacios entre el suelo y las rocas. Se mueve lentamente, por lo general en metros por año. Un acuífero es una capa de arena, grava o roca porosa con suficiente agua para suministrar una cantidad útil.

El agua contiene naturalmente concentraciones bajas de elementos tóxicos e isótopos radiactivos. Las sustancias radiactivas en el agua potable son principalmente de origen natural, a partir de la disolución de gases y minerales de roca y como resultado de núcleos de retroceso. Otras fuentes de radioactividad pueden incluir vertidos de residuos, precipitación de pruebas nucleares y nucleares accidentes (Chernóbil, etc.). Los radionúclidos naturales son isótopos de uranio y torio, así como sus productos hijos: ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{222}Rn , ^{210}Pb y ^{210}Po algunos de ellos son emisores alfa por lo tanto son peligrosos cuando se ingieren (Skwarzec et al., 2003).

La actividad alfa en el agua se debe principalmente al uranio (^{234}U , ^{235}U y ^{238}U) e isótopos de radio (^{226}Ra , ^{224}Ra). En actividad beta 40K y de corta duración hijas de ^{238}U (^{234}Th , ^{234}Pa y ^{210}Pb) juegan un gran papel. La "Dirección para la calidad del agua potable" de la OMS (2ª edición, 1998) (WHO 1998), da los valores recomendados para estos elementos, que se establecieron en 0.1 Bq /L y 1.0 Bq /L para actividad alfa bruta y para la actividad beta total, respectivamente. En la 3ª edición de "Pautas para la calidad del agua potable" publicadas en 2004, el valor de la actividad alfa se elevó a 0,5 Bq/L y el valor recomendado para el uranio en el agua potable es de 15 μg /L (0,19 Bq /L ^{238}U) basado en su toxicidad química para el riñón (WHO 2004). En consecuencia, en la Unión Europea la normativa de "Agua potable" Directiva "98/83 / CE (EC 1998) la dosis indicativa total es básicamente de conformidad con las recomendaciones que figuran en las directrices de la OMS.

La concentración de los elementos tóxicos en agua varía de acuerdo a las rocas características de la región. Con ello, estos elementos son lixiviados y puestos en solución; dichos elementos son altamente tóxicos para la biota. Así, las altas concentraciones de estos elementos son un riesgo para población. Además, dichas concentraciones en agua para irrigación tienen como

consecuencia: aumento en las concentraciones de los mismos en suelo, transferencia hacia las plantas y fitoacumulación en cultivos. (Almeida R.M.R., et al., 2004).

Los radioisótopos contenidos en el agua son responsables de una fracción de la dosis que recibe el ser humano del medio ambiente. Los principales isótopos radiactivos presentes en agua subterránea son los isótopos de uranio, radio y radón. Las concentraciones de estos radioisótopos varían dependiendo principalmente de la historia geoquímica del agua (Almeida R.M.R., et al., 2004).

Problemática de suelo.

El suelo es el recubrimiento de la tierra es cual se origina por la desintegración mecánica y descomposición físico-química de las rocas en la corteza terrestre. Siendo la plataforma en el intercambio de contaminantes entre hombre y animales ya sea por el agua subterránea o por los alimentos, debido a las interacciones entre las rocas, agua y aire (Obiora et al., 2016).

El suelo se contamina de forma antropológica por las actividades de la agricultura (uso de fertilizantes, pesticidas, estiércol, lodos residuales), generación de energía (combustión de carbón, así como centrales térmicas) e industria (fabricación de acero, baterías, fármacos y pigmentos). Por lo que la calidad de los suelos se ha empobrecido propagando elementos dañinos a través de las cadenas tróficas (Gu et al., 2016).

La contaminación de suelos es uno de los temas más discutidos en los debates de seguridad ambiental, esto debido al impacto de los contaminantes como los metales pesados que pueden tener una repercusión en la salud de las personas así como en el mecanismo de transformación y bioacumulación en las plantas (Tóth et al., 2016).

Dentro de la legislación ambiental que corresponde al suelo tenemos la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, que establece criterios para determinación de contaminantes en el suelo como Arsénico (As), Bario (Ba), Berilio (Be), Cadmio (Cd), Cromo Hexavalente (Cr), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Plata (Ag), Plomo (Pb), Selenio (Se) (NOM, 2004).

1.2 Radiactividad

Radiactividad y desintegración radiactiva se usan indistintamente, y se refieren a la descomposición espontánea de los núcleos atómicos, acompañada de la emisión de radiación ionizante (M. F. L'Annunziata, 2003).

Los tipos más comunes de la radiactividad según Protección Radiológica para Personal Ocupacionalmente Expuesto. Dra. María Elena Montero Cabrera, CIMAV, 2002., se denominan por las letras griegas: α (alfa), β (beta), y γ . Se encuentran descritos en la tabla 1.

Tabla 1: Tipos más comunes de la radiactividad

Radiactividad α	Radiactividad β	Radiactividad γ
<p>Consiste en la emisión de núcleos de 4He, resultando un núcleo con 2 neutrones y 2 protones menos:</p> $AXZ \rightarrow A-4YZ-2 + \alpha$ <p>Son isótopos α-activos naturales el ^{147}Sm y los miembros de las familias del</p>	<p>Consiste en la emisión de un electrón negativo o positivo y un neutrino, o en la absorción de un electrón con la emisión de un neutrino y de los rayos X característicos del elemento del núcleo resultante:</p> $\beta^-: {}^A X_Z \rightarrow {}^A Y_{Z+1} + e^- + \bar{\nu}$ $\beta^+: {}^A X_Z \rightarrow {}^A Y_{Z-1} + e^+ + \nu$ <p>Captura electrónica: ${}^A X_Z + e^- \rightarrow {}^A Y_{Z-1} + \nu$</p>	<p>Es la des-excitación de un núcleo producto de una desintegración α o β previas mediante la emisión de radiación electromagnética de alta energía, llamada rayos γ:</p> <p>En la Figura 3 se muestra un ejemplo del poder de</p>

^{232}Th , ^{235}U y ^{238}U . Y los artificiales son, por ejemplo, la familia del ^{239}Np .

En la Figura 1 se observa la desintegración alfa del ^{222}Ra ; al tener una desintegración alfa se produce el ^{222}Rn , a su vez emitiendo una partícula alfa.

La masa del ^{226}Ra es mayor que la suma de la masa del ^{222}Rn y la masa de una partícula alfa.



Figura 1: Desintegración alfa del ^{222}Ra .

Todos los elementos químicos tienen al menos un isótopo β -activo.

En la figura 3 muestra la desintegración del H-3; el H-3 se compone de dos neutrones y un protón y uno sus neutrones se convierte en protón, a su vez emitiendo un electrón, es por eso que se forma el He-3.

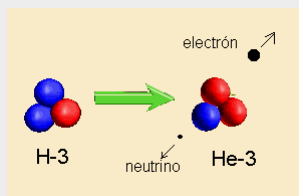


Figura 2: Desintegración Beta del H-3

penetración para cada tipo de desintegración.

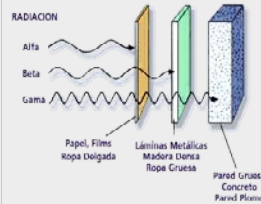


Figura 3: Poder de penetración de las radiaciones

1.3 Medida de la radiactividad

La magnitud que caracteriza la intensidad con la que una muestra emite radiactividad se llama actividad (A). La actividad A de una muestra que contiene un solo isótopo disminuye, según su periodo de desintegración. (Montero 2002)

A = actividad = ritmo de desintegración

Si N es el número de núcleos radiactivos sin desintegrar presentes en la muestra, entonces la actividad está dada por:

$$A = -\frac{dN}{dt} \quad (\text{Ec.1})$$

La actividad de una muestra de un solo isótopo radiactivo disminuye con el tiempo, la cual está expresada por la ecuación (2). El tiempo es llamado semivida o período de semidesintegración. La semivida $T_{1/2}$ es el tiempo que transcurre para que la actividad de una muestra se reduzca a la mitad. Esto lo podemos ver de manera esquemática en la Figura 4:

$$A\left(T_{\frac{1}{2}}\right) = \frac{A(0)}{2} \quad (\text{Ec.2})$$

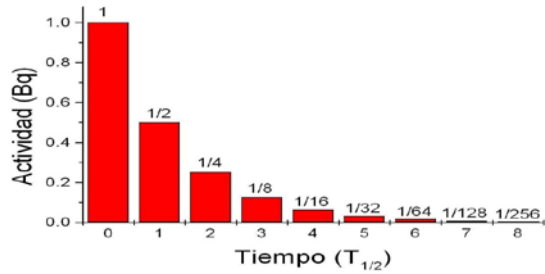


Figura 4: Semivida o período de semidesintegración

Esta expresión (ecuación 3) se generaliza según la llamada ley experimental de la desintegración radiactiva.

$$A(t) = A(0)2^{(-t/T_{1/2})} = A(0)e^{-\lambda t} \quad (\text{Ec.3})$$

El parámetro λ se llama constante de desintegración y cumple con la ecuación 4

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T(1/2)} \quad (\text{Ec.4})$$

Debido a la forma exponencial de la Ley de desintegración radiactiva, la ecuación diferencial 5 es:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (\text{Ec.5})$$

Se puede interpretar a la constante λ como la probabilidad de desintegración de un núcleo radiactivo por unidad de tiempo, y se define la llamada actividad instantánea:

$$A = \lambda N \quad (\text{Ec.6})$$

Los parámetros de semivida o periodo de semidesintegración y la constante de desintegración caracterizan a los isótopos radiactivos, por lo que en un experimento de radiactividad es importante tenerlos en cuenta, ya que se puede explicar o no la aparición de cierta energía de desintegración en un espectro, y contribuyen a identificar los isótopos de la muestra. Si se mide la actividad instantánea en el tiempo se puede obtener una gráfica semilogarítmica con una recta cuya pendiente nos da la constante de desintegración.

En la determinación de concentraciones de actividad de cualquier tipo de muestra, es necesario expresar los resultados de acuerdo a su actividad específica, la cual se refiere a la actividad de una muestra por unidad de masa o volumen:

$$\text{Sólidos: } A_{\text{esp}} = A / \text{masa} \quad (\text{Bq/kg o Ci/g}) \quad (\text{Ec. 7})$$

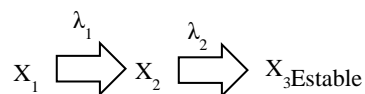
$$\text{Líquido o gas: } A_{\text{esp}} = A / \text{volumen} \quad (\text{Bq/m}^3 \text{ o Ci/L}) \quad (\text{Ec. 8})$$

Las unidades usadas para expresar la Actividad, en el sistema internacional de unidades (SI), es el Becquerel (Montero 2002)

$$1 \text{ Becquerel} = 1 \text{ Bq} = 1 \text{ desintegración/segundo} \quad (\text{Ec. 9})$$

1.4 Desintegraciones Sucesivas y Equilibrio Radiactivo

Frecuentemente un núcleo radiactivo da lugar a otro núcleo radiactivo, generando desintegraciones sucesivas o cadenas de desintegración. En una muestra que inicialmente contenga solo de la primera especie sin desintegrar, con el tiempo aparecerán cantidades variables de los núcleos de las especies radiactivas que se producen en cadena. Suponiendo la cadena de desintegración: (Montero 2002)



Y que el número de núcleos sin desintegrar de cada especie de desintegra por los mismos subíndices, para describir el contenido de isótopos de la muestra, se obtiene el siguiente sistema de ecuaciones diferenciales:

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 \quad (\text{Ec. 10})$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \quad (\text{Ec. 11})$$

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 \quad (\text{Ec. 12})$$

La solución del sistema de ecuaciones para el número de núcleos radiactivos es:

$$\begin{aligned} N_1(t) &= N_1(0)e^{-\lambda_1 t} \\ N_2(t) &= \frac{\lambda_1 N_1(0)}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \end{aligned} \quad (\text{Ec. 13})$$

El fenómeno de las desintegraciones sucesivas conduce a la existencia de las familias o series radiactivas, que existen en la naturaleza como resultado de las desintegraciones sucesivas de los isótopos de los elementos Th y U de semivida mayor o del mismo orden que la historia de

nuestro planeta; un ejemplo de estas familias radiactivas se presenta en la figura 5 (M. F. L'Annunziata, 2003).

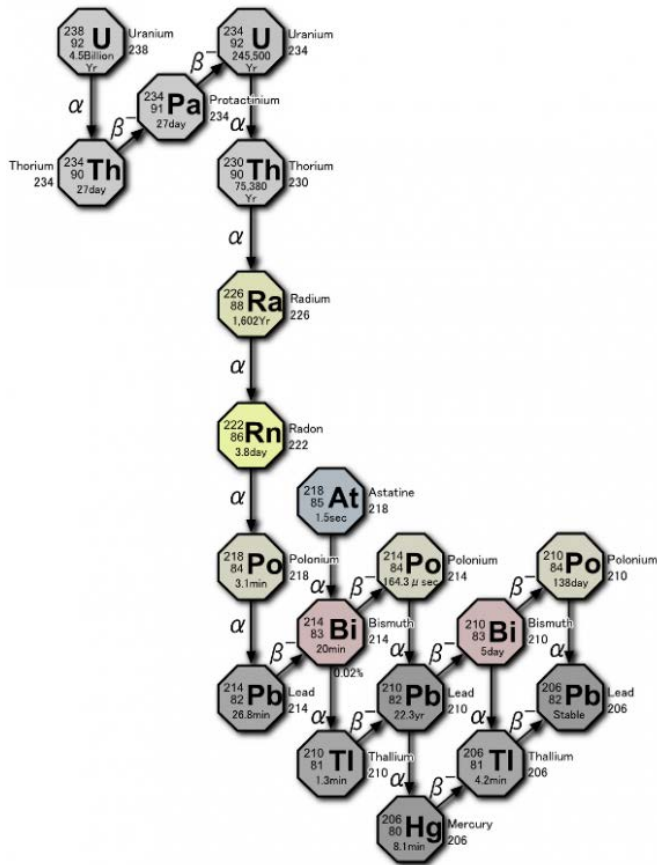


Figura 5: Series o familias Radiactivas

1.5 Uranio Natural

El Uranio es un elemento metálico, radiactivo y de color gris. Aparece en la naturaleza en concentraciones muy bajas. En su forma natural aparece como una mezcla de tres isótopos: Uranio234 (0,01%), Uranio235 (0,71%), y Uranio238 (99,28%) (Tabla 3). El Uranio es el elemento más pesado que se encuentra en la naturaleza. Se trata de un elemento peligroso por ser radiactivo y químicamente tóxico.



Isótopo no fisionable, no fértil, de vida media de 245.400 años.



Es también un isótopo indispensable para la industria nuclear y es uno de los dos materiales fértiles que pueden ser utilizados para producir material fisionable. Tiene una vida media de 4.468 millones de años. El ^{238}U genera el ^{239}Pu , material fisionable.



Es el único isótopo fisible del uranio natural, es decir, con capacidad para provocar una reacción en cadena de fisión nuclear (Ramirez ,R,V.2009)

Tabla 2: Tipos de los isótopos de Uranio

Isótopo	% en Uranio Natural	Números de protones	Números de Neutrones	Vida Media (en años)
^{238}U	99.284	92	146	4.46 mil millones
^{235}U	0.711	92	143	704 millones
^{234}U	0.0055	92	142	245.000

1.6 Características físicas

El uranio es un metal descubierto por Kalproth en 1789 en un mineral negro y pesado llamado pechblenda. Tiende a combinarse con el oxígeno formando óxidos y otros compuestos, como silicatos, fosfatos, sulfates o carbonates, lo que facilita su presencia en la corteza terrestre, normalmente en la cercanía de rocas graníticas sedimentarias. El uranio natural es una mezcla de tres isótopos: ^{238}U , ^{234}U y ^{235}U . De acuerdo con su abundancia natural (De Bievre, 1993), y de las actividades específicas de sus isótopos, un miligramo de uranio natural tiene una actividad total de 25.524 Bq, de los cuales 12.409 Bq corresponden al ^{238}U , 12.604 Bq al ^{234}U y 0.511 Bq al ^{235}U . El ^{238}U , isótopo de mayor abundancia, es también la cabeza de la serie radiactiva natural del uranio, a la que también pertenece el ^{238}U . En ella se incluyen otros elementos radiactivos como ^{234}Th , ^{234}Pa , ^{230}Th , ^{222}Rn y productos de desintegración del radio, que aparecen representados en la Figura 5.

1.7 Uranio en el medio ambiente

Al tratarse de un elemento químico que forma parte de la corteza terrestre, el uranio se encuentra presente en suelos, minerales, en el agua del mar, etc. Los datos encontrados en la bibliografía (UNSCEAR, 1982, 1988) sobre concentraciones de uranio promedio en el mundo en estos materiales aparecen en la Tabla 3.

Tabla 3: Concentraciones de ^{238}U en distintos tipos de matrices

Material	Concentración promedio de ^{238}U (Bq/g)
Suelos	0.01-0.7
Carbón	0.002-0.14
Granito	0.2-0.6

Por otra parte, se ha producido una redistribución de los radionúclidos naturales por efecto de las acciones humanas, que han provocado en la mayoría de los casos aumentos de las concentraciones de estos elementos.

En los últimos años la Unión Europea, ha realizado distintos estudios para identificar las actividades industriales en las que los radionúclidos naturales pueden suponer riesgo radiológico para los trabajadores. Encontrando que la producción de fosfatos, proceso de minerales para producción de metales, extracción de gas y petróleo y la fabricación de materiales que contienen tierras raras” (RP95, 1999).

Lo que da como resultado la aparición de uranio y ^{226}Ra o ^{212}Th en materiales de construcción.). En la Tabla 4 aparecen datos referidos a concentraciones de uranio en estos materiales (IAEA, 1996).

Tabla 4 Concentración de actividad de uranio en productos de actividades industriales

Tipos de materiales	Concentración promedio de ^{238}U (Bq/g)
Fertilizantes	0.41-2.3
Hormigón	0.037-0.44
Ladrillo	0.007-0.11
Fosfatos	0.044-4.8

1.8 Uranio en agua

El Uranio (U) es un metal con número atómico 92 y peso atómico de 238.07 uma. En la corteza terrestre se encuentra compuesto por tres radionúclidos: ^{238}U con el 99.2739%, ^{235}U con el 0.7205% y ^{234}U con el 0.0056%. Se encuentra en cuatro estados de valencia U^{+3} , U^{+4} , U^{+5} , U^{+6} . En la naturaleza nunca está en estado puro ya que forma óxidos y sales de diferente composición y colores (Colmenero et al., 2016).

Los efectos del U sobre el medio ambiente están dados por la solubilidad del compuesto. El ciclo geoquímico del U empieza por el desgaste de las rocas ígneas y minerales, donde el U de valencia tetravalente (+4) se puede quedar en la roca o ser transportado por aire y agua. En este punto se llevan reacciones químicas de oxidación cambiando la valencia de tetravalente a hexavalente (+6). Siendo este último es el más soluble formando el ion uranil $(\text{UO}_2)^{+2}$. Este ion juega un papel importante en el transporte del uranio en el medio ambiente en condiciones oxidantes de su potencial electroquímico (Rentería et al., 2004).

Con la presencia de uranio en el agua potable y debido a su toxicidad se han descubierto efectos tóxicos en el riñón. Incluso a muy bajas concentraciones. Así, cuando las personas están

expuestas a la desintegración radioactiva del U por un largo periodo de tiempo, pueden llegar a desarrollar cáncer (Eröss et al., 2015).

1.9 Técnicas experimentales de determinación de uranio

Los tres isótopos que componen el uranio natural son emisores de partículas alfa de periodos de semidesintegración elevados. En la Tabla 5 se muestran sus energías de emisión y periodos de semidesintegración.

Tabla 5: Características físicas de los isótopos de uranio natural

Radionúclido	Energía (MeV)	Período de semidesintegración (años)
²³⁸ U	4.15 (75%)	4.5 X 10 ⁹
²³⁴ U	4.77(72%)	2.47 X10 ⁵
	4.72(28%)	
²³⁵ U	4.4(55%)	7.0 X10 ⁸

Las determinaciones de uranio se realizan de forma directa o indirecta. En el primer caso la determinación se realiza midiendo las emisiones alfa de ²³⁸U y ²³⁴U. La determinación indirecta consiste en la medida de las emisiones gamma de sus descendientes, siempre que se realice la suposición de que se encuentra en equilibrio radiactivo con ellos. (Álvarez et al.,2002)

1.10 Comportamiento del Uranio en la Naturaleza

El uranio es una sustancia radiactiva que se encuentra de forma natural. Forma parte de las rocas, tierra, aire y el agua y se halla en forma de minerales, pero nunca se encuentra en la

naturaleza como metal, (M. Eisenbud et al., 1997), especialmente en rocas con alto contenido en sílice, rocas metamórficas, granito, lignito y depósitos de fosfatos.

Por acción del hombre el Uranio se extrae y se concentra a través de la minería y el refinado; estos procesos producen desechos, como los relaves, que puede introducirlo de nuevo en el medio ambiente. El uranio se distribuye por todo el medio ambiente por los diferentes procesos geológicos.

Los tres isótopos naturales en el ambiente, ^{234}U , ^{235}U y ^{238}U , como hemos visto antes, se someten a la desintegración radiactiva de la emisión de una partícula alfa acompañada por la radiación gamma débil. El isótopo predominante, ^{238}U , forma una larga serie de productos de desintegración, que incluye los radionúclidos principales ^{226}Ra y ^{222}Rn .

El ciclo geoquímico del uranio comienza con los procesos de intemperismo en la superficie de la tierra, continúa con la movilización a través de agua subterránea y superficial, y en partículas que se pueden sedimentar. La concentración del uranio en agua natural varía entre 0.01 y 100 $\mu\text{g/g}$. Esto se debe al comportamiento químico, que a su vez es debido a las condiciones óxido-reducción. Bajo condiciones de reducción el Uranio se encuentra con valencia +4, y es insoluble; bajo condiciones de oxidación valencia +6, formando iones solubles. Los compuestos uranil (UO_2)⁺². con carbonatos inhiben la adsorción de este, especialmente en soluciones alcalinas. En aguas oxidadas pueden predominar los compuestos de uranil con OH^- , CO_3^{2-} , F^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} (Almeida et al., 2004). En el uranio natural, el riesgo principal es la toxicidad química y da el factor limitante.

1.11 Radiación en el medio ambiente

El ser humano está expuesto a radiación en su entorno por dos vías: natural y artificial. La vía natural comprende: a) El espacio exterior, debido a los rayos cósmicos (80% protones y 20% partículas alfa). b) El suelo, rocas y sedimentos contienen radioisótopos de series de desintegración radiactiva. c) Viajes aéreos transoceánicos. Los isótopos principales de la causa de radiación natural en la tierra son: ^{14}C , ^{40}K , ^{232}Th , ^{238}U e hijos.

La vía artificial comprende: a) Las explosiones de bombas nucleares en la atmosfera. b) accidentes nucleares como: Fukushima (Ōkuma, Prefectura de Fukushima, Japón), Chernóbil (Prípiat, RSS de Ucrania, Unión Soviética (actual Ucrania), Three Miles Island (Londonderry, Pensilvania, Estados Unidos), Kyshtym (Mayak, Ozyorsk, Óblast de Chelyabinsk, Rusia), Windscale (Sellafield, Reino Unido), Tokaimura, Goiânia. c) producción de energía. d) producción y uso de radioisótopos, e) Aplicaciones médicas de los radioisótopos, f) otros.

Los isótopos responsables de esta radiación artificial son principalmente: ^{14}C , ^{60}Co , ^{90}Sr , ^{95}Zr , ^{106}Ru , ^{131}I , ^{133}Xe , ^{134}Cs , ^{192}Ir , ^{238}Pu , ^{239}Pu .

Capítulo 2: Antecedentes

El agua es esencial para la vida. El acceso al agua potable se ha incrementado durante las últimas décadas en la superficie terrestre (ONU, 2008). Sin embargo, estudios de la FAO estiman que uno de cada cinco países en vías de desarrollo tendrá problemas de escasez de agua antes de 2030. Los recursos naturales se han vuelto escasos con la creciente población mundial y su disposición en varias regiones habitadas es la preocupación de muchas organizaciones gubernamentales. Según la ONU, “actualmente 80 países del mundo sufren debido a la falta de agua. En China, donde se concentra 1/5 de la población mundial y menos de 1/10 del agua del planeta Tierra, se han secado el 35 % de los pozos”. La cantidad de agua potable es limitada, por lo que es de gran interés estudiar las posibles causas de contaminación del agua.

Los sistemas acuáticos contienen naturalmente isótopos radiactivos, los cuales son responsables de una fracción de la dosis que recibe el ser humano del medio ambiente. La radiactividad en el agua proviene esencialmente de las emisiones alfa, beta y gamma de los radionúclidos de las series de desintegración del Uranio y el Torio, en ambientes no contaminados antropogénicamente. Para el agua subterránea, los principales isótopos radiactivos que se encuentran son los de uranio, radio y radón, mientras que sus concentraciones varían dependiendo principalmente de la historia geoquímica del agua.

La presencia de uranio en agua ha sido relacionada con problemas renales y el aumento en la probabilidad de desarrollar ciertos tipos de cáncer (Villalba et al., 2005), mientras que el radón, gas inerte producido durante el decaimiento radiactivo del ^{238}U , se considera la segunda causa de cáncer de pulmón en los Estados Unidos y probablemente en el mundo entero. Su ingestión puede contribuir a la incidencia de cáncer en otros órganos, principalmente en el estómago. Debido a

esto, los compuestos que contienen uranio han sido objeto de diversos estudios ambientales que buscan seguir el rastro de los hijos del uranio tanto en agua (Villalba et al., 2001; Villalba et al., 2005; Villalba et al., 2006), como en el suelo (Reyes Cortés, 2009) y en el aire (Colmenero Sujo et al., 2004).

En el Estado de Chihuahua se han reconocido 56 localidades con depósitos uraníferos. Se han localizado dos importantes depósitos de minerales de uranio conocidos como Victorino y San Marcos I (Reyes-Cortés, Fuentes-Cobas et al. 2010). Ambos depósitos son resultado de un proceso hidrotermal, que en San Marcos se encuentra compuesta por los minerales uranofano y metatyuyamunita, mientras que en el depósito Victorino otra alteración está compuesta por uranofano, uraninita, masuyita y becquerelita. El mineral dominante en ambos depósitos es el uranofano. Es importante hacer notar que el depósito Victorino es el segundo sitio con becquerelita en México, después de Peña Blanca, ambos en el Estado de Chihuahua.

En la ciudad de Aldama, los resultados muestran que el sustrato geológico y la antigua actividad de procesamiento de mineral de uranio, justifican los altos valores de los contenidos de los isótopos radiactivos ^{234}U , ^{235}U , ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra y ^{222}Rn obtenidos de manera preliminar en muestras de agua subterránea para consumo, así como en el suelo y el radón en el aire de interiores (Villalba, Martínez A. et al. 2001; Colmenero Sujo 2004; Montero Cabrera, Colmenero Sujo L. et al. 2003; Rentería Villalobos 2003; Villalba 2006).

El contenido de uranio en agua superficial ha sido ampliamente estudiado por diversos autores. En Chihuahua, anteriormente se realizó un estudio en agua del río Chuvíscar, cerca de la ciudad de Aldama, donde las concentraciones de actividad de los isótopos de uranio presentaron variaciones para ^{238}U que van de 47 a 280 mBq/L y de 211 a 1260 mBq/L para el ^{234}U (Villalba,

Colmenero-Sujo et al., 2005). En comparación con lo anterior, el uranio disuelto determinado en las muestras del río San Marcos se encuentra por debajo del determinado en el río Chuvíscar.

Los autores han reportado que el promedio de uranio obtenido en el agua del acuífero Tabelaopa-Aldama fue de 0.57 Bq/L, encontrándose que el 45% de los pozos muestreados por encima de la norma; mientras que para el acuífero Chihuahua-Sacramento el promedio fue de 0.68 Bq/L, encontrándose el 80% de los pozos muestreados por encima de la norma mexicana NOM-127-SSA1-1994 (Villalba 2006).

En los manantiales termales de San Diego de Alcalá, cercanos a la afluencia del Chuvíscar en el río Conchos, se reportó una concentración de actividad anómala de ^{226}Ra en disolución, a niveles de 5.6 Bq/L (Villalba, Montero-Cabrera et al. 2006). Los valores de concentración de actividad de su progenitor radiactivo, el ^{238}U , son aproximadamente de la décima parte, y por lo tanto queda por esclarecer las causas de esa diferencia tan marcada.

La Norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994, establece un límite máximo permisible de 0.1 Bq/L de actividad alfa total para el agua de consumo humano. Y la Norma Oficial Mexicana NOM-201-SSA1-2015, establece 0.56 Bq/L de actividad alfa total para el agua de consumo humano.

Otros autores que también hablan sobre uranio en el estado de Chihuahua son: Burciaga-Valencia (2010) utilizó radiación sincrotrón para la caracterización de especies de uranio de diversas fases pertenecientes al Valle Chihuahua-Sacramento. Burillo-Montufar (2012) explica los procesos, ambiente y transporte de los isótopos de la cadena de desintegración radiactiva del uranio en el agua vadosa y subterránea de la zona semi-árida de San Marcos, con un enfoque basado en la hidrogeoquímica y el desequilibrio radiactivo, para valorar su potencialidad como análogo natural de confinamiento de desechos radiactivos de alto nivel. Méndez-García (2014) menciona

que el nivel de concentración natural del U es de 2.3 mg kg-1 en agua superficial correspondiente a la zona de la represa Luis L. León.

Bazán Barrón (1978) describe los yacimientos uraníferos en el estado de Chihuahua y en la República Mexicana, mencionando principalmente la génesis y deposición de minerales de molibdeno y uranio, en el municipio de Villa de Aldama, Chihuahua. Además, es el primero en mencionar el yacimiento uranífero en la Sierra de Adargas, Mina La Herradura, Municipio de Jiménez, Chihuahua (Figura 6).



Figura 6: Distritos Uraníferos en la República Mexicana.

Hinojosa de la Garza et al., (2014) mencionan que dicha sierra en un modelo predictivo sobre yacimientos de uranio. Sin embargo, no existen trabajos radioquímicas que describan la

actividad de radioisótopos relacionados al yacimiento uranífero en el municipio de Jiménez, Chihuahua.

Solamente Rentería et al. (2004) examinaron el agua potable que abastece a la ciudad de Jiménez, encontrando que sus niveles de U están según lo marca la norma (0.56 Bq/L).

Capítulo 3: Justificación.

En el estado de Chihuahua el sector agrícola representa un porcentaje importante de las actividades económicas. Las regiones nogaleras más importantes de México se localizan principalmente en ambientes áridos, en los estados de Chihuahua, la región Lagunera de Coahuila-Durango, Nuevo León y Sonora. De los anteriores, el estado de Chihuahua es el principal productor de nuez pecanera en México, donde dos terceras partes de su producción se concentran en la franja de la ciudad capital, Chihuahua, hasta la región de Jiménez.

Uno de los principales yacimientos uraníferos de Chihuahua se encuentra la Sierra Adargas al sur del Estado, en el municipio de López, Chihuahua (SGM, 2014).

Debido a sus características geográficas climatológicas, en el estado de Chihuahua el agua subterránea es el principal recurso para el abastecimiento público, así como para usos industriales y el riego agrícola. El agua subterránea en algunas zonas del estado, y en particular en Jiménez, tiene como características principales un alto contenido en sales y metales pesados.

En los sistemas de producción de nuez se presenta una marcada tendencia en la baja disponibilidad del agua de riego debido principalmente a la sobreexplotación de los acuíferos, llevando al deterioro del recurso.

Lo anterior provoca efectos adversos como la salinidad y el aumento en la composición de elementos tóxicos (principalmente metales pesados) tanto en agua como en suelo. Lo anterior repercute en la reducción en la producción de nuez y por lo tanto en una disminución en la competitividad productiva, afectando a la economía.

Este trabajo de investigación tiene como uno de sus principales objetivos evaluar mediante un análisis radiológico la calidad del agua para uso de riego en esta zona nogalera y prevenirse los posibles efectos.

El trabajo a realizar en esta tesis es determinar mediante un análisis químico y un análisis radiológico utilizando la implementación y la optimización de metodologías aplicadas para aguas de uso de riego con estas características salinas.

Cabe destacar que, a pesar de que en el Municipio de Jiménez se encuentra un yacimiento uranífero, no se tiene registro de un análisis radiológico o una evaluación radiológica previas.

Capítulo 4: Objetivo General Y Objetivos Específicos

4.1 Objetivo general

Implementar y comparar métodos de determinación de la actividad de los isótopos naturales de uranio en el agua de riego y el suelo de la zona nogalera de Jiménez, en el estado de Chihuahua.

4.2 Objetivos específicos

- ✓ Poner a punto técnicas de determinación de la concentración de actividad de los isótopos de ^{238}U y ^{234}U en muestras de agua y suelo mediante el detector de centelleo líquido y espectrometría alfa.
- ✓ Determinar la concentración de actividad de los isótopos naturales de uranio presentes en el agua y suelo de riego de la zona nogalera de Jiménez en el Estado de Chihuahua.
- ✓ Validar los métodos radioquímicas de determinación de ^{238}U y ^{234}U implementados con el material de referencia IAEA-375.
- ✓ Relacionar los métodos implementado de determinación de la actividad del uranio en agua con de la concentración de sólidos totales disueltos del agua.

Capítulo 5: Hipótesis

Se pueden implementar métodos de determinación de la actividad de los isótopos de uranio natural en muestras complejas de agua salina y suelos con sílice, con interferencias para los métodos aplicados.

Capítulo 6: Materiales Y Métodos

6.1 Área de Estudio

El municipio de Jiménez se localiza en el extremo sureste del estado de Chihuahua. Se halla ubicado entre las coordenadas 27°08" Norte, y 104°55" Oeste, con una altitud de 1,380 metros sobre el nivel del mar. Se localiza al Norte del municipio de Camargo, al Oeste con el municipio de Allende López, al Sur con el estado de Durango y al Este con Coahuila. Ocupa el 4.3% del Estado con un total de 243 localidades (Municipios, 2017) (Figura 7).

El municipio cuenta con una extensión de 10,775.17 kilómetros cuadrados. Se encuentra llanuras y sierras volcánicas (55.1%) y Bolsón de Mapimí (44.6%). Las rocas que se encuentran son calcita, cantera, arena sílice, calcita óptica, riolita-toba ácida, toba ácida, diorita y granito. Dentro de los minerales están halita, caolín, plomo, fluorita y cobre (INAFED, 2017; INEGI, 2017)

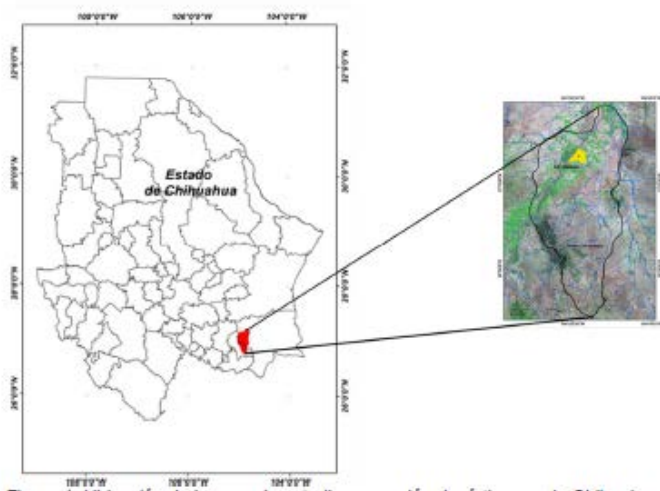


Figura 7: Localización del municipio Jiménez y el acuífero Jiménez-Camargo.

Entre sus fuentes hidrológicas está el valle Jiménez-Camargo al suroeste del estado, el cual contiene grava, gravilla, arenas y arcilla intercalada. El agua superficial que abastece a este municipio está conducida por los ríos Parral y Florido; éste último sigue su curso al Norte llegando a Camargo donde se une al río Conchos. También cuenta con aguas termales entre los ejidos de División del Norte y Las Playas (Rentería et.al., 2004; INEGI, 2017).

Dentro de sus actividades económicas se encuentra la ganadería y la agricultura. La posesión del suelo en su mayoría es privada con un total de 761,676 hectáreas (67.1%) (Prontuario, 2017). En el caso de los ejidos comprende 75,524 hectáreas que representan el 6.7%. El uso del suelo para la agricultura es de 4.8% donde el uso potencial del suelo para agricultura mecanizado continuo es de 55.4% y para la agricultura de tracción animal continua es de 11.2% (INEGI, 2017).

6.2 Muestreo de agua

El muestreo fue realizado en agua subterránea de 7 pozos de abastecimiento agrícola. El muestro fue parte de otro más amplio que se planeó aleatoriamente mediante un diseño de experimentos.

El agua fue colectada para determinar la concentración de ^{238}U y ^{234}U del agua, de acuerdo a la NOM-014-SSA1-1993. Esta proporciona una guía sobre los procedimientos para la manipulación y preservación de las muestras.

Las muestras se tomaron a una profundidad de 15 a 30 cm de la superficie del agua en envases estériles de polipropileno de 1 L, que se abrieron después de sumergirse en el agua y se cerraron antes de sacarse de la misma. Los envases se colocaron en hielo para mantener la

temperatura baja y se trasladaron a las instalaciones del laboratorio, donde se mantuvieron en refrigeración ($4^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) hasta su análisis.

La ubicación de los puntos de los muestreos se realizó mediante el sistema de geoposicionamiento global (GPS). Se midieron in situ la Temperatura (T), pH, Turbidez, Conductividad eléctrica (CE) y Sólidos Disueltos Totales (SDT), utilizando el equipo multiparamétrico Hanna HI98130 y el turbidímetro portátil Hanna HI 93703.

De igual forma el suelo fue colectado para determinar la concentración de ^{238}U y ^{234}U . Las muestras se tomaron de acuerdo a la NMX-AA-132-SCFI-2006, donde la recolección se realiza en muestras compuestas por 3 muestras simples distribuidas uniformemente. El muestreo será de forma vertical donde se limpiará la zona y se excavará a 30 cm para la toma de la muestra. La homogenización se llevó a cabo en el sitio, asegurándose que se tuviera la misma masa entre las muestras. Se recolectaron aproximadamente 2 kg de suelo en bolsas de plástico perfectamente identificadas.

6.3 Equipos y Reactivos

6.3.1 Reactivos

Ácido sulfúrico (Sigma Aldrich), Ácido sulfúrico Instra (J.T.Baker), xileno(J.T.Baker), ácido clorhídrico (Fermont), hidróxido de amonio (J.T.Baker), tolueno(J.T.Baker), solución reguladora de pH (J.T.Baker), acetona(J.T.Baker), ácido nítrico (J.T.Baker), ácido perclórico (J.T.Baker), peróxido de hidrogeno (J.T.Baker), ácido fluorhídrico (), cloruro férrico hexahidratado (J.T.Baker), azul de timol (Baker analyze), resina de intercambio anicónico Dowex AG (J.T.Baker) ,sulfato de sodio (J.T.Baker). URAEX(ETRAC), ALPHAEX (ETRAC), resina UTEVA (Eichrom)

6.3.2 Equipos

Medidor de pH, medidor de conductividad, medidor del potencial de óxido-reducción, medidor de temperatura (multiparamétrico Hanna HI98130), Centrifuga (EPPENDORF), balanza analítica (OHAUS), baño isotérmico (PARR), bombas parr (PARR), mufla (THERMO SCIENTIFIC), lámpara de calor (Philips), equipo de electrodeposición (MASTECH), espectrómetro PERALS (ORDELA) y espectrómetro alfa Modelo 7401VR con detector de semiconductor de implantación iónica tipo PIPS (Canberra).

Comentado [e1]: Opendorf o Eppendorf

6.4 Métodos

Las muestras de agua obtenidas se analizaron en el Laboratorio de Vigilancia Radiológica (LVRA) y el Laboratorio de Análisis Químico (AQ) pertenecientes al CIMAV, siguiendo los procedimientos que se describen a continuación.

6.4.1 Medición de pH

El pH de las muestras fue medido durante el muestreo (in-situ), utilizando un equipo multiparamétrico de la marca Hanna HI98130, previamente calibrado. La medición se realizó siguiendo la norma (NMX-AA-008-SCFI-2000).

6.4.2 Medición de conductividad eléctrica (CE).

La conductividad de nuestras muestras fue medida durante el muestreo (in-situ) utilizando el equipo multiparamétrico de la marca Hanna HI98130, previamente calibrado, siguiendo la metodología de la NMX-AA-093-SCFI-2000.

6.4.3 Medición de sólidos totales disueltos (STD).

Los sólidos totales disueltos de nuestras muestras fueron medidos durante el muestreo (in-situ), utilizando el equipo multiparamétrico, previamente calibrado.

6.4.4 Medición de Temperatura.

La temperatura se midió durante el muestreo (in-situ), utilizando el equipo utilizando un multiparamétrico de la marca Hanna HI98130. Siguiendo la metodología de la NMX-AA-007-SCFI-2000.

6.4.5 Puesta a punto del procedimiento de extracción de uranio y determinación radioquímica de uranio

Las técnicas de análisis de uranio se implementaron en el detector de centelleo líquido PERALS de Ordela y el detector de espectrometría alfa (Canberra) Modelo 7401VR con detector

de semiconductor de implantación iónica tipo PIPS del Laboratorio de Vigilancia Radiológica Ambiental (LVRA) de CIMAV.



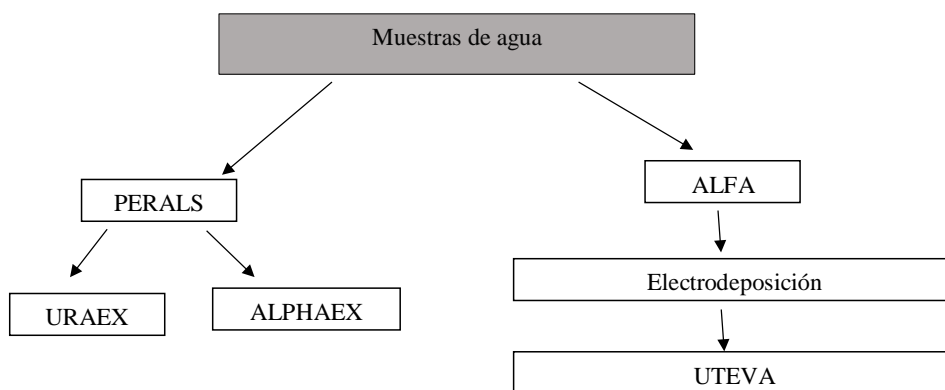
Figura 8 Detector de espectrometría alfa (Canberra) Modelo 7401VR con detector de semiconductor de implantación iónica tipo PIPS



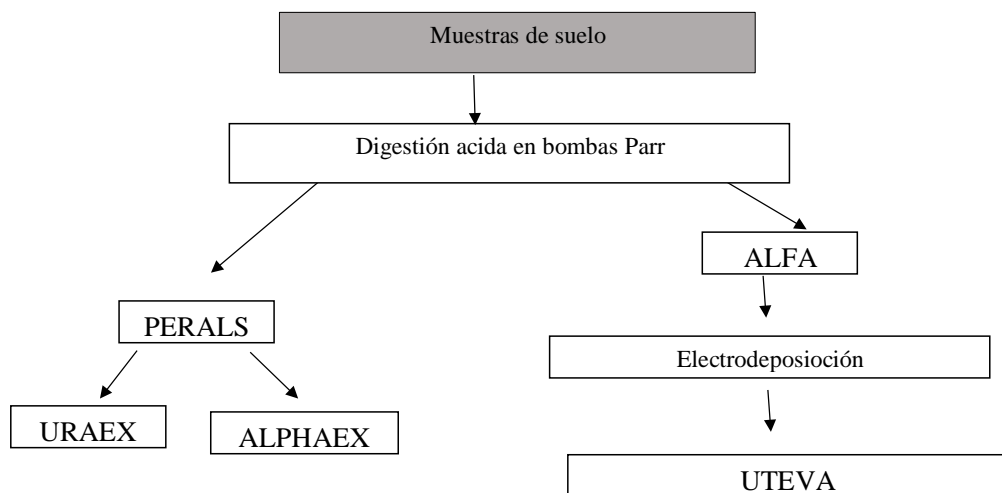
Figura 9: Detector de centelleo líquido PERALS de Ordela

En el esquema 1 y 2, se describe brevemente cuáles serán los procedimientos aplicados para las muestras de agua y suelo.

Esquema 1: Métodos de determinación de uranio para las muestras de agua



Esquema 2: Métodos de determinación de uranio en muestras de suelo



6.4.5.1 Técnica de determinación de Uranio en muestras de agua natural mediante centelleo líquido utilizando URAEX (PERALS)

1. Tomar 250 ml de muestra. Filtrar con filtro de 45 μc .
2. Evaporar la muestra en vasos de precipitado de 250 ml. Cuando el volumen sea aproximadamente de 20 ml trasvasar a un vaso de precipitado de 80 ml y llevar hasta 5 ml.
3. Al residuo de 5 ml, adicionar 1 ml de H_2SO_4 5 M y 2 ml de Na_2SO_4 1M. Llevar a sequedad total. Repetir pasó 2 veces.
4. El residuo obtenido se disuelve con 4 ml de H_2O destilada
5. Transferir a un vial y medir que el pH se encuentre entre 1.3 y 1.5
6. Adicionamos de 1.5 ml de URAEX. Agitar suave y manual durante 5 minutos.

7. Dejar reposar 15 minutos aproximadamente, hasta alcanzar la separación de fase
8. Con ayuda de una pipeta Pasteur tomar 1 ml de la fase orgánica, colocando la en un vial de 10 mm de diámetro por 75 mm de largo (culture tube).
9. A la solución dentro del vial, inyectar flujo de argón durante 2 minutos.
10. Por último, medir 12 horas en el detector PERALS para obtener un espectro de la muestra.
11. Tomar las áreas obtenida del espectro de cada isótopo de uranio y realizar los cálculos necesarios, descritos en el apartado método de estándar interno para muestras de agua.

6.4.5.2 Técnica de determinación de Uranio en muestras de agua natural mediante centelleo líquido utilizando ALPHAEX (PERALS)

1. Tomar 250 ml de muestra. Filtrar con filtro de 45 μc .
2. Adicionamos 0.5 g de LiClO_4 ,1 ml de ácido nítrico y 5 ml 30% de peróxido de hidrógeno
3. Evaporar a 160 ° C hasta que cese la ebullición de la muestra y aparezcan los primeros vapores de ácido perclórico.
4. Enfríe el vaso de precipitados y agregue de 5 a 7 ml de agua para disolver el residuo viscoso (o sólido).
5. Mida el pH de la solución; debe estar entre 2 y 3.5.

6. Transfiera la solución a un pequeño vaso de equilibrio y añada una cantidad medida, de 1.2 a 1.5 ml, ALPHAEX.
7. Agitar suave y manual durante 5 minutos.
8. Dejar reposar 15 minutos aproximadamente, hasta alcanzar la separación de fase
9. Con ayuda de una pipeta Pasteur tomar 1 ml de la fase orgánica, colocando la en un vial de 10 mm de diámetro por 75 mm de largo (culture tube).
10. A la solución dentro del vial, inyectar flujo de argón durante 2 minutos.
11. Por último, medir 12 horas en el detector PERALS para obtener un espectro de la muestra.
12. Tomar las áreas obtenida del espectro de cada isótopo de uranio y realizar los cálculos necesarios, descritos a continuación.

6.4.5.2.1 Cálculos de método de estándar interno para muestras de agua de riego

1. Cálculo de la Eficiencia.

Para determinar la eficiencia del procedimiento se usó el método de estándar interno. Se fortaleció una muestra igual a la analítica con una solución certificada de uranio natural de High Purity Standards, No. 100064-1 1000 µg/mL en 2% HNO₃ con una actividad conocida de 0.12888±0.001031 Bq ml/L.

La eficiencia se determina mediante:

$$\varepsilon = (\text{cps } \alpha_{(m+std)} - \text{cps } \alpha_m) * (D\alpha_{std} * A_{std} * V_{std})^{-1} \quad (\text{Ec. 14})$$

Donde:

- $\text{cps } \alpha_{(m+std)}$: conteos por segundo registrados en la región alfa de la medición de la alícuota de la muestra más el estándar, para cada isótopo de uranio.
- $\text{cps } \alpha_m$: conteos por segundo registrados en la región alfa de la medición de la alícuota de la muestra, para cada isótopo de uranio.
- $D\alpha_{std}$: número de desintegraciones alfas a partir del estándar.
- A_{std} : Actividad del estándar (Bq/ ml).
- V_{std} : Volumen adicionada del estándar (ml).

2. La incertidumbre de la eficiencia se calcula por:

$$E\varepsilon = \sigma_{std} / A_{std} + [(a^* + b^*)/(a + b)] \quad (Ec. 15)$$

Donde:

- σ_{std} : el error del estándar utilizado para las mediciones.
- A_{std} : Actividad estándar utilizado para las mediciones (Bq/L).
- a^* : $\text{cont } \alpha_{m+std} / t_{m+std}$
- b^* : $\text{cont } \alpha_m / t_m$
- a : $\text{cont } \alpha_{m+std} / t_{m+std}$
- b : $\text{cont } \alpha_m / t_m$
- t : tiempo de medición.

3. Cálculo de la actividad.

El cálculo de actividad se hizo utilizando la eficiencia obtenida por el método del estándar interno. La Actividad se determina por separado para los isótopos de uranio (U-238 y U-234) presentes en las muestras, esto se hace mediante la ecuación (16):

$$A = cps \alpha_m / \varepsilon \quad (Bq) \quad (Ec.16)$$

Donde:

- cps α_m : conteos por segundo registrados en la región alfa de la medición de la muestra.
- ε = eficiencia de medición.

4. Para determinar la actividad específica, se emplea la ecuación (17):

$$A_{esp} = A / V_m \quad (Bq/L) \quad (Ec 17)$$

Donde:

- A: actividad del isótopo presente en la muestra (Bq).
- V_m : volumen tomado de muestra (L).

5. El cálculo de la incertidumbre relativa de actividad, utilizando estándar interno es:

$$\sigma_A = \sqrt{(E_e^2 + 1 / con \alpha_m)} \quad (Ec. 18)$$

σ_A : incertidumbre relativa de actividad

E_e : incertidumbre relativa de la eficiencia.

con α_m : conteos alfa de la muestra.

6. El cálculo de la incertidumbre relativa es:

$$E_{\text{abs}} = A_{\text{esp}} * \sigma_A \dots \quad (\text{Ec.19})$$

7. Cálculo de la mínima actividad detectable

La mínima actividad detectable (MAD) de los diferentes isótopos para el detector de centelleo PERALS o espectrometría alfa, se calculó según (Currie L. A., 1968]:

$$MAD = \frac{2.71+4.65\sqrt{B}}{T*V} \quad (\text{Bq/L o Bq/kg}) \quad (\text{Ec.20})$$

Donde:

- B: son los conteos alfa debidos al fondo registrados en el detector.
- T: es el tiempo de medición (min).
- V: es el volumen tomado de muestra (L).

6.4.5.3 Procedimiento Hallstadius para la electrodeposición de uranio en muestras de agua natural, IAEA-375 y muestras ambientales de suelo [Aguirre-Martínez A., 1992].

1. La fase acuosa que contiene los isótopos de interés se evapora hasta aproximadamente 2 ml.
2. Se agrega 1 ml de Na_2SO_4 0.3 M para evitar la adsorción en las paredes del recipiente.

3. Se evapora a sequedad. Se añaden 250 µl de H₂SO₄ concentrado para disolver el precipitado.
4. Se agregan 4 ml de agua amoniacal y 2 gotas de azul de timol (indicador). El cual toma un color rosado, esto debido a pH muy ácido.
5. Para ajustar el pH entre 2.2 y 2.5 de utiliza amoniaco hasta que el color de la disolución sea amarillo.
6. Esta disolución se pasa a una celda de electrodeposición previamente preparada.
7. Para uranio la electrolisis se lleva a cabo durante 40 min a una intensidad de 1.2 A y 10mm de distancia.

Nota: Para la aplicación de la metodología de Hallstadius para la electrodeposición de uranio en muestras de suelo, es necesario realizar un pretratamiento el cual se describe a continuación en la tabla 6

Tabla 6: Pretratamiento para muestras de suelo que serán llevadas a electrodeposición por el método Hallstadius

PROCESO	DESCRIPCIÓN
Eliminación de materia orgánica.	Calcinar la muestra a 600°C, durante 72 horas.

Preparación para digestión.	Trabajar con 0.2 g en peso seco de muestra. Trasladar a un vial de teflón de bombas parr.
Adición del trazador de U-232	Añadimos 0.5 g como de trazador de U-232 (A= 0.1393±0.0015 Bq g-1)
Digestión acida de la muestra, utilizando bombas parr	Adicionamos 4 ml de HF _(c) , 4ml de HNO _{3(c)} , 1 ml de HClO _{4(c)} . A nuestro vial de teflón que contiene nuestra muestra y el trazador. La digestión se lleva a cabo en un sistema batch de bombas parr a 145 °C durante 9 horas. Una vez que la digestión se lleve a cabo es necesario dejar enfriar las bombas parr.
Eliminación de ácido fluorhídrico	Trasladar el residuo de la digestión a un vaso de pp de Teflón. Llevar a secada y adicionar 5 ml de HNO _{3(c)} , (repetir paso una vez mas) Se agregan 10 ml de HNO ₃ 8M para disolver el precipitado y se traslada a un vaso de pp de vidrio Y se adicionan 20 ml de agua destilada y se evapora hasta llevar a sequedad. Se adicionan 15 ml de agua destilada, 5 gotas de HNO _{3(c)} , y 12 gotas de amoniaco.
Adición del portador de hierro	A una temperatura ambiente, adicionar 1 ml de disolución portadora de Fe ⁺³ de (5 mg /ml).

Cambio de pH y precipitación de los actínidos	Adicionar amoníaco hasta alcanzar un pH de 9, obteniendo a este pH la precipitación de hidróxido de hierro y la precipitación de los actínidos
Centrifugado	Trasladamos a tubos de centrifuga la solución con su precipitado. Se centrifuga a 10 min a 4500 rpm. El objetivo es la completa separación del precipitado y el sobrenadante.
Secado del precipitado	Se elimina el sobrenadante y se deja secando la parte sólida precipitada debajo de una lámpara de calor de 1 a 24 horas.
Disolución del precipitado	El precipitado, una vez seco, es disuelto en 10 ml de HNO ₃ 8 M.
Obtención de fracción de uranio.	El residuo recolectado es pasado a través de una UTEVA. Seguido de 5ml de HNO ₃ 3M Seguido de 4ml HCl 9M Recolectamos todo el residuo obtenido y es considerado desecho. Instalamos un vaso de pp de 80 ml bajo la columna UTEVA. Agregamos en la columna UTEVA 10 ml de HCl 0.01 M. Esta parte es la que contiene la fracción de uranio.
Procedimiento de determinación de Uranio mediante electrodeposición Hallstadius .	Esta fracción obtenida es llevada a la metodología de Para procedimiento de electrodeposición Hallstadius

6.4.5.3.1 Cálculos para muestras de agua de riego y de suelo de la zona nogalera y material de referencia IAEA-375.

1. Cálculo de la actividad.

La Actividad se determina por separado para los isótopos de uranio (^{238}U , ^{235}U y ^{234}U) presentes en las muestras, esto se hace mediante la ecuación:

$$A = \text{cps } \alpha \text{ isótopo} * A_{\text{agregada trazador}} * (\text{cps } \alpha \text{ trazador})^{-1} \text{ (Bq)} \quad (\text{Ec 21})$$

Donde:

- $\text{cps } \alpha \text{ isótopo}$: conteos alfa por segundo del isótopo de interés registrados en la medición de la muestra.
- $A_{\text{agregada trazador}}$: Actividad del trazador (^{232}U) agregada a la muestra.
- $\text{cps } \alpha \text{ trazador}$: conteos alfa por segundo del trazador agregado registrados en la medición de la muestra.

2. Cálculos Para determinar la actividad específica, se emplea la ecuación (22):

$$A_{\text{esp}} = A / V_m \quad (\text{Bq/L}) \quad (\text{Ec 22})$$

Donde:

- A : actividad del isótopo presente en la muestra (Bq).
- V_m : volumen tomado de muestra (L).

6.4.5.4 Técnica de determinación de Uranio en muestras de suelo, mediante centelleo líquido (PERALS)

Se implementó un procedimiento para garantizar la calidad de los análisis de suelo, utilizando el material de referencia (MRC) IAEA-375. Al ser un MRC nos permite realizar una comparación entre las técnicas utilizadas y poder garantizar la optimización y aplicación de una técnica correcta.

6.4.5.1 Digestión del suelo para extracción de uranio

Debido a que la técnica para el uso del detector PERALS, es una técnica de centelleo líquido, esta técnica tiene como condición que las muestras tienen que estar en estado líquido y sin presencia de color. Es un requisito fundamental aplicarles a las muestras de suelo y al MRC una digestión acida utilizando Sistema batch (bombas Parr en baño isotérmico), con el fin de eliminar materia orgánica, coloración y encontrarlas en estado líquido. El pretratamiento aplicado a dichas muestras se describe detalladamente en la tabla 7.

Tabla 7: Descripción del proceso de digestión para muestras de suelo.

PROCESO	DESCRIPCIÓN
Eliminación de materia orgánica.	Calcinar la muestra a 600°C, durante 72 horas.
Preparación para digestión.	Trabajar con 0.2 g en peso seco de muestra. Trasladar a un vial de teflón de bombas parr.

Adición del trazador de U-232	Añadimos 0.5 g como de trazador de U-232 ($A=0.1393\pm 0.0015 \text{ Bq g}^{-1}$)
Digestión acida de la muestra, utilizando bombas Parr.	Adicionamos 4 ml de $\text{HF}_{(c)}$, 4ml de $\text{HNO}_{3(c)}$, 1 ml de $\text{HClO}_{4(c)}$. A nuestro vial de teflón que contiene nuestra muestra y el trazador. La digestión se lleva a cabo en un sistema Batch de bombas Parr a 145 °C durante 9 horas. Una vez que la digestión se lleve a cabo es necesario dejar enfriar las bombas parr.
Eliminación de ácido fluorhídrico	El residuo obtenido se traslada a un vaso de teflón y es llevado a sequedad para eliminar la presencia de HF. (Disolver el precipitado obtenido con 20 ml de HNO_3 Y 30 ml de H_2O) Repetir paso 2 veces
Procedimiento de determinación de Uranio mediante centelleo líquido (PERALS).	Continuar con la metodología de PERALS para muestras de agua o el método de extracción para electrodeposición. 6.4.5.3

6.4.5.4.2 Técnica de determinación de Uranio en muestras IAEA-375 y muestras ambientales de suelo, mediante centelleo líquido (PERALS)

1. Tomar el residuo del pretratamiento y transferir a un vial y medir pH cuidando que se encuentre en 1.3 y 1.5
2. Adicionar 1.5 ml de URAEX.
3. Agitar la solución durante 5 min. La agitación será suave y manual.

4. Dejar reposar hasta alcanzar la separación de fases.
5. Con ayuda de una pipeta Pasteur tomar 1 ml de la fase orgánica, colocando la en un vial de 10 mm de diámetro por 75 mm de largo (culture tube).
6. A la solución dentro del vial, inyectar flujo de argón durante 2 minutos.
7. Por último, medir 12 horas en el detector PERALS para obtener un espectro de la muestra.
8. Tomar las áreas obtenida del espectro de cada isótopo de uranio y realizar los cálculos necesarios, descritos en el punto 7.4.5.4.3

6.4.5.4.3 Cálculos para muestras de suelo y material de referencia IAEA-375.

Fue empleado un trazador de una concentración conocida de U-232 para trazar la muestra.

1. Cálculo de la actividad.

La Actividad se determina por separado para los isótopos de uranio (U-238 y U-234) presentes en las muestras, esto se hace mediante la ecuación:

$$A = \text{cps } \alpha \text{ isótopo} * A_{\text{agregada trazador}} * (\text{cps } \alpha \text{ trazador})^{-1} \text{ (Bq)} \quad (\text{Ec } 23)$$

Donde:

- cps α isótopo: Área del isótopo de interés registrados en la medición de la muestra.
- A agregada trazador: Actividad del trazador (U-232) agregada a la muestra.
- cps α trazador: Área del trazador agregado registrada en la medición de la muestra.

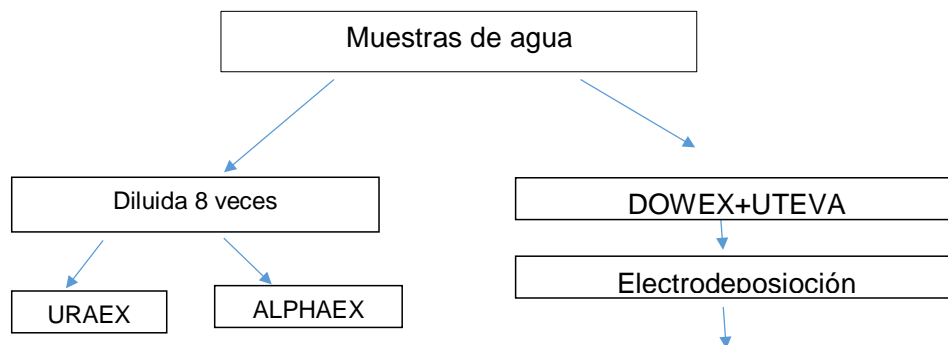
2. Para determinar la actividad específica, se emplea la ecuación (24)

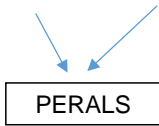
$$A_{\text{esp}} = A / V_m \quad (\text{Bq/L}) \quad (\text{Ec. 24})$$

Donde:

- A: actividad del isótopo presente en la muestra (Bq).
- V_m : volumen tomado de muestra (L).

6.4.6 Puesta a punto del procedimiento de extracción de uranio y determinación radioquímica de uranio en muestras de agua con alto contenido en sales.





ALFA

6.4.6.1 Pretratamiento para procedimiento de determinación de Uranio mediante centelleo líquido (PERALS) en muestras salinas de agua

El contenido de sales en las muestras de agua de la zona de Jiménez es muy elevado. Al aplicar los métodos tradicionales implementados en el LVRA para el análisis de agua subterránea resultados fueron muy poco satisfactorios. Por brevedad, no se van a describir los resultados no exitosos. Finalmente, para emplear las técnicas usuales fue necesario realizar diluciones de las muestras. El procedimiento se encuentra ampliamente descrito en la tabla 8.

Tabla 8: Pre-tratamiento para procedimiento de determinación de Uranio mediante centelleo líquido (PERALS) en muestras naturales de agua

PROCESO	DESCRIPCIÓN
Dilución de sales	Tomar 250 ml de muestra. Filtrar con filtro de 45 mc. Adicionar 250 ml de agua desionizada. Tomar 250 ml de la mezcla anterior y adicionar 750 ml de agua desionizada. Separar dicha muestra en cuatro muestras de 250 ml cada una. Cada muestra tiene un octavo de la concentración inicial.

Fortalecimiento de muestra con High Purity standard de uranio natural.	A una muestra de 250 mL, añadimos aproximadamente 0.5 g de High Purity standard de uranio natural. ($A = 0.12888 \pm 0.001031 \text{ Bq ml}^{-1}$)
Concentración de sales	Evaporar las cuatro muestras hasta un volumen de 5 ml. Evaporar las muestras en vasos de precipitado de 250 ml. Cuando el volumen sea aproximadamente de 20 ml trasvasar a un vaso de precipitado de 80 ml.
Procedimiento de determinación de Uranio mediante centelleo líquido (PERALS).	Continuar con la metodología de PERALS para muestras de agua, que se describe en el apartado 6.4.5.3

6.4.6.2 Pretratamiento para procedimiento de electrodeposición Hallstadius de muestras de agua salinas empleando una columna desechable con AG 1-X8 resin y una resina de intercambio iónico (UTEVA).

Debido a que eran muestras de agua que presentaban grandes contenidos de sales se utilizó una multiextracción de uranio utilizando una columna de extracción AG 1-X8 resin y una UTEVA. Se siguió la metodología que esta descrita por Jobbagy et al (2017) (Tabla 9).

Tabla 9: Pretratamiento muestras de agua de una zona de riego

PROCESO	DESCRIPCION
Filtrado a 45 µc	Tomar 1 L de muestra. Filtrar con filtro de 45 µc. Evaporar a 250 ml.
Adición del trazador de U-232	Añadimos 0.5 g como de trazador de U-232 ($A = 0.1393 \pm 0.0015 \text{ Bq g}^{-1}$)
Adición del portador de hierro	A una temperatura ambiente, adicionar 2 ml de disolución portadora de Fe^{+3} de (5 mg/ml).
Cambio de pH y precipitación de los actínidos	Adicionar amoníaco hasta alcanzar un pH entre 8 y 9. Obteniendo a este pH la precipitación de hidróxido de hierro y la precipitación de los actínidos
Centrifugado	Trasladamos a tubos de centrifuga la solución con su precipitado. Se centrifuga a 10 min a 4500 rpm. El objetivo es la completa separación del precipitado y el sobrenadante.
Secado del precipitado	Se elimina el sobre andante y se deja secando la parte solida precipitada debajo de una lámpara de calor de 1 a 24 horas.
Disolución del precipitado	El precipitado, una vez seco, es disuelto en 10 ml de HNO_3 8 M.
Eliminación de sales presents	Fue necesario preparar una columna desechable con Dowex 1-X8; malla 200-

	<p>400. (anexo 2) Una vez que la resina fue preparada. Fue acondicionada con 20 ml de agua des-ionizada y 15 ml de HNO₃ 8M.</p> <p>Después de que la columna fue acondicionada pasamos a través de ella los 10 ml de HNO₃ 8M, que contiene nuestro precipitado seco.</p> <p>Posteriormente pasamos 20 ml de HNO₃ 8M.</p> <p>Seguidos de 30 ml de HNO₃ 8M.</p> <p>El residuo obtenido es recolectado.</p>
Obtención de fracción de uranio.	<p>El residuo recolectado es pasado a través de una UTEVA.</p> <p>Seguido de 10 ml de HCl 9M</p> <p>Seguido de 15 ml HCl 5M</p> <p>Recolectamos todo el residuo obtenido y es considerado desecho.</p> <p>Instalamos un vaso de pp de 80 ml bajo la columna UTEVA.</p> <p>Agregamos en la columna UTEVA 15 ml de HCl 0.02 M. Esta parte es la que contiene la fracción de uranio.</p>
Procedimiento de determinación de Uranio mediante electrodeposición Hallstadius .	<p>Esta fracción obtenida es llevada a la metodología para procedimiento de electrodeposición Hallstadius, que se encuentra en el apartado 7.4.5.3</p>

Capítulo 7: Resultados y Discusión

7.1 Resultados de actividad por el detector de centelleo líquido PERALS + URAEX para muestras de agua sintética y agua de grifo.

Se aplicó la técnica expuesta en la sección 7.4.5.1 de extracción con URAEX y el detector de centelleo PERALS para una muestra de agua desionizada (figura 10) y una muestra de agua de grifo (figura 11). Las muestras se fortificaron con una actividad conocida de uranio de la solución certificada High Purity Standards No. 100064-1. En la tabla 10 se muestran los resultados obtenidos para una muestra agua sintética y en la tabla 11 se muestran los resultados obtenidos para una muestra agua de grifo. La actividad en Bq/L que presentó la muestra sintética es menor a la de agua de grifo. Y las actividades de ambas muestras están dentro del rango de la actividad adicionada.

Tabla 10 Muestra de agua sintética fortificada con High Purity Standards No. 100064-1

Isótopo	Muestra	Actividad adicionada (Bq)	Actividad (Bq)	Act esp (Bq/L)	U-234/U-238
238U	HP	0.0792±0.0002	0.0756 ± 0.0008	0.303 ± 0.002	0.9356
234 U	HP	0.0741±0.0002	0.0675 ± 0.0009	0.270 ± 0.002	

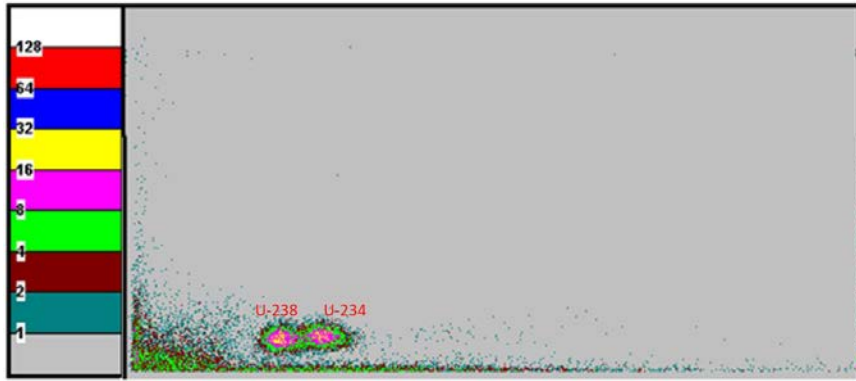


Figura 10: Espectro del agua desionizada fortificada con uranio de HPS

Tabla 11: Muestra de agua de grifo fortificada con High Purity Standards

Isótopo	Muestra	Actividad adicionada (Bq)	Actividad (Bq)	Act esp (Bq/L)	U-234/U-238
^{238}U	Grifo	0.0772 ± 0.0002	0.0702 ± 0.0008	0.309 ± 0.002	1.21
^{234}U	Grifo	0.0728 ± 0.0002	0.0609 ± 0.0009	0.254 ± 0.002	

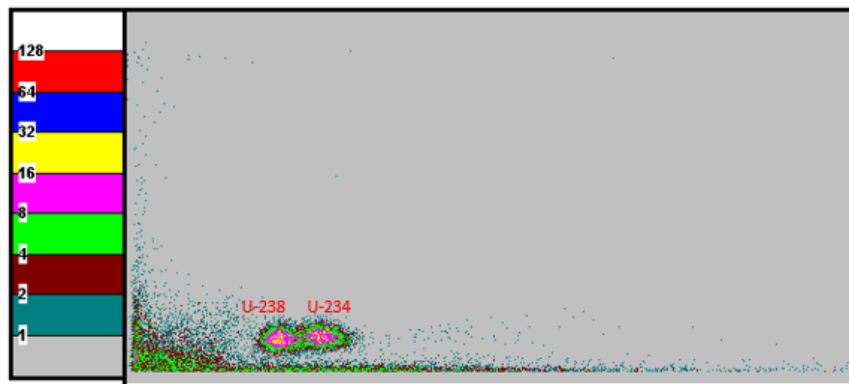


Figura 11. Espectro del agua de grifo fortificada con uranio de HPS

7.2 Resultados de actividad por el detector de centelleo líquido PERALS + ALPHAEX y determinación de la actividad de los isótopos de uranio por el método de espectrometría alfa para muestras ambientales de agua.

Con la finalidad de aplicar la metodología a muestras con un contenido de sales o STD distintos, se realizó el análisis de la actividad alfa total descrito en la sección 6.4.5.2 utilizando ALPHAEX en el detector de centelleo líquido PERALS y un análisis de la actividad total de uranio por el espectrómetro alfa utilizando la metodología de Hallstadius, descrito en la sección 6.4.5.3, para tres muestras ambientales de agua.

En la tabla 12 aparecen los resultados obtenidos en el detector PERALS y en la tabla 13 se encuentran los resultados obtenidos por el espectrómetro alfa y el método de Hallstadius.

Tabla 12: Resultados de la actividad obtenida por el detector de centelleo líquido PERALS utilizando ALPAHEX

Muestra	Conc. SDT (ppm)	Actividad α total (Bq/L)	Incert. α total (Bq/L)
Hidroneumático	1180	1.26	0.02
Red municipal	780	0.25	0.01
Agua de pozo	1250	1.10	0.03

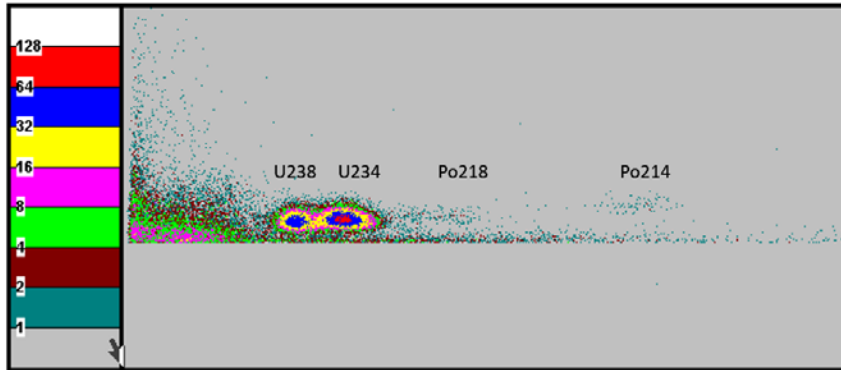


Figura 12: Espectro alfa de centelleo líquido de la muestra “hidroneumático” con estándar de uranio natural de High Purity Standard. La primera mancha se corresponde al ^{238}U , y la segunda, a la suma $^{235}\text{U} + ^{234}\text{U}$. La tercera mancha es de ^{218}Po y la cuarta, de ^{214}Po .

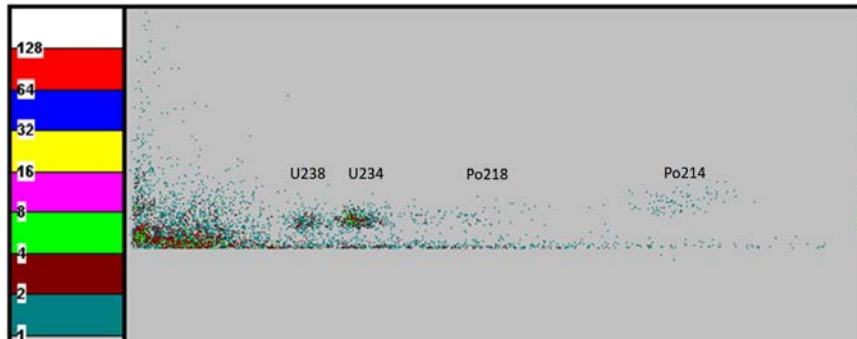


Figura 13 Espectro alfa de centelleo líquido de la muestra “agua de pozo” sin estándar. La primera mancha se corresponde al ^{238}U , y la segunda, a la suma $^{235}\text{U} + ^{234}\text{U}$. La tercera mancha es de ^{218}Po y la cuarta, de ^{214}Po

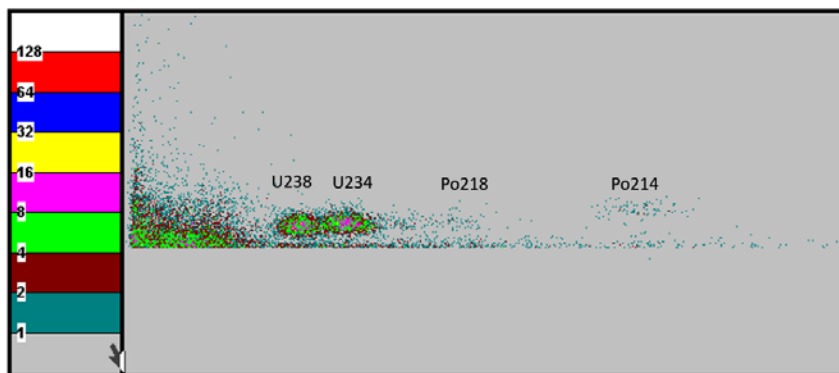
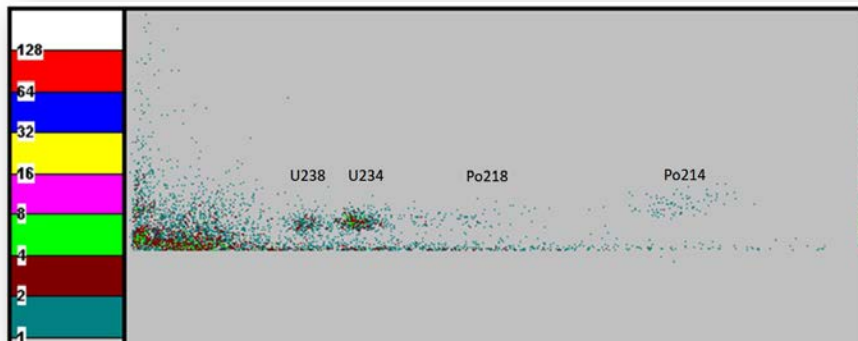


Figura 14: Espectro alfa de centelleo líquido de la muestra “red municipal” del municipio Delicias. Arriba aparece el espectro sin estándar y abajo con estándar interno. La primera mancha se corresponde al ^{238}U , y la segunda, a la suma $^{235}\text{U} + ^{234}\text{U}$. La tercera mancha es de ^{218}Po y la cuarta, de ^{214}Po .

Tabla 13: Resultados de la actividad obtenida por el espectrómetro alfa utilizando el método Hallstadius

Muestra	Actividad U238 (Bq/L)	Incert. U238 (Bq/L)	Actividad U235 (Bq/L)	Incert. U235 (Bq/L)	Actividad U234 (Bq/L)	Incert. U234 (Bq/L)	Actividad U total (Bq/L)	Incert. U total (Bq/L)
Hidroneumático	0.228	0.022	0.014	0.002	0.556	0.041	0.858	0.046
Red municipal	0.067	0.006	0.0031	0.0005	0.167	0.012	0.237	0.014
Agua de pozo	0.331	0.025	0.015	0.002	0.647	0.047	0.993	0.053

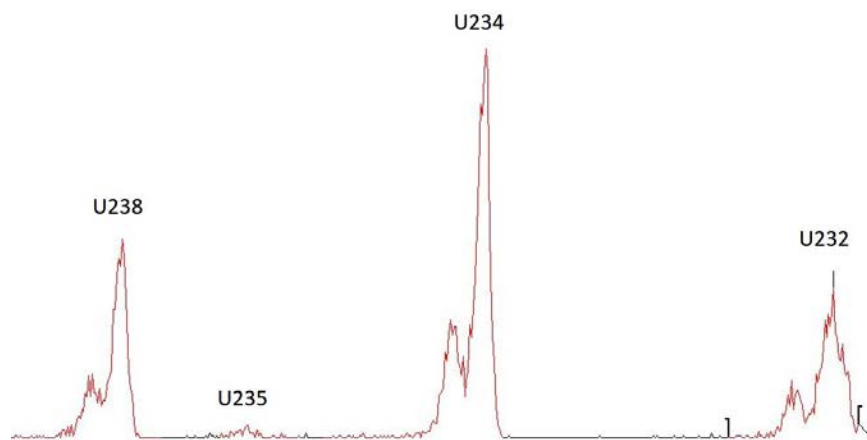


Figura 15: Espectro alfa de la extracción de uranio de la muestra de “hidroneumático” con estándar de ^{232}U . El primer pico se corresponde al ^{238}U , el segundo (pequeño) al ^{235}U , el tercero se corresponde al ^{234}U y el cuarto es el pico del estándar ^{232}U .

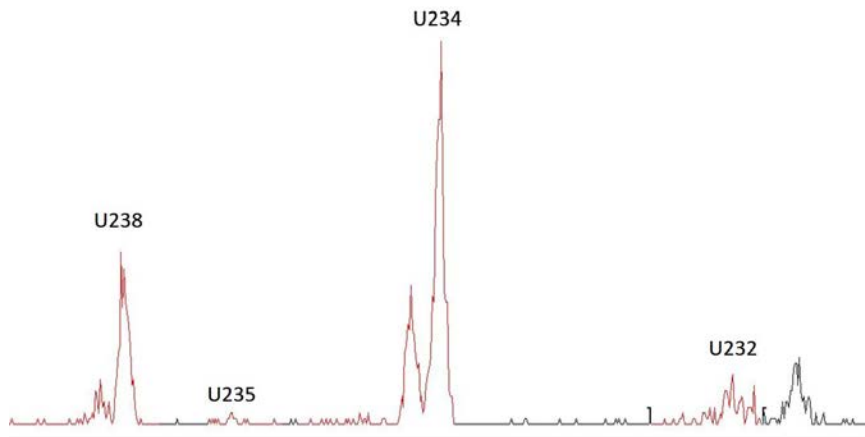


Figura 16: Espectro alfa de la extracción de uranio de la muestra de “red municipal” con estándar de ^{232}U . El primer pico se corresponde al ^{238}U , el segundo (pequeño) al ^{235}U , el tercero se corresponde al ^{234}U y el cuarto es el pico del estándar ^{232}U .

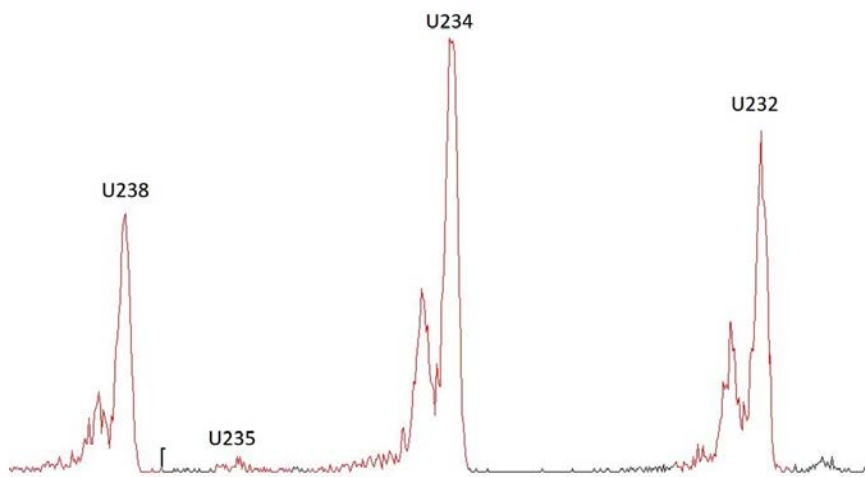


Figura 17: Espectro alfa de la extracción de uranio de la muestra de “agua de pozo” con estándar de ^{232}U . El primer pico se corresponde al ^{238}U , el segundo (pequeño) al ^{235}U , el tercero se corresponde al ^{234}U y el cuarto es el pico del estándar ^{232}U .

Cabe señalar en la implementación que la cantidad de amoníaco adicionada en el método de electrodeposición es sumamente importante. Una que adición mayor de 2 ml provocará la electrodeposición de sulfato de amonio (ANEXO A).

A pesar de que son procedimientos distintos se puede apreciar que los resultados son muy parecidos. Los resultados en la tabla 13 son mayores que la tabla 14. Esta diferencia se explica por la presencia de más isótopos alfa, de la misma cadena de desintegración del uranio, presentes en las muestras. Sin embargo, el hecho de obtener resultados similares nos permite señalar que ambos métodos son equivalentes y dan como resultado valores satisfactorios. Se señalan en rojo los resultados por arriba de la NOM-201-SSA1-2015.

En un estudio de agua subterránea de Delicias y Meoqui (Caraveo 2015) se reportaron los siguientes valores promedio e intervalos de concentración de nitratos: 4.8 mg/L (1.2 a 16 mg/L); sulfatos: 448 mg/L (75 a 1050 mg/L); cloruros: 77 mg/L (14 a 218 mg/L); dureza: 236 mg/L (38 a 690 mg/L).

7.3 Parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua de la zona de riego de Jiménez.

Para caracterizar las muestras de agua mencionadas en la sección de muestreo 7.2, se determinaron los parámetros fisicoquímicos medidos in situ, aplicando las normas mexicanas descritas en el capítulo de Materiales y Métodos, sección 6.4. Los resultados se muestran en la tabla 14.

Tabla 14: Parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua de riego de las zonas nogaleras y parámetros de normatividad ambiental.

Muestra	TB	pH	T °C	SDT	CE	Cloruros	Sulfatos	Nitratos	Fosfatos
				mg/L	mhos/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
NOM¹	5	6.5-8.5	25	1000		250	400	10	
WHO²	0.1	8.5		500		250	400	10	
EPA³		6.05-8.05		500					
FAO⁴		8.5		2000	3000				
Pavolari	5.49	7.57	25.86	2587	2236	875	1687.5	23.5	1.2
Ángel Fernández	5.39	7.44	24.33	995	1961	195	800	20.3	0.2
Pampas	9.15	8.53	13.96	3125	4536	1050	2075	3.5	2.03
Carmen	12.63	7.9	22.76	1785	2217	1383	425	16.8	3.66
Chamizal#1	22.17	7.53	23.43	1110	2181	355	725	30	0.38
Chamiza# 2	3.15	7.77	27.1	1742	2430	995	562	6.8	3.52
Diego	1.56	7.55	21.66	1540	1625	1020	512	11.3	2.65

7.4 Resultados de actividad para muestras de agua de riego de la zona nogalera obtenidos mediante el detector de centelleo líquido PERALS.

Los resultados de la actividad específica, relación isotópica y uranio total del agua de riego aplicando el procedimiento descrito en la sección 6.4.6.1 para cada una de las muestras nogalera se encuentran descritas en la tabla 15. Los espectros del agua de riego de las nogaleras obtenidos por el detector de centelleo líquido PERALS se encuentran de la figura 18 a la 24.

Se puede apreciar en la tabla 1315 que las muestras del agua de riego de las nogaleras de Pampas, Diego, Carmen y Pavolari exceden el límite máximo permisible (LMP) según la NOM-201-SSA1-2015 de 0.56 Bq/L.

Tabla 15: Cálculos para muestras de agua de una zona nogalera obtenidos por el equipo de centelleo líquido PERALS

Nogalera	Isótopo	Actividad específica Bq/L	U-234/U-238	U TOTAL (Bq/L)
Pampas	U-238	0.379±0.051	1.38	0.90
	U-234	0.529±0.051		
Diego	U-238	0.694±0.009	1.19	1.52
	U-234	0.827±0.009		
Carmen	U-238	0.399±0.002	1.63	1.05
	U-234	0.650±0.002		
Pavolari	U-238	0.377±0.008	1.43	0.91
	U-234	0.542±0.008		
Chamizal 1	U-238	0.105±0.002	2.47	0.36
	U-234	0.261±0.002		
Chamizal 2	U-238	0.090±0.013	2.74	0.33
	U-234	0.246±0.013		
Ángel Fernández	U-238	0.090±0.012	2.81	0.34
	U-234	0.254±0.012		
NOM-201-SSA1-2015	0.56 Bq/L			

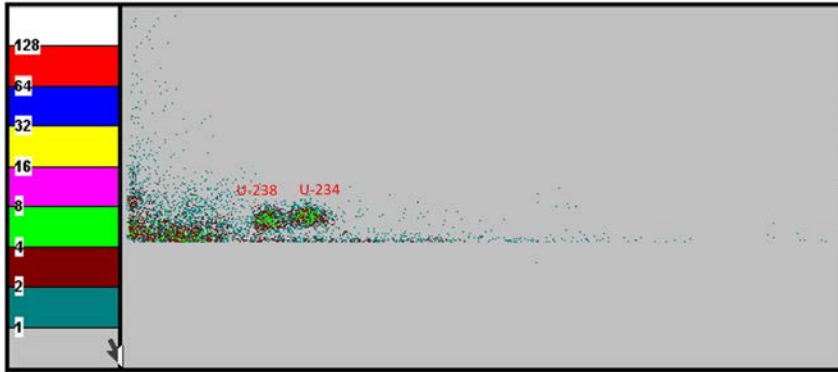


Figura 18: Espectro obtenido del detector PERALS de la muestra de agua de riego Pampas

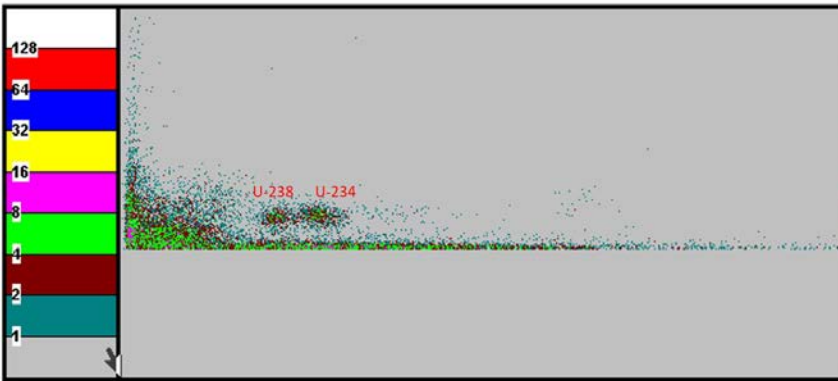


Figura 19: Espectro obtenido del detector PERALS de la muestra de agua de riego Diego

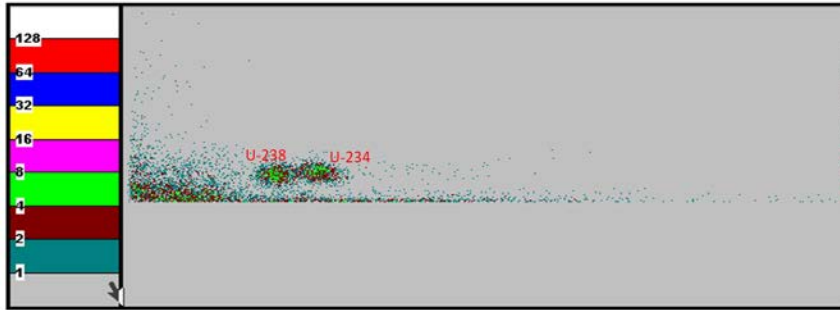


Figura 20: Espectro obtenido del detector PERALS de la muestra de agua de riego Carmen

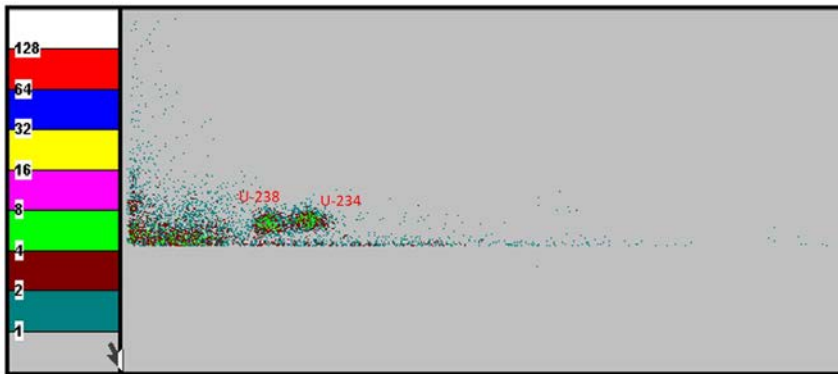


Figura 21: Espectro obtenido del detector PERALS de la muestra de agua de riego Pavolari

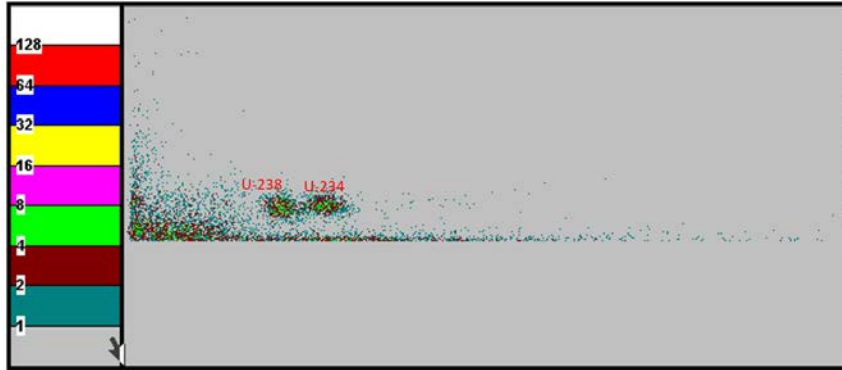


Figura 22: Espectro obtenido del detector PERALS de la muestra de agua de riego Chamizal

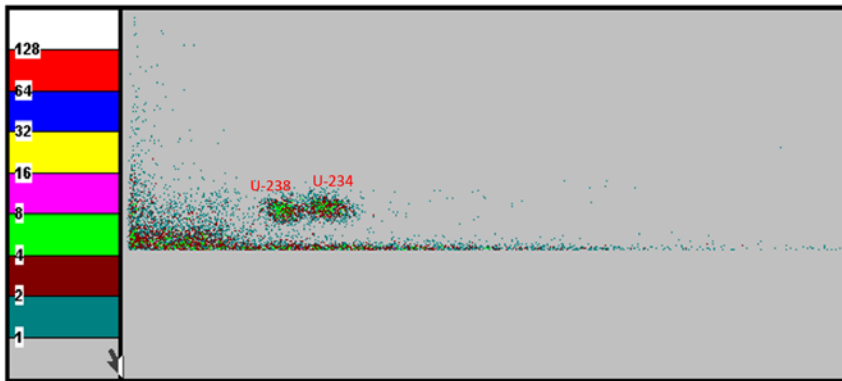


Figura 23: Espectro obtenido del detector PERALS de la muestra de agua de riego Chamizal 2

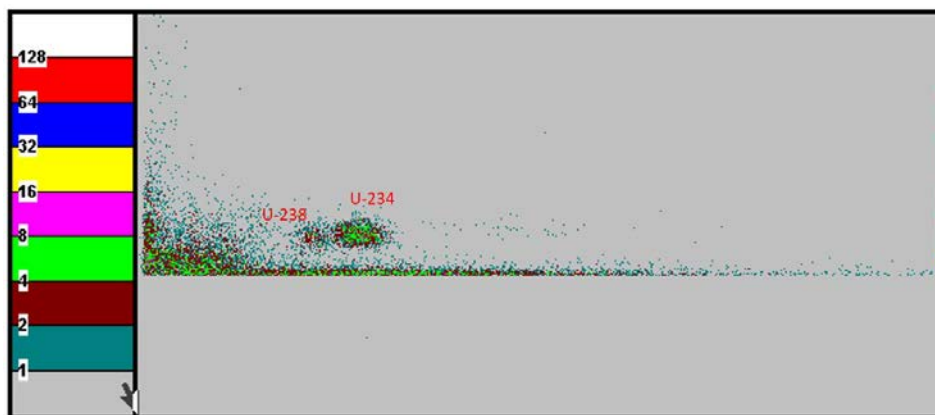


Figura 24: Espectro obtenido del detector PERALS de la muestra de agua de riego Ángel Fernández

7.5 Resultados de concentraciones del material de referencia IAEA-375

Para escoger el procedimiento de digestión del Laboratorio de Análisis Químico de CIMAV adecuado para este suelo, al MRC se le realizó un análisis general de elementos utilizando el ICP-OES. Los resultados se muestran en la tabla 17.

Para la verificación de la calidad del análisis de uranio en muestras de suelo, al material de referencia certificado IAEA-375 se le realizó un análisis por ICP-MS. Además, se realizó una determinación de uranio utilizando los procedimientos descritos en la sección 6.4.5.4 para el centelleo líquido PERALS (figura 25) y en la sección 6.4.7 en el detector alfa CANBERRA (figura 26). Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 16.

Tabla 16: Resultados obtenidos del material de referencia IAEA-375, utilizando como equipos de detección el ICP-MS, PERALS y el detector alfa. Se muestran los valores de referencia de la muestra certificada en rojo para comparación.

Isótopo	Actividad (Bq)	Actividad (Bq/kg)	U-234/U-238	IAEA-375 (Bq/kg)	RQ%
Técnica de extracción con URAEX					
U-238	4.963	22.80±0.002	0.63	19.0-29.8	81.9
U-234	3.131	21.53±0.002		17-32.5	
U-238	4.337	21.76±0.001	0.82	19.0-29.8	85.52
U-234	3.581	19.64±0.001		17-32.5	
Técnica de extracción de uranio utilizando UTEVA					
U-238	4.610	22.11±0.002	0.77	19.0-29.8	86.73
U-234	3.553	17.04±0.002		17-32.5	
U-238	4.266	20.46±0.001	0.86	19.0-29.8	85.52
U-234	3.672	17.61±0.001		17-32.5	
Determinación de uranio total por ICP-MS					
ppm (mg/kg)		1.8		1.66-2.05	

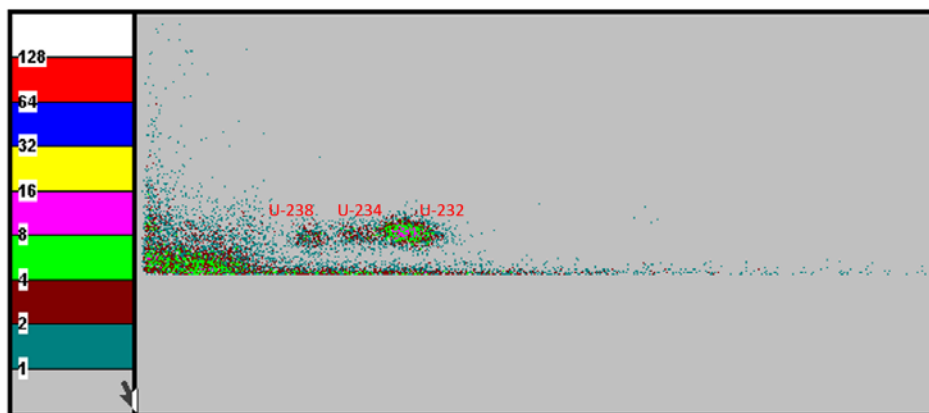


Figura 25: Espectro obtenido del detector PERALS del material de referencia IAEA-375

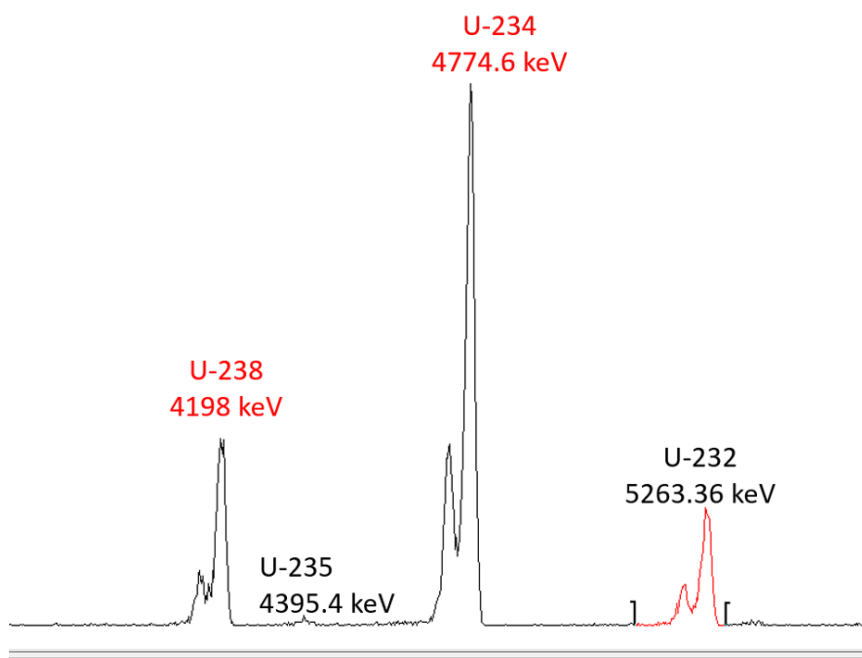


Figura 26: Espectro obtenido del espectrómetro alfa del material de referencia IAEA-375

Se puede observar en la tabla 19 que la hoja de referencia del material IAEA-375 establece un rango de Bq/kg de 19.0-29.8 para U-238 y 17.0-32.5 para U-234, y en las técnicas de detección radioquímicas de PERALS y espectrómetro alfa obtenemos resultados para ambos isótopos de uranio que están dentro de ese rango establecido. Por lo tanto, queda verificada la calidad de nuestro procedimiento.

También podemos observar en la tabla 19, que aplicando una técnica de determinación química como es ICP-MS obtenemos un valor de 1.8 mg/kg, y la hoja de referencia estable es valor de 1.66-2.05 mg/kg.

En la tabla 17 podemos ver un gran contenido de silicio y de hierro. Este último puede provocar interferencia con el uranio en el ICP-OES.

Tabla 17: Resultados del IAEA-375 obtenidos en el ICP-OES

Al %	Ca%	Fe%	K%	Mg%
0.7882	0.087	0.7275	1.0883	0.0098
Mn%	Na%	Pb%	Si%	Ti%
0.0078	0.3018	0.0076	33.3639	0.2003

Debido a las características del IAEA-375 fue necesario realizar una digestión ácida con HF, aunque se tiene documentado que la cantidad de silicio en suelo se elimina con una digestión de agua regia. Sin embargo, el agua regia no es capaz de lograr una digestión completa y no se dan condiciones óptimas para realizar una detección de uranio por métodos radioquímicas.

7.7.1 Hoja de referencia de IAEA-375



International Atomic Energy Agency
Analytical Quality Control Services
Wagramer Strasse 5, P.O.Box 100, A-1400 Vienna, Austria

REFERENCE SHEET

REFERENCE MATERIAL

IAEA--375

RADIONUCLIDES AND TRACE ELEMENTS IN SOIL

Date of issue: January 2000[®]

Recommended Values

(Based on dry weight)

Reference Date for decay correction: 31st December 1991

Radionuclide	Recommended Value Bq/kg	95% Confidence Interval Bq/kg	N*
40K	424	417 – 432	84
90Sr	108	101 – 114	43
106Ru	56	53 – 58	26
125Sb	77	74 – 79	38
	0.0017	0.0013 – 0.0021	10
129I	463	454 – 472	87
134Cs	5280	5200 – 5360	91
137Cs	20.5	18 – 22	37
226Ra		19.2 – 21.9	11
232Th			
<u>Recommended Values</u> <i>(Based on dry weight)</i>			
Element	Recommended Value mg/kg	95% Confidence Interval mg/kg	N*
Th	5.2	5.0 – 5.4	26
U	1.86	1.66 – 2.05	30

* Number of accepted laboratory means which were used to calculate the recommended values and confidence intervals.

® Revision of the reference sheet dated December 1997; original report date: August 1994.

Information Values

(Based on dry weight)

Reference Date for decay correction: 31st December 1991

Radionuclide	Information Value	95% Confidence Interval	N*
	Bq/kg	Bq/kg	
228Th	21	17 – 25	6
	25	17 – 32	5
234U	24.4	19.0 – 29.8	7
	0.071	0.056 – 0.085	10
238U	0.30	0.26 – 0.34	20
	0.13	0.11 – 0.15	6
238Pu			
239+240Pu			
241Am			
<u>Information Values</u> <i>(Based on dry weight)</i>			
Element	Information Value	95% Confidence Interval mg/kg	N*
As	2.56	2.24 – 2.88	6
Ba	335	316 – 354	6
La	17.6	15.3 – 19.9	5
Ni	9.7	7.9 – 11.6	5
Rb	48	44 – 52	8
Yb	1.73	1.24 – 2.22	5

7.6 Resultados de actividad para muestras ambientales de suelo de la zona nogalera obtenidos por el detector de centelleo líquido PERALS.

Los resultados de la actividad específica, relación isotópica y uranio total del suelo, aplicando el procedimiento descrito en la sección 7.4.5.4 para cada una de las muestras de nogaleras, se encuentran descritas en la tabla 18. Los espectros del suelo de las nogaleras obtenidos por el detector de centelleo líquido PERALS, se encuentra de la figura 27 a la 32.

Beegle (2007) establece un LMP de 0.548 Bq/g para uranio en suelo, por lo que la muestra de suelo de la zona nogalera Pampas rebasa dicho límite, con una concentración de 0.676 Bq/g.

UNSCEAR 2008 reporta un valor promedio mundial de la actividad de uranio natural en suelos de 0.74 Bq/g. En la tabla 17 podemos apreciar que las muestras no superan el promedio mundial reportado por la UNSCEAR 2008.

Tabla 18: Cálculos para muestras de suelo de una zona nogalera obtenidos por el equipo de

Nogaleras	Isótopo	Actividad específica (Bq/g)	U-234/ U-238	U TOTAL (Bq/g)
Pampas	U-234	0.404±0.005	1.4	0.676
	U-238	0.272±0.005		
Diego	U-234	0.081±0.009	1.3	0.142
	U-238	0.061±0.009		
Carmen	U-234	0.030±0.002	1.1	0.057
	U-238	0.027±0.002		
Pavolari	U-234	0.059±0.002	1.4	0.100
	U-238	0.041±0.008		
Chamizal 1 y 2	U-234	0.025±0.002	1.0	0.050
	U-238	0.024±0.002		
Ángel Fernández	U-234	0.028±0.001	1.2083	0.051
	U-238	0.023±0.001		
EPA 2016		7.7 Bq/g		
UNSCEAR 2008		0.74 Bq/g		
Beegle 2007		0.548 Bq/g		

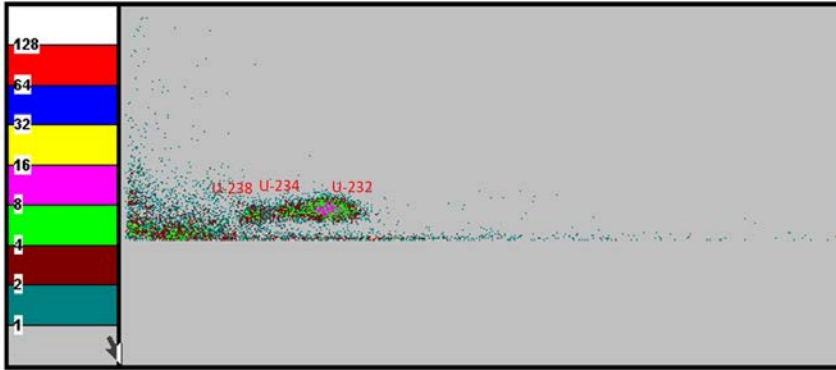


Figura 27: Espectro obtenido del detector PERALS de la muestra de la muestra de suelo de la zona Pampas

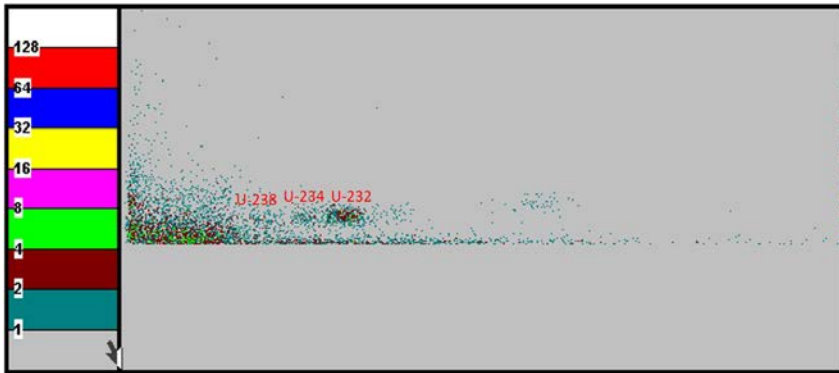


Figura 28: Espectro obtenido del detector PERALS de la muestra de la muestra de suelo de la zona nogalera Diego

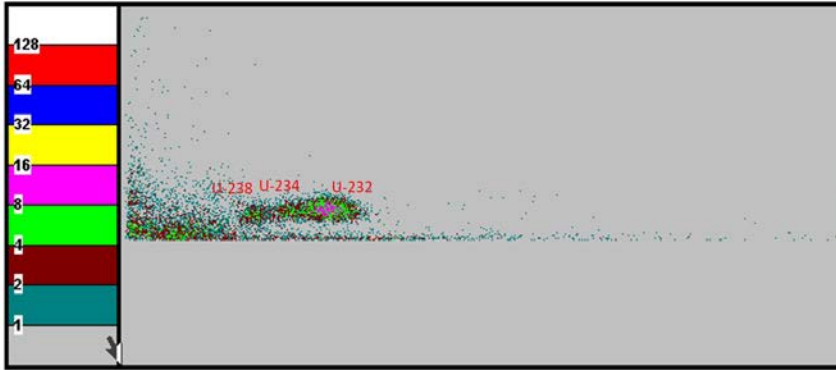


Figura 29: Espectro obtenido del detector PERALS de la muestra de la muestra de suelo de la zona nogalera Carmen

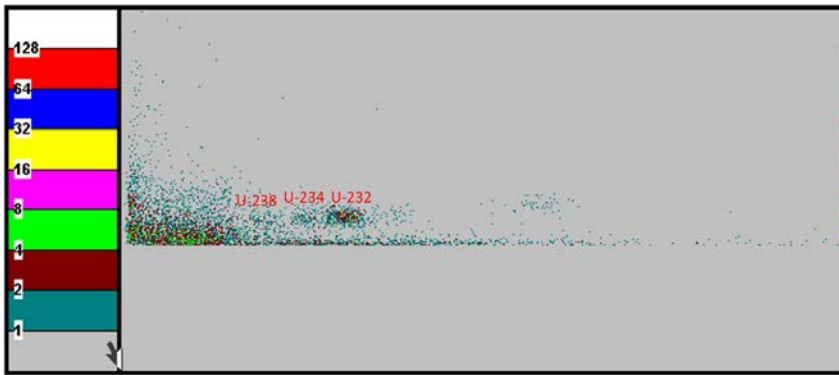


Figura 30: Espectro obtenido del detector PERALS de la muestra de la muestra de suelo de la zona nogalera Pavolari

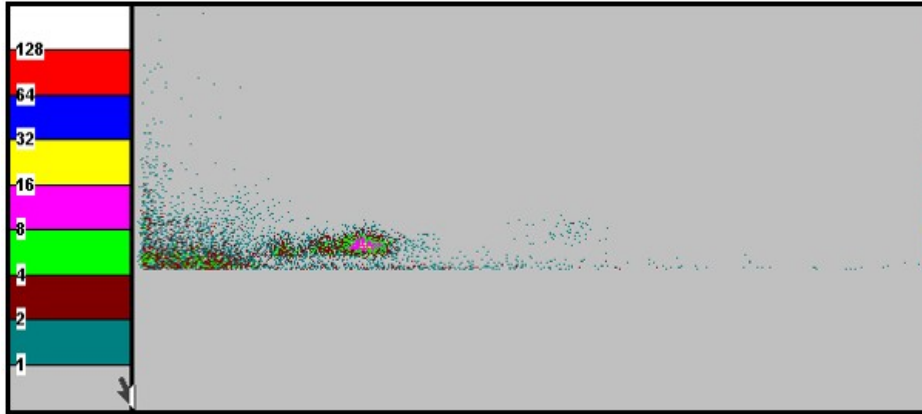


Figura 31:Espectro obtenido del detector PERALS de la muestra de la muestra de suelo dela zona nogalera Chamizal 1y2

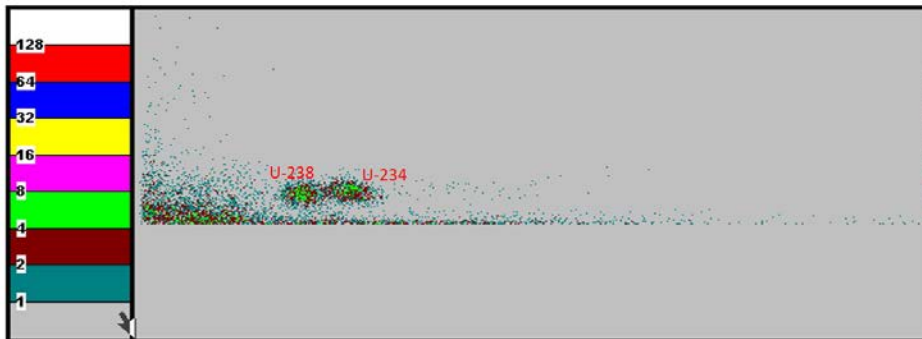


Figura 32:Espectro obtenido del detector PERALS de la muestra de la muestra de suelo de la zona nogalera Ángel Fernández

7.7 Resultados de actividad obtenidos por el espectrómetro alfa para muestras de agua de las zonas nogaleras.

Los cálculos de la actividad específica, relación isotópica y uranio total del agua para riego obtenidos aplicando el procedimiento descrito en la sección 7.4.6.2 de cada una de las muestras de suelo se encuentran en la tabla 19. Los espectros obtenidos por el detector alfa se encuentran de la figura 33 a la 39.

En la implementación del procedimiento de DOWEX y UTEVA, es muy importante cumplir los pasos de sequedad total hasta que se forme una capa totalmente seca en el fondo del vaso. De no ser así los ácidos no se volatilizarán y no se logrará el pH deseado para trabajar. También es necesario que la resina DOWEX se prepare de la siguiente manera: 2g en 80 ml y tenga 24 horas en agitación; de lo contrario, no se formará una columna y no será posible realizar una extracción correcta.

Como se puede apreciar en la tabla 19, lo establecido por la NOM-201-SSA1-2015 es una concentración de actividad máxima de 0.56 Bq/L. Toda el agua de uso de riego cumple con el LMP de dicha norma de actividad. Durante la experimentación de este método, se pudo observar que, debido al alto contenido de sales presentes en las muestras de agua, no se lograba una extracción adecuada de uranio. La cantidad de sales que se retenía sobre las columnas Dowex 1-X8; malla 200-400 era significativa, por lo que es posible que una parte del uranio total contenido en la muestra se encontrara formando un enlace con dichas sales. Dado lo anterior, el valor real de concentración de en las muestras de agua de la zona nogalera pueden ser subestimados por este procedimiento.

Tabla 19: Actividad del uranio de las muestras de agua de la zona nogalera obtenidos por el espectrómetro alfa

Nogaleras	Isótopo	Actividad específica Bq/L	U-234/U-238	U TOTAL (Bq/L)
Pampas	U-234	0.116±0.007	2.8	0.159
	U-235	0.001±0.007		
	U-238	0.040±0.007		
Diego	U-234	0.038±0.002	2.0	0.058
	U-235	0.001±0.002		
	U-238	0.018±0.002		
Carmen	U-234	0.019±0.002	2.5	0.026
	U-235	0.0005 ±0.002		
	U-238	0.007±0.002		
Pavolari	U-234	0.314±0.023	2.9	0.423
	U-235	0.003±0.023		
	U-238	0.105±0.023		
Chamizal 1	U-234	0.241±0.017	3.4	0.423
	U-235	0.002±0.017		
	U-238	0.070±0.017		
Chamizal 2	U-234	0.125±0.047	2.0	0.188
	U-235	0.002±0.047		
	U-238	0.060±0.047		
Ángel Fernández	U-234	0.349±0.019	3.06707	0.478
	U-235	0.015±0.019		
	U-238	0.114±0.019		
NOM-201-SSA1-2015	0.56 Bq/L			

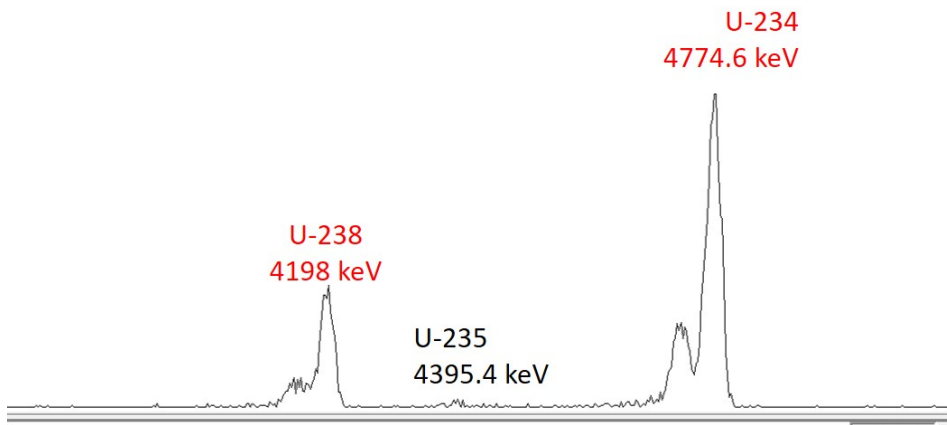


Figura 33: Espectro obtenido del espectrómetro Alfa de la muestra de agua de riego Pampas

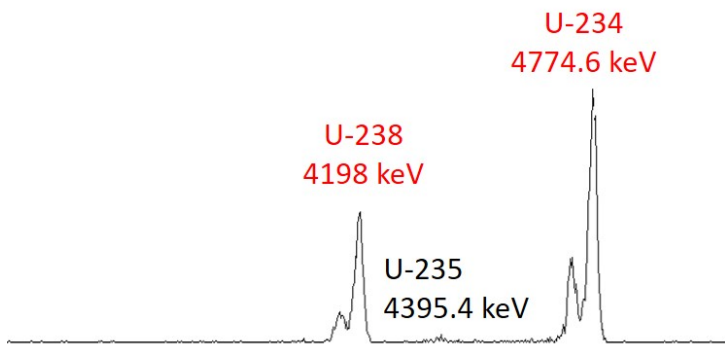


Figura 34: Espectro obtenido del espectrómetro Alfa de la muestra de agua de riego Ángel Fernández

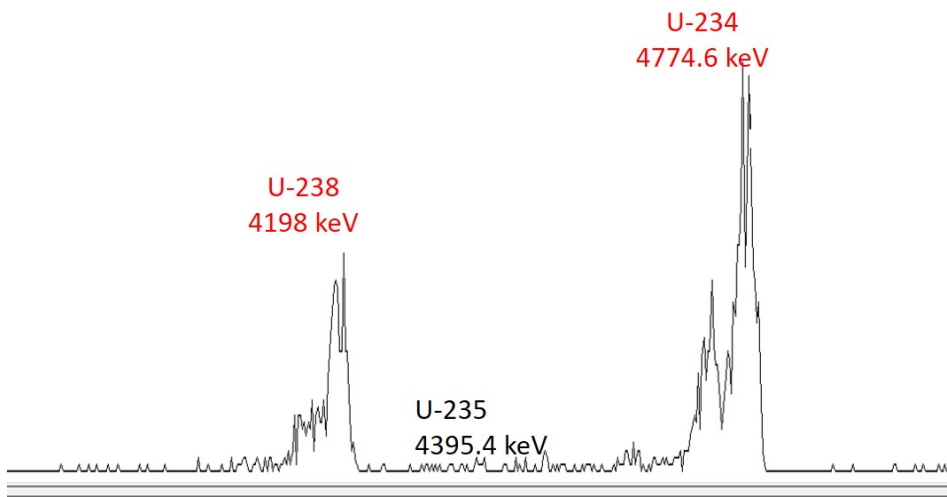


Figura 35: Espectro obtenido del espectrómetro Alfa de la muestra de agua de riego Diego

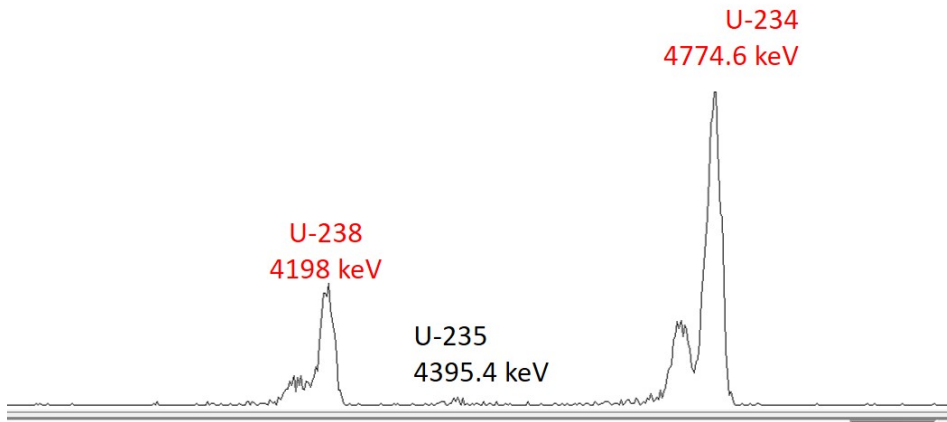


Figura 36: Espectro obtenido del espectrómetro Alfa de la muestra de agua de riego Carmen.

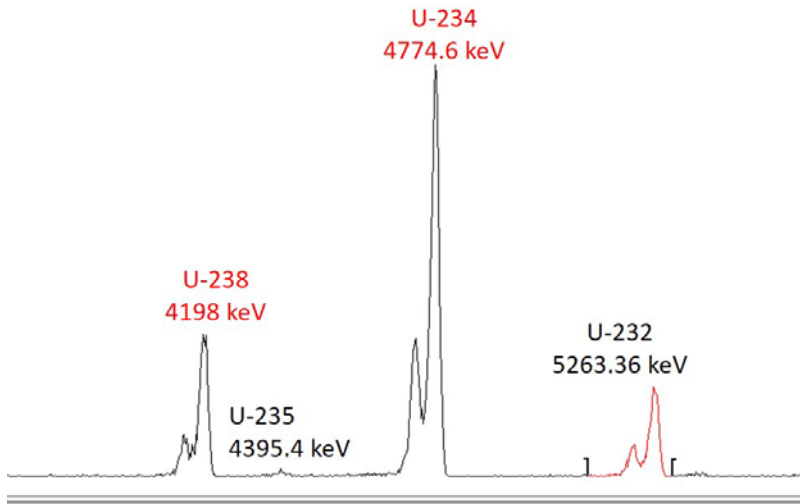


Figura 37 : Espectro obtenido del espectrómetro Alfa de la muestra de agua de riego Pavolari

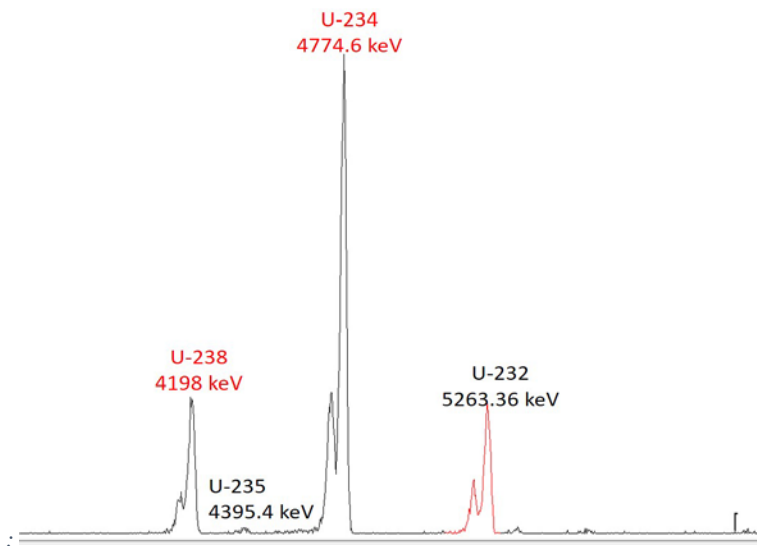


Figura 38: Espectro obtenido del espectrómetro Alfa de la muestra de agua de riego Chamizal

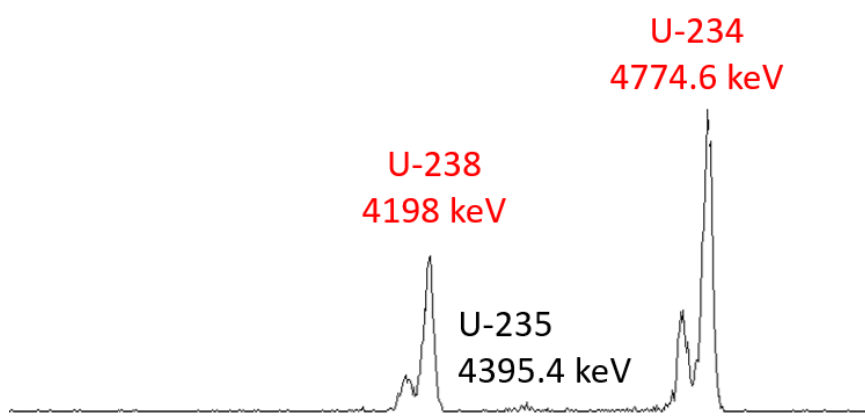


Figura 39: Espectro obtenido del espectrómetro Alfa de la muestra de agua de riego Chamizal 2

7.8 Resultados de actividad obtenidos por el espectrómetro alfa para muestras de suelo de las zonas nogaleras.

Los cálculos de la actividad específica, relación isotópica y uranio total del suelo para cada una de las nogalera se encuentran descritas en la tabla 20. Los resultados de suelo obtenidos por las nogaleras, cumplen con lo establecido por la EPA 2016, Beeagle 2017 y UNSCEAR 2008.

Tabla 20: Resultados de muestras de suelo de la zona nogalera obtenidos por el espectrómetro

Nogaleras	Isótopo	Actividad específica Bq/g	U-234/U-238	U TOTAL (Bq/g)
Pampas	U-234	0.419±0.004	1.486	0.701
	U-235	0.003		
	U-238	0.282±0.004		
Diego	U-234	0.089±0.008	1.25	0.16
	U-235	0.004		
	U-238	0.071±0.008		
Carmen	U-234	0.035±0.002	1.255	0.062
	U-235	0.002		
	U-238	0.027±0.002		
Pavolari	U-234	0.047±0.006	1.0	0.092
	U-235	0.0004±0.006		
	U-238	0.044±0.006		
Chamizal 1 y 2	U-234	0.036±0.001	1.6	0.061
	U-235	0.002±0.001		
	U-238	0.022±0.001		
Ángel Fernández	U-234	0.0331±0.001	1.182	0.061
	U-235	0.004		
	U-238	0.028±0.001		
EPA 2016	7.7 Bq/g			
UNSCEAR 2008	0.74 Bq/g			
Beegle 2007	0.5476 Bq/g			

7.9 Comparación de los resultados obtenidos en muestras de agua por los detectores de centelleo líquido PERALS y el espectrómetro alfa

Con objeto de verificar las diferencias entre los métodos aplicados en la determinación de las concentraciones de actividad en muestras muy salinas y las que no lo son, y para poder hacer recomendaciones para trabajo futuro, se comparan los resultados obtenidos por los dos procedimientos (tabla 21).

Tabla 21: Comparación de las actividades de uranio obtenidas por los métodos de centelleo líquido y espectrometría alfa en muestras de agua. En el nombre de cada muestra aparece el contenido de sólidos totales disueltos (STD) en mg/L.

Nombre de la muestra (STD)	Isótopo	ALFA			PERALS		
		Actividad específica Bq/L	U-234/U-238	U TOTAL (Bq/L)	Actividad específica Bq/L	U-234/U-238	U TOTAL (Bq/L)
Pampas (3125)	U-234	0.116±0.007	2.85	0.160	0.529±0.051	1.397	0.909
	U-235	0.002±0.007					
	U-238	0.041±0.007			0.379±0.051		
Diego (1540)	U-234	0.038±0.002	2.06	0.058	0.827±0.009	1.19	1.521
	U-235	0.001±0.002					
	U-238	0.019±0.002			0.694±0.009		
Carmen (1785)	U-234	0.019±0.002	2.58	0.027	0.650±0.002	1.63	1.049
	U-235	0.0005±0.002					
	U-238	0.007±0.002			0.399±0.002		
Pavolari (2587)	U-234	0.314±0.023	2.99	0.423	0.541±0.008	1.434	0.919
	U-235	0.004±0.023					
	U-238	0.105±0.023			0.378±0.008		
Chamizal 2 (1742)	U-234	0.126±0.047	2.07	0.188	0.246±0.013	2.74	0.335
	U-235	0.002±0.047					
	U-238	0.061±0.047			0.089±0.013		
NOM-201-SSA1-2015		0.56 Bq/L					

ALFA				PERALS			
Nombre de la muestra (STD)	Isótopo	Actividad específica Bq/L	U-234/U-238	U TOTAL (Bq/L)	Actividad específica Bq/L	U-234/U-238	U TOTAL (Bq/L)
Ángel Fdez (995)	U-234	0.349±0.019	3.07	0.478	0.254±0.012	2.81	0.344
	U-235	0.015±0.019					
	U-238	0.114±0.019			0.090±0.012		
Chamizal 1 (1110)	U-234	0.242±0.017	3.41	0.314	0.260±0.002	2.47	0.365
	U-235	0.002±0.017					
	U-238	0.070±0.017			0.105±0.002		
Muestras (STD)	Isótopo	Actividad específica Bq/L	U-234/U-238	U TOTAL (Bq/L)	Actividad α total (Bq/L)		
Hidron. (1180)	U-234	0.556±0.041	2.43	0.858±0.046	1.26±0.02		
	U-235	0.014±0.002					
	U-238	0.228±0.022					
Red Municipal (780)	U-234	0.167±0.012	2.49	0.237±0.014	0.25±0.01		
	U-235	0.0031±0.0005					
	U-238	0.067±0.006					
Agua de pozo (1250)	U-234	0.647±0.047	2.71	0.993±0.053	1.10±0.03		
	U-235	0.015±0.002					
	U-238	0.238±0.025					

Durante la aplicación del procedimiento de extracción con resina Dowex y UTEVA pudimos apreciar que la resina Dowex retenía una gran cantidad de sales en la parte superior en aquellas muestras que presentan un alto contenido de STD. Las muestras de agua de las zonas nogaleras de Pampas, Diego, Carmen, Pavolari y Chamizal 2, presentan un contenido mayor a 1200 mg/L. Esta variación en el contenido de sales pudiera ser la razón por la cual el resultado de uranio total en mg/L es distinto en el método de detector alfa y en el de PERALS.

Por el contrario, las muestras de agua Chamizal 1 y Angel Fernandez, presentan una concentración por el detector PERALS de uranio total de 0.365 y 0.345 Bq/L, respectivamente, mientras que para el detector alfa son de 0.314 y 0.478 Bq/L, respectivamente. La diferencia entre las dos técnicas es poco significativa. Esto se atribuye a que en la aplicación de la técnica con resina Dowex, la extracción se dio adecuadamente y sin retención de sales en la parte superior. Debemos resaltar que el contenido de STD es menor a 1200 mg/L.

Cabe señalar que en la publicación de referencia (Jobbagy et al. 2017) del método con las resinas DOWEX + UTEVA (multiextracción) lo recomiendan para muestras de agua de mar. Se pudiera atribuir las diferencias con el presente trabajo a la combinación de altos contenidos de sulfatos y nitratos, en comparación con el agua de mar.

Estos resultados contrastan con los obtenidos en las aguas del municipio Delicias. El procedimiento aplicado para el método de centelleo líquido y el procedimiento de extracción de uranio con resinas UTEVA más electrodeposición es semejante al de las aguas de Jiménez, en ambos casos. Una de estas aguas, la muestra “agua de pozo”, tiene STD mayor que 1200 mg/L. Sin embargo, los datos de calidad del agua de la zona Meoqui-Delicias permiten suponer que el contenido de sulfatos es menor que 700 mg/L.

Probablemente la multi-extracción no se lleva a cabo debido a que el alto contenido de sales satura la resina. No es fiable usar más de una resina DOWEX ya que el uranio se puede encontrar enlazado químicamente con alguna sal, la cual será retenida por dicha resina, resultando en mediciones de actividades inferiores.

7.10 Comparación de los resultados obtenidos en muestras de suelo de la zona nogalera por los detectores de centelleo líquido PERALS y el espectrómetro alfa

Para verificar las diferencias entre los métodos aplicados en la determinación de las concentraciones de actividad en muestras de suelo se comparan los resultados obtenidos por los dos procedimientos.

En la tabla 22 se pueden observar ambos resultados obtenidos de uranio total, determinados por el detector PERALS y el espectrometro alfa.

Tabla 22: Comparación de resultados por alfa y PERALS en suelos

Nogaleras	Isótopo	ALFA			PERALS		
		Actividad específica Bq/g	U234/U238	U TOTAL (Bq/g)	Actividad específica Bq/g	U-234/U-238	U TOTAL (Bq/g)
Pampas	U-234	0.419±0.004	1.486	0.701	0.404±0.005	1.4	0.676
	U-235	0.003					
	U-238	0.282±0.004			0.2721±0.005		
Diego	U-234	0.089±0.008	1.25	0.16	0.0812±0.009	1.32	0.143
	U-235	0.004					
	U-238	0.071±0.008			0.0614±0.009		
Carmen	U-234	0.035±0.002	1.26	0.062	0.0303±0.002	1.12	0.057
	U-235	0.002					
	U-238	0.027±0.002			0.027±0.002		
Pavolari	U-234	0.048±0.006	1.08	0.0928	0.059±0.008	1.43	0.101
	U-235	0.000±0.006					
	U-238	0.044±0.006			0.041±0.008		
Chamizal 1 y 2	U-234	0.036±0.001	1.63	0.0612	0.026±0.002	1.04	0.050
	U-235	0.002±0.001					
	U-238	0.022±0.001			0.025±0.002		
Ángel Fernández	U-234	0.035±0.01	1.25	0.063	0.028±0.001	3.06	0.052
	U-235	0.015±0.019					
	U-238	0.028±0.01			0.024±0.005		

Para las 6 muestras de suelo de la zona nogalera obtuvimos resultados semejantes en ambas técnicas. Por ello se puede concluir que ambas técnicas funcionan para la extracción de uranio en muestras de suelo.

Capítulo 8: Conclusiones

- Se implementaron los métodos de determinación de la concentración de actividad de los isótopos de ^{238}U y ^{234}U de centelleo líquido en el espectrómetro PERALS con los centellantes extractivos URAEX y ALPHAEX para muestras de agua y de suelo.
- Se implementaron los métodos de determinación de la concentración de actividad de los isótopos de ^{238}U y ^{234}U por espectrometría alfa en muestras de suelo.
- Se validaron los métodos radioquímicos de determinación de ^{238}U y ^{234}U implementados para suelo con el material de referencia IAEA-375, pues las concentraciones obtenidas satisfacen los intervalos certificados del material de referencia.
- Se determinaron las concentraciones de actividad de los isótopos naturales de uranio presentes en el agua y suelo de riego de la zona nogalera de Jiménez en el Estado de Chihuahua.
- Las muestras de Pampas, Carmen, Diego y Pavolari rebasan el LMP establecido en la norma NOM-201-SSA1-2015.
- Ninguna de las muestras de suelo excede el valor recomendado por la EPA 2016 y Beegle 2007, sin embargo, se encuentran por arriba del promedio mundial reportado por la UNSCEAR 2008.
- El método de multiextracción con resinas DOWEX y UTEVA para muestras con alto contenido de sales solo funciona para aquellas muestras que presentan una cantidad menor a 1200 mg/L de STD y bajo contenido de sulfatos.

Capítulo 9: Recomendaciones

Valorar dos posibles de métodos para electrodeposición de aguas salinas (principal contenido de sulfatos y nitratos):

- Diluciones de muestra antes de ser pasada por la multiextracción de uranio DOWEX-UTEVA.
- Utilizar Buffer de pH para lograr una estabilidad menos compleja.
- Filtrar sólidos y coloides, digerirlos y analizarlos.

Capítulo 10: Bibliografía

- Almeida, R. M. R., D. C. Lauria, et al. (2004). "Groundwater radon, radium and uranium concentrations in Região dos Lagos, Rio de Janeiro State, Brazil." *Journal of Environmental Radioactivity* 73(3): 323-334.
- Alvarez, A. Determinación de Uranio en Muestras Procedentes del Desmantelamiento de Instalaciones de la Primera Parte del Ciclo del Combustible Nuclear, CIEMAT(2000)
- Balkhair, K. S. y M. A. Ashraf. Field Accumulation Risks of Heavy Metals in a Soil and Vegetable Crop Irrigated with Sewage Water in Western Region of Saudi Arabia. *Saudi Journal of Biological Sciences*.(2015). 23: 32–44.
- B. Skwarzec, D.I. Struminska, A. Borylo, Radionuclides of ^{210}Po , ^{234}U and ^{238}U in drinking bottled mineral water in Poland, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 256 (2003) 361–364.
- Colmenero Sujo, L. H., M. de L. Villalba, H. Rubio Arias, M. Montero Cabrera y H. Silva Hidalgo. NORM Determination in Urban Soils from Selected Cities in Chihuahua, Mexico. *Acta Universitaria*. 26(2016): 36–42.
- Colmenero Sujo, L., M. E. Montero Cabrera, L. Villalba, M. Renteria Villalobos, E. Torres Moya, M. Garcia Leon, R. Garcia-Tenorio, F. Mireles Garcia, E. F. Herrera Peraza and D. Sanchez Aroche (2004). "Uranium-238 and thorium-232 series concentrations in soil, radon-222 indoor and drinking water concentrations 41 and dose assessment in the city of Aldama, Chihuahua, Mexico." *Journal of Environmental Radioactivity* 77(2): 205-219
- Currie, L. A. (1968). " Limits for Qualitative Detection and Cuantitative Determination." *Analytical Chemistry* 40(3): 586-593.

Curso de protección Radiológica para Personal Ocupacionalmente Expuesto. Dra. Maria Elena Montero Cabrera, CIMAV, 2002

EC, Council directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption, Off. J. Eur. Communities (December 1998) L 330/32.

Eisenbud, Merrill, and Thomas F. Gesell. Environmental Radioactivity from Natural, Industrial AND Military Sources: From Natural, Industrial and Military Sources. Academic press, 1997.

Eröss, A., H. Surbeck, K. Csondor, Á. Horváth, J. Mádl-Szőnyi y L. Lénárt. Radionuclides in the Waters of the Bükk Region, Hungary. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 303(2015): 2529–2533.

De Bievre, P., and P. D. P. Taylor. "Table of the isotopic compositions of the elements." International Journal of Mass Spectrometry and Ion Processes 123.2 (1993): 149-166.

GREENPEACE. Uranio combustible de los reactores atomicos y la industria militar. Agosto 2012.

Gu, Y. G., Y. P. Gao y Q. Lin. Contamination, Bioaccessibility and Human Health Risk of Heavy Metals in Exposed-Lawn Soils from 28 Urban Parks in Southern China's Largest City, Guangzhou. Applied Geochemistry. 67(2016): 52–58.

Rosas-Castor, J. M., Guzmán-Mar, J. L., Hernández-Ramírez, A., Garza-González, M. T., & Hinojosa-Reyes, L. (2014). Arsenic accumulation in maize crop (*Zea mays*): a review. Science of the Total Environment, 488, 176-187.

IAEA, 1996. IAEA-TECDOC-855. Clearance levels for radionuclides in solid materials". Application of exemption principles. Interim report for comment.

INAFED. 2017. Enciclopedia de los municipios y delegaciones en México. Estado de Chihuahua. Jiménez. En <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM08chihuahua/municipios/08036a.html>. Consultado 23 de Febrero de 2017.

INEGI. 2017. Compendio de Información Geográfica Municipal. En

<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/compendio.aspx>. Consultado 2 de Abril de 2017.

L'Annunziata, M. F. (1998). Handbook of radioactivity analysis, Academic Press

Metcalf and Eddy, Eds. (1996). Ingeniería de Aguas Residuales. , McGraw Hill.

NMX-AA-008-SCFI-2000 ANÁLISIS DE AGUA – Determinación del pH– método de prueba

NMX-AA-093-SCFI-2000 ANÁLISIS DE AGUA – Determinación de la conductividad electrolítica – método de prueba

NMX-AA-007-SCFI-2000- Análisis de agua - determinación de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba

NMX-AA-132-SCFI-2006.Norma Mexicana. Muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides y manejo de la muestra. Secretaria de Fomento y Comercio Social. México.

NOM-014-SSA1-1993. Norma Oficial Mexicana. Salud Ambiental. Procedimientos Sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados. Secretaria de Salud y Asistencia. México.

NOM-127-SSA1-1994. Norma Oficial Mexicana. Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano.Limites permisibles de calidad y tratamientos a que debe de someterse el agua para su potabilización.Secretaria de Salud y Asistencia. México.

NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. Norma Oficial Mexicana. Salud Ambiental. Criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por Arsénico, Bario, Berilio, Cadmio, Cromo Hexavalente, Mercurio, Níquel, Plata, Plomo, Selenio, Talio y/o Vanadio. Secretaria Medio Ambiente y Recursos Naturales; Secretaria de Salud y Asistencia. México

NOM-201-SSA1-2015. Norma Oficial Mexicana. Productos y servicios. Agua y hielo para consumo humano, envasados y a granel. Especificaciones sanitarias

Obiora, S. C., A. Chukwu y T. C. Davies. Heavy Metals and Health Risk Assessment of Arable

- Soils and Food Crops around Pb-Zn Mining Localities in Enyigba, Southeastern Nigeria. *Journal of African Earth Sciences*.116(2016): 182–189.
- Organización de naciones unidas. *Objetivos de desarrollo del milenio informe*, Nueva york, 2008.
- Paschoa, A. S., M. E. Wrenn, N. P. Singh, F. W. Bruenger, S. C. Miller, M. Cholewa and K. W. Jones "Localization of vanadium-containing particles in the lungs of uranium/vanadium miners." *Biological Trace Element Research* 13(1987): 275- 282.
- Ramírez ,R,V.Tesis *Energía nuclear como una solución sustentable para satisfacer la demanda de energía eléctrica*. Universidad nacional autónoma de México, 2009
- Renteria, V.R., M.E.Montero y E.F.Herrera.2004. *Estudio del Uranio Total en Agua Subterránea en la Ciudad de Jiménez, Chihuahua*. Página 1-7. Congreso Internacional Conjunto Cancún 2004 LAS/ANS-SNM-SMSR/ XV Congreso Anual de la SNM y XXII Reunión Anual de la SMSR.Cancún, Quintana Roo., México, 11-14 de Julio, 2004.
- Reyes-Cortés, M., L. Fuentes-Cobas, E. Torres-Moye, H. Esparza-Ponce and M. Montero-Cabrera (2010). "Uranium minerals from the San Marcos District, Chihuahua, Mexico." *Mineralogy and Petrology* 99(1): 121-132.
- Reyes Cortés, M. (2009). *Caracterización de los minerales de uranio del área de San Marcos, Chihuahua. Influencia hidrogeológica. Física de Materiales*. Chihuahua, 42 México, Centro de Investigación en Materiales Avanzados. Doctor en Ciencia de Materiales: 156.
- RP95, 1999. Reference levels for workplaces processing materials with enhanced levels of naturally occurring radionuclides. *Radiation Protection 95*. Edited by European Commission.
- RP96, 1997. Enhanced radioactivity of building materials. *Radiation Protection 96*. Edited by European Commission
- Skwarzec, B., D. Strumińska, and A. Boryło. "Radionuclides of ^{210}Po , ^{234}U and ^{238}U in drinking bottled mineral water in Poland." *Journal of Radioanalytical and nuclear chemistry* 256.2

(2003): 361-364.

Tóth, G., T. Hermann, M. R. Da Silva y L. Montanarella. Heavy Metals in Agricultural Soils of the European Union with Implications for Food Safety. *Environment International*. 88(2016): 299–309.

UNSCEAR, Ionizing Radiation. "Sources and Biological Effects." United Nations, New York 19 (1982).

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. "UNSCEAR, 1982." Sources, effects and risks of ionizing radiation. United Nations, New York (1988).

Villalba, M. L., L. H. Colmenero-Sujo."Presencia de Uranio en el Río Chuviscar, Chihuahua, México." *GEOS* 25(2005): 1-5.

Villalba, L., L. Colmenero Sujo, M. E. Montero Cabrera, A. Cano Jimenez, M. Renteria Villalobos, C. J. Delgado Mendoza, L. A. Jurado Tenorio, I. Davila Rangel and E. F. Herrera Peraza (2005). "Radon concentrations in ground and drinking water in the state of Chihuahua, Mexico." *Journal of Environmental Radioactivity* 80(2): 139-151.

Villalba, L., A. Martínez, L. Colmenero and M. E. Montero (2001). Determinación de Uranio y Radio en muestras de agua de los alrededores de la ciudad de Chihuahua. XII Congreso Anual de la Sociedad Nuclear Mexicana y XXV Congreso de la Sociedad Mexicana de Seguridad Radiológica, Zacatecas, Zacatecas.

Villalba, L., M. E. Montero-Cabrera, G. Manjon-Collado, L. Colmenero-Sujo, M. Renteria-Villalobos, A. Cano-Jimenez, A. Rodriguez-Pineda, I. Davila-Rangel, L. Quirino-Torres and E. F. Herrera-Peraza (2006). "Natural radioactivity in groundwater and estimates of committed effective dose due to water ingestion in the state of Chihuahua (Mexico)." *Radiation Protection Dosimetry* 121(2): 148- 157.

World Health Organization, Guidelines for Drinking-Water Quality, Second edition, Recommendations, vol. 1, Geneva, 1998.

World Health Organization, Guidelines for Drinking-Water Quality, Third edition, Recommendations, vol. 1, Geneva, 2004.

Zhang, C., S. Nie, J. Liang, G. Zeng, H. Wu and S. Hua.. Effects of Heavy Metals and Soil Physicochemical Properties on Wetland Soil Microbial Biomass and Bacterial Community Structure. *Science of the Total Environment*. (2016) 5: 785–790.

Capítulo 11: Anexos

Anexo # 1 Preparación portadora de Fe⁺³ de 5 mg/ml

1. Pesar 4.2 g de FeCl₃ 6H₂O.
2. Disolver en 40 ml de agua desionizada.
3. Aforar en 100 ml de agua desionizada y adicionar 0.4 ml de HNO₃