

RED NACIONAL DE MONITOREO DE LA COMPOSICIÓN ISOTÓPICA Y QUÍMICA DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL (RENIP): COMPLEMENTACIÓN, OPERACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Proyecto TH-1912.1

Informe final

**COORDINACIÓN DE HIDROLOGÍA
SUBCOORDINACIÓN DE HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA**

**Luis González Hita
Juan Carlos Aparicio González
Blanca de Jesús Carteño Martínez
Dustin Silverio Mañón Flores**

México, 2019

CONTENIDO

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	1
3. OBJETIVO	2
4. RED NACIONAL DE MONITOREO DE LA COMPOSICIÓN ISOTÓPICA Y QUÍMICA DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL (RENIP)	2
4.1. Colector de agua de lluvia.....	3
5. OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y MEDICIÓN DE LA ISOTOPIA ESTABLE Y TRITIO AMBIENTAL DE LA LLUVIA DE 28 ESTACIONES DE MONITOREO DE LA RENIP	9
5.1. Caracterización Isotópica	9
5.2. Suministro de envases y piezas de repuesto.....	18
5.3. Mantenimiento de los colectores de lluvia instalados en las estaciones de la RENIP.....	22
5.4. Coordinación del envío, recepción y clasificación de muestras desde sus lugares de origen al laboratorio de hidrología isotópica del IMTA.....	28
5.5. Medición del contenido de isótopos estables de muestras de lluvia acumulada mensual de la Red Nacional de Monitoreo Isotópico de la Precipitación Pluvial (RENIP).....	35
5.6. Resultados de la medición de isótopos estables de la RENIP.....	38
5.7. Análisis de tritio ambiental.....	44
5.7.1. Equipo de laboratorio.....	44
5.7.1.1. Destilación.....	46
5.7.1.2. Preparación de celdas y muestras para electrólisis	47
5.7.1.3. Electrólisis.....	48
5.7.1.4. Neutralización y postdestilación.....	50
5.7.1.5. Medición en el contador de centelleo	51
5.8. Resultados de la medición de tritio ambiental de las 28 estaciones que conforman la RENIP.....	53
6. ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE DATOS DE LA RENIP	63

6.1. Mapas isotópicos preliminares de datos del contenido de isótopos estables de lluvia generados por la RENIP.....	63
7. PUESTA EN OPERACIÓN Y APLICACIÓN DEL ANALIZADOR LÁSER LWIA-4S-EP, EN LA MEDICIÓN DE MUESTRAS DE AGUA NATURAL.....	72
Instalación del analizador láser modelo LIWA 45-EP en el laboratorio de espectrometría de masas del IMTA	78
7.1. Valores nominales de operación	81
8. CURSO NACIONAL DE CAPACITACIÓN SOBRE CARACTERIZACIÓN QUÍMICA E ISOTÓPICA DE AGUAS ATMOSFÉRICAS	84
9. CURSO REGIONAL DE CAPACITACIÓN SOBRE EL USO DE TÉCNICAS ISOTÓPICAS PARA LA DATACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	89
10. DESARROLLO DE ACTIVIDADES 2019 DEL PROYECTO REGIONAL PLURIANUAL RLA7024 ESTABLECIDO CON EL OIEA.....	93
11. INFORME DE REUNIÓN INTERMEDIA DE COORDINADORES DE PROYECTO.....	98
12. PARTICIPACIÓN EN EJERCICIOS INTERNACIONALES DE INTERCOMPARACIÓN DE RESULTADOS ISOTÓPICOS DEL OIEA	117
12.1. Descripción de los métodos de evaluación del ejercicio	118
12.2. Desempeño del laboratorio en el contexto regional.....	122
12.3. Resultados de $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ y exceso de deuterio.....	123
13. CONCLUSIONES	129
14. BIBLIOGRAFÍA.....	131

FIGURAS

Figura 1	Colector totalizador de la precipitación pluvial, Mod. RS2 PALMEX.....	3
Figura 2	Red Nacional de Monitoreo de la Isotopía de la Precipitación Pluvial (RENIP).	4
Figura 3	Colectores de agua de lluvia de las estaciones de la RENIP	6
Figura 4	Continuación. Colectores de agua de lluvia de las estaciones de la RENIP	7
Figura 5	Continuación. Colectores de agua de lluvia de las estaciones de la RENIP	8
Figura 6	Isotopía del ciclo hidrológico	10
Figura 7	Distribución de la composición isotópica estable de las aguas meteóricas a nivel global. Los valores δD y $\delta^{18}O$ se ajustan a una recta de pendiente ocho y ordenada al origen 10 denominada Línea Meteórica Global.....	14
Figura 8	Evolución isotópica de las aguas superficiales y subterráneas en el ciclo hidrológico	15
Figura 9	Evolución isotópica del agua subterránea en cuencas sedimentarias: 1. Hidratación de silicatos, 2. Intercambio con H_2S , 2H e hidrocarburos, 3. Reducción de sulfatos, oxidación de compuestos orgánicos e hidrógeno molecular, 4. Evaporación de agua dulce.....	17
Figura 10	Cajas de cartón y envases de 60 ml y 500 ml.....	18
Figura 11	Relación de envío de envases y cajas de cartón	19
Figura 12	Embudo dañado debido a la exposición en climas cálidos estación Tetelco CDMX.....	20
Figura 13	Embudo dañado debido a la exposición en climas cálidos estación Guadalajara	20
Figura 14	Embudo de repuesto. Preparación de envío.....	21
Figura 15	Localización de la manguera de purga.....	22
Figura 16	Limpieza de las mangueras utilizando un escobillón.....	23

Figura 17	Manguera con suciedad acumulada	23
Figura 18	Forro negro para aislar la luz y evitar la proliferación de algas	24
Figura 19	Limpieza de las mangueras a través del embudo, utilizando un escobillón	25
Figura 20	Limpieza del envase de lluvia, después de la toma de muestra.....	26
Figura 21	Cambio de depósito de acuerdo a la temporada de lluvias.....	27
Figura 22	Toma de muestra de lluvia mensual.....	28
Figura 23	Botellas con fecha de muestreo y hoja de campo del colector de lluvia	29
Figura 24	Elaboración y envío por correo electrónico de la guía de mensajería ...	29
Figura 25	Paquete de muestras de lluvia para su envío	30
Figura 26	Solicitud de recolección y envío de muestras de lluvia	31
Figura 27	Verificación y seguimiento de la entrega de las muestras de lluvia al IMTA	32
Figura 28	Registro de muestras en el laboratorio de hidrología isotópica	33
Figura 29	Almacenamiento en refrigeración de las muestras de lluvia recibidas	34
Figura 30	Clasificación de muestras.....	34
Figura 31	Analizador láser de isótopos de agua Picarro L2110-i.....	35
Figura 32	Llenado de viales con 1.5 ml de muestra de lluvia.....	36
Figura 33	Analizador láser de isótopos de agua Los Gatos Research LWIA-45EP.	36
Figura 34	Sistema de Manejo de Información de Laboratorios para Analizadores Láser	37
Figura 35	Composición isotópica estable de la RENIP.....	43
Figura 36	Proceso de destilación primaria realizado en el laboratorio de tritio ambiental del IMTA.....	46
Figura 37	Proceso de postdestilación realizado en el laboratorio de tritio ambiental del IMTA.....	50

Figura 38	Contador de centelleo liquido Perkin Elmer Quantulus GCT 6220 instalado en el IMTA.....	52
Figura 39	Mapa isotópico distribución delta O18 RENIP.....	64
Figura 40	Mapa isotópico distribución delta 2H RENIP.....	65
Figura 41	Mapa isotópico distribución delta exceso de 2H RENIP.....	66
Figura 42	Analizador Láser de isótopos estables de agua Los Gatos Reseach Inc instalado en el laboratorio de espectrometría de masas del IMTA.....	79
Figura 43	Vaporizador instalado.....	80
Figura 44	Panel principal, con ventana de parámetros e interfaz de usuario con barra de control	81
Figura 45	Ventana de verificación y ajuste de láser.....	82
Figura 46	Ventana de ajustes y calibración del auto inyector con valores de operación ajustados.....	83
Figura 47	Ventana de ajuste y calibración del Cambio del Septum.....	83
Figura 48	Fotografía grupal del curso nacional de capacitación sobre caracterización química e isotópica de las aguas atmosféricas impartido en el IMTA..	84
Figura 49	Lista de asistencia al curso.....	86
Figura 50	Tríptico promocional del curso	87
Figura 51	Programa del curso.....	88
Figura 52	Fotografía grupal del curso regional de capacitación sobre el uso de técnicas isotópicas para la datación de las aguas subterráneas.....	89
Figura 53	Lista de asistencia del curso regional	90
Figura 54	Tríptico promocional del curso regional	91
Figura 55	Programa del curso regional.....	92
Figura 56	Fotografía de la reunión con autoridades de las dependencias nacionales colaboradoras con el proyecto RLA7024	93
Figura 57	Lista de asistencia a la reunión de autoridades de alto nivel	95

Figura 58	Programa de la reunión.....	96
Figura 59	Visita al laboratorio de isotopos estables en la UNAM.....	97
Figura 60	Posición vs. Valor medio $ z $ para $\delta^{18}O$ y δ^2H	122
Figura 61	Diagramas S de $\delta^{18}O$	124
Figura 62	Diagramas S de δ^2H	126
Figura 63	Valores de referencia vs. Sesgo.....	128

TABLAS

Tabla 1	Colectores de lluvia de la RENIP.....	5
Tabla 2	Resultados de oxígeno-18 y deuterio	38
Tabla 3	Continuación Resultados de oxígeno-18 y deuterio	39
Tabla 4	Continuación resultados de oxígeno-18 y deuterio.....	40
Tabla 5	Continuación resultados de oxígeno-18 y deuterio.....	41
Tabla 6	Continuación resultados de oxígeno-18 y deuterio.....	42
Tabla 7	A1. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 1 a la 11..	53
Tabla 8	A2. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 1 a la 11....	53
Tabla 9	B1. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 12 a la 25	54
Tabla 10	B2. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 12 a la 25..	54
Tabla 11	C1. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 26 a la 33.	55
Tabla 12	C2. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 26 a la 33.	55
Tabla 13	D1. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 34.....	56
Tabla 14	D2. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 34.....	56
Tabla 15	E1. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 35 a la 43.	56
Tabla 16	E2. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 35 a la 43.	57
Tabla 17	F1. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 44 a la 46.	57
Tabla 18	F2. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 44 a la 46.	57
Tabla 19	G1. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 47 a la 53	58

Tabla 20	G2. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 47 a la 53.	58
Tabla 21	H1. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 54 a la 62	58
Tabla 22	H2. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 54 a la 62	59
Tabla 23	I1. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 63 a la 69...	59
Tabla 24	I2. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 63 a la 69.	60
Tabla 25	J1. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 70 a la 86.	60
Tabla 26	J2. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 70 a la 86	61
Tabla 27	K1. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 87 a la 90	61
Tabla 28	K2. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 87 a la 90	62
Tabla 29	Datos utilizados para la generación de los mapas isotópicos preliminares de la RENIP	67
Tabla 30	Muestras utilizadas y valores isotópicos δ asignados, relativos a los estándares VSMOW2 y SLAP2.....	118
Tabla 31	Valoración de resultados y condiciones.....	120
Tabla 32	Resultados de $\delta^{18}\text{O}$	123
Tabla 33	Resultados de $\delta^2\text{H}$	125
Tabla 34	Exceso de deuterio.....	127

RESUMEN

El IMTA ha instalado una red nacional de monitoreo de la composición isotópica de la precipitación pluvial (RENIP), integrada por 28 estaciones de recolección de lluvia acumulada mensual, distribuidas en las provincias de lluvia y fisiográficas del territorio nacional.

La operación de la red cuenta con el apoyo técnico del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX) y de la Coordinación del Servicio Meteorológico Nacional (CSMN) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), mediante convenios de colaboración con el IMTA. Así mismo, mediante la cooperación técnica del Organismo Internacional de Energía Atómica, se modernizan las metodologías de análisis, se innova la infraestructura instrumental de medición, se capacita al personal técnico y se evalúa la calidad de las mediciones mediante ejercicios de intercomparación.

La RENIP inició sus operaciones de recolección, medición de muestras de lluvia y análisis de resultados desde el 2017, y se ha complementado continuamente durante el 2018 y 2019, hasta cubrir las 15 provincias fisiográficas que integran el territorio nacional, las cuencas que presentan estrés hídrico, las zonas donde se alojan hidrocarburos en formaciones no convencionales y las zonas donde se localizan acuíferos transfronterizos.

La determinación de la composición de isótopos estables de H y O, así como el contenido de tritio ambiental de las muestras de lluvia, se realizan en el laboratorio de hidrología isotópica del IMTA. La innovación de la infraestructura instrumental y la actualización de las metodologías de análisis del laboratorio; así como, la incorporación conjunta del uso de isótopos con otras disciplinas científicas en las evaluaciones nacionales de los recursos hídricos, utilizando los datos de la RENIP,

se realiza en el marco del proyecto regional RLA7024 del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), en el cual participa nuestro país a través del IMTA.

La RENIP cuenta con bases de datos que permiten complementar y respaldar la interpretación conjunta de resultados de campo y laboratorio de estudios de caso. Asimismo ha permitido elaborar los mapas isotópicos preliminares (*isoscapes*) y las trayectorias de vientos asociadas a las composiciones isotópicas de las precipitaciones pluviales del territorio nacional.

1. INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la composición isotópica de la precipitación pluvial, que es la fuente de recarga de los sistemas hidrológicos, permite precisar y fortalecer la evaluación nacional de los recursos hídricos, para su administración y aprovechamiento sustentables en cuencas y acuíferos.

Los resultados de las series de datos isotópicos generados en las 18 provincias fisiográficas que cubren el territorio nacional, e integran la Red Nacional de Monitoreo Isotópico y químico de la precipitación pluvial (RENIP), aportan información existente en forma gratuita en la naturaleza para el estudio y entendimiento de las aguas atmosféricas, superficiales y subterráneas.

El conocimiento obtenido de datos isotópicos propios de cada región hidrológica, contribuirá a la administración y gestión integral de los recursos hídricos subterráneos, simulación del funcionamiento hidrogeológico de acuíferos, cuencas y componentes del ciclo hidrológico mediante modelación numérica; sí como, la exploración, evaluación y aprovechamiento de nuevas fuentes de agua dulce, alojadas en formación geológicas complejas y profundas y en la caracterización de recursos hídricos profundos asociados a la posible explotación de hidrocarburos en yacimientos no convencionales.

2. ANTECEDENTES

La evaluación integral de los recursos hídricos es crítica para enfrentar la escasez de agua y requisito técnico clave para comprender la dinámica del agua en el ciclo hidrológico. Los isótopos ambientales son trazadores naturales gratuitos, que proporcionan datos esenciales para determinar el comportamiento de las aguas

atmosféricas, superficiales y subterráneas. El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) cuenta con una red nacional de monitoreo de la composición isotópica y química de la precipitación pluvial (RENIP), que complementa el conocimiento y naturaleza integral de los recursos hídricos con énfasis en las aguas subterráneas.

La evaluación integral de los recursos hídricos es una capacidad crítica para enfrentar la escasez de agua y un requisito técnico clave para comprender la dinámica del agua en el ciclo hidrológico.

3. OBJETIVO

Generar información de la composición isotópica contenida en la precipitación pluvial, para caracterizar las variables que gobiernan el comportamiento de las aguas atmosféricas, superficiales y subterráneas, bajo las condiciones climatológicas, orográficas y ambientales del territorio nacional.

4. RED NACIONAL DE MONITOREO DE LA COMPOSICIÓN ISOTÓPICA Y QUÍMICA DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL (RENIP)

El conocimiento de la composición isotópica de la precipitación pluvial, que es la fuente de recarga de los sistemas hidrológicos, fortalece la evaluación nacional de los recursos hídricos, así como su administración y aprovechamiento sustentable en cuencas y acuíferos.

4.1. Colector de agua de lluvia

El colector de agua de lluvia RS2 PALMEX es un dispositivo auto estable, diseñado específicamente para almacenar la precipitación recogida durante semanas o incluso meses, sin evaporación y sin el fraccionamiento asociado. Contienen un tubo que conduce el agua desde la salida del embudo hacia el fondo del recipiente, con el tubo sumergido en el agua ya recogida. Un sistema de equilibrio de presión asegura el flujo desde el embudo hacia el recipiente. Por lo tanto, es especialmente adecuado para determinar la composición isotópica del agua.



Figura 1 Colector totalizador de la precipitación pluvial, Mod. RS2 PALMEX

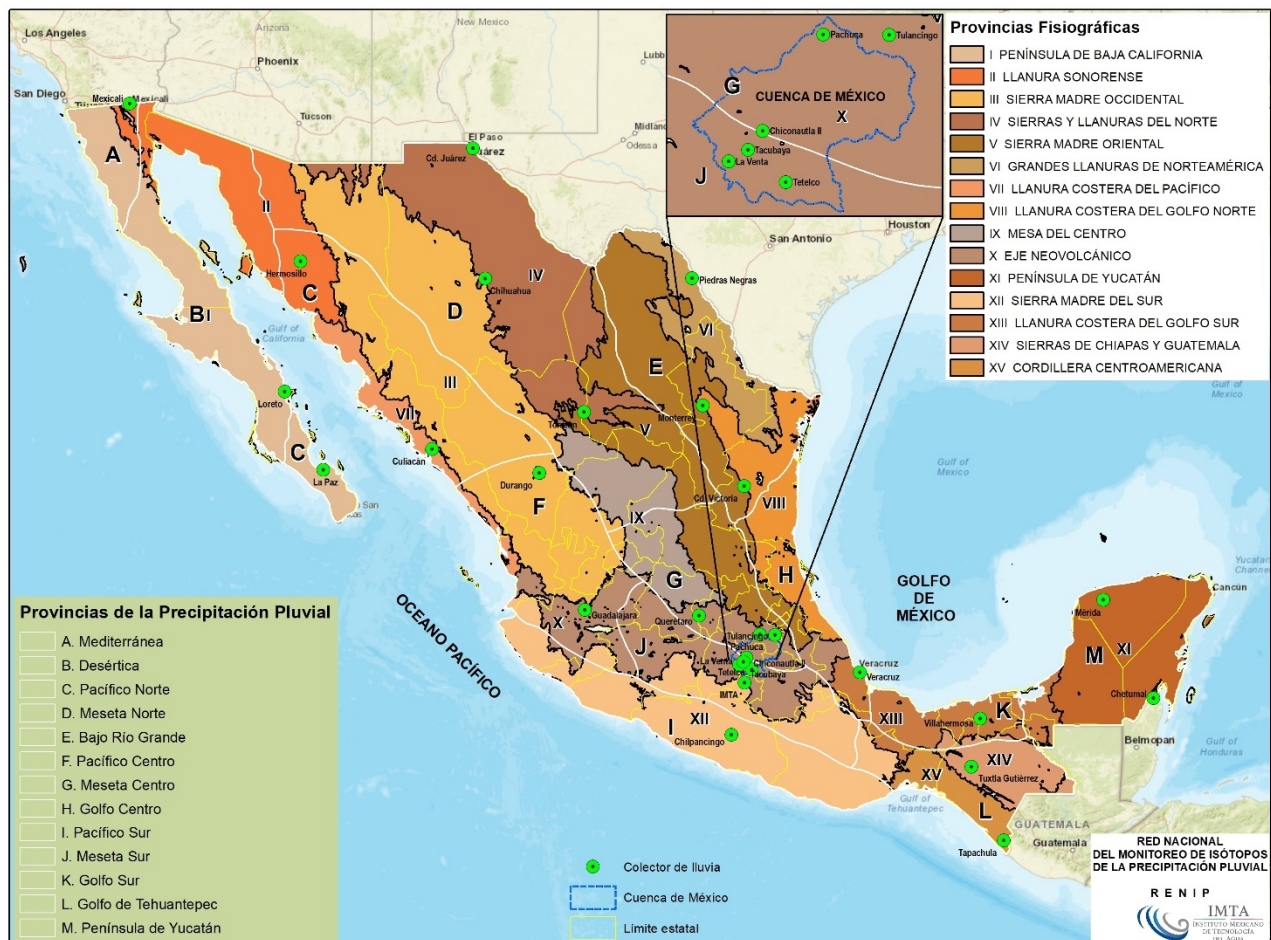


Figura 2 Red Nacional de Monitoreo de la Isotopía de la Precipitación Pluvial (RENIP).

Tabla 1 Colectores de lluvia de la RENIP

No.	PROVINCIA DE PRECIPITACIÓN PLUVIAL	PROVINCIA FISIGRÁFICA	SITIO	LONG. W	LAT. N	ELEV. (msnm)
1	D MESETA NORTE	IV SIERRAS Y LLANURAS DEL NORTE	CD. JUÁREZ	-106.4272222	31.68972222	1117
2	H GOLFO CENTRO	VIII LLANURA COSTERA DEL GOLFO NORTE	CD. VICTORIA	-98.207828	23.764228	329
3	M PENÍNSULA DE YUCATÁN	XI PENÍNSULA DE YUCATÁN	CHETUMAL	-88.327533	18.500436	19
4	G MESETA CENTRO	X EJE NEOVOLCÁNICO	CHICONAUTLA II	-99.109005	19.515761	2277
5	D MESETA NORTE	IV SIERRAS Y LLANURAS DEL NORTE	CHIHUAHUA	106°01'49.23"	28°40'14.48"	1405
6	I PACÍFICO SUR	XII SIERRA MADRE DEL SUR	CHILPANCINGO	099°30'50.42"	17°34'18.49"	1270
7	C PACÍFICO NORTE	VII LLANURA COSTERA DEL PACÍFICO	CULIACÁN	107°26'28.36"	24°38'05.86"	30
8	F PACÍFICO CENTRO	III SIERRA MADRE OCCIDENTAL	DURANGO	104°36'01.65"	24°03'41.30"	1882
9	F PACÍFICO CENTRO	X EJE NEOVOLCÁNICO	GUADALAJARA	-103.392383	20.706569	1568
10	C PACÍFICO NORTE	II LLANURA SONORENSE	HERMOSILLO	-110.930444	29.078419	209
11	G MESETA CENTRO	X EJE NEOVOLCÁNICO	IMTA	-99.158783	18.8838	1344
12	C PACÍFICO NORTE	I PENÍNSULA DE BAJA CALIFORNIA	LA PAZ	-110.320422	24.128783	26
13	J MESETA SUR	X EJE NEOVOLCÁNICO	LA VENTA	-99.310796	19.333336	2884
14	B DESÉRTICA	I PENÍNSULA DE BAJA CALIFORNIA	LORETO	111°21'00"	26°00'41.00"	6
15	M PENÍNSULA DE YUCATÁN	XI PENÍNSULA DE YUCATÁN	MÉRIDA	089°39'07.86"	20°56'48.60"	12
16	A MEDITERRÁNEA	II LLANURA SONORENSE	MEXICALI	115°27'29.90"	32°39'59.22"	7
17	E BAJO RÍO GRANDE	VIII LLANURA COSTERA DEL GOLFO NORTE	MONTERREY	100°16'18.04"	25°40'57.90"	494
18	G MESETA CENTRO	X EJE NEOVOLCÁNICO	PACHUCA	-98.749653	20.087644	2365
19	E BAJO RÍO GRANDE	VI GRANDES LLANURAS DE NORTEAMÉRICA	PIEDRAS NEGRAS	-100.551647	28.683769	251
20	G MESETA CENTRO	X EJE NEOVOLCÁNICO	QUERÉTARO	100°22'10.33"	20°33'48.69"	1092
21	J MESETA SUR	X EJE NEOVOLCÁNICO	TACUBAYA	099°11'48.03"	19°24'13.51"	2322
22	L GOLFO DE TEHUANTEPEC	XV CORDILLERA CENTROAMERICANA	TAPACHULA	-92.296311	14.887211	128
23	J MESETA SUR	X EJE NEOVOLCÁNICO	TETELCO	-98.97137	19.21117	2271
24	D MESETA NORTE	IV SIERRAS Y LLANURAS DEL NORTE	TORREÓN	-103.416161	25.519972	1124
25	G MESETA CENTRO	X EJE NEOVOLCÁNICO	TULANCINGO	-98.357719	20.084183	2205
26	L GOLFO DE TEHUANTEPEC	XIV SIERRAS DE CHIAPAS Y GUATEMALA	TUXTLA GUTIÉRREZ	093°08'50.76"	16°45'46.87"	577
27	H GOLFO CENTRO	XIII LLANURA COSTERA DEL GOLFO SUR	VERACRUZ	096°06'34.85"	19°08'03.85"	15
28	K GOLFO SUR	XIII LLANURA COSTERA DEL GOLFO SUR	VILLAHERMOSA	092°55'16.82"	17°58'51.54"	4.6



Figura 3 Colectores de agua de lluvia de las estaciones de la RENIP



Figura 4 Continuación. Colectores de agua de lluvia de las estaciones de la RENIP



Figura 5 Continuación. Colectores de agua de lluvia de las estaciones de la RENIP

5. OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y MEDICIÓN DE LA ISOTOPIA ESTABLE Y TRITIO AMBIENTAL DE LA LLUVIA DE 28 ESTACIONES DE MONITOREO DE LA RENIP

5.1. Caracterización Isotópica

Una aplicación de la hidrología isotópica es la caracterización isotópica, la cual, consiste en utilizar los efectos producidos por el fraccionamiento isotópico en los diferentes tipos de agua existentes en una cuenca hidrológica, y que permiten identificar aspectos como el origen y evolución del agua subterránea en los sistemas hidrológicos. Estos efectos le dan un sello característico a las aguas que intervienen en el ciclo hidrológico de los sistemas y ayudan a explicar el funcionamiento hidrogeológico de los acuíferos.

El sello isotópico que adquieren las aguas se debe a que la composición isotópica de las precipitaciones pluviales que recargan los mantos acuíferos en cualquier parte de los continentes, depende de la historia del agua; la cual, se inicia en el momento de salir del mar y termina cuando se colecta la muestra. A medida que la nube avanza, va perdiendo agua por condensaciones sucesivas hasta que el frente nuboso pierde su actividad. Puesto que las moléculas pesadas $H_2^{16}O$ y $H_2^{18}O$ condensan de forma preferente, la nube se va empobreciendo en estas dos especies moleculares (**Figura 6**). Esto hace que las precipitaciones tengan valores más negativos o empobrecidos en isótopos pesados a medida que se alejan de la fuente de producción de vapor. La precipitación pluvial en las planicies costeras no difiere sustancialmente de la precipitación oceánica, pero a medida que la humedad es transportada hacia los continentes, se produce un empobrecimiento de los isótopos pesados. Este efecto se denomina continental.

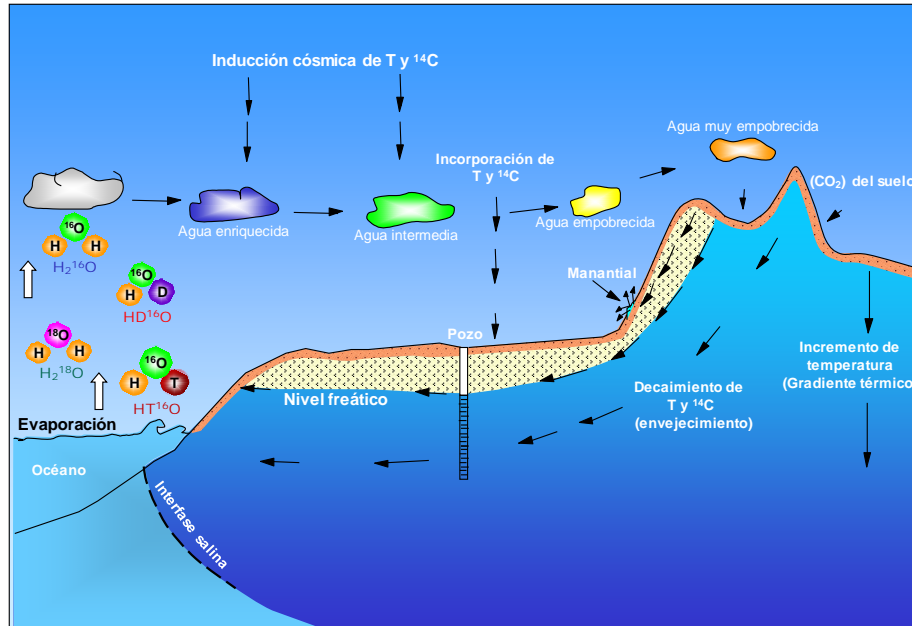


Figura 6 Isotopía del ciclo hidrológico

Los isótopos estables del hidrógeno y del oxígeno, intrínsecos de la molécula de agua, son trazadores gratuitos que permiten estudiar el origen y evolución de las aguas atmosféricas, superficiales y subterráneas. Existen de manera natural, razón por la cual se denominan isótopos ambientales.

En la naturaleza se conocen 3 isótopos del Hidrógeno, dos estables y uno radioactivo:

^1H o H: 99,98 % del hidrógeno total; estable

^2H o D (Deuterio): 0,016 %; estable

^3H o T (Tritio): $5 \cdot 10^{-6}$ %; radioactivo

De los diferentes isótopos de oxígeno, solo son de interés en hidrogeología:

^{16}O : constituye el 99,76 % de todo el oxígeno

^{17}O : el 0,04 %

^{18}O : el 0,20 %

El ^{17}O es el menos abundante de los tres, por ello se mide con más incertidumbre que el ^{16}O . Por esta razón generalmente se usa la relación $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, que ofrece un mayor contraste y una mayor facilidad de medición.

La combinación de los diferentes isótopos existentes de hidrógeno y de oxígeno permite formar hasta 18 moléculas de agua diferentes. De ellas, las más usuales desde un punto de vista probabilístico son: H_2^{16}O , HD^{16}O y H_2^{18}O .

Las propiedades de los diferentes isótopos de un mismo elemento son muy similares, pero las pequeñas diferencias de movilidad iónica, tensión de vapor, difusividad, etc., hacen que el agua natural tenga ligeras diferencias de composición isotópica según su origen en el ciclo hidrológico. Así, el agua de mar es más pesada o enriquecida en HD^{16}O y HD^{18}O que el agua dulce, mientras que el vapor de agua de mar es más ligero o enriquecido en H_2^{16}O respecto al agua de mar de la que es originario. El vapor de agua de lago o embalse es más pesado o enriquecido en HD^{16}O y HD^{18}O que el agua de la que procede. Es decir, existe un fraccionamiento isotópico al pasar de un estado a otro, lo cual resulta útil para estudiar procesos ocurridos en el ciclo hidrológico.

El agua de lluvia constituye una de las principales fuentes de las aguas subterráneas y del agua de la zona de poro de la Zona No Saturada. La variación espacial y temporal del contenido isotópico de la lluvia puede usarse para estudiar tanto la zona de la recarga en los acuíferos, como la época en que tiene lugar ésta.

La aplicación de isótopos en hidrología es complementaria de los resultados derivados de otras metodologías, tales como geología, geofísica, geoquímica, hidrogeología, etc. Permiten precisar el comportamiento del agua en la

naturaleza, particularmente, el funcionamiento de los acuíferos y obtener conclusiones más confiables. En casos especiales aportan información única sobre la naturaleza de las aguas subterráneas (IAEA, 2005).

La manera precisa de expresar la composición isotópica de cualquier muestra de agua, se hace mediante un patrón de agua que sirve de referencia a los distintos laboratorios dedicados a la medición del contenido isotópico de muestras de agua. Para ello, se preparó el “Patrón Medio de Agua de Mar” conocido como SMOW (por sus siglas en inglés) (Craig, H., 1961). En la actualidad este patrón ha sido sustituido por el VSMOW (por sus siglas en inglés de *Vienna Standard Mean Ocean Water*), y es reproducido de manera regular por el Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA).

Las variaciones isotópicas para oxígeno-18 o deuterio, con respecto al patrón VSMOW, se expresan como desviaciones delta por mil (δ ‰), mediante la expresión:

$$\delta \text{ (‰)} = \frac{R_{\text{muestra}} - R_{\text{VSMOW}}}{R_{\text{VSMOW}}} \times 10^3$$

En donde R está definida por la expresión

$$R = \frac{\text{Núm. de moléculas del tipo } ^1\text{H } ^2\text{H } ^{16}\text{O} \text{ (ó } ^1\text{H}_2^{18}\text{O)}}{\text{Núm. de moléculas del tipo } ^1\text{H}_2^{16}\text{O}}$$

El valor de la δ puede ser positivo o negativo, dependiendo de que la muestra esté más enriquecida o empobrecida que el VSMOW. Una δ positiva indica mayor concentración en el isótopo pesado que el VSMOW, según corresponda (^{18}O o ^2H).

La desviación δ en las aguas meteóricas varía entre límites amplios debido a diferentes causas. Una es el fraccionamiento producido durante los cambios de fase, el cual es motivado por la diferencia de presión de vapor de las tres especies moleculares. Si designamos por P a esta presión de vapor, se cumple:

$$P(^1\text{H}_2^{16}\text{O}) > P(^1\text{H}_2^{18}\text{O}) > P(^1\text{H}^2\text{H}^{16}\text{O})$$

La presión de vapor determina la velocidad de evaporación o de condensación del agua. Por lo tanto, las moléculas ligeras ($^1\text{H}_2^{16}\text{O}$) que tienen mayor presión de vapor, se evaporan más rápido y se condensan más lentamente que las moléculas pesadas, es decir, presentan una tendencia mayor a permanecer en la fase de vapor durante el cambio de fase (Clark, I.D. and Fritz, P., 1997).

La lluvia a nivel global presenta una composición isotópica lineal que se ajusta a la ecuación:

$$\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$$

Esta ecuación es válida para todas las aguas meteóricas que se precipitan sobre la superficie de la tierra y describe a la denominada Línea Meteórica Global (GMWL por sus siglas en inglés). La ordenada al origen de valor 10 se denomina exceso de deuterio. La pendiente y el exceso de deuterio pueden variar ligeramente para cada región debido a las condiciones climatológicas locales. En algunos casos se cuenta con líneas meteóricas locales que permiten la interpretación de los resultados isotópicos estables (**Figura 7**)

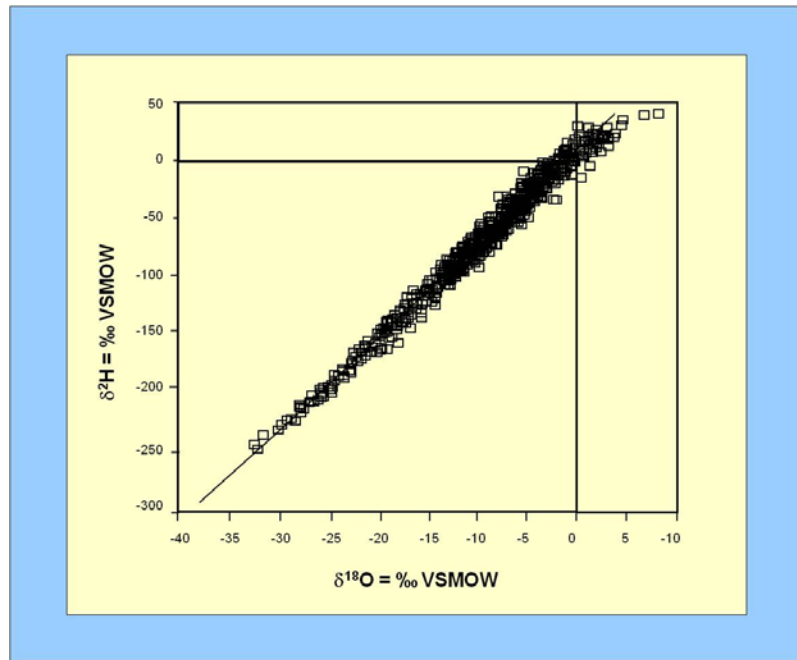


Figura 7 Distribución de la composición isotópica estable de las aguas meteóricas a nivel global. Los valores δD y $\delta^{18}O$ se ajustan a una recta de pendiente ocho y ordenada al origen 10 denominada Línea Meteórica Global

La composición isotópica de la lluvia depende de la génesis que experimenta, desde el momento de salir del mar en forma de vapor hasta que se incorpora en forma líquida en cualquiera de los componentes del ciclo hidrológico. A medida que la nube avanza, va perdiendo agua por condensaciones sucesivas hasta que el frente nuboso pierde su actividad. Debido a que las moléculas pesadas $^1H^2H^{16}O$ y $^1H_2^{18}O$ condensan de forma preferente, la nube se va empobreciendo en estas dos especies moleculares (Clark, I.D., and Fritz, P., 1997). Esto hace que las precipitaciones tengan valores más negativos a medida que se alejan de la fuente de producción de vapor, se denomina efecto continental; es decir, se produce un empobrecimiento de isótopos pesados de la lluvia en función de la distancia (**Figura 8**).

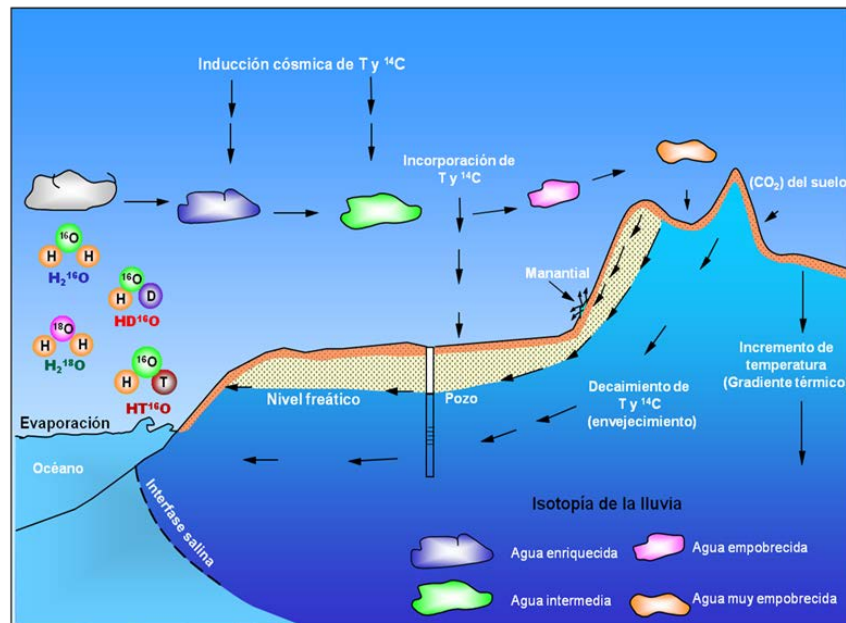


Figura 8 Evolución isotópica de las aguas superficiales y subterráneas en el ciclo hidrológico

Otro factor muy importante que influye en la composición isotópica de las precipitaciones pluviales de zonas montañosas, es el llamado efecto de altitud, derivado de la mayor velocidad de difusión de las moléculas ligeras en la atmósfera. Durante el desarrollo vertical de las nubes, hay un aumento de la condensación del vapor de agua a medida que disminuye la temperatura. Debido a que las moléculas pesadas condensan de manera preferencial con respecto a las ligeras, se tiene como resultado que las precipitaciones de cotas más elevadas sean más negativas o estén más empobrecidas en isótopos pesados. Por este efecto, la $\delta^{18}\text{O}$ varía entre -0.15 y -0.5‰ y la $\delta^2\text{H}$ entre -1 y -4‰ por cada 100 metros de diferencia de altitud.

Otro fenómeno que cambia la composición isotópica original de un tipo de agua, es el denominado efecto de evaporación. Cuando el agua experimenta procesos

de evaporación intensa sus deltas de deuterio y oxígeno-18 evolucionan a lo largo de una línea de evaporación de coeficiente angular menor al de la línea meteórica mundial (GMWL por sus siglas en inglés). Típicamente, esta situación se presenta cuando el agua es almacenada en una presa o cuando se aplica mediante riego en agricultura. Al estar sometida a evaporación intensa, el agua registra un fraccionamiento isotópico de su composición original (Figura 6). Al haber recarga proveniente de un embalse o por infiltración de retornos de riego, en el acuífero se genera una mezcla de agua con un sello característico de este proceso (Mazor, E., 1991).

Existen otros procesos que causan fraccionamiento isotópico del tipo de agua original, entre los cuales destaca la reducción del sulfato. En condiciones anaeróbicas del agua subterránea y alta concentración de sulfato, la acción bacteriana es la responsable de la oxidación de la materia orgánica. Durante este proceso, las bacterias transforman el sulfato (SO_4^{2-}) en sulfito (SO_3^{2-}) y posteriormente en sulfuro de hidrógeno (H_2S). Las bacterias preferentemente utilizan el ^{16}O durante la reducción del (SO_4^{2-}) a (SO_3^{2-}), por lo cual el sulfito se enriquece en ^{18}O . Diversos estudios (Fritz, Drimmie and Qureshi, 1989) han mostrado que cuando el sulfito es creado, rápidamente intercambia ^{18}O con el agua subterránea buscando un equilibrio isotópico. Debido a este intercambio, el agua subterránea se enriquece en ^{18}O . Como resultado de este proceso, el agua subterránea original evoluciona isotópicamente a lo largo de una recta de pendiente con coeficiente angular menor al de la GMWL (**Figura 9**) (Horita, J., 2005).

El registro de los efectos antes mencionados permite establecer el origen y la dinámica del agua subterránea, particularmente identificar las zonas de recarga efectiva y los procesos de mezcla de los flujos subterráneos.

EVOLUCIÓN ISOTÓPICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

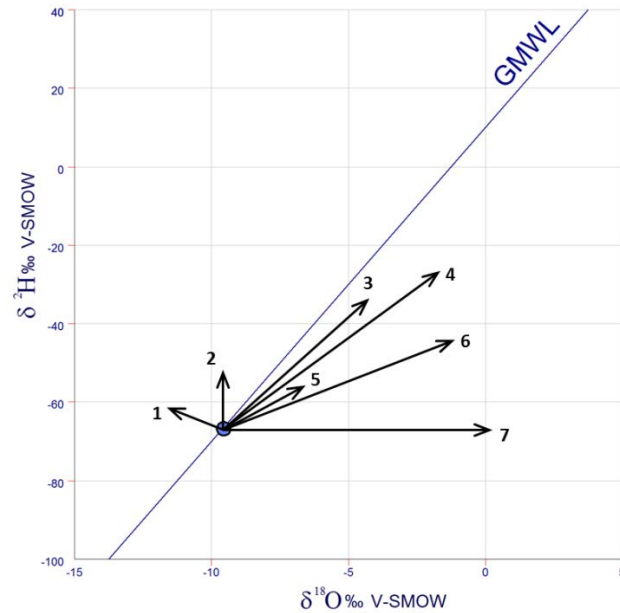


Figura 9 Evolución isotópica del agua subterránea en cuencas sedimentarias:

1. Hidratación de silicatos, 2. Intercambio con H_2S , 2H e hidrocarburos, 3. Reducción de sulfatos, oxidación de compuestos orgánicos e hidrógeno molecular, 4. Evaporación de agua dulce.

Una de las principales actividades realizadas para la operación de la RENIP fue el suministro de envases y piezas de repuesto, la supervisión del mantenimiento de colectores de lluvia instalados en las estaciones de la RENIP, y la coordinación del envío, recepción y clasificación de muestras desde sus lugares de origen al laboratorio de hidrología isotópica del IMTA.

5.2. Suministro de envases y piezas de repuesto

De acuerdo con los requerimientos de insumos para cada estación de la RENIP, se prepararon lotes de envases para la toma de muestras de los colectores de lluvia y cajas de cartón para el envío de las mismas al laboratorio de hidrología isotópica **Figura 10** y **Figura 11**.



Figura 10 Cajas de cartón y envases de 60 ml y 500 ml

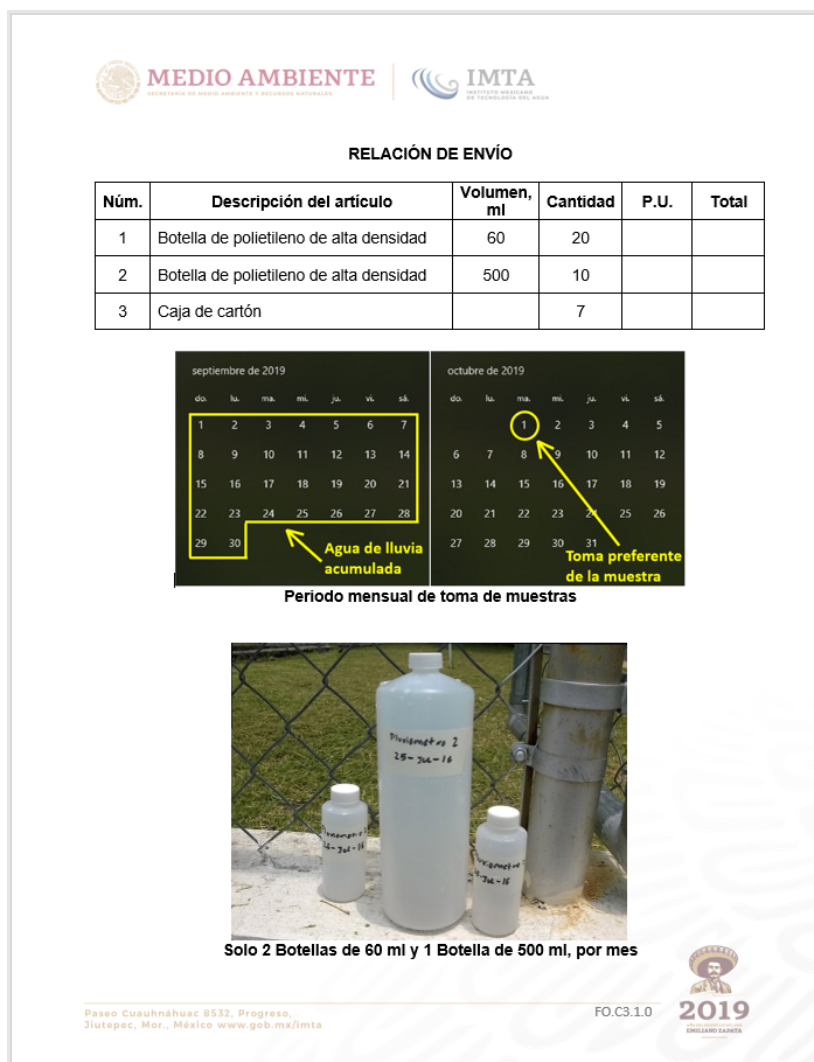


Figura 11 Relación de envío de envases y cajas de cartón

En los casos en donde se presentaron daños en el embudo (**Figura 12 y Figura 13**), se realizó la sustitución correspondiente (**Figura 14**).



Figura 12 Embudo dañado debido a la exposición en climas cálidos estación Tetelco CDMX



Figura 13 Embudo dañado debido a la exposición en climas cálidos estación Guadalajara



Figura 14 Embudo de repuesto. Preparación de envío

Para realizar el cambio de embudo se enviaron junto con los embudos las instrucciones pertinentes, en resumen, estos son los pasos del procedimiento a seguir para sustituir los embudos quebrados por los nuevos.

- Extraer la coladera de acero inoxidable que se encuentra dentro del embudo.
- Girar el embudo en sentido contrario a las manecillas del reloj hasta quitarlo de su base.
- Antes de colocar el embudo nuevo, verificar las condiciones del O-ring de la base en caso de desgaste sustituirlo (se envía la refacción en el paquete).
- Posteriormente, el embudo nuevo se deberá colocar en su base y girando en sentido de las manecillas del reloj se hasta llegar al tope sin deformar el O-ring (es importante aplicar la fuerza del giro hasta el tope)
- Por último, colocar la coladera de acero inoxidable nuevamente en el interior del embudo.

5.3. Mantenimiento de los colectores de lluvia instalados en las estaciones de la RENIP

Con la colaboración de los operadores de cada uno de los sitios constitutivos de la Red Nacional de Monitoreo de Isótopos de la Precipitación Pluvial (RENIP), se llevó a cabo la supervisión de las condiciones generales en las que se encuentran los equipos colectores de lluvia.

Parte de las acciones e instrucciones de la supervisión del mantenimiento de los colectores de lluvia se describen a continuación:

- Para realizar correctamente la limpieza de las mangueras, se deberá desconectar la manguera de admisión (con forro de plástico negro) de la parte superior dentro del colector, para ello se deberá presionar el conector azul colocado en la parte interna superior del colector y jalar la manguera para extraerla del conector.
- Posteriormente se deberá desconectar la manguera de purga (Figura 15), presionando el conector azul colocado en la base de la tapa del depósito de almacenamiento de lluvia, y extrayendo la manguera transparente para liberarla.



Figura 15 Localización de la manguera de purga

- Una vez desconectadas todas las mangueras, se deberá insertar en cada una de ellas un escobillón (Figura 16), con movimientos alternos hacia adentro y hacia afuera, y vertiendo agua para expulsar cualquier suciedad acumulada en el interior (Figura 17)



Figura 16 Limpieza de las mangueras utilizando un escobillón



Figura 17 Manguera con suciedad acumulada

- Las mangueras enjuagadas deberán secarse al sol por 5 minutos o secarlas con papel absorbente,
- Una vez secas las mangueras, se colocará nuevamente el forro negro a la manguera de admisión (Figura 18)
- Se deberán insertar las mangueras desconectadas en sus respectivos conectores.



Figura 18 Forro negro para aislar la luz y evitar la proliferación de algas

- El embudo del colector de lluvia se deberá enjuagar con agua limpia
- Verificar que el desagüe no se encuentre obstruido, para verificar este punto, se insertará por la parte superior del embudo el escobillón limpia mangueras, para destapar el conducto en caso de que se encuentre obstruido (Figura 16).
- Se deberá verter agua para limpiar el conducto de entrada del embudo.
- Por último, el embudo se deberá secar con papel absorbente.

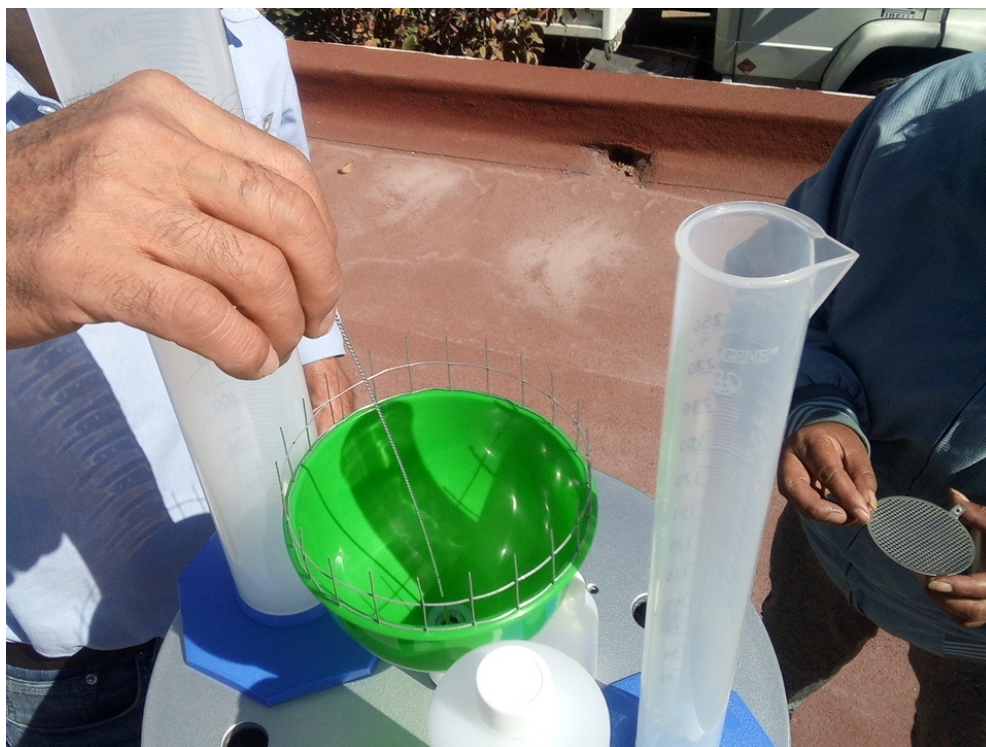


Figura 19 Limpieza de las mangueras a través del embudo, utilizando un escobillón

- Se deberá verificar el sistema de equilibrio de presión, para esto se deberá desconectar la manguera y observar que no exista suciedad dentro de las mismas.
Para desconectar las mangueras, se deben oprimir los seguros azules de los conectores y extraer la manguera.

- El envase de polietileno de alta densidad (**Figura 20**), se deberá lavar después de obtener la muestra de lluvia acumulada, para ello se tiene que verter agua limpia y realizar movimientos circulares para desplazar el agua por todo el interior del depósito.
- Se deberá secar con papel absorbente, asegurándose que no quede agua ni suciedad dentro del envase.



Figura 20 Limpieza del envase de lluvia, después de la toma de muestra

- Se recomienda que para la temporada de lluvias se sustituya el envase de 6 litros por el de mayor volumen, 10 litros (**Figura 21**).
- En las regiones calurosas con escasez de lluvias, se deberá colocar el depósito de 6 litros para todo el año.
- La base donde se coloca el depósito dentro del colector se deberá cambiar a una posición más baja o alta dependiendo del depósito a utilizar. Para realizar esta acción se deberá desplazar la base y subirla o bajarla a su nueva posición girándola 40 grados dentro del colector.



Figura 21 Cambio de depósito de acuerdo a la temporada de lluvias

5.4. Coordinación del envío, recepción y clasificación de muestras desde sus lugares de origen al laboratorio de hidrología isotópica del IMTA

La toma de muestra de los colectores de lluvia de las estaciones de la RENIP, se deberá llevar a cabo preferentemente en el primer día del mes siguiente, a la acumulación de lluvia del mes anterior (**Figura 22**).

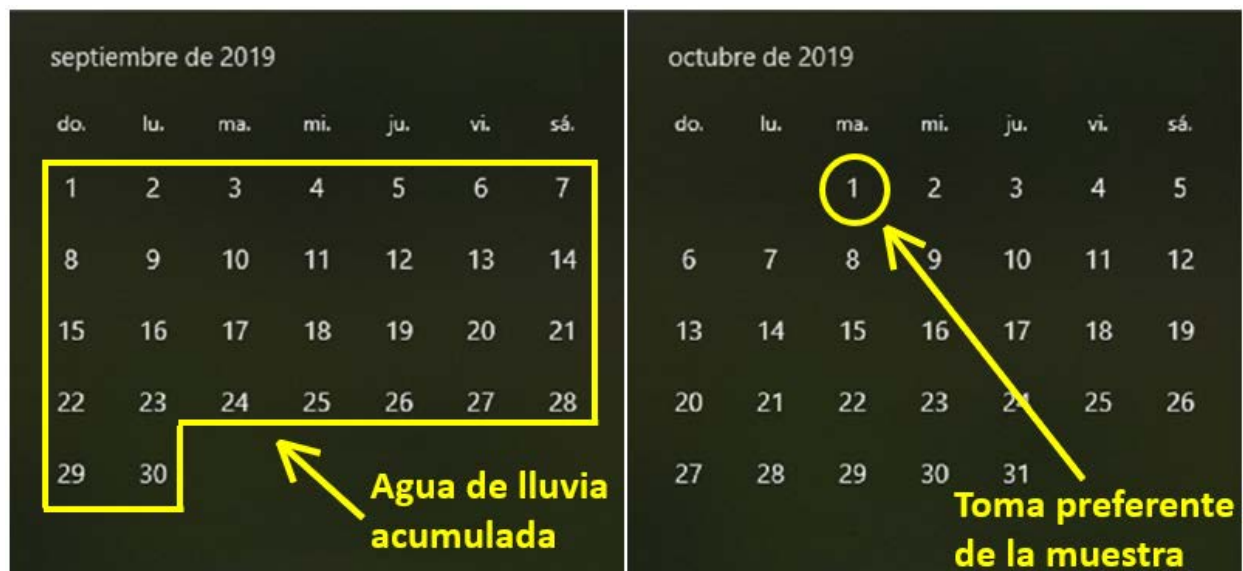


Figura 22 Toma de muestra de lluvia mensual

Se deberán llenar 2 botellas de 60 ml y 1 botella de 500 ml dependiendo de la temporada del régimen de lluvia para cada parte del país donde se encuentran instalados los colectores, las cuales son requeridas para el análisis de la composición isotópica en el laboratorio del IMTA.

Las botellas preparadas se deberán identificar con la fecha del periodo muestreado, además de realizar el llenado de la hoja de campo con los datos de mantenimiento del colector, volumen y fecha de recolección de la muestra (**Figura 23**).

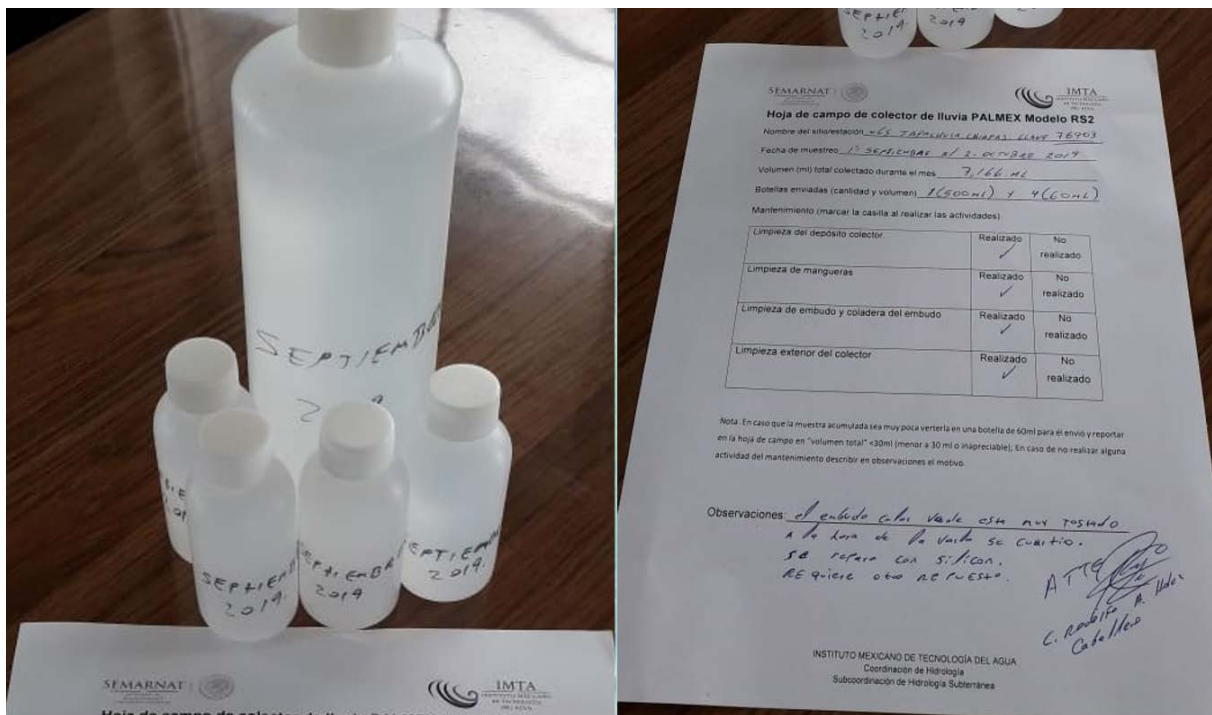


Figura 23 Botellas con fecha de muestreo y hoja de campo del colector de lluvia

A través del portal de mensajería (**Figura 24**), se elabora la guía para la recolección del paquete con las muestras de agua de lluvia de las estaciones de la RENIP, para su posterior envío al laboratorio de hidrología isotópica del IMTA.

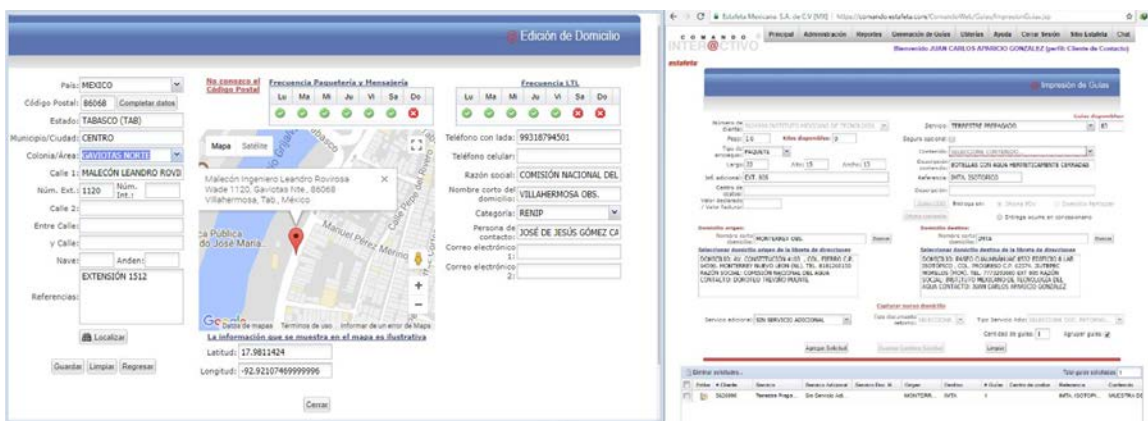


Figura 24 Elaboración y envío por correo electrónico de la guía de mensajería

Con la colaboración de los encargados de las estaciones de la RENIP, se imprimen las guías de mensajería y se pegan en el exterior de la caja de envío de las muestras (**Figura 25**).



Figura 25 Paquete de muestras de lluvia para su envío

De la misma forma a través del portal web de la mensajería, se realiza la solicitud de recolección del paquete en las estaciones de la RENIP, para su envío a las instalaciones del IMTA (Figura 26).

Fecha	Número de guía	Destinatario	Dirección	Estatus
03 Sep	1006297919	INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGIA	44660 PASEO DEL TORREÓN, 2150A, VILLA DE LOS COLOMOS, GUADALAJARA, JALISCO	Enrutada
03 Sep	1006297947	INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGIA	34105 AV. LA SALLE, SN, PASEO DEL SALTITO, DURANGO, DURANGO	Enrutada
03 Sep	1006290051	INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGIA	31313 CARRE. CHIHUAHUA-ALDAMA KM 3.5, 89 C, BRISAS DEL LEON, CHIHUAHUA, CHIHUAHUA	Enrutada

Figura 26 Solicitud de recolección y envío de muestras de lluvia

Con el número de guía de la mensajería se monitorea el estatus de la recolección, así se asegura que la recolección se llevará a cabo, de lo contrario, se deberá generar una nueva recolección hasta concluir su realización y poder continuar con el rastreo hasta su entrega al IMTA (**Figura 27**).

The screenshot shows the Estafeta website interface for tracking a shipment. At the top, there is a navigation menu with links: INICIO, CONÓCENOS, SERVICIOS, PROMOCIONES, ATENCIÓN AL CLIENTE, NOTICIAS, MI ESTAFETA, and CONTACTO. Below the navigation is a red header with 'Herramientas > Rastrear mi envío' on the left and 'Herramientas' on the right. The main content area features the text 'Sigue los movimientos de tu envío en tiempo real.' and a yellow box with the message: 'Recuerda que el horario de entrega de nuestros servicios Día Siguiente, Dos Días y Terrestre es abierto.' Below this are two blue buttons: 'Preguntas Frecuentes' and 'Nueva consulta'. The tracking form contains the following fields:

Número de guía 401500646324A680093207	Código de rastreo 1648845869	
Origen Chihuahua	Destino Cuernavaca	C.P.Destino 62574
Estatus del servicio EN TRANSITO Consulta historia		Recibió
Servicio Entrega garantizada al siguiente día hábil (lunes a viernes)		Fecha y hora de entrega
Tipo de envío PAQUETE		Fecha programada de entrega 05/09/2019
Número de orden de recolección		Fecha de recolección 03/09/2019 04:13 P.M.
Guías de envíos múltiples	Guía documento de retorno	Guía Internacional

Figura 27 Verificación y seguimiento de la entrega de las muestras de lluvia al IMTA

Una vez que las muestras de lluvia llegan al laboratorio de hidrología isotópica del IMTA se registra su entrada y se incluyen los siguientes datos en la base de datos: periodo de la muestra, lugar, coordenadas geográficas, altitud y volumen total acumulado (Figura 28),


IAEA Sample Submission Worksheet - Water Isotopes Only v 1.4													
Customer Information													
Last Name:	IMTA			Ship samples with Excel file to: IAEA Isotope Hydrology Laboratory P.O. Box 100 Room G-162 Vienna International Center 1400 Vienna, Austria Email: isotope.hydrology.lab@iaea.org									
First Name:													
Initial:													
Address (Line 1):													
Address (Line 2):													
State or Province:													
Postal Code:				Instructions: Information in GREEN is required Information in BLUE is optional, if available Complete and Save As "MySamples.xls"									
Country:													
Email:													
Telephone:													
Fax:													
Submission Date:	2019-10-17	(y-y, YYYY-MM-DD)											
Project Name:	33 muestras. RENIP	(project description)											
Location:	Territorio Nacional	(y-y project location)		Caution: "Sample ID" must be unique, no duplicates SampleID fields that turn red are duplicates, pls rename									
Account #													
Water Sample Information													
Counter	Sample ID	Country Code	State/Prov Code	Degrees Lat.	Degrees Lon.	Collection Date/Time	Elevation	Length Unit	Other Info	Vol. Tot.	Precipitación	Envaso	
Example 1	GNIP 43329	(see tab below)	(see tab below)	DD.MMS555	DD.MMS555	YYYY-MM-DD tt:tt	114.4	ft	brine		mm	ml	
Example 2	3TT 7-88	USA	Ohio	38.889722	-77.008889	28/02/2012 00:00	37	m	lake, filtered		E. chico E. grande	60	500
1	CHIHUAHUA_AGO	Mexico	Chihuahua	28.67085	-106.03097		1405	m		3000		72.21	
2	CULIACAN_AGO	Mexico	Sinaloa	24.6351	-107.44113		30	m		6500		156.45	
3	CHETUMAL_JUN	Mexico	Quintana Roo	18.50041	-88.32752		19	m		167	11.67		
4	CHETUMAL_JUL	Mexico	Quintana Roo	18.50041	-88.32752		19	m		350	24.45		
5	CHETUMAL_AGO	Mexico	Quintana Roo	18.50041	-88.32752		19	m		1212	84.68		
6	CHICONAUTLA_II_AGO	Mexico	Distrito Federal	19.515761	-99.109005		2277	m		985	68.82		
7	GUADALAJARA_MAY	Mexico	Jalisco	20.70659	-103.39257		1568	m		131	9.15		
8	GUADALAJARA_JUN	Mexico	Jalisco	20.70659	-103.39257		1568	m		1604	112.07		
9	GUADALAJARA_JUL	Mexico	Jalisco	20.70659	-103.39257		1568	m		4465	311.95		
10	GUADALAJARA_AGO	Mexico	Jalisco	20.70659	-103.39257		1568	m		4170	291.34		
11	GUADALAJARA_SEP	Mexico	Jalisco	20.70659	-103.39257		1568	m		2420	169.08		
12	HERMOSILLO_JUL	Mexico	Sonora	29.0785	-110.93046		209	m		100		2.41	
13	HERMOSILLO_AGO	Mexico	Sonora	29.0785	-110.93046		209	m		740		17.81	
14	LAVENTA_AGO	Mexico	Distrito Federal	19.33336	-99.310796		2884	m		3770	263.40		
15	MERIDA_JUN	Mexico	Yucatan	20.94662	-89.65177		12	m		680	47.51		
16	MONTERREY_AGO	Mexico	Nuevo Leon	25.68244	-100.27169		494	m		610	42.62		
17	PIEDRAS NEGRAS_JUL	Mexico	Coahuila de Zaragoza	28.68356	-100.54893		251	m		30		0.72	
18	QUERETARO_JUL	Mexico	Queretaro de Arteaga	20.56342	-100.36944		1092	m		620	43.32		
19	QUERETARO_AGO	Mexico	Queretaro de Arteaga	20.56342	-100.36944		1092	m		30	2.10		
20	TACUBAYA_AGO	Mexico	Distrito Federal	19.40369	-99.19663		2322	m		1800	125.76		
21	TACUBAYA_SEP	Mexico	Distrito Federal	19.40369	-99.19663		2322	m		2780	194.23		
22	TAPACHULA_AGO	Mexico	Chiapas	14.887186	-92.296195		128	m		3090	215.89		
23	TETELCO_AGO	Mexico	Distrito Federal	19.21117	-98.97137		2271	m		1410	98.51		
24	TORREON_JUL	Mexico	Coahuila de Zaragoza	25.52014	-103.41608		1124	m		358		8.62	
25	TORREON_AGO	Mexico	Coahuila de Zaragoza	25.52014	-103.41608		1124	m		510		12.28	
26	TULANCINGO_JUL	Mexico	Hidalgo	20.084183	-98.357719		2205	m		676	47.23		
27	TULANCINGO_AGO	Mexico	Hidalgo	20.084183	-98.357719		2205	m		1069	74.69		
28	TULANCINGO_SEP	Mexico	Hidalgo	20.084183	-98.357719		2205	m		178	12.44		
29	TUXTLA GUTIERREZ_JUL	Mexico	Chiapas	16.76292	-93.14741		577	m		292	20.40		
30	TUXTLA GUTIERREZ_AGO	Mexico	Chiapas	16.76292	-93.14741		577	m		197.8	13.82		
31	VERACRUZ_JUN	Mexico	Veracruz-Llave	19.142831	-96.111294		15	m		120	8.38		
32	VERACRUZ_JUL	Mexico	Veracruz-Llave	19.142831	-96.111294		15	m		3030	211.70		
33	VERACRUZ_AGO	Mexico	Veracruz-Llave	19.142831	-96.111294		15	m		1044	72.94		

Figura 28 Registro de muestras en el laboratorio de hidrología isotópica

posteriormente se almacenan en una cámara fría hasta su análisis (Figura 29).



Figura 29 Almacenamiento en refrigeración de las muestras de lluvia recibidas

Las muestras de lluvia recibidas se clasifican y se preparan para el análisis de isotopos estables y tritio ambiental en el laboratorio del IMTA (Figura 30).



Figura 30 Clasificación de muestras

5.5. Medición del contenido de isótopos estables de muestras de lluvia acumulada mensual de la Red Nacional de Monitoreo Isotópico de la Precipitación Pluvial (RENIP)

El número de muestras determinadas fue de 213, las mediciones de laboratorio tuvieron una precisión analítica (1σ) igual o menor de 0.15 ‰ para la $\delta^{18}\text{O}$ y de 1 ‰ para la $\delta^2\text{H}$. El contenido de isótopos estables se realizó con un analizador Cavity Ringdown Spectrometer L2110-i Isotopic H₂O Picarro y/o analizador Los Gatos Research LWIA-45EP.



Figura 31 Analizador láser de isótopos de agua Picarro L2110-i

Para realizar el análisis de la composición isotópica de las muestras de lluvia por espectroscopía laser, se requiere del llenado de un vial con un volumen aproximado de 1.5 ml (**Figura 32**).

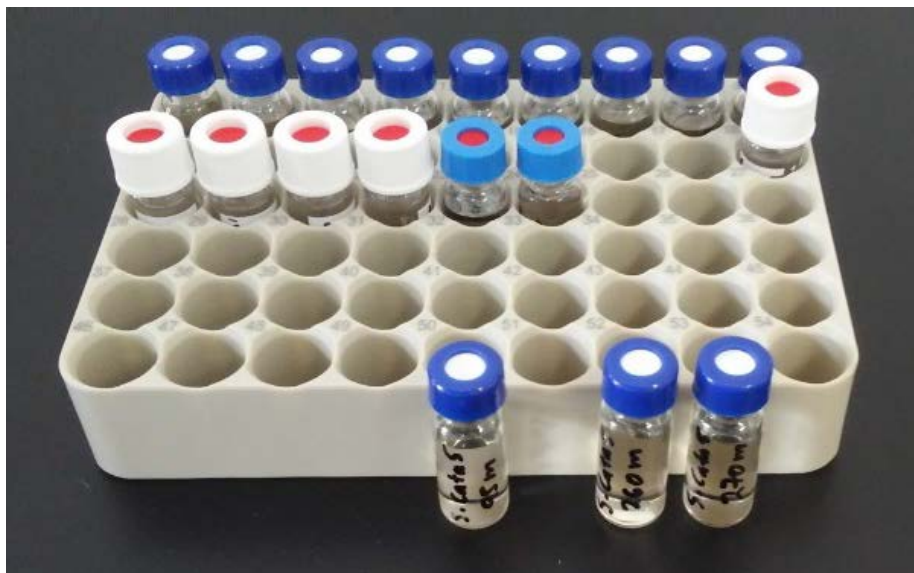


Figura 32 Llenado de viales con 1.5 ml de muestra de lluvia



Figura 33 Analizador láser de isótopos de agua Los Gatos Research LWIA-45EP

La determinación del contenido de isótopos estables de las muestras de lluvia se realizó con los analizadores láser Picarro L2110-i y Los Gatos Research LWIA-45EP (Figura 31 y Figura 33). La precisión analítica (1σ), de las mediciones es igual o menor de 0.15 ‰ para la $\delta^{18}O$ y de 1.0 ‰ para la δ^2H .

El post procesamiento de datos obtenidos de los analizadores se realizó con el sistema de gestión de información de laboratorio para isótopos estables de hidrógeno y oxígeno en muestras de agua por espectrometría láser (*LIMS* por sus siglas en inglés).

LIMS (v. 10.096), es una aplicación de base de datos relacional de Microsoft Access desarrollada específicamente para los usuarios de analizadores láser como un esfuerzo conjunto entre el Servicio Geológico de E.U. (USGS) y la Agencia Internacional de Energía Atómica (OIEA). Esta aplicación automatiza todas las correcciones de datos de los analizadores y proporciona la gestión de clientes, proyectos, muestras y datos del equipo.

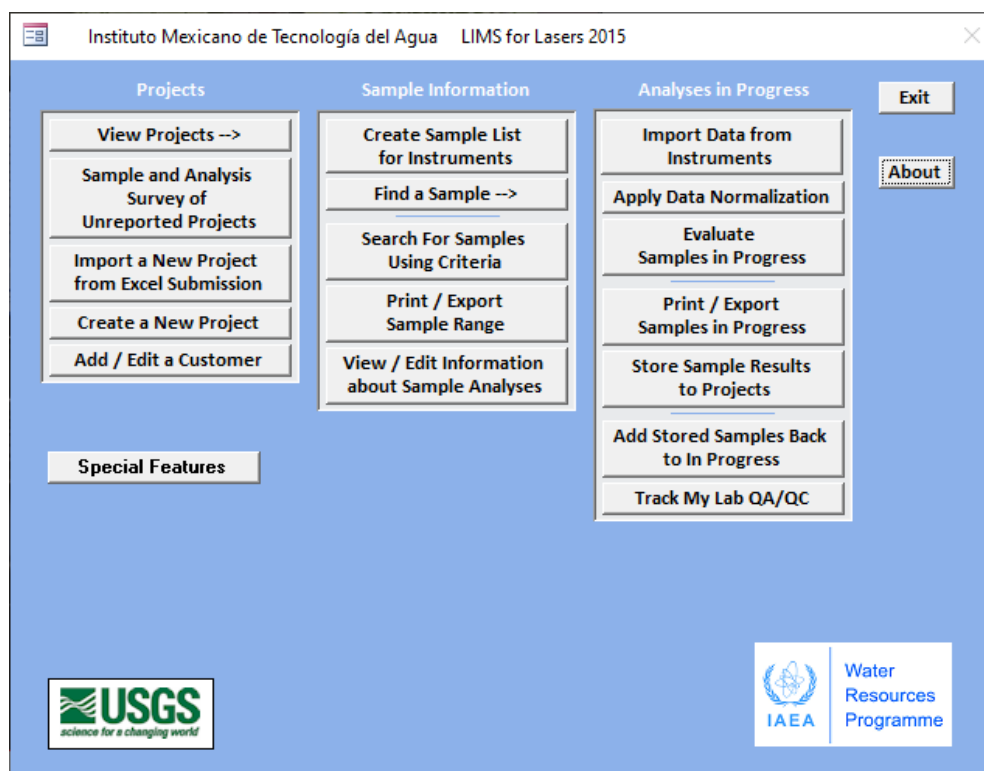


Figura 34 Sistema de Manejo de Información de Laboratorios para Analizadores Láser

5.6. Resultados de la medición de isótopos estables de la RENIP

Tabla 2 Resultados de oxígeno-18 y deuterio

NÚM.	ID LAB.	IDENTIFICACIÓN	LATN	LONG W	ALTITUD (msnm)	FECHA DE MUESTREO	PREC. (mm)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	1σ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	1σ (‰)
1	W-1842	CD. JUAREZ	31.65993	-106.362647	1,117	01/02/2019	17.61	-10.42	±0.05	-77.6	±0.29
2	W-1843	CD. JUAREZ	31.65993	-106.362647	1,117	01/03/2019	2.45	-8.18	±0.07	-63.0	±0.60
3	W-1779	CD. VICTORIA	23.74246	-99.16989	329	01/12/2018	8.18	-1.22	±0.03	1.7	±0.53
4	W-1790	CD. VICTORIA	23.74246	-99.16989	329	02/01/2019	3.61	-1.84	±0.08	6.5	±0.39
5	W-1846	CD. VICTORIA	23.74246	-99.16989	329	01/02/2019	47.66	-2.81	±0.01	-1.8	±0.78
6	W-1847	CD. VICTORIA	23.74246	-99.16989	329	01/03/2019	19.25	0.65	±0.10	17.4	±0.29
7	W-1374	CD. VICTORIA	23.74246	-99.16989	329	04/04/2019	15.64	-2.11	±0.08	2.0	±0.43
8	W-1364	CD. VICTORIA	23.74246	-99.16989	329	05/05/2019	3.85	-1.15	±0.06	-8.0	±0.49
9	W-1368	CD. VICTORIA	23.74246	-99.16989	329	09/06/2019	45.01	-5.98	±0.09	-37.3	±0.40
10	W-1367	CD. VICTORIA	23.74246	-99.16989	329	04/07/2019	66.19	-5.18	±0.06	-32.1	±0.28
11	W-1370	CD. VICTORIA	23.74246	-99.16989	329	04/08/2019	19.74	-8.49	±0.02	-60.2	±0.51
12	W-1373	CD. VICTORIA	23.74246	-99.16989	329	06/09/2019	67.39	-3.65	±0.07	-15.6	±0.41
13	W-1375	CD. VICTORIA	23.74246	-99.16989	329	01/02/2019	1.44	-6.14	±0.05	-37.2	±0.57
14	W-1795	CHETUMAL	18.50041	-88.32752	19	02/01/2019	69.86	-1.30	±0.06	6.6	±0.83
15	W-1798	CHETUMAL	18.50041	-88.32752	19	01/02/2019	26.83	-1.22	±0.03	5.1	±0.38
16	W-1105	CHETUMAL	18.50041	-88.32752	19	01/03/2019	41.99	-1.52	±0.07	3.7	±0.21
17	W-1106	CHETUMAL	18.50041	-88.32752	19	01/04/2019	9.92	-1.17	±0.10	3.9	±0.30
18	W-1214	CHETUMAL	18.50041	-88.32752	19	01/05/2019	108.29	-0.81	±0.07	6.5	±0.18
19	W-1215	CHETUMAL	18.50041	-88.32752	19	01/06/2019	115.27	-8.86	±0.09	-58.4	±0.20
20	W-1378	CHETUMAL	18.50041	-88.32752	19	03/07/2019	11.67	-1.6	±0.06	-4.40	±0.43
21	W-1379	CHETUMAL	18.50041	-88.32752	19	02/08/2019	24.45	-2.7	±0.10	-13.80	±0.32
22	W-1380	CHETUMAL	18.50041	-88.32752	19	02/09/2019	84.68	-4.4	±0.06	-18.50	±0.40
23	W-1792	CHICONAUTLA II	19.515761	-99.109005	2,227	02/01/2019	5.24	-5.1	±0.04	-31.20	±0.35
24	W-1799	CHICONAUTLA II	19.515761	-99.109005	2,227	01/02/2019	3.21	-0.5	±0.14	0.20	±0.61
25	W-1114	CHICONAUTLA II	19.515761	-99.109005	2,227	01/04/2019	5.59	-0.7	±0.07	-16.50	±0.55
26	W-1196	CHICONAUTLA II	19.515761	-99.109005	2,227	01/05/2019	4.61	2.4	±0.06	16.76	±0.10
27	W-1200	CHICONAUTLA II	19.515761	-99.109005	2,227	01/06/2019	18.88	-3.2	±0.04	-15.81	±0.19
28	W-1278	CHICONAUTLA II	19.515761	-99.109005	2,277	01/07/2019	132.75	-13.4	±0.10	-92.40	±0.55
29	W-1326	CHICONAUTLA II	19.515761	-99.109005	2,277	01/08/2019	183.05	-8.2	±0.05	-54.30	±0.55
30	W-1381	CHICONAUTLA II	19.515761	-99.109005	2,277	02/09/2019	68.82	-8.07	±0.08	-52.6	±0.25
31	W-1748	CHIHUAHUA	28.67085	-106.03097	1,405	01/11/2018	19.56	-8.42	±0.03	-56.7	±0.39
32	W-1780	CHIHUAHUA	28.67085	-106.03097	1,405	01/12/2018	2.79	-9.41	±0.08	-80.7	±0.40
33	W-1782	CHIHUAHUA	28.67085	-106.03097	1,405	02/01/2019	17.61	-15.23	±0.08	-113.3	±0.57
34	W-1083	CHIHUAHUA	28.67085	-106.03097	1,405	01/02/2019	6.29	-9.51	±0.10	-75.0	±0.29
35	W-1110	CHIHUAHUA	28.67085	-106.03097	1,405	01/04/2019	4.19	-0.38	±0.07	-6.6	±0.22
36	W-1263	CHIHUAHUA	28.67085	-106.03097	1,405	01/05/2019	0.70	-4.38	±0.11	-49.3	±0.41
37	W-1264	CHIHUAHUA	28.67085	-106.03097	1,405	01/07/2019	27.95	-3.08	±0.16	-14.1	±0.65
38	W-1327	CHIHUAHUA	28.67085	-106.03097	1,405	01/08/2019	38.51	-2.15	±0.02	-10.9	±0.65
39	W-1376	CHIHUAHUA	28.67085	-106.03097	1,405	01/09/2019	72.21	-1.7	±0.05	-8.40	±0.36
40	W-1749	CHILPANCINGO	17.57172	-99.51399	1,270	01/11/2018	67.07	-10.86	±0.07	-76.0	±0.26
41	W-1761	CHILPANCINGO	17.57172	-99.51399	1,270	01/12/2018	51.21	-5.48	±0.08	-31.3	±0.55
42	W-1838	CHILPANCINGO	17.57172	-99.51399	1,270	01/02/2019	0.70	4.47	±0.06	12.7	±0.48
43	W-1362	CHILPANCINGO	17.57172	-99.51399	1,270	01/10/2019	269.68	-10.85	±0.13	-73.1	±0.30
44	W-1328	CHILPANCINGO	17.57172	-99.51399	1,270	01/08/2019	253.27	-5.73	±0.06	-33.6	±0.48
45	W-1363	CHILPANCINGO	17.57172	-99.51399	1,270	01/09/2019	206.81	-7.65	±0.09	-49.7	±0.53
46	W-1783	CULIACÁN	24.6351	-107.44113	30	02/01/2019	24.07	-4.31	±0.07	-19.3	±0.42
47	W-1329	CULIACÁN	24.6351	-107.44113	30	01/08/2019	36.10	-3.13	±0.08	-19.9	±0.42

Tabla 3 Continuación Resultados de oxígeno-18 y deuterio

NÚM.	ID LAB.	IDENTIFICACIÓN	LAT N	LONG W	ALTITUD (msnm)	FECHA DE MUESTREO	PREC. (mm)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	1 σ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	1 σ (‰)
48	W-1377	CULIACÁN	24.6351	-107.44113	30	03/09/2019	156.45	-6.7	±0.03	-41.20	±0.33
49	W-1750	DURANGO	24.06139	-104.6004	1,882	01/11/2018	43.31	-12.57	±0.05	-89.1	±0.24
50	W-1762	DURANGO	24.06139	-104.6004	1,882	01/12/2018	39.12	-7.73	±0.07	-48.9	±0.38
51	W-1111	DURANGO	24.06139	-104.6004	1,882	01/03/2019	1.78	-1.49	±0.03	-15.0	±0.26
52	W-1330	DURANGO	24.06139	-104.6004	1,882	01/08/2019	61.04	-1.63	±0.04	-19.1	±0.28
53	W-1371	DURANGO	24.06139	-104.6004	1,882	01/09/2019	17.81	2.33	±0.03	13.7	±0.39
54	W-1372	DURANGO	24.06139	-104.6004	1,882	01/10/2019	17.81	-7.78	±0.10	-50.3	±0.84
55	W-1772	GUADALAJARA	20.70659	-103.39257	1,568	01/12/2018	28.64	-13.58	±0.15	-98.1	±0.44
56	W-1848	GUADALAJARA	20.70659	-103.39257	1,568	01/02/2019	25.15	-4.62	±0.06	-21.3	±0.18
57	W-1078	GUADALAJARA	20.70659	-103.39257	1,568	01/03/2019	2.10	-5.18	±0.14	-34.3	±0.14
58	W-1382	GUADALAJARA	20.70659	-103.39257	1,568	02/06/2019	9.15	-7.2	±0.07	-46.10	±0.48
59	W-1383	GUADALAJARA	20.70659	-103.39257	1,568	01/07/2019	112.07	-7.3	±0.07	-46.20	±0.93
60	W-1384	GUADALAJARA	20.70659	-103.39257	1,568	05/08/2019	311.95	-7.5	±0.08	-46.00	±0.47
61	W-1385	GUADALAJARA	20.70659	-103.39257	1,568	05/09/2019	291.34	-8.9	±0.05	-56.30	±0.73
62	W-1386	GUADALAJARA	20.70659	-103.39257	1,568	03/10/2019	169.08	-10.7	±0.07	-70.60	±0.34
63	W-1211	HERMOSILLO	29.0785	-110.93046	209	01/02/2019	25.90	-6.15	±0.03	-45.6	±0.34
64	W-1212	HERMOSILLO	29.0785	-110.93046	209	01/03/2019	29.10	-5.32	±0.08	-20.7	±0.21
65	W-1213	HERMOSILLO	29.0785	-110.93046	209	01/04/2019	16.39	-4.82	±0.10	-20.9	±0.27
66	W-1387	HERMOSILLO	29.0785	-110.93046	209	01/08/2019	2.41	-2.03	±0.07	-11.3	±0.51
67	W-1388	HERMOSILLO	29.0785	-110.93046	209	01/09/2019	17.81	-1.88	±0.07	-11.6	±0.40
68	W-1365	HERMOSILLO	29.0785	-110.93046	209	01/10/2019	24.07	-5.73	±0.05	-34.1	±0.60
69	W-1081	LA PAZ	24.12867	-110.32086	26	01/02/2019	12.03	-3.30	±0.06	-22.5	±0.33
70	W-1334	LA PAZ	24.12867	-110.32086	26	31/07/2019	12.03	-9.51	±0.09	-73.7	±0.33
71	W-1791	LA VENTA	19.333336	-99.310796	2,884	02/01/2019	3.49	-7.5	±0.04	-50.50	±0.54
72	W-1800	LA VENTA	19.333336	-99.310796	2,884	01/02/2019	2.03	-1.3	±0.05	-0.80	±0.25
73	W-1841	LA VENTA	19.333336	-99.310796	2,884	01/03/2019	13.27	-6.3	±0.07	-34.60	±0.47
74	W-1115	LA VENTA	19.333336	-99.310796	2,884	01/04/2019	5.10	-4.0	±0.07	-23.90	±0.40
75	W-1197	LA VENTA	19.333336	-99.310796	2,884	01/05/2019	8.03	-0.2	±0.12	4.76	±0.23
76	W-1201	LA VENTA	19.333336	-99.310796	2,884	01/06/2019	52.96	-5.2	±0.10	-21.14	±0.18
77	W-1279	LA VENTA	19.333336	-99.310796	2,884	01/07/2019	192.13	-11.8	±0.14	-75.10	±0.95
78	W-1335	LA VENTA	19.333336	-99.310796	2,884	01/08/2019	279.47	-8.2	±0.08	-51.30	±0.95
79	W-1389	LA VENTA	19.333336	-99.310796	2,884	02/09/2019	263.40	-10.68	±0.08	-68.3	±0.40
80	W-1751	LORETO	26.011583	-111.3492	6	01/11/2018	1.40	-0.45	±0.06	-12.0	±0.35
81	W-1801	LORETO	26.011583	-111.3492	6	01/02/2019	12.58	-2.38	±0.04	-6.9	±0.43
82	W-1752	MÉRIDA	20.94662	-89.65177	12	01/11/2018	90.82	-1.96	±0.05	-4.3	±0.60
83	W-1763	MÉRIDA	20.94662	-89.65177	12	01/12/2018	41.92	-2.39	±0.09	-3.1	±0.61
84	W-1784	MÉRIDA	20.94662	-89.65177	12	02/01/2019	4.75	0.43	±0.07	10.1	±0.52
85	W-1844	MÉRIDA	20.94662	-89.65177	12	01/02/2019	20.96	-4.47	±0.08	-16.0	±0.25
86	W-1109	MÉRIDA	20.94662	-89.65177	12	01/04/2019	5.45	0.24	±0.05	2.2	±0.33
87	W-1216	MÉRIDA	20.94662	-89.65177	12	01/05/2019	75.45	-0.78	±0.12	1.1	±0.21
88	W-1217	MÉRIDA	20.94662	-89.65177	12	01/06/2019	46.81	-9.79	±0.08	-65.6	±0.22
89	W-1390	MÉRIDA	20.94662	-89.65177	12	01/07/2019	47.51	-3.7	±0.08	-15.80	±0.41
90	W-1753	MEXICALI	32.66667	-115.4585	7	01/11/2018	2.24	-10.00	±0.05	-84.5	±0.24
91	W-1764	MEXICALI	32.66667	-115.4585	7	01/12/2018	0.07	10.39	±0.10	-7.4	±0.29
92	W-1079	MEXICALI	32.66667	-115.4585	7	01/02/2019	30.74	-7.31	±0.09	-54.6	±0.23
93	W-1080	MEXICALI	32.66667	-115.4585	7	01/03/2019	8.52	-5.73	±0.08	-43.3	±0.27
94	W-1303	MEXICALI	32.66667	-115.4585	7	01/04/2019	0.35	1.35	±0.10	-11.8	±0.27

Tabla 4 Continuación resultados de oxígeno-18 y deuterio

NÚM.	ID LAB.	IDENTIFICACIÓN	LAT N	LONG W	ALTITUD (msnm)	FECHA DE MUESTREO	PREC. (mm)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	1σ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	1σ (‰)
95	W-1754	MONTERREY	25.68244	-100.27169	494	01/11/2018	54.49	-3.83	±0.06	-16.8	±0.44
96	W-1765	MONTERREY	25.68244	-100.27169	494	01/12/2018	14.11	-4.13	±0.10	-11.7	±0.56
97	W-1785	MONTERREY	25.68244	-100.27169	494	02/01/2019	17.33	-3.10	±0.10	-7.4	±0.35
98	W-1839	MONTERREY	25.68244	-100.27169	494	01/02/2019	35.63	-2.94	±0.02	-0.9	±0.27
99	W-1840	MONTERREY	25.68244	-100.27169	494	01/03/2019	2.38	1.72	±0.05	30.3	±0.43
100	W-1204	MONTERREY	25.68244	-100.27169	494	01/04/2019	116.67	-1.50	±0.03	6.2	±0.23
101	W-1205	MONTERREY	25.68244	-100.27169	494	01/08/2019	77.55	-1.98	±0.02	-3.0	±0.21
102	W-1304	MONTERREY	25.68244	-100.27169	494	03/07/2019	34.93	-5.11	±0.07	-24.6	±0.21
103	W-1369	MONTERREY	25.68244	-100.27169	494	01/08/2019	17.82	-2.07	±0.06	-6.8	±0.24
104	W-1391	MONTERREY	25.68244	-100.27169	494	01/09/2019	42.62	-2.8	±0.08	-10.40	±0.24
105	W-1780	PACHUCA	20.08758	-98.74965	2,365	01/12/2018	1.12	-2.79	±0.10	-24.1	±0.50
106	W-1015	PACHUCA	20.08758	-98.74965	2,365	01/02/2019	3.35	-2.89	±0.06	-8.6	±0.26
107	W-1305	PACHUCA	20.08758	-98.74965	2,365	01/03/2019	11.11	-7.20	±0.08	-43.1	±0.26
108	W-1306	PACHUCA	20.08758	-98.74965	2,365	01/04/2019	25.85	-2.71	±0.12	-5.8	±0.26
109	W-1307	PACHUCA	20.08758	-98.74965	2,365	01/05/2019	9.22	-3.67	±0.06	-22.4	±0.26
110	W-1308	PACHUCA	20.08758	-98.74965	2,365	01/06/2019	80.35	-12.70	±0.14	-89.2	±0.26
111	W-1368	PACHUCA	24.12867	-110.32086	26	01/08/2019	67.07	-7.47	±0.04	-47.9	±0.20
112	W-1361	PACHUCA	24.12867	-110.32086	26	01/09/2019	83.84	-10.66	±0.10	-73.0	±0.47
113	W-1794	PIEDRAS NEGRAS	28.68356	-100.54893	251	01/12/2018	6.26	-13.92	0.11	-125.6	0.46
114	W-1796	PIEDRAS NEGRAS	28.68356	-100.54893	251	02/01/2019	26.72	-6.81	0.08	-37.2	0.49
115	W-1803	PIEDRAS NEGRAS	28.68356	-100.54893	251	01/02/2019	6.26	-3.14	0.08	-7.6	0.31
116	W-1265	PIEDRAS NEGRAS	28.68356	-100.54893	251	01/04/2019	9.39	-0.43	0.09	3	0.43
117	W-1266	PIEDRAS NEGRAS	28.68356	-100.54893	251	01/05/2019	67.39	-3.39	0.11	-15.9	0.44
118	W-1267	PIEDRAS NEGRAS	28.68356	-100.54893	251	01/06/2019	36.10	1.47	0.09	5.5	0.15
119	W-1268	PIEDRAS NEGRAS	28.68356	-100.54893	251	01/07/2019	74.13	-4.1	0.04	-22.1	0.39
120	W-1392	PIEDRAS NEGRAS	28.68356	-100.54893	251	01/08/2019	0.72	10.21	0.04	32.4	0.6
121	W-1755	QUERÉTARO	20.56342	-100.36944	1,092	01/11/2018	28.64	-7.61	±0.06	-49.7	±0.45
122	W-1766	QUERÉTARO	20.56342	-100.36944	1,092	01/12/2018	44.71	-9.09	±0.07	-62.6	±0.48
123	W-1309	QUERÉTARO	20.56342	-100.36944	1,092	01/04/2019	2.10	3.31	±0.07	15.2	±0.48
124	W-1310	QUERÉTARO	20.56342	-100.36944	1,092	01/06/2019	23.75	-0.46	±0.04	0.3	±0.48
125	W-1311	QUERÉTARO	20.56342	-100.36944	1,092	01/07/2019	141.13	-9.30	±0.06	-58.9	±0.48
126	W-1393	QUERÉTARO	20.56342	-100.36944	1,092	01/08/2019	43.32	-6.6	±0.05	-38.30	±0.57
127	W-1394	QUERÉTARO	20.56342	-100.36944	1,092	01/09/2019	2.10	-15.5	±0.08	-111.80	±0.59
128	W-1756	TACUBAYA	19.40369	-99.19663	2,322	01/11/2018	74.75	-6.12	±0.05	-36.4	±0.66
129	W-1767	TACUBAYA	19.40369	-99.19663	2,322	01/12/2018	37.73	-8.56	±0.04	-58.0	±0.67
130	W-1786	TACUBAYA	19.40369	-99.19663	2,322	02/01/2019	18.86	-6.46	±0.09	-38.7	±0.32
131	W-1837	TACUBAYA	19.40369	-99.19663	2,322	01/03/2019	3.49	-1.29	±0.17	-17.4	±0.42
132	W-1112	TACUBAYA	19.40369	-99.19663	2,322	01/04/2019	9.78	-3.03	±0.04	-21.4	±0.28
133	W-1198	TACUBAYA	19.40369	-99.19663	2,322	01/05/2019	9.78	-0.01	±0.05	9.8	±0.23
134	W-1202	TACUBAYA	19.40369	-99.19663	2,322	01/06/2019	24.45	-3.46	±0.10	-19.7	±0.19
135	W-1277	TACUBAYA	19.40369	-99.19663	2,322	01/07/2019	162.09	-13.25	±0.08	-92.0	±0.47
136	W-1336	TACUBAYA	19.40369	-99.19663	2,322	02/08/2019	248.03	-7.71	±0.05	-52.1	±0.47
137	W-1395	TACUBAYA	19.40369	-99.19663	2,322	02/09/2019	125.76	-7.7	±0.07	-50.60	±0.20
138	W-1396	TACUBAYA	19.40369	-99.19663	2,322	03/10/2019	194.23	-8.2	±0.05	-48.40	±0.63
139	W-1771	TAPACHULA	14.887186	-92.296195	128	01/12/2018	37.03	-2.91	±0.09	-7.9	±0.52
140	W-1788	TAPACHULA	14.887186	-92.296195	128	02/01/2019	4.61	-0.48	±0.08	7.5	±0.51
141	W-1107	TAPACHULA	14.887186	-92.296195	128	01/03/2019	5.31	0.21	±0.09	9.5	±0.13

Tabla 5 Continuación resultados de oxígeno-18 y deuterio

NÚM.	ID LAB.	IDENTIFICACIÓN	LAT N	LONG W	ALTITUD (msnm)	FECHA DE MUESTREO	PREC. (mm)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	1σ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	1σ (‰)
142	W-1108	TAPACHULA	14.887186	-92.296195	128	01/04/2019	3.63	0.92	±0.07	11.1	±0.45
143	W-1218	TAPACHULA	14.887186	-92.296195	128	01/05/2019	0.91	0.16	±0.09	12.5	±0.11
144	W-1219	TAPACHULA	14.887186	-92.296195	128	01/06/2019	240.33	-5.54	±0.07	-28.5	±0.11
145	W-1337	TAPACHULA	14.887186	-92.296195	128	01/07/2019	316.98	-5.21	±0.06	-30.8	±0.11
146	W-1338	TAPACHULA	14.887186	-92.296195	128	01/08/2019	134.14	-3.68	±0.08	-19.4	±0.11
147	W-1397	TAPACHULA	14.887186	-92.296195	128	01/09/2019	215.89	-4.5	±0.04	-25.00	±0.75
148	W-1793	TETELCO	19.21117	-98.97137	2,271	02/01/2019	2.45	-2.8	±0.06	-23.40	±0.27
149	W-1802	TETELCO	19.21117	-98.97137	2,271	01/02/2019	7.68	-4.0	±0.11	-15.70	±0.33
150	W-1082	TETELCO	19.21117	-98.97137	2,271	01/03/2019	28.64	-4.9	±0.09	-28.70	±0.54
151	W-1113	TETELCO	19.21117	-98.97137	2,271	01/04/2019	10.48	-0.9	±0.06	-9.50	±0.39
152	W-1199	TETELCO	19.21117	-98.97137	2,271	01/05/2019	6.29	-3.7	±0.10	-19.57	±0.32
153	W-1203	TETELCO	19.21117	-98.97137	2,271	01/06/2019	26.55	-1.3	±0.09	0.92	±0.23
154	W-1280	TETELCO	19.21117	-98.97137	2,271	01/07/2019	104.80	-14.1	±0.07	-97.50	±0.38
155	W-1339	TETELCO	19.21117	-98.97137	2,271	01/08/2019	83.84	-6.7	±0.02	-46.20	±0.38
156	W-1398	TETELCO	19.21117	-98.97137	2,271	03/09/2019	98.51	-7.65	±0.15	-50.1	±0.87
157	W-1778	TORREÓN	25.52014	-103.41608	1,124	01/12/2018	1.71	-3.69	±0.04	-26.6	±0.47
158	W-1789	TORREÓN	25.52014	-103.41608	1,124	02/01/2019	13.24	-6.66	±0.06	-42.4	±0.41
159	W-1084	TORREÓN	25.52014	-103.41608	1,124	01/02/2019	2.41	-3.49	±0.07	-25.3	±0.22
160	W-1312	TORREÓN	25.52014	-103.41608	1,124	01/04/2019	0.48	5.63	±0.09	15.0	±0.22
161	W-1313	TORREÓN	25.52014	-103.41608	1,124	01/06/2019	19.74	-2.82	±0.05	-16.7	±0.22
162	W-1314	TORREÓN	25.52014	-103.41608	1,124	01/07/2019	31.75	-5.12	±0.09	-31.0	±0.22
163	W-1399	TORREÓN	25.52014	-103.41608	1,124	01/08/2019	8.82	-1.6	±0.04	-9.30	±0.52
164	W-1400	TORREÓN	25.52014	-103.41608	1,124	01/09/2019	12.28	-2.8	±0.09	-14.40	±0.57
165	W-1781	TULANCINGO	20.084183	-98.357719	2,205	01/12/2018	2.38	-3.71	±0.12	-14.1	±0.71
166	W-1269	TULANCINGO	20.084183	-98.357719	2,205	01/02/2019	2.38	-0.69	±0.09	0.3	±0.43
167	W-1270	TULANCINGO	20.084183	-98.357719	2,205	01/03/2019	0.06	18.35	±0.09	58.7	±0.32
168	W-1271	TULANCINGO	20.084183	-98.357719	2,205	01/04/2019	4.89	-1.45	±0.06	-2.0	±0.29
169	W-1272	TULANCINGO	20.084183	-98.357719	2,205	01/05/2019	17.61	-1.18	±0.07	4.3	±0.24
170	W-1273	TULANCINGO	20.084183	-98.357719	2,205	01/06/2019	10.34	-5.98	±0.05	-39.2	±0.32
171	W-1274	TULANCINGO	20.084183	-98.357719	2,205	01/07/2019	133.03	-12.26	±0.10	-83.8	±0.52
172	W-1401	TULANCINGO	20.084183	-98.357719	2,205	01/07/2019	47.23	-8.2	±0.02	-53.00	±0.23
173	W-1402	TULANCINGO	20.084183	-98.357719	2,205	01/08/2019	74.69	-7.8	±0.10	-49.00	±0.71
174	W-1403	TULANCINGO	20.084183	-98.357719	2,205	01/09/2019	12.44	-5.2	±0.08	-28.70	±0.49
175	W-1757	TUXTLA GUTIERREZ	16.76292	-93.14741	577	01/11/2018	66.09	-9.60	±0.03	-67.6	±0.41
176	W-1769	TUXTLA GUTIERREZ	16.76292	-93.14741	577	01/12/2018	10.13	-3.00	±0.05	-14.1	±0.46
177	W-1275	TUXTLA GUTIERREZ	16.76292	-93.14741	577	01/06/2019	32.70	-6.40	±0.07	-37.7	±0.22
178	W-1276	TUXTLA GUTIERREZ	16.76292	-93.14741	577	01/07/2019	44.30	-9.22	±0.03	-61.8	±0.58
179	W-1404	TUXTLA GUTIERREZ	16.76292	-93.14741	577	01/08/2019	20.40	-2.2	±0.08	-13.40	±0.61
180	W-1405	TUXTLA GUTIERREZ	16.76292	-93.14741	577	02/09/2019	13.82	-4.7	±0.06	-26.40	±0.20
181	W-1758	VERACRUZ	19.142831	-96.111294	15	01/11/2018	173.26	-4.25	±0.08	-22.3	±0.34
182	W-1769	VERACRUZ	19.142831	-96.111294	15	01/12/2018	9.01	-2.30	±0.03	-6.9	±0.24
183	W-1787	VERACRUZ	19.142831	-96.111294	15	02/01/2019	32.14	-1.05	±0.05	6.9	±0.53
184	W-1845	VERACRUZ	19.142831	-96.111294	15	01/02/2019	24.45	-1.62	±0.04	5.7	±0.56
185	W-1206	VERACRUZ	19.142831	-96.111294	15	01/08/2019	104.09	-9.59	±0.03	-66.9	±0.23
186	W-1406	VERACRUZ	19.142831	-96.111294	15	01/07/2019	8.38	-3.5	±0.09	-15.30	±1.12
187	W-1407	VERACRUZ	19.142831	-96.111294	15	03/08/2019	211.70	-3.6	±0.04	-15.00	±0.34
188	W-1408	VERACRUZ	19.142831	-96.111294	15	04/09/2019	72.94	-6.4	±0.06	-38.80	±0.49

Tabla 6 Continuación resultados de oxígeno-18 y deuterio

NÚM.	ID LAB.	IDENTIFICACIÓN	LAT N	LONG W	ALTITUD (msnm)	FECHA DE MUESTREO	PREC. (mm)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	1σ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	1σ (‰)
189	W-1759	VILLAHERMOSA	17.98094	-92.92134	5	01/11/2018	8.18	-4.76	±0.02	-25.7	±0.37
190	W-1770	VILLAHERMOSA	17.98094	-92.92134	5	01/12/2018	38.35	-3.22	±0.09	-9.2	±0.46
191	W-1797	VILLAHERMOSA	17.98094	-92.92134	5	02/01/2019	69.86	-2.05	±0.03	1.4	±0.33
192	W-1804	VILLAHERMOSA	17.98094	-92.92134	5	01/02/2019	25.85	-1.29	±0.18	6.9	±0.91
193	W-1220	VILLAHERMOSA	17.98094	-92.92134	5	01/04/2019	69.86	-0.97	±0.09	4.3	±0.08
194	W-1221	VILLAHERMOSA	17.98094	-92.92134	5	01/06/2019	44.71	-12.70	±0.11	-87.1	±0.38
195	W-1340	VILLAHERMOSA	17.98094	-92.92134	5	02/07/2019	69.87	-3.69	±0.07	-22.6	±0.38
196	W-1341	VILLAHERMOSA	17.98094	-92.92134	5	07/08/2019	16.07	3.92	±0.07	15.1	±0.38
197	W-1315	IMTA	18.883800	-99.158783	1,344	28/06/2019	382.9	-9.17	±0.08	-60.3	±0.43
198	W-1412	IMTA	18.883800	-99.158783	1,344	28/08/2019		-7.64	±0.08	-54.2	±0.39
199	W-1319	CUERNAVACA	18.942833	-99.215139	1,638	10/07/2019	342.4	-9.43	±0.04	-59.4	±0.27
200	W-1415	CUERNAVACA	18.942833	-99.215139	1,638	16/08/2019		-7.38	±0.06	-48.8	±0.50
201	W-1318	CUERNAVACA	18.942833	-99.215139	1,638	10/07/2019	192.1	-5.53	±0.04	-45.2	±0.30
202	W-1414	CUERNAVACA	18.942833	-99.215139	1,638	16/08/2019		-7.37	±0.05	-49.1	±0.46
203	W-1324	TRES CUMBRES	19.061267	-99.218317	3,290	10/07/2019	257.1	-11.02	±0.05	-73.3	±0.34
204	W-1420	TRES CUMBRES	19.061267	-99.218317	3,290	16/08/2019		-9.63	±0.05	-65.3	±0.36
205	W-1323	TRES CUMBRES	19.061267	-99.218317	3,290	10/07/2019	283.0	-10.93	±0.04	-72.3	±0.35
206	W-1419	TRES CUMBRES	19.061267	-99.218317	3,290	28/08/2019		-9.26	±0.08	-61.3	±0.21
207	W-1321	TETLAMA	18.827917	-99.285083	1,283	11/07/2019	466.0	-8.07	±0.13	-50.5	±0.33
208	W-1417	TETLAMA	18.827917	-99.285083	1,283	28/08/2019		-6.87	±0.13	-43.5	±0.18
209	W-1325	TRES MARIAS	19.051483	-99.246283	2,813	10/07/2019	375.2	-9.43	±0.06	-61.6	±0.33
210	W-1418	TRES MARIAS	19.051483	-99.246283	2,813	16/08/2019		-9.47	±0.03	-65.2	±0.34
211	W-1322	HUITZILAC	19.032850	-99.268800	2,600	10/07/2019	404.5	-9.22	±0.07	-59.2	±0.22
212	W-1410	HUITZILAC	19.032850	-99.268800	2,600	16/08/2019		-8.93	±0.07	-62.0	±0.35
213	W-1317	TEMIXCO	18.857528	-99.223917	1,284	11/07/2019	415.0	-8.35	±0.04	-54.0	±0.55
214	W-1416	TEMIXCO	18.857528	-99.223917	1,284	28/08/2019		-8.14	±0.04	-58.4	±0.36
215	W-1320	FIRA	18.800383	-99.196733	1,194	11/07/2019	307.4	-5.32	±0.06	-35.6	±0.11
216	W-1409	FIRA	18.800383	-99.196733	1,194	28/08/2019		-7.63	±0.11	-53.7	±0.31

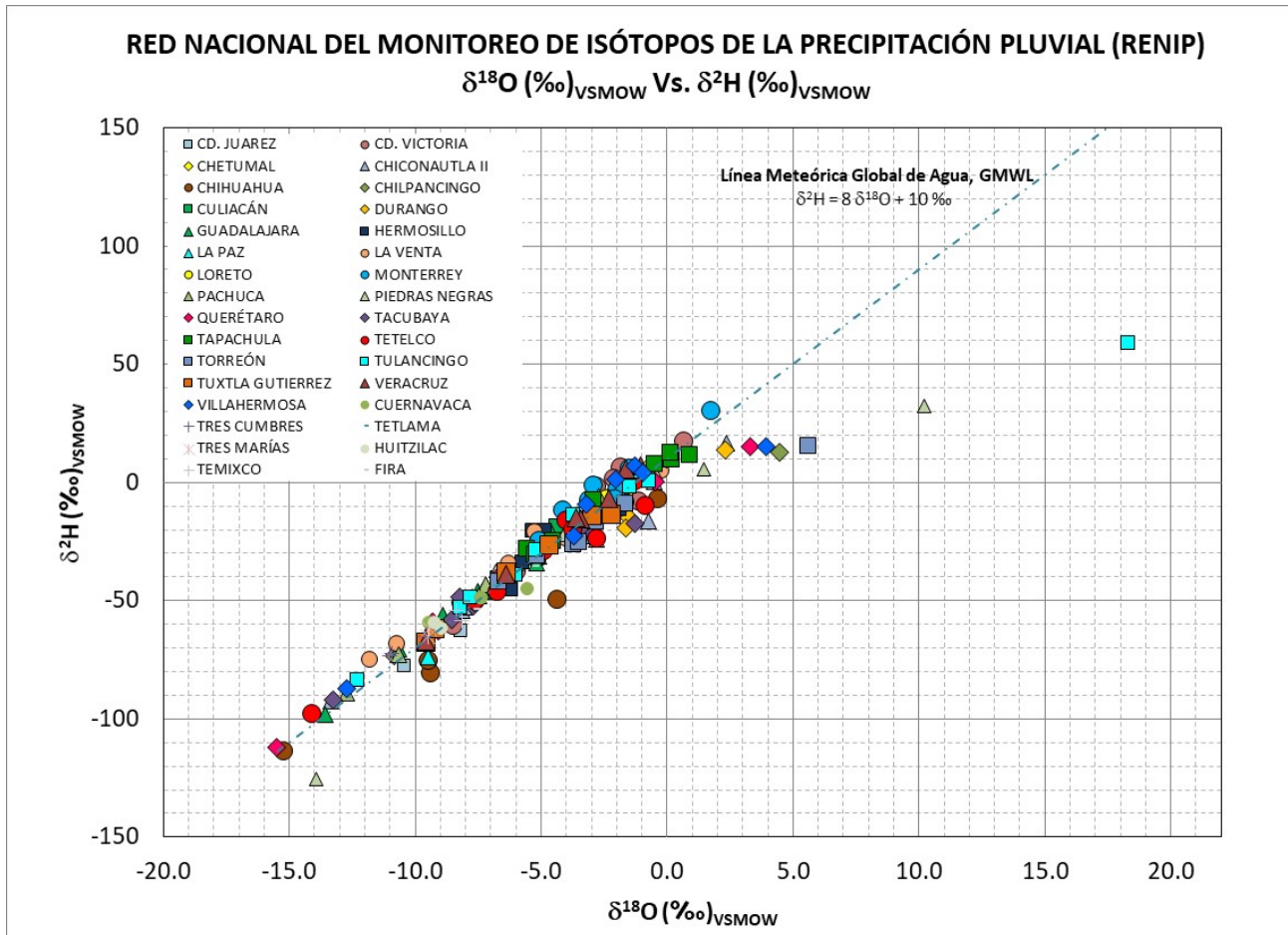


Figura 35 Composición isotópica estable de la RENIP

5.7. Análisis de tritio ambiental

El contenido de tritio ambiental: Se realizó en el Laboratorio de Hidrología Isotópica del IMTA. Los procesos para la medición por enriquecimiento electrolítico de las muestras de agua natural recolectadas en la RENIP incluyen: destilación primaria, enriquecimiento electrolítico, neutralización, postdestilación de muestras enriquecidas y medición por centelleo líquido de la emisión beta del tritio mediante un contador de centelleo líquido de alta sensibilidad y ultra bajo nivel de actividad Perkin Elmer Quantulus GCT6220.

En parte del procedimiento se utilizan estándares certificados del National Institute of Standards and Technology (NIST). Las siguientes tablas muestran los resultados de tritio ambiental obtenidos en el análisis, así como sus respectivos errores.

5.7.1. Equipo de laboratorio

El equipo básico consiste de celdas electrolíticas, una unidad de enfriamiento, una fuente de poder de corriente directa, equipo de destilación de agua a presión atmosférica, equipo de postdestilación de agua a presión atmosférica, balanzas de precisión, recipientes de vidrio para almacenamiento hermético de muestras, reactivos químicos grado analítico: Na_2O_2 (Peróxido de sodio) al 93 % y PbCl_2 (Cloruro de plomo) al 99.7%.

Manejo y revisión de muestras

Durante la recepción, almacenamiento y análisis de muestras de agua, se deben observar las siguientes recomendaciones:

- Todas las muestras se deben revisar cuidadosamente para evitar fugas y prevenir el contacto de la muestra con la atmósfera. Verificar que sean muestras dobles.
- Las muestras por analizar son seleccionadas de acuerdo con su prioridad, la cual es asignada por el responsable del laboratorio.
- El volumen de la muestra por analizar debe ser de 250 mililitros y su conductividad eléctrica específica debe ser menor de 10 mS/cm (después de destilarla), si el volumen es menor entonces se adiciona agua muerta libre de tritio.

5.7.1.1. Destilación

Todas las muestras deben destilarse antes de la electrólisis, aproximadamente 300mL para obtener 250 mL del destilado.



Figura 36 Proceso de destilación primaria realizado en el laboratorio de tritio ambiental del IMTA

- Se utilizan matraces de bola de 500mL y se destila a presión atmosférica hasta obtener 250 mL de muestra de agua, evitando que en el matraz de bola quede un volumen remanente de agua de pocos mililitros para evitar destilación a sequedad; ya que, da como resultado el sobrecalentamiento del vidrio y como consecuencia el estrellamiento de los matraces.
- El matraz de destilación va conectado con una columna vigreux y el condensador al matraz receptor; las mantillas individuales con perillas para controlar la temperatura proporcionan el calentamiento. Las perlas de ebullición se utilizan para descargar el burbujeo de las muestras de agua.

- Después de destilada la muestra (250 mL) se debe medir la conductividad para saber si la muestra está lo suficientemente desionizada
- La destilación no separa trazas de líquidos orgánicos volátiles que pueden estar presentes en las muestras y su presencia no es revelada por la prueba de conductividad, pero si cuando se adiciona el peróxido de sodio Na_2O_2 ya que produce una efervescencia excesiva en el agua.

5.7.1.2. Preparación de celdas y muestras para electrólisis

- Las muestras de agua (250 mL) y el peróxido de sodio (1 gramo por cada 250 mL), se vierten en el matraz aforado de 250 mL; primero se vierten al matraz 150 mL aproximadamente y se adiciona el gramo de peróxido de sodio, se disuelve perfectamente y se lleva al aforo con el resto del agua muestra. Cuando el peróxido de sodio se disuelve, se debe revisar cualquier efervescencia excesiva ya que indica que las muestras son corrosivas y en consecuencia dañan las celdas.
- Las celdas completas se pesan individualmente en una balanza con una exactitud de de estos pesos además de un record asegurarnos que los electrodos estén completamente secos.
- El contenido de los matraces volumétricos de 250 mL se vacía completamente en el ánodo (+). Posteriormente, los cátodos (-) se insertan muy lentamente para evitar que salpique la solución electrolítica fuera de la celda, los anillos O-ring (empaques) deben ser lubricados con aceite de silicón y se vuelven a pesar las celdas para establecer cálculos de los pesos iniciales de la muestra; la diferencia del peso de la celda con muestra menos el peso de la celda sin muestra debe ser anotado con suficiente atención.
- Asegurarse de que las muestras se colocan en la celda correcta, ya que este es un punto crítico durante el análisis donde es posible hacer una mezcla de muestras si no se pone la suficiente atención.

5.7.1.3. Electrólisis

- Las celdas se colocan en sus respectivos tanques de enfriamiento, se conectan las mangueras de evacuación de gases (oxígeno e hidrógeno), así como los conectores eléctricos entre cada celda para el paso de corriente.

Se debe esperar a que la cámara de enfriamiento de las celdas se encuentre de -1.0 a 1.5 °C para iniciar el proceso de electrólisis.

La electrólisis consiste de varias fases a diferentes corrientes. La carga total que pasa puede representarse por la suma de los productos tiempo-corriente.

- El tiempo de duración de la electrólisis se establece de acuerdo con las siguientes recomendaciones:

Al inicio de la electrólisis es conveniente una corriente baja, debido a que el spray es mayor cuando el nivel de la muestra es más alto en la celda.

Una corriente máxima a la mitad del periodo de la electrólisis es recomendable, posiblemente pueda ser limitada por la capacidad de enfriamiento de la unidad.

En la última fase es conveniente una corriente baja para evitar altas densidades de corriente cuando el área activa del electrodo es pequeña.

Durante la noche anterior el final de la electrólisis, la corriente debe desconectarse brevemente y pesar una de las celdas, ello indicará la cantidad restante de agua que debe reducirse, lo cual permitirá establecer la corriente final a aplicar.

El Programa electrólisis recomendado es el siguiente:

Paso 1: 5.5 hr a 4 Amp = 22 A-h

Paso 2: 94.7 hr a 6.5 Amp = 616 A-h

Paso 3: 14.0 hr a 3.0 Amp = 42 A-h

Manejo de muestras al final de la electrólisis, peso de celdas

- Se desconecta la corriente, se sacan las celdas de la unidad de enfriamiento, se sacan con un trapo o papel absorbente y se colocan en el carro porta celdas para ser transportadas a la balanza.

- Las celdas se dejan a temperatura ambiente durante 30 minutos.
- Pasado este tiempo se pesan las celdas y se calcula el peso de cada muestra (muestra + electrólito) y se vuelven a pesar antes de verter la muestra remanente.
- Se separan los cátodos lentamente para asegurar el máximo drenaje posible en el fondo de la celda.
- El cilindro externo (ánodo) que contiene la muestra se tapa con un tapón de neopreno.
- Se lavan los cátodos con agua caliente por 2 minutos aproximadamente y se secan con un trapo o papel con la finalidad de prevenir la formación de sarro y se meten al horno una hora a una temperatura de 90° C.
- Las muestras se colocan en matraces bola fondo plano de 100 mL.

5.7.1.4. Neutralización y postdestilación

- Se le adicionan 4 gr de $PbCl_2$ (cloruro de plomo) al 99.7% para neutralizar la muestra y se agita.
- Las muestras se postdestilan a ebullición muy lenta.
- Al finalizar la neutralización se realiza una prueba midiendo el pH de las muestras con papel pH.
- El pH debe estar entre 5 a 7 para proceder a la preparación de los cócteles de centelleo líquido.
- Después de la postdestilación cada muestra se queda almacenada en matraz bola fondo plano etiquetado con el numero asignado a la muestra en la corrida de la electrolisis en refrigeración para posteriormente continuar con su medición en el Contador de Centelleo Líquido Quantulus GCT 6220.

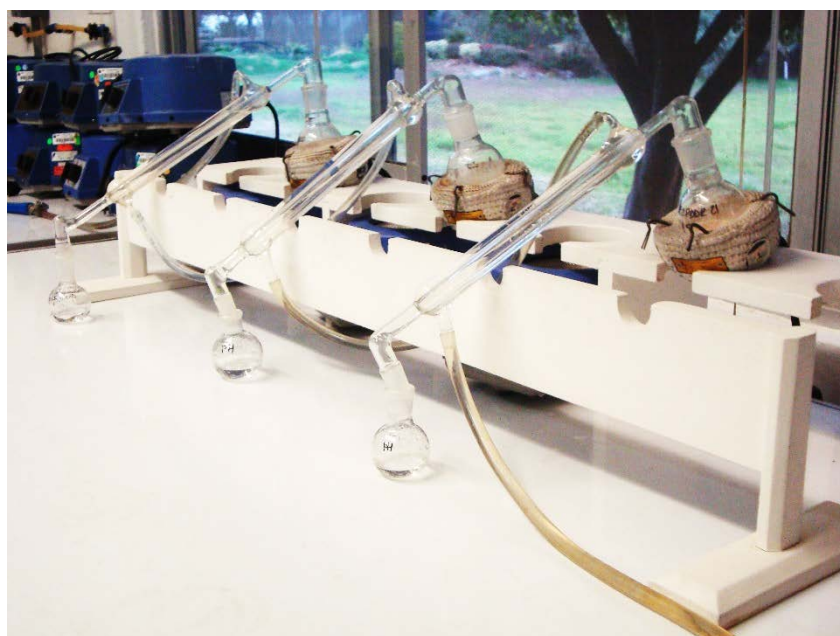


Figura 37 Proceso de postdestilación realizado en el laboratorio de tritio ambiental del IMTA

5.7.1.5. Medición en el contador de centelleo

Se preparan los cócteles con muestra postdestilada en viales de plástico agregándole 10 mL de muestra de concentración desconocida y 12 mL de cóctel de centelleo líquido (Ultima Gold LLT). Se homogeniza la solución, se aclimata y se coloca en los cassettes del contador para medir el contenido de tritio ambiental.

El spike (solución preparada del SRM 4926E que es diluida con agua desionizada y libre de tritio (agua muerta)) es sometido a las mismas condiciones que las muestras a analizar a excepción del proceso de destilación, de tal manera que se obtiene un spike enriquecido el cual junto con el no enriquecido es analizado en el centellador para obtener su contenido de tritio en UT y así determinar el factor de enriquecimiento que han sufrido también las demás muestras. Se preparan 2 spikes de concentración conocida sin enriquecer en viales de plástico se vierten 10mL y 12mL de cóctel de centelleo líquido (Ultima Gold LLT) por cada corrida.

El estándar NBS de concentración conocida es empleado para obtener la eficiencia a la cual se encuentra funcionando el Contador de Centelleo Líquido Quantulus GCT 6220, ya que el valor medido en el centellador es comparado con el real y se determina la eficiencia además de las condiciones en que se encuentra el equipo. Se prepara 1 estándar NBS de concentración conocida en viales de plástico se vierten 10mL y 12mL de cóctel de centelleo líquido (Ultima Gold LLT) por cada corrida.

El agua libre de tritio (agua muerta) es empleada para dar el conteo de fondo, el cual al final es restado a la muestra. Se preparan 2 aguas muertas (agua libre de tritio) en viales de plástico se vierten 10mL y 12mL de cóctel de centelleo líquido (Ultima Gold LLT) por cada corrida.

El enriquecimiento electrolítico del tritio ambiental se realiza bajo condiciones controladas por corrida, a fin de elevar aproximadamente en 14 veces el contenido de tritio de las muestras de agua natural.

Cada corrida consta de un lote de 20 celdas, compuesto de 17 muestras incógnita y tres muestras Spike de concentración de tritio conocida. En este proceso, las 20 celdas se pesan por separado vacías, con solución electrolítica (muestra + peróxido de sodio); así como al final de la electrolisis. Con los pesos se calcula el disociado (peso antes de electrolisis menos el peso después de la electrolisis), el remanente (peso de la muestra después de la electrolisis) y por último el porcentaje (%) de pérdida de la muestra (peso disociado real menos el disociado teórico dividido entre el peso disociado teórico por cien).

De la emisión beta de los átomos de tritio presentes en los cócteles de centelleo líquido, medidos en el equipo Quantulus GCT 6220, se obtienen las actividades específicas en cuentas por minuto (CPM) en dos regiones o ventanas de energía pre establecidas, denominadas: A y B. Los conteos obtenidos en CPMA y CPMB junto con los valores aplicados en el proceso de enriquecimiento electrolítico, permiten estimar los errores asociados a la técnica instrumental, así como el contenido de tritio ambiental, expresado en unidades de tritio (TU por sus siglas en inglés), mediante la aplicación de los programas TRITIO FOR y TRITIO V2.0 para así obtener los resultados finales de cada muestra.



Figura 38 Contador de centelleo líquido Perkin Elmer Quantulus GCT 6220 instalado en el IMTA

5.8. Resultados de la medición de tritio ambiental de las 28 estaciones que conforman la RENIP.

Tabla 7 A1. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 1 a la 11.

No. MUESTRA	No. LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN MUESTRA	DESTILACIÓN		ELECTROLISIS						
			CONDUCTIVIDAD INICIAL (uS/cm)	CONDUCTIVIDAD FINAL (uS/cm)	PESO CELDA (g)	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	PESO DISOCIADO (g)	PESO CALCULADO (g)	PESO REMANENTE (g)	PERDIDA (%)
1	181-1	SPIKE 1-181			1639.0	1889.3	1655.6	233.7	230.0126242	16.6	1.58
	181-2	PLUVIOMETRO 1 14/06/2016	47	21	1598.9	1849.4	1616.1	233.3	230.0126242	17.2	1.41
2	181-3	PLUVIOMETRO 1 24/06/2016	16	7	1605.2	1856.2	1622.5	233.7	230.0126242	17.3	1.58
3	181-4	PLUVIOMETRO 1 25/07/2016	22	12	1618.5	1868.9	1635.7	233.2	230.0126242	17.2	1.37
4	181-5	PLUVIOMETRO 1 24/08/2016	13	4	1685.7	1935.5	1702.2	233.3	230.0126242	16.5	1.41
5	181-6	PLUVIOMETRO 2 24/06/2016	18	6	1566.5	1816.4	1583.8	232.6	230.0126242	17.3	1.11
	181-7	SPIKE 2-181			1578.9	1828.6	1595.4	233.2	230.0126242	16.5	1.37
6	181-8	PLUVIOMETRO 2 25/07/2016	15	5	1657.7	1908.0	1674.4	233.6	230.0126242	16.7	1.54
7	181-9	PLUVIOMETRO 2 24/08/2016	12	5	1587.3	1836.9	1604.2	232.7	230.0126242	16.9	1.15
8	181-10	PLUVIOMETRO 3 29/07/2016	19	6	1664.3	1914.1	1680.2	233.9	230.0126242	15.9	1.66
9	181-11	PLUVIOMETRO 3 30/08/2016	15	NO DESTILADA	1557.1	1806.9	1574.1	232.8	230.0126242	17.0	1.20
10	181-12	COLECTOR 1 29/07/2016	10	4	1671.9	1921.8	1688.9	232.9	230.0126242	17.0	1.24
11	181-13	COLECTOR 1 30/08/2016	10	NO DESTILADA	1570.5	1820.7	1587.8	232.9	230.0126242	17.3	1.24
	181-15	SPIKE 3-181 OIEA AM-I-181,182,184 OIEA AM-II-181,182,184 NIST 4361C-98-181,182,184/1 NIST 4361C-98-181,182,184/2 Spike 4926E-#1-181,182,184 Spike 4926E-#2-181,182,184			1606.9	1856.8	1624.0	232.8	230.0126242	17.1	1.20

Tabla 8 A2. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 1 a la 11

No. MUESTRA	No. LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN MUESTRA	POSDESTILACIÓN	CONTADOR DE CENTELLEO LÍQUIDO		RESULTADOS DE TRITIO			
			pH	CPM-A	CPM-B	UT (A)	ERROR (A)	UT (B)	ERROR (B)
1	181-1	SPIKE 1-181	7	710.00	764.00	3141.34	15.27	3135.46	14.93
	181-2	PLUVIOMETRO 1 14/06/2016	7	2.30	2.60	3.78	0.45	3.50	0.44
2	181-3	PLUVIOMETRO 1 24/06/2016	7	1.90	2.20	1.90	0.42	1.77	0.42
3	181-4	PLUVIOMETRO 1 25/07/2016	7	1.80	2.20	1.42	0.40	1.75	0.41
4	181-5	PLUVIOMETRO 1 24/08/2016	7	1.80	2.20	1.36	0.39	1.68	0.40
5	181-6	PLUVIOMETRO 2 24/06/2016	7	2.20	2.50	3.31	0.44	3.07	0.44
6	181-7	SPIKE 2-181	7	673.00	724.30	3141.34	15.36	3135.46	15.01
	181-8	PLUVIOMETRO 2 25/07/2016	7	1.90	2.20	1.84	0.40	1.71	0.40
7	181-9	PLUVIOMETRO 2 24/08/2016	7	1.80	2.20	1.39	0.39	1.72	0.40
8	181-10	PLUVIOMETRO 3 29/07/2016	7	1.80	2.10	1.32	0.38	1.23	0.38
9	181-11	PLUVIOMETRO 3 30/08/2016	7	1.90	2.20	1.86	0.41	1.73	0.41
10	181-12	COLECTOR 1 29/07/2016	7	1.90	2.20	1.86	0.41	1.73	0.41
11	181-13	COLECTOR 1 30/08/2016	7	1.90	2.30	1.89	0.41	2.20	0.42
	181-15	SPIKE 3-181 OIEA AM-I-181,182,184 OIEA AM-II-181,182,184 NIST 4361C-98-181,182,184/1 NIST 4361C-98-181,182,184/2 Spike 4926E-#1-181,182,184 Spike 4926E-#2-181,182,184	7	671.90	723.50	3141.34	15.36	3135.46	15.01

Tabla 9 B1. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 12 a la 25

No. MUESTRA	No. LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN MUESTRA	DESTILACIÓN		ELECTROLISIS						
			CONDUCTIVIDAD INICIAL (uS/cm)	CONDUCTIVIDAD FINAL (uS/cm)	PESO CELDA (g)	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	PESO DISOCIADO (g)	PESO CALCULADO (g)	PESO REMANENTE (g)	PERDIDA (%)
12	182-2	SPIKE 1-182			1598.9	1849.0	1615.1	233.9	230.0126242	16.2	1.66
12	182-5	PLUVIOMETRO 1 14/06/2016	47	21	1685.7	1935.4	1701.7	233.7	230.0126242	16.0	1.58
13	182-6	PLUVIOMETRO 1 15/09/2016	84	32.8	1566.5	1816.0	1582.9	233.1	230.0126242	16.4	1.32
14	182-7	PLUVIOMETRO 2 30/09/2016	29	7.7	1578.9	1828.6	1595.3	233.3	230.0126242	16.4	1.41
15	182-8	SPIKE 2-182			1657.7	1907.4	1673.5	233.9	230.0126242	15.8	1.66
15	182-9	ANTENAS 3 MARIAS 05/10/2016	24	5.4	1587.3	1836.8	1603.4	233.4	230.0126242	16.1	1.45
16	182-10	CENTRO DE SALUD 3 MARIAS 05/10/2016	15	4.6	1664.3	1914.2	1680.1	234.1	230.0126242	15.8	1.75
17	182-11	HUITZILAC 05/10/2016	14	4.1	1556.0	1806.0	1572.4	233.6	230.0126242	16.4	1.54
18	182-12	COLECTOR ESTACIÓN SAN DIEGO 05/10/2016	22	4.5	1671.9	1922.3	1688.2	234.1	230.0126242	16.3	1.75
19	182-13	PLUVIOMETRO ESTACIÓN SAN DIEGO 05/10/2016	37	6.1	1570.4	1820.4	1586.8	233.6	230.0126242	16.4	1.54
20	182-14	TEMIXCO 06/10/2016	22	5.5	1667.0	1917.8	1684.6	233.2	230.0126242	17.6	1.37
21	182-15	FIRA 06/10/2016	22	5.2	1606.9	1856.8	1623.6	233.2	230.0126242	16.7	1.37
21	182-16	SPIKE 3-182			1603.2	1853.2	1620.5	232.7	230.0126242	17.3	1.15
22	182-17	ALPUYECA 06/10/2016	31	6.2	1611.0	1860.8	1627.5	233.3	230.0126242	16.5	1.41
23	182-18	TETLAMA 06/10/2016	23	5.8	1656.4	1908.5	1675.4	233.1	230.0126242	19.0	1.32
24	182-19	CENTRO DE SALUD 3 MARIAS 05/12/2016	33	4.5	1696.0	1946.1	1712.6	233.5	230.0126242	16.6	1.49
25	182-20	OBSERVATORIO COLECTOR 05/12/2016	39	6.8	1641.9	1891.7	1658.7	233.0	230.0126242	16.8	1.28
		OIEA AM-I-181,182,184									
		OIEA AM-II-181,182,184									
		NIST 4361C-98-181,182,184/1									
		NIST 4361C-98-181,182,184/2									
		Spike 4926E-#1-181,182,184									
		Spike 4926E-#2-181,182,184									

Tabla 10 B2. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 12 a la 25

No. MUESTRA	No. LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN MUESTRA	POSDESTILACIÓN	CONTADOR DE CENTELLEO LÍQUIDO		RESULTADOS DE TRITIO			
			pH	CPM-A	CPM-B	UT (A)	ERROR (A)	UT (B)	ERROR (B)
12	182-2	SPIKE 1-182	7	690.70	741.50	3109.09	15.16	3103.26	14.82
12	182-5	PLUVIOMETRO 1 14/06/2016	7	2.10	2.40	2.68	0.41	2.49	0.41
13	182-6	PLUVIOMETRO 1 15/09/2016	7	2.00	2.30	2.28	0.41	2.12	0.41
14	182-7	PLUVIOMETRO 2 30/09/2016	7	2.20	2.50	3.20	0.42	2.97	0.42
15	182-8	SPIKE 2-182	7	691.60	744.80	3109.09	15.16	3103.26	14.81
15	182-9	ANTENAS 3 MARIAS 05/10/2016	7	2.20	2.50	3.14	0.42	2.92	0.41
16	182-10	CENTRO DE SALUD 3 MARIAS 05/10/2016	7	2.00	2.20	2.22	0.40	1.65	0.39
17	182-11	HUITZILAC 05/10/2016	7	1.80	2.10	1.37	0.39	1.27	0.39
18	182-12	COLECTOR ESTACIÓN SAN DIEGO 05/10/2016	7	1.90	2.20	1.83	0.40	1.70	0.40
19	182-13	PLUVIOMETRO ESTACIÓN SAN DIEGO 05/10/2016	7	1.90	2.20	1.83	0.40	1.70	0.40
20	182-14	TEMIXCO 06/10/2016	7	1.90	2.20	1.95	0.42	1.81	0.43
21	182-15	FIRA 06/10/2016	7	1.80	2.20	1.39	0.40	1.72	0.41
21	182-16	SPIKE 3-182	7	659.60	709.70	3109.09	15.23	3103.26	14.89
22	182-17	ALPUYECA 06/10/2016	7	1.90	2.20	1.84	0.40	1.71	0.40
23	182-18	TETLAMA 06/10/2016	7	2.00	2.30	2.62	0.47	2.43	0.47
24	182-19	CENTRO DE SALUD 3 MARIAS 05/12/2016	7	1.90	2.20	1.85	0.40	1.72	0.40
25	182-20	OBSERVATORIO COLECTOR 05/12/2016	7	2.00	2.30	2.33	0.42	2.16	0.41
		OIEA AM-I-181,182,184		1.50	1.80				
		OIEA AM-II-181,182,184		1.50	1.80				
		NIST 4361C-98-181,182,184/1		49.80	53.90				
		NIST 4361C-98-181,182,184/2		49.40	53.20				
		Spike 4926E-#1-181,182,184		95.90	103.50				
		Spike 4926E-#2-181,182,184		95.80	103.50				

Tabla 11 C1. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 26 a la 33

				INICIAL (uS/cm)	FINAL (uS/cm)	PESO CELDA (g)	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	DISOCIADO (g)	CALCULADO (g)	REMANENTE (g)	PERDIDA (%)
26	184-1	SAN DIEGO 04/11/2016 PLUVIOMETRO 3	04/11/2016	61	9.9	1656.3	1905.9	1672.6	233.3	230.0126242	16.3	1.41
27	184-2	ESTACIÓN IMTA 10/11/2016	10/11/2016	39	7.3	1598.9	1848.4	1615.6	232.8	230.0126242	16.7	1.20
	184-3	SPIKE 1-184				1605.1	1854.6	1621.5	233.1	230.0126242	16.4	1.32
28	184-4	TEMIXCO COLECTOR 4 01/12/2016	01/12/2016	147	6.5	1618.5	1868.5	1636.0	232.5	230.0126242	17.5	1.07
29	184-5	HUITZILAC COLECTOR 3 05/12/2016	05/12/2016	32	2.6	1685.6	1936.3	1703.6	232.7	230.0126242	18.0	1.15
30	184-6	OBSERVATORIO PLUVIOMETRO 3 05/12/2016	05/12/2016	46	9.9	1566.4	1815.9	1583.8	232.1	230.0126242	17.4	0.90
31	184-7	FIRA COLECTOR 6 06/12/2016	06/12/2016	46	4.8	1578.9	1829.0	1596.9	232.1	230.0126242	18.0	0.90
32	184-8	TETLAMA 06/12/2016	06/12/2016	47	16	1657.6	1907.6	1674.8	232.8	230.0126242	17.2	1.20
	184-9	SPIKE 2-184				1587.3	1837.0	1604.6	232.4	230.0126242	17.3	1.03
33	184-10	ALPUYECA 06/12/2016	06/12/2016	44	10	1664.2	1914.4	1681.6	232.8	230.0126242	17.4	1.20
	184-17	SPIKE 3-184				1611.0	1860.7	1628.4	232.3	230.0126242	17.4	0.98
		OIEA AM-I-181,182,184										
		OIEA AM-II-181,182,184										
		NIST 4361C-98-181,182,184/1										
		NIST 4361C-98-181,182,184/2										
		Spike 4926E-#1-181,182,184										
		Spike 4926E-#2-181,182,184										

Tabla 12 C2. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 26 a la 33

No. MUESTRA	No. LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN MUESTRA	POSDESTILACIÓN	CONTADOR DE CENTELLEO LÍQUIDO		RESULTADOS DE TRITIO			
			pH	CPM-A	CPM-B	UT (A)	ERROR (A)	UT (B)	ERROR (B)
26	184-1	SAN DIEGO 04/11/2016 PLUVIOMETRO 3	7	2.30	2.70	3.55	0.42	3.71	0.42
27	184-2	ESTACIÓN IMTA 10/11/2016	7	2.10	2.40	2.71	0.41	2.52	0.41
	184-3	SPIKE 1-184	7	695.90	748.20	3086.66	15.04	3080.88	14.70
28	184-4	TEMIXCO COLECTOR 4 01/12/2016	7	1.90	2.20	1.89	0.41	1.75	0.41
29	184-5	HUITZILAC COLECTOR 3 05/12/2016	7	1.90	2.20	1.94	0.42	1.80	0.42
30	184-6	OBSERVATORIO PLUVIOMETRO 3 05/12/2016	7	1.80	2.00	1.40	0.40	0.87	0.39
31	184-7	FIRA COLECTOR 6 06/12/2016	7	2.00	2.30	2.42	0.43	2.24	0.43
32	184-8	TETLAMA 06/12/2016	7	1.80	2.20	1.40	0.40	1.73	0.41
	184-9	SPIKE 2-184	7	666.50	718.70	3086.66	15.10	3080.88	14.76
33	184-10	ALPUYECA 06/12/2016	7	1.80	2.10	1.41	0.40	1.31	0.40
	184-17	SPIKE 3-184	7	655.30	703.00	3086.66	15.13	3080.88	14.79
		OIEA AM-I-181,182,184		1.50	1.80				
		OIEA AM-II-181,182,184		1.50	1.80				
		NIST 4361C-98-181,182,184/1		49.80	53.90				
		NIST 4361C-98-181,182,184/2		49.40	53.20				
		Spike 4926E-#1-181,182,184		95.90	103.50				
		Spike 4926E-#2-181,182,184		95.80	103.50				

Tabla 13 D1. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 34

No. MUESTRA	No. LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN MUESTRA	FECHA MUESTREO	DESTILACIÓN		ELECTROLISIS							
				CONDUCTIVIDAD INICIAL (uS/cm)	CONDUCTIVIDAD FINAL (uS/cm)	PESO CELDA (g)	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	PESO DISOCIADO (g)	PESO CALCULADO (g)	PESO REMANENTE (g)	PERDIDA (%)	
34	191-6	SPIKE 1-191	04/04/2017	79	8	1551.5	1801.8	1572.1	229.7	227.3909764	20.6	1.01	
	191-12	SPIKE 2-191				1671.8	1921.9	1691.9	230.0	227.3909764	20.1	1.13	
	191-19	FIRA 04/04/2017				1695.9	1946.3	1716.7	229.6	227.3909764	20.8	0.96	
	191-20	SPIKE 3-191				1641.9	1892.1	1662.8	229.3	227.3909764	20.9	0.83	
		AM I-189-192											
		AM II-189-192											
		SPIKE S/E 1-189-192 SRM 4926E (03/09/1998)											
		SPIKE S/E 2-189-192 SRM 4926E (03/09/1998)											
		NIST 4361-C 1-189-192											
		NIST 4361-C 2-189-192											

Tabla 14 D2. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 34

No. MUESTRA	No. LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN MUESTRA	POSDESTILACIÓN	CONTADOR DE CENTELLEO LÍQUIDO		RESULTADOS DE TRITIO			
			pH	CPM-A	CPM-B	UT (A)	ERROR (A)	UT (B)	ERROR (B)
34	191-6	SPIKE 1-191	7	493.50	529.70	3035.84	16.36	3039.55	16.05
	191-12	SPIKE 2-191	7	507.10	543.30	3035.84	16.31	3039.55	16.01
	191-19	FIRA 04/04/2017	7	1.80	2.00	3.43	0.52	3.20	0.52
	191-20	SPIKE 3-191	7	480.70	516.70	3035.84	16.41	3039.55	16.10
		AM I-189-192		1.20	1.40				
		AM II-189-192		1.30	1.50				
		SPIKE S/E 1-189-192 SRM 4926E (03/09/1998)		43.60	47.10				
		SPIKE S/E 2-189-192 SRM 4926E (03/09/1998)		43.60	46.80				
		NIST 4361-C 1-189-192		83.50	89.70				
		NIST 4361-C 2-189-192		84.60	90.90				

Tabla 15 E1. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 35 a la 43

No. MUESTRA	No. LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN MUESTRA	DESTILACIÓN		ELECTROLISIS						
			CONDUCTIVIDAD INICIAL (uS/cm)	CONDUCTIVIDAD FINAL (uS/cm)	PESO CELDA (g)	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	PESO DISOCIADO (g)	PESO CALCULADO (g)	PESO REMANENTE (g)	PERDIDA (%)
35	192-1	SPIKE 1-192			1656.2	1906.5	1674.3	232.2	229.2059634	18.1	1.29
	192-7	SPIKE 2-192			1578.7	1829.2	1598.0	231.2	229.2059634	19.3	0.86
36	192-10	TETLAMA 04/04/2017	57	17	1664.2	1914.6	1682.7	231.9	229.2059634	18.5	1.16
37	192-11	IMTA 05/04/2017	98	10	1557.0	1807.6	1576.2	231.4	229.2059634	19.2	0.95
37	192-12	TRES MARIAS 05/04/2017	51	11	1671.8	1922.2	1690.7	231.5	229.2059634	18.9	0.99
38	192-13	TRES CUMBRES 05/04/2017	74	18	1570.3	1821.0	1589.6	231.4	229.2059634	19.3	0.95
39	192-14	HUITZILAC 24/05/2017	56	18	1667.0	1917.3	1685.9	231.4	229.2059634	18.9	0.95
40	192-15	SPIKE 3-192			1606.7	1857.1	1626.1	231.0	229.2059634	19.4	0.78
41	192-16	TRES MARIAS 24/05/2017	49	12	1603.2	1853.8	1623.1	230.7	229.2059634	19.9	0.65
42	192-17	TRES CUMBRES 24/05/2017	58	15	1610.9	1861.5	1630.5	231.0	229.2059634	19.6	0.78
43	192-18	IMTA 25/05/2017	81	20	1639.8	1890.6	1659.7	230.9	229.2059634	19.9	0.73
		AM I-189-192									
		AM II-189-192									
		SPIKE S/E 1-189-192 SRM 4926E (03/09/1998)									
		SPIKE S/E 2-189-192 SRM 4926E (03/09/1998)									
		NIST 4361-C 1-189-192									
		NIST 4361-C 2-189-192									

Tabla 16 E2. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 35 a la 43

No. MUESTRA	No. LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN MUESTRA	POSDESTILACIÓN	CONTADOR DE CENTELLEO LÍQUIDO		RESULTADOS DE TRITIO			
			pH	CPM-A	CPM-B	UT (A)	ERROR (A)	UT (B)	ERROR (B)
35	192-1	SPIKE 1-192	7	571.20	614.20	3014.41	15.98	3018.09	15.69
	192-7	SPIKE 2-192	7	540.40	582.10	3014.41	16.08	3018.09	15.78
36	192-10	TETLAMA 04/04/2017	7	1.70	1.90	2.43	0.44	2.27	0.44
	192-11	IMTA 05/04/2017	7	2.00	2.20	4.19	0.49	3.90	0.48
37	192-12	TRES MARIÁS 05/04/2017	7	1.80	2.00	3.03	0.46	2.82	0.46
38	192-13	TRES CUMBRES 05/04/2017	7	1.70	2.00	2.52	0.46	2.87	0.46
39	192-14	HUITZILAC 24/05/2017	7	2.10	2.30	4.68	0.49	4.35	0.48
40	192-15	SPIKE 3-192	7	534.10	574.10	3014.41	16.10	3018.09	15.80
41	192-16	TRES MARIÁS 24/05/2017	7	1.80	2.10	3.16	0.48	3.48	0.49
42	192-17	TRES CUMBRES 24/05/2017	7	1.80	2.00	3.12	0.48	2.91	0.47
43	192-18	IMTA 25/05/2017	7	1.70	2.00	2.59	0.47	2.95	0.48
		AM I-189-192		1.20	1.40				
		AM II-189-192		1.30	1.50				
		SPIKE S/E 1-189-192 SRM 4926E (03/09/1998)		43.60	47.10				
		SPIKE S/E 2-189-192 SRM 4926E (03/09/1998)		43.60	46.80				
		NIST 4361-C 1-189-192		83.50	89.70				
		NIST 4361-C 2-189-192		84.60	90.90				

Tabla 17 F1. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 44 a la 46

No. MUESTRA	No. LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN MUESTRA	DESTILACIÓN		ELECTROLISIS						
			CONDUCTIVIDAD INICIAL (uS/cm)	CONDUCTIVIDAD FINAL (uS/cm)	PESO CELDA (g)	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	PESO DISOCIADO (g)	PESO CALCULADO (g)	PESO REMANENTE (g)	PERDIDA (%)
44	195-2	SPIKE 1-195			1597.8	1848.0	1616.9	231.1	228.5707179	19.1	1.09
	195-8	SPIKE 2-195			1657.5	1908.1	1676.9	231.2	228.5707179	19.4	1.14
	195-16	SPIKE 3-195			1603.1	1853.5	1623.3	230.2	228.5707179	20.2	0.71
45	195-18	VILLAHERMOSA 02/01/2018	35	4	1638.8	1890.2	1659.7	230.5	228.5707179	19.9	0.84
46	195-19	MONTERREY 04/01/2018	94	6	1695.9	1946.6	1716.2	230.4	228.5707179	20.3	0.79
	195-20	VERACRUZ 07/01/2018	83	15	1641.8	1892.0	1661.7	230.3	228.5707179	19.9	0.75
		AM I-195									
		AM II-195									
		SPIKE S/E 1-195 SRM 4926E (03/09/1998)									
		SPIKE S/E 2-195 SRM 4926E (03/09/1998)									
		NIST 4361-C 1-195									
		NIST 4361-C 2-195									

Tabla 18 F2. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 44 a la 46

No. MUESTRA	No. LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN MUESTRA	POSDESTILACIÓN	CONTADOR DE CENTELLEO LÍQUIDO		RESULTADOS DE TRITIO			
			pH	CPM-A	CPM-B	UT (A)	ERROR (A)	UT (B)	ERROR (B)
44	195-2	SPIKE 1-195	7	517.70	555.40	2847.69	15.55	2858.60	15.31
	195-8	SPIKE 2-195	7	519.60	558.50	2847.69	15.54	2858.60	15.30
	195-16	SPIKE 3-195	7	476.70	513.00	2847.69	15.69	2858.60	15.44
45	195-18	VILLAHERMOSA 02/01/2018	7	1.30	1.60	0.00	-0.42	0.54	0.44
46	195-19	MONTERREY 04/01/2018	7	1.90	2.20	3.51	0.50	3.82	0.51
	195-20	VERACRUZ 07/01/2018	7	1.30	1.50	0.00	-0.42	0.00	-0.42
		AM I-195		1.30	1.50				
		AM II-195		1.30	1.50				
		SPIKE S/E 1-195 SRM 4926E (03/09/1998)		42.20	45.50				
		SPIKE S/E 2-195 SRM 4926E (03/09/1998)		42.00	45.40				
		NIST 4361-C 1-195		82.90	89.10				
		NIST 4361-C 2-195		82.50	88.60				

Tabla 19 G1. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 47 a la 53

No. MUESTRA	No. LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN MUESTRA	DESTILACIÓN		ELECTROLISIS						
			CONDUCTIVIDAD INICIAL (uS/cm)	CONDUCTIVIDAD FINAL (uS/cm)	PESO CELDA (g)	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	PESO DISOCIADO (g)	PESO CALCULADO (g)	PESO REMANENTE (g)	PERDIDA (%)
47	196-1	VILLAHERMOSA 02/02/2018	18	2	1656.1	1905.8	1674.4	231.4	227.8682508	18.3	1.53
48	196-2	VERACRUZ 01/03/2018	73	6	1598.0	1847.4	1616.9	230.5	227.8682508	18.9	1.14
	196-3	SPIKE 1-196			1605.8	1855.7	1624.3	231.4	227.8682508	18.5	1.53
49	196-4	VILLAHERMOSA 02/03/2018	28	4	1618.4	1868.2	1637.3	230.9	227.8682508	18.9	1.31
50	196-5	MONTERREY 02/05/2018	82	7	1685.6	1935.2	1703.6	231.6	227.8682508	18.0	1.61
51	196-6	MÉRIDA 03/05/2018	49	5	1551.6	1801.6	1571.0	230.6	227.8682508	19.4	1.18
52	196-7	VERACRUZ 01/05/2018	149	2	1578.7	1828.7	1598.3	230.4	227.8682508	19.6	1.10
53	196-8	MONTERREY 01/06/2018	178	10	1657.6	1907.4	1676.4	231.0	227.8682508	18.8	1.36
	196-9	SPIKE 2-196			1587.1	1837.3	1606.8	230.5	227.8682508	19.7	1.14
	196-17	SPIKE 3-196			1610.9	1860.7	1630.5	230.2	227.8682508	19.6	1.01
		AM I-196-199									
		AM II-196-199									
		SPIKE S/E 1-196-199 SRM 4926E (03/09/1998)									
		SPIKE S/E 2-196-199 SRM 4926E (03/09/1998)									
		NIST 4361-C 1-196-199									
		NIST 4361-C 2-196-199									

Tabla 20 G2. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 47 a la 53

No. MUESTRA	No. LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN MUESTRA	POSDESTILACIÓN	CONTADOR DE CENTELLEO LÍQUIDO		RESULTADOS DE TRITIO			
			pH	CPM-A	CPM-B	UT (A)	ERROR (A)	UT (B)	ERROR (B)
47	196-1	VILLAHERMOSA 02/02/2018	8	1.40	1.60	1.13	0.43	0.79	0.43
48	196-2	VERACRUZ 01/03/2018	8	1.40	1.70	1.16	0.44	1.35	0.45
	196-3	SPIKE 1-196	8	509.30	550.30	2867.85	15.74	2881.83	15.49
49	196-4	VILLAHERMOSA 02/03/2018	7	1.30	1.50	0.58	0.43	0.27	0.43
50	196-5	MONTERREY 02/05/2018	9	1.60	1.80	2.23	0.45	1.82	0.44
51	196-6	MÉRIDA 03/05/2018	7	1.30	1.60	0.59	0.43	0.83	0.45
52	196-7	VERACRUZ 01/05/2018	7	1.40	1.70	1.20	0.45	1.39	0.46
53	196-8	MONTERREY 01/06/2018	8	1.50	1.70	1.74	0.45	1.35	0.45
	196-9	SPIKE 2-196	7	486.00	525.50	2867.85	15.82	2881.83	15.56
	196-17	SPIKE 3-196	7	465.80	503.60	2867.85	15.90	2881.83	15.64
		AM I-196-199		1.20	1.40				
		AM II-196-199		1.20	1.50				
		SPIKE S/E 1-196-199 SRM 4926E (03/09/1998)		41.70	45.40				
		SPIKE S/E 2-196-199 SRM 4926E (03/09/1998)		42.80	46.50				
		NIST 4361-C 1-196-199		81.50	88.20				
		NIST 4361-C 2-196-199		82.10	88.60				

Tabla 21 H1. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 54 a la 62

No. MUESTRA	No. LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN MUESTRA	DESTILACIÓN		ELECTROLISIS						
			CONDUCTIVIDAD INICIAL (uS/cm)	CONDUCTIVIDAD FINAL (uS/cm)	PESO CELDA (g)	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	PESO DISOCIADO (g)	PESO CALCULADO (g)	PESO REMANENTE (g)	PERDIDA (%)
54	197-1	CENTRAL TACUBAYA 02/05/2018	83	17	1656.7	1905.7	1675.1	230.6	227.5926416	18.4	1.30
55	197-2	CENTRAL TACUBAYA 01/06/2018	48	17	1597.9	1848.2	1618.1	230.1	227.5926416	20.2	1.09
56	197-3	VERACRUZ 01/06/2018	37	3	1605.7	1855.6	1625.0	230.6	227.5926416	19.3	1.30
	197-4	SPIKE 1-197	266	6	1618.3	1867.8	1637.5	230.3	227.5926416	19.2	1.18
57	197-5	VERACRUZ 04/02/2018	57	3	1685.5	1934.9	1704.0	230.9	227.5926416	18.5	1.43
58	197-6	MÉRIDA 01/06/2018	123	7	1551.5	1801.2	1571.3	229.9	227.5926416	19.8	1.00
59	197-7	TUXTLA GUTIÉRREZ 01/06/2018	87	8	1578.7	1828.4	1598.6	229.8	227.5926416	19.9	0.96
60	197-8	CHILPANCINGO 01/06/2018			1657.5	1907.2	1676.8	230.4	227.5926416	19.3	1.22
	197-10	SPIKE 2-197			1664.1	1914.3	1684.1	230.2	227.5926416	20.0	1.13
61	197-11	QUERETARO 01/06/2018	44	11	1558.3	1807.6	1578.0	229.6	227.5926416	19.7	0.87
	197-12	CULIACAN 01/07/2018	93	7	1671.7	1920.7	1690.4	230.3	227.5926416	18.7	1.18
62	197-18	SPIKE 3-197			1639.8	1889.9	1660.3	229.6	227.5926416	20.5	0.87
		AM I-196-199									
		AM II-196-199									
		SPIKE S/E 1-196-199 SRM 4926E (03/09/1998)									
		SPIKE S/E 2-196-199 SRM 4926E (03/09/1998)									

Tabla 22 H2. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 54 a la 62

MUESTRA	LABORATORIO		pH	CPM-A	CPM-B	UT (A)	ERROR (A)	UT (B)	ERROR (B)
54	197-1	CENTRAL TACUBAYA 02/05/2018	7	1.70	2.00	2.76	0.45	2.83	0.46
55	197-2	CENTRAL TACUBAYA 01/06/2018	7	1.70	2.00	3.00	0.49	3.07	0.50
56	197-3	VERACRUZ 01/06/2018	7	1.40	1.60	1.15	0.44	0.81	0.44
	197-4	SPIKE 1-197	7	499.40	539.10	2841.90	15.63	2855.76	15.38
57	197-5	VERACRUZ 04/02/2018	7	1.60	1.90	2.23	0.44	2.33	0.45
58	197-6	MÉRIDA 01/06/2018	7	1.30	1.60	0.59	0.43	0.82	0.44
59	197-7	TUXTLA GUTIÉRREZ 01/06/2018	9	1.50	1.80	1.77	0.46	1.92	0.47
60	197-8	CHILPANCINGO 01/06/2018	7	1.50	1.80	1.73	0.45	1.88	0.46
	197-10	SPIKE 2-197	9	486.60	525.30	2841.90	15.67	2855.76	15.42
61	197-11	QUERÉTARO 01/06/2018	9	1.80	2.10	3.51	0.49	3.54	0.49
62	197-12	CULIACAN 01/07/2018	9	1.40	1.60	1.12	0.42	0.78	0.42
	197-18	SPIKE 3-197	7	460.60	497.30	2841.90	15.77	2855.76	15.52
		AM I-196-199		1.20	1.40				
		AM II-196-199		1.20	1.50				
		SPIKE S/E 1-196-199 SRM 4926E (03/09/1998)		41.70	45.40				
		SPIKE S/E 2-196-199 SRM 4926E (03/09/1998)		42.80	46.50				
		NIST 4361-C 1-196-199		81.50	88.20				
	NIST 4361-C 2-196-199		82.10	88.60					

Tabla 23 I1. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 63 a la 69

No. MUESTRA	No. LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN MUESTRA	POSDESTILACIÓN	CONTADOR DE CENTELLEO LÍQUIDO		RESULTADOS DE TRITIO			
			pH	CPM-A	CPM-B	UT (A)	ERROR (A)	UT (B)	ERROR (B)
63	202-3	SPIKE 1-202	7	465.80	503.10	2781.47	14.87	2775.30	14.56
	202-9	SPIKE 2-202	9	466.70	501.00	2781.47	14.87	2775.30	14.56
64	202-12	VILLAHERMOSA 01/07/2018	9	1.20	1.50	0.00	-0.39	0.28	0.40
	202-13	TUXTLA GUTIÉRREZ 01/07/2018	7	1.50	1.80	1.80	0.43	1.96	0.43
65	202-14	VERACRUZ 01/07/2018	7	1.40	1.70	1.20	0.41	1.39	0.42
66	202-15	MÉRIDA 01/07/2018	7	1.50	1.80	1.86	0.44	2.01	0.45
	202-16	SPIKE 3-202	7	451.40	483.60	2781.47	14.92	2775.30	14.62
67	202-17	DURANGO 01/07/2018	9	1.70	2.00	3.03	0.45	3.10	0.46
68	202-18	QUERÉTARO 02/07/2018	9	1.70	2.00	3.03	0.45	3.09	0.46
69	202-19	CENTRAL TACUBAYA 02/07/2018	7	1.90	2.20	4.23	0.47	4.21	0.47
		AM I-201-202		1.20	1.40				
		AM II-201-202		1.20	1.50				
		SPIKE S/E 1-201-202 SRM 4926E (03/09/1998)		40.90	44.20				
		SPIKE S/E 2-201-202 SRM 4926E (03/09/1998)		40.60	43.80				
		NIST 4361-C 1-201-202		80.10	86.50				
	NIST 4361-C 2-201-202		79.50	85.90					

Tabla 24 12. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 63 a la

No. MUESTRA	No. LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN MUESTRA	DESTILACIÓN		ELECTROLISIS						
			CONDUCTIVIDAD INICIAL (uS/cm)	CONDUCTIVIDAD FINAL (uS/cm)	PESO CELDA (g)	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	PESO DISOCIADO (g)	PESO CALCULADO (g)	PESO REMANENTE (g)	PERDIDA (%)
63	202-3	SPIKE 1-202			1605.7	1855.8	1625.1	230.7	228.0732771	19.4	1.14
	202-9	SPIKE 2-202			1587.1	1837.2	1607.2	230.0	228.0732771	20.1	0.84
64	202-12	VILLAHERMOSA 01/07/2018	27	3	1671.6	1921.7	1691.5	230.2	228.0732771	19.9	0.92
	202-13	TUXTLA GUTIÉRREZ 01/07/2018	31	2	1570.2	1820.1	1590.1	230.0	228.0732771	19.9	0.84
65	202-14	VERACRUZ 01/07/2018	18	3	1666.9	1916.5	1686.7	229.8	228.0732771	19.8	0.75
	202-15	MÉRIDA 01/07/2018	40	3	1606.6	1856.8	1627.2	229.6	228.0732771	20.6	0.66
66	202-16	SPIKE 3-202			1603.0	1853.0	1623.5	229.5	228.0732771	20.5	0.62
	202-17	DURANGO 01/07/2018	73	3	1610.8	1860.7	1630.9	229.8	228.0732771	20.1	0.75
68	202-18	QUERÉTARO 02/07/2018	21	5	1639.7	1889.5	1659.8	229.7	228.0732771	20.1	0.71
	202-19	CENTRAL TACUBAYA 02/07/2018	31	13	1695.9	1945.9	1715.9	230.0	228.0732771	20.0	0.84
69	AM I-201-202										
	AM II-201-202										
	SPIKE S/E 1-201-202 SRM 4926E (03/09/1998)										
	SPIKE S/E 2-201-202 SRM 4926E (03/09/1998)										
	NIST 4361-C 1-201-202										
		NIST 4361-C 2-201-202									

69

Tabla 25 J1. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 70 a la 86

No. MUESTRA	No. LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN MUESTRA	DESTILACIÓN		ELECTROLISIS						
			CONDUCTIVIDAD INICIAL (uS/cm)	CONDUCTIVIDAD FINAL (uS/cm)	PESO CELDA (g)	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	PESO DISOCIADO (g)	PESO CALCULADO (g)	PESO REMANENTE (g)	PERDIDA (%)
70	203-1	MONTERREY 02/07/2018	75	3	1656.0	1907.0	1674.1	232.9	229.3404069	18.1	1.53
71	203-2	CHILPANCINGO 04/07/2018	47	4	1597.9	1849.0	1617.5	231.5	229.3404069	19.6	0.93
72	203-3	VILLAHERMOSA 01/08/2018	38	2	1605.6	1856.6	1624.7	231.9	229.3404069	19.1	1.10
	203-4	SPIKE 1			1618.2	1869.2	1637.8	231.4	229.3404069	19.6	0.89
73	203-5	TUXTLA GUTIERREZ 01/08/2018	41	3	1685.6	1936.6	1704.4	232.2	229.3404069	18.8	1.23
74	203-6	VERACRUZ 01/08/2018	16	2	1551.8	1802.9	1571.9	231.0	229.3404069	20.1	0.72
75	203-7	CENTRAL TACUBAYA 02/08/2018	43	17	1578.8	1829.8	1598.7	231.1	229.3404069	19.9	0.76
76	203-8	QUERETARO 01/08/2018	78	9	1657.6	1908.5	1676.8	231.7	229.3404069	19.2	1.02
77	203-9	CHILPANCINGO 01/08/2018	75	3	1587.1	1838.1	1606.8	231.3	229.3404069	19.7	0.85
	203-10	SPIKE 2			1664.1	1915.0	1683.5	231.5	229.3404069	19.4	0.93
78	203-11	MÉRIDA 02/08/2018	29	2	1558.4	1809.1	1577.9	231.2	229.3404069	19.5	0.80
79	203-12	CHIHUAHUA 01/08/2018	75	4	1671.7	1922.7	1691.7	231.0	229.3404069	20.0	0.72
80	203-13	CULIACÁN 01/08/2018	68	3	1570.2	1821.3	1589.9	231.4	229.3404069	19.7	0.89
81	203-14	DURANGO 03/09/2018	40	6	1666.9	1917.8	1686.6	231.2	229.3404069	19.7	0.80
82	203-15	CENTRAL TACUBAYA 03/09/2018	35	8	1606.6	1857.6	1626.8	230.8	229.3404069	20.2	0.63
83	203-16	CULIACÁN 02/09/2018	29	3	1603.1	1854.0	1623.5	230.5	229.3404069	20.4	0.50
	203-17	SPIKE 3			1610.8	1861.6	1630.7	230.9	229.3404069	19.9	0.68
84	203-18	CHIHUAHUA 01/09/2018	34	3	1639.8	1890.5	1659.6	230.9	229.3404069	19.8	0.68
85	203-19	CHILPANCINGO 03/09/2018	21	3	1695.8	1946.9	1715.9	231.0	229.3404069	20.1	0.72
86	203-20	QUERETARO 03/09/2018	48	6	1641.8	1892.6	1661.9	230.7	229.3404069	20.1	0.59
	AM I-203-204										
	AM II-203-204										
	SPIKE S/E 1/203-204 SRM 4926E (03/09/1998)										
		SPIKE S/E 2/203-204 SRM 4926E (03/09/1998)									
		NIST 4361-C 1/203-204									
		NIST 4361-C 2/203-204									

Tabla 26 J2. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 70 a la 86

No. MUESTRA	No. LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN MUESTRA	POSDESTILACIÓN	CONTADOR DE CENTELLEO LÍQUIDO		RESULTADOS DE TRITIO			
			pH	CPM-A	CPM-B	UT (A)	ERROR (A)	UT (B)	ERROR (B)
70	203-1	MONTERREY 02/07/2018	9	1.87	2.07	4.38	0.49	3.87	0.48
71	203-2	CHILPANCINGO 04/07/2018	7	1.63	1.89	3.22	0.49	3.12	0.49
72	203-3	VILLAHERMOSA 01/08/2018	9	1.56	1.81	2.73	0.47	2.61	0.47
	203-4	SPIKE 1	7	472.04	508.42	2807.57	15.96	2799.48	15.60
73	203-5	TUXTLA GUTIERREZ 01/08/2018	7	1.53	1.82	2.52	0.46	2.63	0.47
74	203-6	VERACRUZ 01/08/2018	9	1.66	1.91	3.47	0.50	3.29	0.50
75	203-7	CENTRAL TACUBAYA 02/08/2018	9	1.83	2.08	4.48	0.52	4.23	0.52
76	203-8	QUERETARO 01/08/2018	9	1.91	2.25	4.83	0.51	5.05	0.52
77	203-9	CHILPANCINGO 01/08/2018	7	1.81	2.20	4.32	0.51	4.87	0.52
	203-10	SPIKE 2	9	497.10	539.18	2807.57	15.87	2799.48	15.50
78	203-11	MÉRIDA 02/08/2018	9	1.54	1.86	2.65	0.47	2.93	0.48
79	203-12	CHIHHUAHUA 01/08/2018	9	2.18	2.66	6.66	0.56	6.98	0.57
80	203-13	CULIACÁN 01/08/2018	7	1.94	2.26	5.12	0.53	5.21	0.53
81	203-14	DURANGO 03/09/2018	7	1.76	2.11	4.02	0.51	4.36	0.51
82	203-15	CENTRAL TACUBAYA 03/09/2018	7	1.70	1.97	3.73	0.51	3.65	0.51
83	203-16	CULIACÁN 02/09/2018	7	1.59	1.80	3.07	0.50	2.69	0.49
	203-17	SPIKE 3	7	425.09	456.25	2807.57	16.15	2799.48	15.79
84	203-18	CHIHHUAHUA 01/09/2018	7	1.62	1.89	3.17	0.49	3.13	0.49
85	203-19	CHILPANCINGO 03/09/2018	7	1.39	1.66	1.80	0.47	1.86	0.47
86	203-20	QUERETARO 03/09/2018	9	1.79	2.01	4.26	0.52	3.86	0.51
		AM I-203-204		0.99	1.21				
		AM II-203-204		1.21	1.46				
		SPIKE S/E 1/203-204 SRM 4926E (03/09/1998)		39.77	42.64				
		SPIKE S/E 2/203-204 SRM 4926E (03/09/1998)		39.31	42.42				
		NIST 4361-C 1/203-204		76.15	81.99				
		NIST 4361-C 2/203-204		76.65	82.54				

Tabla 27 K1. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 87 a la 90

No. MUESTRA	No. LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN MUESTRA	DESTILACIÓN		ELECTROLISIS						
			CONDUCTIVIDAD INICIAL (uS/cm)	CONDUCTIVIDAD FINAL (uS/cm)	PESO CELDA (g)	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	PESO DISOCIADO (g)	PESO CALCULADO (g)	PESO REMANENTE (g)	PERDIDA (%)
87	204-1	TUXTLA GUTIÉRREZ 01/09/2018	26	2	1656.0	1905.3	1674.7	230.6	227.5724751	18.7	1.31
88	204-2	VERACRUZ 01/09/2018	15	1	1597.9	1847.4	1617.4	230.0	227.5724751	19.5	1.06
89	204-3	VILLAHERMOSA 03/09/2018	21	1	1605.6	1855.7	1625.3	230.4	227.5724751	19.7	1.23
90	204-4	DURANGO 30/09/2018	40	9	1618.2	1868.1	1637.9	230.2	227.5724751	19.7	1.14
	204-5	SPIKE 1			1685.5	1935.1	1704.6	230.5	227.5724751	19.1	1.27
	204-11	SPIKE 2			1558.3	1808.0	1578.4	229.6	227.5724751	20.1	0.88
	204-18	SPIKE 3			1639.7	1889.8	1660.2	229.6	227.5724751	20.5	0.88
		AM I-203-204									
		AM II-203-204									
		SPIKE S/E 1/203-204 SRM 4926E (03/09/1998)									
		SPIKE S/E 2/203-204 SRM 4926E (03/09/1998)									
		NIST 4361-C 1/203-204									
		NIST 4361-C 2/203-204									

Tabla 28 K2. Resultados del contenido de tritio ambiental de la muestra 87 a la 90

No. MUESTRA	No. LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN MUESTRA	POSDESTILACIÓN	CONTADOR DE CENTELLEO LÍQUIDO		RESULTADOS DE TRITIO			
			pH	CPM-A	CPM-B	UT (A)	ERROR (A)	UT (B)	ERROR (B)
87	204-1	TUXTLA GUTIÉRREZ 01/09/2018	9	1.66	1.87	3.22	0.46	2.84	0.46
88	204-2	VERACRUZ 01/09/2018	9	1.45	1.70	2.08	0.45	2.01	0.45
89	204-3	VILLAHERMOSA 03/09/2018	7	1.43	1.66	1.99	0.46	1.81	0.46
90	204-4	DURANGO 30/09/2018	9	1.74	1.97	3.85	0.49	3.53	0.49
	204-5	SPIKE 1	9	496.96	537.49	2781.32	15.72	2773.30	15.36
	204-11	SPIKE 2	7	446.01	482.71	2781.32	15.91	2773.30	15.54
	204-18	SPIKE 3	7	441.33	473.03	2781.32	15.93	2773.30	15.58
		AM I-203-204		0.99	1.21				
		AM II-203-204		1.21	1.46				
		SPIKE S/E 1/203-204 SRM 4926E (03/09/1998)		39.77	42.64				
		SPIKE S/E 2/203-204 SRM 4926E (03/09/1998)		39.31	42.42				
		NIST 4361-C 1/203-204		76.15	81.99				
		NIST 4361-C 2/203-204		76.65	82.54				

6. ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE DATOS DE LA RENIP

6.1. Mapas isotópicos preliminares de datos del contenido de isótopos estables de lluvia generados por la RENIP

El concepto “isoscapes” es un término relativamente reciente, se describe como un mapa espacio temporal a gran escala, de la distribución de las deltas de los isótopos estables ambientales de reservorios de lluvia, océanos, rocas, plantas y animales, los más utilizados son los mapas isotópicos globales de la δ -2H y la δ -18O de la precipitación pluvial. Con la integración de los sistemas de información geográfica (GIS por sus siglas en inglés) y en combinación con bases de datos temporales y confiables se pueden resolver algunas preguntas de investigación en las áreas hidrológicas, climatológicas, paleoecologías y disciplinas biológicas.

Actualmente con la operación de la RENIP en México se tienen datos isotópicos suficientes para poder realizar los isoscapes preliminares del país, esto es un gran avance ya que en la actualidad son los mapas más detallados de la distribución de la isotopía que existen en el país, para la obtención definitiva de un mapa isotópico, es necesario generar datos isotópicos de por lo menos un monitoreo constante de 5 años.

Para la generación de estos mapas preliminares se utilizó la base de datos isotópicos generada por la RENIP (**Tabla 29**), estos datos fueron manejados en el software de información geográfica libre llamado QGIS, dando como resultado los mapas isotópicos de la δ -2H, la δ -18O y el exceso de deuterio (Figura 39, Figura 40 y Figura 41), que se presentan a continuación.

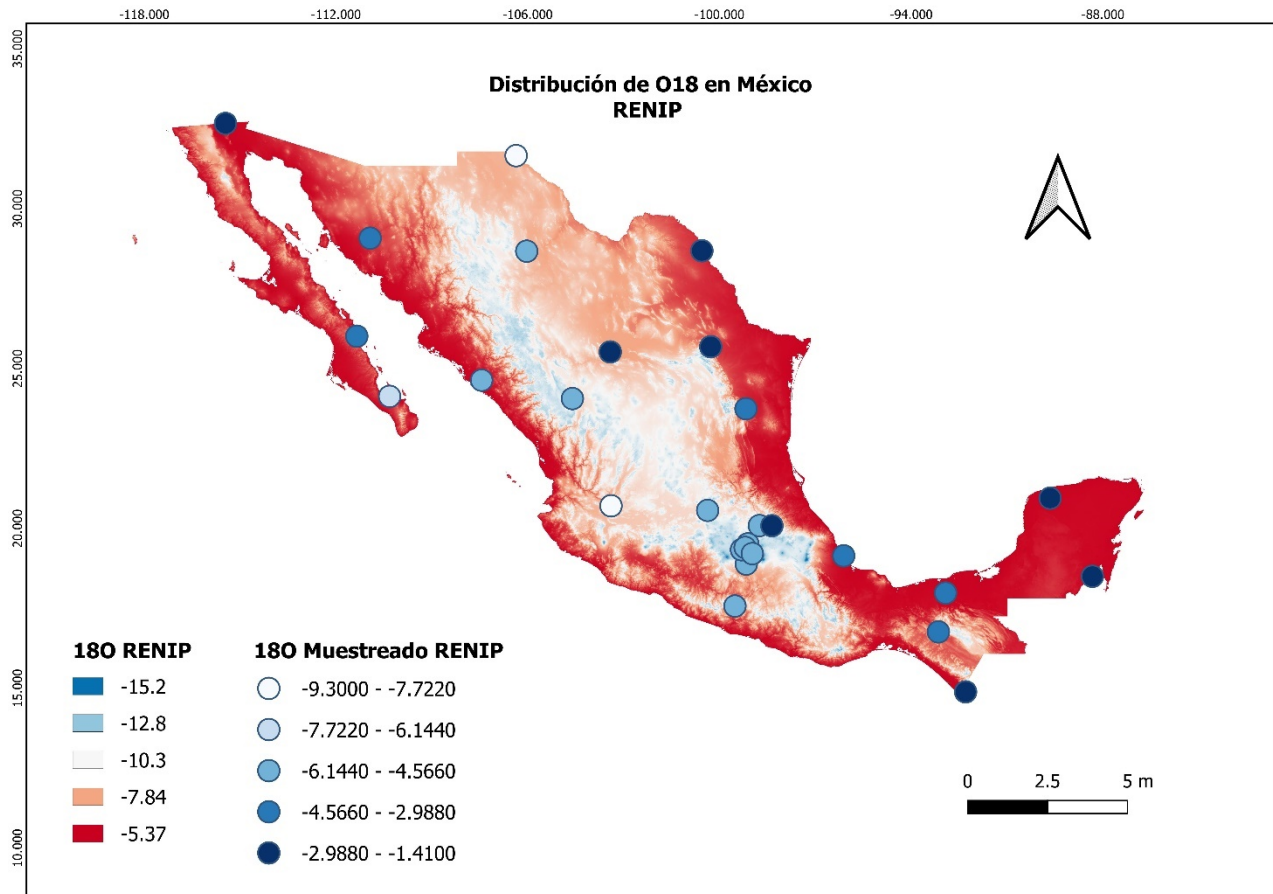


Figura 39 Mapa isotópico distribución delta O18 RENIP

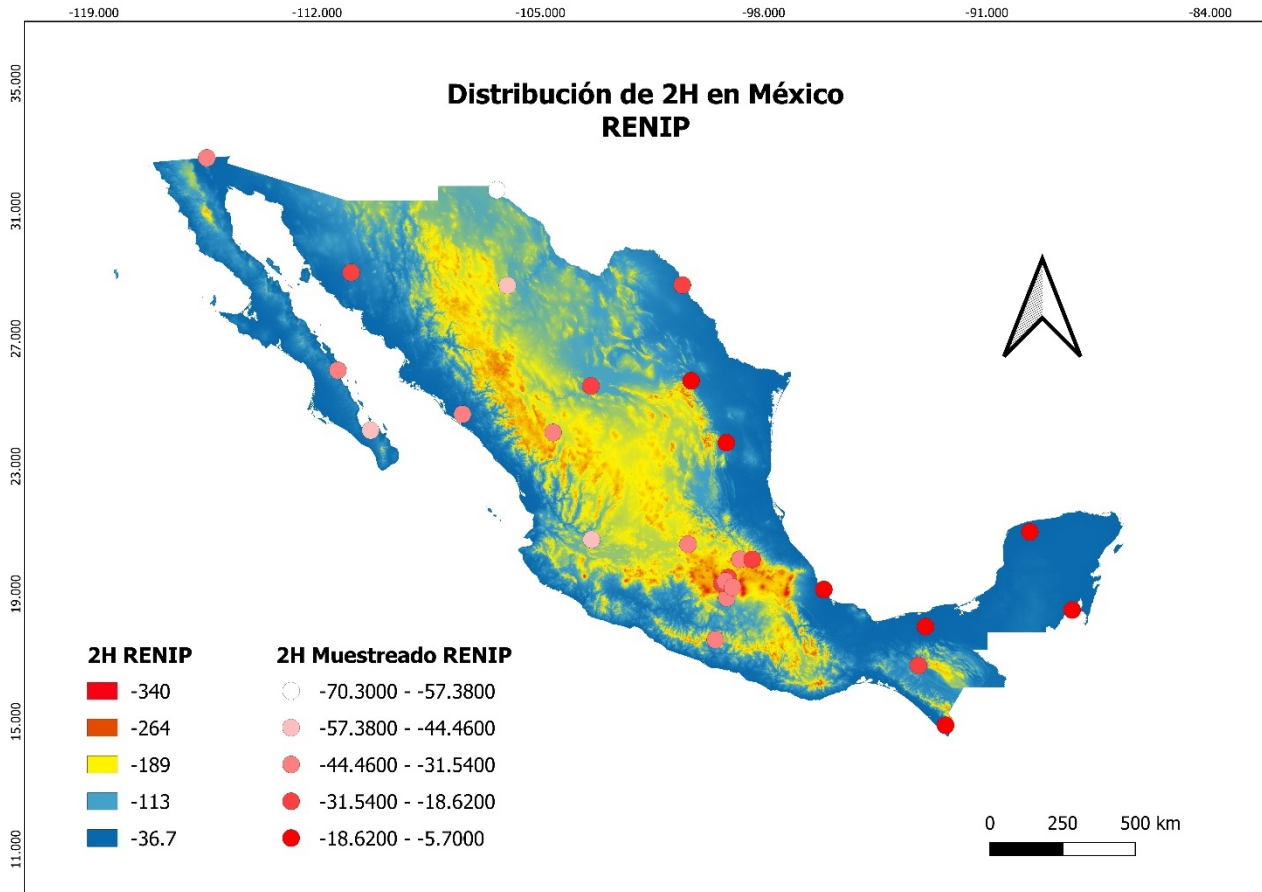


Figura 40 Mapa isotópico distribución delta 2H RENIP

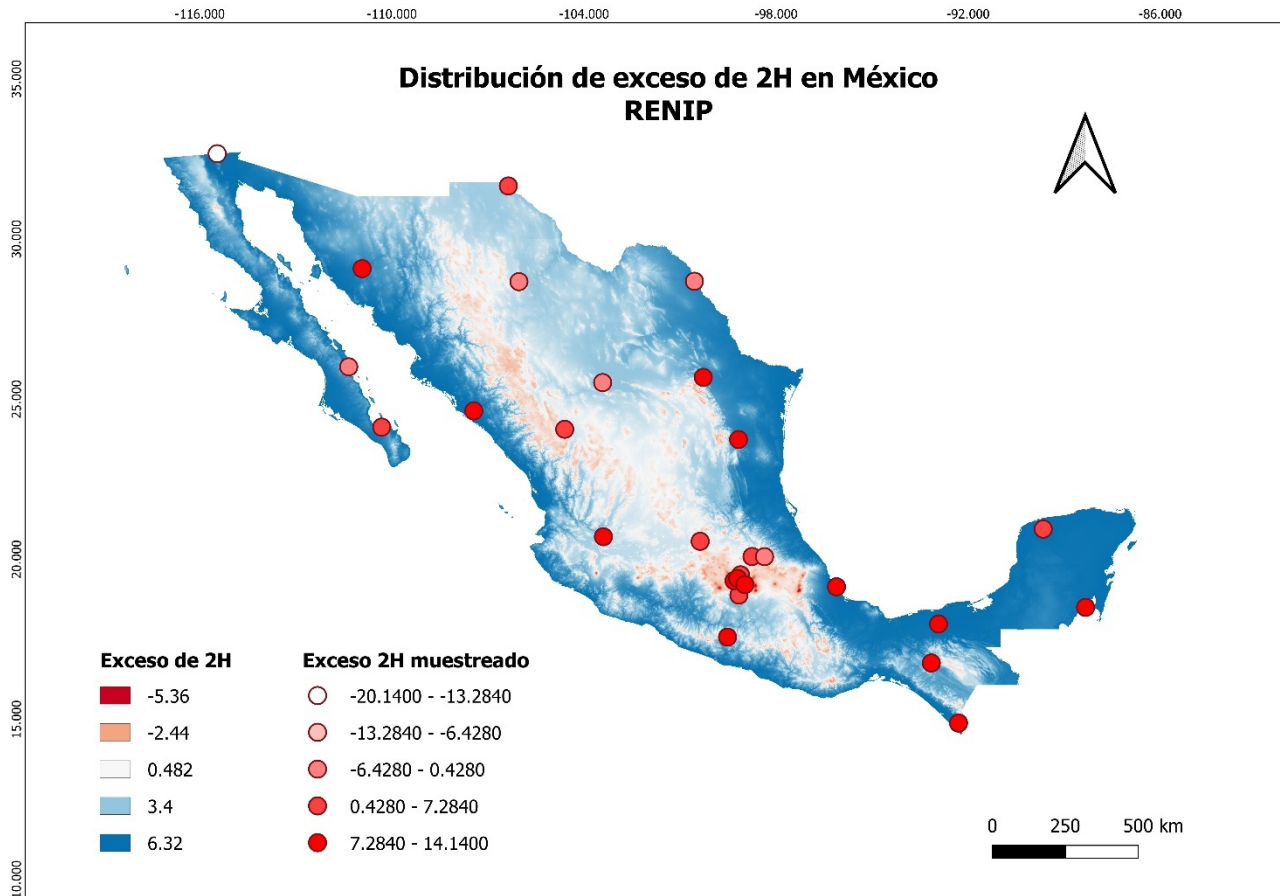


Figura 41 Mapa isotópico distribución delta exceso de 2H RENIP

Tabla 29 Datos utilizados para la generación de los mapas isotópicos preliminares de la RENIP

NÚM.	# LAB. IMTA	IDENTIFICACIÓN	ALTITUD (msnm)	FECHA DE MUESTREO	PERIODO DE MUESTREO	VOLUMEN COLECTADO (ml)	EMBUDO	PRECIPITACIÓN (mm)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	1σ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	1σ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰) PROM	$\delta^2\text{H}$ (‰) PROM	d-excess
1	W-1842	CD. JUAREZ	1,117	01/02/2019	Enero	252.00	CHICO (r=6.75cm)	17.61	-10.42	±0.05	-77.6	±0.29	-9.30	-70.30	4.10
1	W-1843	CD. JUAREZ	1,117	01/03/2019	Febrero	35.00	CHICO (r=6.75cm)	2.45	-8.18	±0.07	-63.0	±0.60			
2	W-1779	CD. VICTORIA	329	01/12/2018	Noviembre	340.00	GRANDE (r=11.5cm)	8.18	-1.22	±0.03	1.7	±0.53			
2	W-1790	CD. VICTORIA	329	02/01/2019	Diciembre	150.00	GRANDE (r=11.5cm)	3.61	-1.84	±0.08	6.5	±0.39			
2	W-1846	CD. VICTORIA	329	01/02/2019	Enero	1980.00	GRANDE (r=11.5cm)	47.66	-2.81	±0.01	-1.8	±0.78			
2	W-1847	CD. VICTORIA	329	01/03/2019	Febrero	800.00	GRANDE (r=11.5cm)	19.25	0.65	±0.10	17.4	±0.29			
2	W-1374	CD. VICTORIA. 04.MAR	329	04/04/2019	Marzo	650.00	GRANDE (r=11.5cm)	15.64	-2.11	±0.08	2.0	±0.43			
2	W-1364	CD. VICTORIA. ABR	329	05/05/2019	Abril	160.00	GRANDE (r=11.5cm)	3.85	-1.15	±0.06	-8.0	±0.49			
2	W-1368	CD. VICTORIA. MAY	329	09/06/2019	Mayo	1870.00	GRANDE (r=11.5cm)	45.01	-5.98	±0.09	-37.3	±0.40			
2	W-1367	CD. VICTORIA. JUN	329	04/07/2019	Junio	2750.00	GRANDE (r=11.5cm)	66.19	-5.18	±0.06	-32.1	±0.28			
2	W-1370	CD. VICTORIA. JUL	329	04/08/2019	Julio	820.00	GRANDE (r=11.5cm)	19.74	-8.49	±0.02	-60.2	±0.51			
2	W-1373	CD. VICTORIA. ¿ABR?	329	06/09/2019	Agosto	2800.00	GRANDE (r=11.5cm)	67.39	-3.65	±0.07	-15.6	±0.41			
2	W-1375	CD. VICTORIA. ¿?	329	¿?	¿Septiembre?	60.00	GRANDE (r=11.5cm)	1.44	-6.14	±0.05	-37.2	±0.57			
3	W-1795	CHETUMAL	19	02/01/2019	Diciembre	1000.00	CHICO (r=6.75cm)	69.86	-1.30	±0.06	6.6	±0.83	-2.61	-7.70	13.19
3	W-1798	CHETUMAL	19	01/02/2019	Enero	384.00	CHICO (r=6.75cm)	26.83	-1.22	±0.03	5.1	±0.38			
3	W-1105	CHETUMAL	19	01/03/2019	Febrero	601.00	CHICO (r=6.75cm)	41.99	-1.52	±0.07	3.7	±0.21			
3	W-1106	CHETUMAL	19	01/04/2019	Marzo	142.00	CHICO (r=6.75cm)	9.92	-1.17	±0.10	3.9	±0.30			
3	W-1214	CHETUMAL	19	01/05/2019	Abril	1550.00	CHICO (r=6.75cm)	108.29	-0.81	±0.07	6.5	±0.18			
3	W-1215	CHETUMAL	19	01/06/2019	Mayo	1650.00	CHICO (r=6.75cm)	115.27	-8.86	±0.09	-58.4	±0.20			
3	W-1378	CHETUMAL. JUN	19	03/07/2019	Junio	167.00	CHICO (r=6.75cm)	11.67	-1.6	±0.06	-4.40	±0.43			
3	W-1379	CHETUMAL. JUL	19	02/08/2019	Julio	350.00	CHICO (r=6.75cm)	24.45	-2.7	±0.10	-13.80	±0.32			
3	W-1380	CHETUMAL. AGO	19	02/09/2019	Agosto	1212.00	CHICO (r=6.75cm)	84.68	-4.4	±0.06	-18.50	±0.40			
4	W-1792	CHICONAUTLA II	2,227	02/01/2019	Diciembre	75.00	CHICO (r=6.75cm)	5.24	-5.1	±0.04	-31.20	±0.35			
4	W-1799	CHICONAUTLA II	2,227	01/02/2019	Enero	46.00	CHICO (r=6.75cm)	3.21	-0.52	±0.14	0.20	±0.61			
4	W-1114	CHICONAUTLA II	2,227	01/04/2019	Marzo	80.00	CHICO (r=6.75cm)	5.59	-0.7	±0.07	-16.50	±0.55			
4	W-1196	CHICONAUTLA II	2227	43586	Abril	66	CHICO (r=6.75cm)	4.61089786	2.36	0.06	16.76	0.1			
4	W-1200	CHICONAUTLA II	2227	43617	Mayo	270	CHICO (r=6.75cm)	18.862764	-3.16	0.04	-15.81	0.19			
4	W-1278	CHICONAUTLA II. JUN	2277	43647	Junio	1900	CHICO (r=6.75cm)	132.746454	-13.37	0.1	-92.4	0.55			
4	W-1326	CHICONAUTLA II. JUL	2277	43678	Julio	2620	CHICO (r=6.75cm)	183.050374	-8.16	0.05	-54.3	0.55			
4	W-1381	CHICONAUTLA II. AGO	2277	43710	Agosto	985	CHICO (r=6.75cm)	68.8185566	-8.07	0.08	-52.6	0.25			
5	W-1498	CHIHUAHUA	1,405	03/01/2018	Diciembre	198.00	CHICO (r=6.75cm)	13.83	-15.00	±0.04	-106.7	±0.02	-5.99	-47.66	0.28
5	W-1540	CHIHUAHUA	1,405	02/03/2018	Febrero	2.50	CHICO (r=6.75cm)	0.17	1.68	±0.02	-36.1	±0.45			
5	W-1620	CHIHUAHUA	1,405	01/07/2018	Junio	218.00	CHICO (r=6.75cm)	15.23	-7.58	±0.09	-62.0	±0.41			
5	W-1649	CHIHUAHUA	1,405	01/08/2018	Julio	390.00	CHICO (r=6.75cm)	27.25	-4.28	±0.07	-26.6	±0.09			
5	W-1661	CHIHUAHUA	1,405	01/09/2018	Agosto	1550.00	CHICO (r=6.75cm)	108.29	-3.79	±0.05	-23.5	±0.28			
5	W-1735	CHIHUAHUA	1,405	01/10/2018	Septiembre	1450.00	CHICO (r=6.75cm)	101.30	-6.70	±0.06	-45.0	±0.40			
5	W-1748	CHIHUAHUA	1,405	01/11/2018	Octubre	280.00	CHICO (r=6.75cm)	19.56	-8.42	±0.03	-56.7	±0.39			
5	W-1760	CHIHUAHUA	1,405	01/12/2018	Noviembre	40.00	CHICO (r=6.75cm)	2.79	-9.41	±0.08	-80.7	±0.40			
5	W-1782	CHIHUAHUA	1,405	02/01/2019	Diciembre	252.00	CHICO (r=6.75cm)	17.61	-15.23	±0.08	-113.3	±0.57			
5	W-1083	CHIHUAHUA	1,405	01/02/2019	Enero	90.00	CHICO (r=6.75cm)	6.29	-9.51	±0.10	-75.0	±0.29			
5	W-1110	CHIHUAHUA	1,405	01/04/2019	Marzo	60.00	CHICO (r=6.75cm)	4.19	-0.38	±0.07	-6.6	±0.22			
5	W-1263	CHIHUAHUA. ABR	1,405	01/05/2019	Abril	10.00	CHICO (r=6.75cm)	0.70	-4.38	±0.11	-49.3	±0.41			
5	W-1264	CHIHUAHUA. JUN	1,405	01/07/2019	Junio	400.00	CHICO (r=6.75cm)	27.95	-3.08	±0.16	-14.1	±0.65			
5	W-1327	CHIHUAHUA. JUL	1,405	01/08/2019	Julio	1600.00	GRANDE (r=11.5cm)	38.51	-2.15	±0.02	-10.9	±0.65			
5	W-1376	CHIHUAHUA. AGO	1,405	01/09/2019	Agosto	3000.00	GRANDE (r=11.5cm)	72.21	-1.7	±0.05	-8.40	±0.36			

NÚM.	# LAB. IMTA	IDENTIFICACIÓN	ALTITUD (msnm)	FECHA DE MUESTREO	PERIODO DE MUESTREO	VOLUMEN COLECTADO (ml)	EMBUDO	PRECIPITACION (mm)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	1 σ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	1 σ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰) PROM	$\delta^2\text{H}$ (‰) PROM	d-excess
6	W-1516	CHILPANCINGO	1,270	01/02/2018	Enero	53.00	CHICO (r=6.75cm)	3.70	-3.66	±0.07	-19.5	±0.35	-5.14	-32.79	8.35
6	W-1529	CHILPANCINGO	1,270	01/03/2018	Febrero	25.00	CHICO (r=6.75cm)	1.75	-0.86	±0.12	-2.4	±0.27			
6	W-1574	CHILPANCINGO	1,270	01/05/2018	Abril	118.00	CHICO (r=6.75cm)	8.24	-1.46	±0.06	-0.2	±0.35			
6	W-1588	CHILPANCINGO	1,270	01/06/2018	Mayo	890.00	CHICO (r=6.75cm)	62.18	-4.42	±0.05	-21.0	±0.36			
6	W-1621	CHILPANCINGO	1,270	04/07/2018	Junio	1774.80	CHICO (r=6.75cm)	123.99	-8.73	±0.08	-60.5	±0.28			
6	W-1650	CHILPANCINGO	1,270	01/08/2018	Julio	1420.00	CHICO (r=6.75cm)	99.20	-4.70	±0.10	-28.4	±0.33			
6	W-1662	CHILPANCINGO	1,270	03/09/2018	Agosto	3790.00	CHICO (r=6.75cm)	264.78	-6.30	±0.04	-41.0	±0.27			
6	W-1736	CHILPANCINGO	1,270	01/10/2018	Septiembre	1860.00	CHICO (r=6.75cm)	129.94	-5.76	±0.05	-35.0	±0.62			
6	W-1749	CHILPANCINGO	1,270	01/11/2018	Octubre	960.00	CHICO (r=6.75cm)	67.07	-10.86	±0.07	-76.0	±0.26			
6	W-1761	CHILPANCINGO	1,270	01/12/2018	Noviembre	733.00	CHICO (r=6.75cm)	51.21	-5.48	±0.08	-31.3	±0.55			
6	W-1838	CHILPANCINGO	1,270	01/02/2019	Enero	10.00	CHICO (r=6.75cm)	0.70	4.47	±0.06	12.7	±0.48			
6	W-1328	CHILPANCINGO. JUL	1,270	01/08/2019	Julio	3625.00	CHICO (r=6.75cm)	253.27	-5.73	±0.06	-33.6	±0.48			
6	W-1362	CHILPANCINGO. SEP	1,270	01/10/2019	Septiembre	3860.00	CHICO (r=6.75cm)	269.68	-10.85	±0.13	-73.1	±0.30			
6	W-1363	CHILPANCINGO. AGO	1,270	01/09/2019	Agosto	2960.00	CHICO (r=6.75cm)	206.81	-7.65	±0.09	-49.7	±0.53			
7	W-1539	CULIACÁN	30	02/03/2018	Febrero	32.00	CHICO (r=6.75cm)	2.24	-2.97	±0.01	-33.5	±0.04	-5.31	-34.58	7.91
7	W-1622	CULIACÁN	30	02/07/2018	Junio	655.50	CHICO (r=6.75cm)	45.79	-11.06	±0.04	-79.0	±0.10			
7	W-1651	CULIACÁN	30	01/08/2018	Julio	400.00	CHICO (r=6.75cm)	27.94	-3.36	±0.04	-19.8	±0.12			
7	W-1663	CULIACÁN	30	03/09/2018	Agosto	2100.00	CHICO (r=6.75cm)	146.71	-4.36	±0.13	-23.2	±0.05			
7	W-1737	CULIACÁN	30	01/10/2018	Septiembre	4000.00	CHICO (r=6.75cm)	279.45	-6.64	±0.02	-40.7	±0.30			
7	W-1783	CULIACÁN	30	02/01/2019	Diciembre	1000.00	GRANDE (r=11.5cm)	24.07	-4.31	±0.07	-19.3	±0.42			
7	W-1329	CULIACAN. JUL	30	01/08/2019	Julio	1500.00	GRANDE (r=11.5cm)	36.10	-3.13	±0.08	-19.9	±0.42			
7	W-1377	CULIACAN. AGO	30	03/09/2019	Agosto	6500.00	GRANDE (r=11.5cm)	156.45	-6.7	±0.03	-41.20	±0.33			
8	W-1501	DURANGO	1,882	31/12/2017	Diciembre	160.00	CHICO (r=6.75cm)	11.18	-15.48	±0.06	-112.0	±0.52	-6.00	-41.88	6.09
8	W-1517	DURANGO	1,882	06/02/2018	Enero	60.00	CHICO (r=6.75cm)	4.19	-6.70	±0.04	-43.7	±0.22			
8	W-1534	DURANGO	1,882	02/03/2018	Febrero	75.00	CHICO (r=6.75cm)	5.24	-5.88	±0.00	-36.7	±0.30			
8	W-1589	DURANGO	1,882	01/06/2018	Mayo	161.70	CHICO (r=6.75cm)	11.30	-4.68	±0.08	-29.2	±0.30			
8	W-1623	DURANGO	1,882	02/07/2018	Junio	350.00	CHICO (r=6.75cm)	24.45	-3.75	±0.08	-34.8	±0.42			
8	W-1653	DURANGO	1,882	01/08/2018	Julio	1300.00	CHICO (r=6.75cm)	90.82	-4.77	±0.13	-30.4	±0.33			
8	W-1664	DURANGO	1,882	01/08/2018	Agosto	1300.00	CHICO (r=6.75cm)	90.82	-4.97	±0.08	-29.7	±0.10			
8	W-1738	DURANGO	1,882	01/10/2018	Septiembre	1288.00	CHICO (r=6.75cm)	89.98	-8.85	±0.08	-61.1	±0.37			
8	W-1750	DURANGO	1,882	01/11/2018	Octubre	620.00	CHICO (r=6.75cm)	43.31	-12.57	±0.05	-89.1	±0.24			
8	W-1762	DURANGO	1,882	01/11/2018	Noviembre	560.00	CHICO (r=6.75cm)	39.12	-7.73	±0.07	-48.9	±0.38			
8	W-1111	DURANGO	1,882	01/03/2019	Febrero	74.00	GRANDE (r=11.5cm)	1.78	-1.49	±0.03	-15.0	±0.26			
8	W-1330	DURANGO	1,882	01/08/2019	Junio-Julio	2536.00	GRANDE (r=11.5cm)	61.04	-1.63	±0.04	-19.1	±0.26			
8	W-1371	DURANGO. AGO	1,882	01/09/2019	Agosto	740.00	GRANDE (r=11.5cm)	17.81	2.33	±0.03	13.7	±0.39			
8	W-1372	DURANGO. SEP	1,882	01/10/2019	Septiembre	740.00	GRANDE (r=11.5cm)	17.81	-7.78	±0.10	-50.3	±0.84			
9	W-1772	GUADALAJARA	1,568	01/12/2018	Noviembre	410.00	CHICO (r=6.75cm)	28.64	-13.58	±0.15	-98.1	±0.44	-8.13	-52.36	12.65
9	W-1848	GUADALAJARA	1,568	01/02/2019	Enero	360.00	CHICO (r=6.75cm)	25.15	-4.62	±0.06	-21.3	±0.18			
9	W-1078	GUADALAJARA	1,568	01/03/2019	Febrero	30.00	CHICO (r=6.75cm)	2.10	-5.18	±0.14	-34.3	±0.14			
9	W-1382	GUADALAJARA. MAY	1,568	02/06/2019	Mayo	131.00	CHICO (r=6.75cm)	9.15	-7.2	±0.07	-46.10	±0.48			
9	W-1383	GUADALAJARA. JUN	1,568	01/07/2019	Junio	1604.00	CHICO (r=6.75cm)	112.07	-7.3	±0.07	-46.20	±0.93			
9	W-1384	GUADALAJARA. JUL	1,568	05/08/2019	Julio	4465.00	CHICO (r=6.75cm)	311.95	-7.5	±0.08	-46.00	±0.47			
9	W-1385	GUADALAJARA. AGO	1,568	05/09/2019	Agosto	4170.00	CHICO (r=6.75cm)	291.34	-8.9	±0.05	-56.30	±0.73			
9	W-1386	GUADALAJARA. SEP	1,568	03/10/2019	Septiembre	2420.00	CHICO (r=6.75cm)	169.08	-10.7	±0.07	-70.60	±0.34			
10	W-1211	HERMOSILLO	209	01/02/2019	Enero	1076.00	GRANDE (r=11.5cm)	25.90	-6.15	±0.03	-45.6	±0.34	-3.70	-24.03	5.60
10	W-1212	HERMOSILLO	209	01/03/2019	Febrero	1208.00	GRANDE (r=11.5cm)	29.10	-5.32	±0.08	-20.7	±0.21			
10	W-1213	HERMOSILLO	209	01/04/2019	Marzo	681.00	GRANDE (r=11.5cm)	16.39	-4.82	±0.10	-20.9	±0.27			
10	W-1387	HERMOSILLO. JUL	209	01/08/2019	Julio	100.00	GRANDE (r=11.5cm)	2.41	-2.03	±0.07	-11.3	±0.51			
10	W-1388	HERMOSILLO. AGO	209	01/09/2019	Agosto	740.00	GRANDE (r=11.5cm)	17.81	-1.88	±0.07	-11.6	±0.40			
10	W-1365	HERMOSILLO. SEP	209	01/10/2019	Septiembre	1000.00	GRANDE (r=11.5cm)	24.07	-5.73	±0.05	-34.1	±0.60			
11	W-1808	IMTA	1,359	01/12/2018	Noviembre		CHICO (r=6.75cm)	0.00	-5.68	±0.04	-34.4	±0.39	-5.68	-34.40	11.04
12	W-1081	LA PAZ	26	01/02/2019	Enero	500.00	GRANDE (r=11.5cm)	12.03	-3.30	±0.06	-22.5	±0.33	-6.41	-48.10	3.14
12	W-1334	LA PAZ	26	31/07/2019	Julio	500.00	GRANDE (r=11.5cm)	12.03	-9.51	±0.09	-73.7	±0.33			

NÚM.	# LAB. IMTA	IDENTIFICACIÓN	ALTITUD (msnm)	FECHA DE MUESTREO	PERIODO DE MUESTREO	VOLUMEN COLECTADO (ml)	EMBUDO	PRECIPITACIÓN (mm)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	1σ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	1σ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰) PROM	$\delta^2\text{H}$ (‰) PROM	d-excess
13	W-1791	LA VENTA	2,884	02/01/2019	Diciembre	50.00	CHICO (r=6.75cm)	3.49	-7.5	±0.04	-50.50	±0.54	-4.78	-27.45	10.77
13	W-1800	LA VENTA	2,884	01/02/2019	Enero	29.00	CHICO (r=6.75cm)	2.03	-1.3	±0.05	-0.80	±0.25			
13	W-1841	LA VENTA	2,884	01/03/2019	Febrero	190.00	CHICO (r=6.75cm)	13.27	-6.3	±0.07	-34.60	±0.47			
13	W-1115	LA VENTA	2,884	01/04/2019	Marzo	73.00	CHICO (r=6.75cm)	5.10	-4.0	±0.07	-23.90	±0.40			
14	W-1536	LORETO	6	01/02/2018	Febrero	3.00	CHICO (r=6.75cm)	0.21	-3.71	±0.07	-29.5	±0.23	-4.00	-35.93	-3.92
14	W-1544	LORETO	6	18/02/2018	Febrero	6.00	CHICO (r=6.75cm)	0.42	-1.20	±0.07	-17.1	±0.50			
14	W-1624	LORETO	6	01/07/2018	Junio	560.00	CHICO (r=6.75cm)	39.12	-13.48	±0.05	-97.8	±0.22			
14	W-1653	LORETO	6	03/08/2018	Julio	48.00	CHICO (r=6.75cm)	3.35	1.34	±0.07	-1.3	±0.10			
14	W-1739	LORETO	6	01/10/2018	Septiembre	744.00	CHICO (r=6.75cm)	51.98	-12.13	±0.07	-86.9	±0.35			
14	W-1751	LORETO	6	01/11/2018	Octubre	20.00	CHICO (r=6.75cm)	1.40	-0.45	±0.06	-12.0	±0.35			
14	W-1801	LORETO	6	01/02/2019	Enero	180.00	CHICO (r=6.75cm)	12.58	-2.38	±0.04	-6.9	±0.43			
15	W-1537	MÉRIDA	12	02/03/2018	Febrero	2.50	CHICO (r=6.75cm)	0.17	6.35	±0.02	28.4	±0.31			
15	W-1545	MÉRIDA	12	03/04/2018	Marzo	1.40	CHICO (r=6.75cm)	0.10	6.66	±0.04	38.5	±0.20			
15	W-1573	MÉRIDA	12	03/05/2018	Abril	1655.00	CHICO (r=6.75cm)	115.62	-2.06	±0.03	-7.4	±0.39			
15	W-1590	MÉRIDA	12	01/06/2018	Mayo	630.00	CHICO (r=6.75cm)	44.01	-2.78	±0.05	-15.5	±0.34			
15	W-1625	MÉRIDA	12	02/07/2018	Junio	1560.00	CHICO (r=6.75cm)	108.98	-4.79	±0.05	-34.9	±0.57			
15	W-1654	MÉRIDA	12	02/08/2018	Julio	2370.00	CHICO (r=6.75cm)	165.57	-1.55	±0.06	-5.2	±0.62			
15	W-1665	MÉRIDA	12	04/09/2018	Agosto	2410.00	CHICO (r=6.75cm)	168.37	-1.86	±0.06	-4.8	±0.33			
15	W-1740	MÉRIDA	12	01/10/2018	Septiembre	1440.00	CHICO (r=6.75cm)	100.60	-1.74	±0.08	-6.8	±0.64			
15	W-1752	MÉRIDA	12	01/11/2018	Octubre	1300.00	CHICO (r=6.75cm)	90.82	-1.96	±0.05	-4.3	±0.60			
15	W-1763	MÉRIDA	12	01/12/2018	Noviembre	600.00	CHICO (r=6.75cm)	41.92	-2.39	±0.09	-3.1	±0.61			
15	W-1784	MÉRIDA	12	02/01/2019	Diciembre	68.00	CHICO (r=6.75cm)	4.75	0.43	±0.07	10.1	±0.52			
15	W-1844	MÉRIDA	12	01/02/2019	Enero	300.00	CHICO (r=6.75cm)	20.96	-4.47	±0.08	-16.0	±0.25			
15	W-1109	MÉRIDA	12	01/04/2019	Marzo	78.00	CHICO (r=6.75cm)	5.45	0.24	±0.05	2.2	±0.33			
15	W-1109	MÉRIDA	12	01/04/2019	Marzo	78.00	CHICO (r=6.75cm)	5.45	0.24	±0.05	2.2	±0.33			
15	W-1216	MÉRIDA	12	01/05/2019	Abril	1080.00	CHICO (r=6.75cm)	75.45	-0.78	±0.12	1.1	±0.21			
15	W-1217	MÉRIDA	12	01/06/2019	Mayo	670.00	CHICO (r=6.75cm)	46.81	-9.79	±0.08	-65.6	±0.22			
15	W-1390	MÉRIDA JUN	12	01/07/2019	Junio	680.00	CHICO (r=6.75cm)	47.51	-3.7	±0.08	-15.80	±0.41	-1.47	-31.89	-20.14
16	W-1535	MEXICALI	7	01/03/2018	Febrero	1.50	CHICO (r=6.75cm)	0.10	5.98	±0.07	16.7	±0.47			
16	W-1741	MEXICALI	7	01/10/2018	Septiembre	112.00	CHICO (r=6.75cm)	7.82	-4.96	±0.06	-38.3	±0.18			
16	W-1753	MEXICALI	7	01/11/2018	Octubre	32.00	CHICO (r=6.75cm)	2.24	-10.00	±0.05	-84.5	±0.24			
16	W-1764	MEXICALI	7	01/12/2018	Noviembre	1.00	CHICO (r=6.75cm)	0.07	10.39	±0.10	-7.4	±0.29			
16	W-1079	MEXICALI	7	01/02/2019	Enero	440.00	CHICO (r=6.75cm)	30.74	-7.31	±0.09	-54.6	±0.23			
16	W-1080	MEXICALI	7	01/03/2019	Febrero	122.00	CHICO (r=6.75cm)	8.52	-5.73	±0.08	-43.3	±0.27			
16	W-1303	MEXICALI	7	01/04/2019	Marzo	5.00	CHICO (r=6.75cm)	0.35	1.35	±0.10	-11.8	±0.27			
17	W-1500	MONTERREY	494	04/01/2018	Diciembre	552.00	CHICO (r=6.75cm)	38.56	-8.71	±0.03	-51.9	±0.41			
17	W-1513	MONTERREY	494	01/02/2018	Enero	46.00	CHICO (r=6.75cm)	3.21	-3.28	±0.03	-3.8	±0.24			
17	W-1530	MONTERREY	494	01/03/2018	Febrero	112.00	CHICO (r=6.75cm)	7.82	0.70	±0.09	16.0	±0.17			
17	W-1546	MONTERREY	494	01/04/2018	Marzo	14.00	CHICO (r=6.75cm)	0.98	1.05	±0.10	15.5	±0.55			
17	W-1572	MONTERREY	494	02/05/2018	Abril	1000.00	CHICO (r=6.75cm)	69.86	-0.69	±0.07	11.4	±0.28			
17	W-1591	MONTERREY	494	01/06/2018	Mayo	358.00	CHICO (r=6.75cm)	25.01	-1.20	±0.03	0.4	±0.68			
17	W-1626	MONTERREY	494	02/07/2018	Junio	1355.00	CHICO (r=6.75cm)	94.66	-16.52	±0.09	-122.1	±0.55			
17	W-1655	MONTERREY	494	01/08/2018	Julio	133.00	CHICO (r=6.75cm)	9.29	0.32	±0.05	0.8	±0.29			
17	W-1742	MONTERREY	494	01/10/2018	Septiembre	4224.00	CHICO (r=6.75cm)	295.10	-6.04	±0.07	-35.9	±0.24			
17	W-1754	MONTERREY	494	01/11/2018	Octubre	780.00	CHICO (r=6.75cm)	54.49	-3.83	±0.06	-16.8	±0.44			
17	W-1765	MONTERREY	494	01/12/2018	Noviembre	202.00	CHICO (r=6.75cm)	14.11	-4.13	±0.10	-11.7	±0.56			
17	W-1785	MONTERREY	494	02/01/2019	Diciembre	248.00	CHICO (r=6.75cm)	17.33	-3.10	±0.10	-7.4	±0.35			
17	W-1839	MONTERREY	494	01/02/2019	Enero	510.00	CHICO (r=6.75cm)	35.63	-2.94	±0.02	-0.9	±0.27			
17	W-1840	MONTERREY	494	01/03/2019	Febrero	34.00	CHICO (r=6.75cm)	2.38	1.72	±0.05	30.3	±0.43			
17	W-1840	MONTERREY	494	01/03/2019	Febrero	34.00	CHICO (r=6.75cm)	2.38	1.72	±0.05	30.3	±0.43			
17	W-1204	MONTERREY	494	01/04/2019	Marzo	1670.00	CHICO (r=6.75cm)	116.67	-1.50	±0.03	6.2	±0.23			
17	W-1205	MONTERREY	494	01/06/2019	Mayo	1110.00	CHICO (r=6.75cm)	77.55	-1.98	±0.02	-3.0	±0.21			
17	W-1304	MONTERREY	494	03/07/2019	Junio	500.00	CHICO (r=6.75cm)	34.93	-5.11	±0.07	-24.6	±0.21			
17	W-1369	MONTERREY JUL	494	01/08/2019	Julio	255.00	CHICO (r=6.75cm)	17.82	-2.07	±0.06	-6.8	±0.24			
17	W-1391	MONTERREY AGO	494	01/09/2019	Agosto	610.00	CHICO (r=6.75cm)	42.62	-2.8	±0.08	-10.40	±0.24			

NÚM.	# LAB. IMTA	IDENTIFICACIÓN	ALTITUD (msnm)	FECHA DE MUESTREO	PERIODO DE MUESTREO	VOLUMEN COLECTADO (ml)	EMBUDO	PRECIPITACIÓN (mm)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	1σ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	1σ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰) PROM	$\delta^2\text{H}$ (‰) PROM	d-excess
18	W-1780	PACHUCA	2,365	01/12/2018	Noviembre	16.00	CHICO (r=6.75cm)	1.12	-2.79	±0.10	-24.1	±0.50	-5.57	-39.26	5.26
18	W-1015	PACHUCA	2,365	01/02/2019	Enero	48.00	CHICO (r=6.75cm)	3.35	-2.89	±0.06	-8.6	±0.26			
18	W-1305	PACHUCA	2,365	01/03/2019	Febrero	159.00	CHICO (r=6.75cm)	11.11	-7.20	±0.08	-43.1	±0.26			
18	W-1306	PACHUCA	2,365	01/04/2019	Marzo	370.00	CHICO (r=6.75cm)	25.85	-2.71	±0.12	-5.8	±0.26			
18	W-1307	PACHUCA	2,365	01/05/2019	Abril	132.00	CHICO (r=6.75cm)	9.22	-3.67	±0.06	-22.4	±0.26			
18	W-1308	PACHUCA	2,365	01/06/2019	Mayo	1150.00	CHICO (r=6.75cm)	80.35	-12.70	±0.14	-89.2	±0.26			
18	W-1366	PACHUCA. JUL	26	01/08/2019	Julio	960.00	CHICO (r=6.75cm)	67.07	-7.47	±0.04	-47.9	±0.20			
18	W-1361	PACHUCA. AGO	26	01/09/2019	Agosto	1200.00	CHICO (r=6.75cm)	83.84	-10.66	±0.10	-73.0	±0.47			
19	W-1794	PIEDRAS NEGRAS	251	01/12/2018	Noviembre	260.00	GRANDE (r=11.5cm)	6.26	-13.92	0.11	-125.6	0.46	-2.51	-20.94	-0.83
19	W-1796	PIEDRAS NEGRAS	251	02/01/2019	Diciembre	1110.00	GRANDE (r=11.5cm)	26.72	-6.81	0.08	-37.2	0.49			
19	W-1803	PIEDRAS NEGRAS	251	01/02/2019	Enero	260.00	GRANDE (r=11.5cm)	6.26	-3.14	0.08	-7.6	0.31			
19	W-1265	PIEDRAS NEGRAS	251	01/04/2019	Marzo	390.00	GRANDE (r=11.5cm)	9.39	-0.43	0.09	3	0.43			
19	W-1266	PIEDRAS NEGRAS	251	01/05/2019	Abril	2800.00	GRANDE (r=11.5cm)	67.39	-3.09	0.11	-15.9	0.44			
19	W-1267	PIEDRAS NEGRAS	251	01/06/2019	Mayo	1500.00	GRANDE (r=11.5cm)	36.10	1.47	0.09	5.5	0.15			
19	W-1268	PIEDRAS NEGRAS	251	01/07/2019	Junio	3080.00	GRANDE (r=11.5cm)	74.13	-4.1	0.04	-22.1	0.38			
19	W-1392	PIEDRAS NEGRAS. JU	251	01/08/2019	Julio	30.00	GRANDE (r=11.5cm)	0.72	10.21	0.04	32.4	0.6			
20	W-1520	QUERÉTARO	1,092	06/02/2018	Enero	8.00	CHICO (r=6.75cm)	0.56	-3.27	±0.04	-28.9	±0.27	-5.76	-38.92	7.17
20	W-1532	QUERÉTARO	1,092	01/03/2018	Febrero	110.00	CHICO (r=6.75cm)	7.68	-2.90	±0.04	-20.0	±0.40			
20	W-1575	QUERÉTARO	1,092	01/05/2018	Abril	60.00	CHICO (r=6.75cm)	4.19	-1.35	±0.18	-6.9	±0.56			
20	W-1592	QUERÉTARO	1,092	01/06/2018	Mayo	820.00	CHICO (r=6.75cm)	57.29	-3.16	±0.17	-12.3	±0.12			
20	W-1627	QUERÉTARO	1,092	02/07/2018	Junio	3282.30	CHICO (r=6.75cm)	229.31	-12.33	±0.04	-89.0	±0.39			
20	W-1656	QUERÉTARO	1,092	01/08/2018	Julio	590.00	CHICO (r=6.75cm)	41.22	-3.13	±0.04	-17.9	±0.73			
20	W-1666	QUERÉTARO	1,092	03/09/2018	Agosto	1459.00	CHICO (r=6.75cm)	101.93	-7.30	±0.07	-51.7	±0.38			
20	W-1743	QUERÉTARO	1,092	01/10/2018	Septiembre	1410.00	CHICO (r=6.75cm)	98.51	-7.10	±0.05	-51.3	±0.60			
20	W-1755	QUERÉTARO	1,092	01/11/2018	Octubre	410.00	CHICO (r=6.75cm)	28.64	-7.61	±0.06	-49.7	±0.45			
20	W-1766	QUERÉTARO	1,092	01/12/2018	Noviembre	640.00	CHICO (r=6.75cm)	44.71	-9.09	±0.07	-62.6	±0.48			
20	W-1309	QUERÉTARO	1,092	01/04/2019	Marzo	30.00	CHICO (r=6.75cm)	2.10	3.31	±0.07	15.2	±0.48			
20	W-1310	QUERÉTARO	1,092	01/06/2019	Mayo	340.00	CHICO (r=6.75cm)	23.75	-0.46	±0.04	0.3	±0.48			
20	W-1311	QUERÉTARO	1,092	01/07/2019	Junio	2020.00	CHICO (r=6.75cm)	141.13	-9.30	±0.06	-58.9	±0.48			
20	W-1393	QUERÉTARO. JUL	1,092	01/08/2019	Julio	620.00	CHICO (r=6.75cm)	43.32	-6.6	±0.05	-38.30	±0.57			
20	W-1394	QUERÉTARO. AGO	1,092	01/09/2019	Agosto	30.00	CHICO (r=6.75cm)	2.10	-15.5	±0.08	-111.80	±0.59			
21	W-1514	TACUBAYA	2,322	01/02/2018	Enero	150.00	CHICO (r=6.75cm)	10.48	-7.60	±0.08	-46.3	±0.11	-5.62	-37.39	7.60
21	W-1533	TACUBAYA	2,322	01/03/2018	Febrero	80.00	CHICO (r=6.75cm)	5.59	-3.34	±0.07	-19.5	±0.08			
21	W-1549	TACUBAYA	2,322	05/04/2018	Marzo	170.00	CHICO (r=6.75cm)	11.88	-3.45	±0.02	-19.7	±0.26			
21	W-1570	TACUBAYA	2,322	02/05/2018	Abril	610.00	CHICO (r=6.75cm)	42.62	-1.28	±0.05	1.9	±0.43			
21	W-1593	TACUBAYA	2,322	01/06/2018	Mayo	1200.00	CHICO (r=6.75cm)	83.83	-3.88	±0.08	-19.5	±0.30			
21	W-1628	TACUBAYA	2,322	02/07/2018	Junio	2580.00	CHICO (r=6.75cm)	180.24	-15.67	±0.06	-115.3	±0.38			
21	W-1657	TACUBAYA	2,322	02/08/2018	Julio	1400.00	CHICO (r=6.75cm)	97.81	-3.79	±0.04	-22.5	±0.20			
21	W-1667	TACUBAYA	2,322	03/09/2018	Agosto	4540.00	CHICO (r=6.75cm)	317.17	-6.61	±0.04	-41.5	±0.53			
21	W-1744	TACUBAYA	2,322	01/10/2018	Septiembre	2760.00	CHICO (r=6.75cm)	192.82	-6.69	±0.11	-40.5	±0.37			
21	W-1756	TACUBAYA	2,322	01/11/2018	Octubre	1070.00	CHICO (r=6.75cm)	74.75	-6.12	±0.05	-36.4	±0.66			
21	W-1767	TACUBAYA	2,322	01/12/2018	Noviembre	540.00	CHICO (r=6.75cm)	37.73	-8.56	±0.04	-58.0	±0.67			
21	W-1786	TACUBAYA	2,322	02/01/2019	Diciembre	270.00	CHICO (r=6.75cm)	18.86	-6.46	±0.09	-38.7	±0.32			
21	W-1837	TACUBAYA	2,322	01/03/2019	Febrero	50.00	CHICO (r=6.75cm)	3.49	-1.29	±0.17	-17.4	±0.42			
21	W-1112	TACUBAYA	2,322	01/04/2019	Marzo	140.00	CHICO (r=6.75cm)	9.78	-3.03	±0.04	-21.4	±0.28			
21	W-1198	TACUBAYA	2,322	01/05/2019	Abril	140.00	CHICO (r=6.75cm)	9.78	-0.01	±0.05	9.8	±0.23			
21	W-1202	TACUBAYA	2,322	01/06/2019	Mayo	350.00	CHICO (r=6.75cm)	24.45	-3.46	±0.10	-19.7	±0.19			
21	W-1277	TACUBAYA. JUN	2,322	01/07/2019	Junio	2320.00	CHICO (r=6.75cm)	162.09	-13.25	±0.08	-92.0	±0.47			
21	W-1336	TACUBAYA	2,322	02/08/2019	Julio	3550.00	CHICO (r=6.75cm)	248.03	-7.71	±0.05	-52.1	±0.47			
21	W-1395	TACUBAYA. AGO	2,322	02/09/2019	Agosto	1800.00	CHICO (r=6.75cm)	125.76	-7.7	±0.07	-50.60	±0.20			
21	W-1396	TACUBAYA. SEP	2,322	03/10/2019	Septiembre	2780.00	CHICO (r=6.75cm)	194.23	-8.2	±0.05	-48.40	±0.63			
22	W-1771	TAPACHULA	128	01/12/2018	Noviembre	530.00	CHICO (r=6.75cm)	37.03	-2.91	±0.09	-7.9	±0.52	-2.34	-7.89	10.82
22	W-1788	TAPACHULA	128	02/01/2019	Diciembre	66.00	CHICO (r=6.75cm)	4.61	-0.48	±0.08	7.5	±0.51			
22	W-1107	TAPACHULA	128	01/03/2019	Febrero	76.00	CHICO (r=6.75cm)	5.31	0.21	±0.09	9.5	±0.13			
22	W-1108	TAPACHULA	128	01/04/2019	Marzo	52.00	CHICO (r=6.75cm)	3.63	0.92	±0.07	11.1	±0.45			
22	W-1218	TAPACHULA	128	01/05/2019	Abril	13.00	CHICO (r=6.75cm)	0.91	0.16	±0.09	12.5	±0.11			
22	W-1219	TAPACHULA	128	01/06/2019	Mayo	3440.00	CHICO (r=6.75cm)	240.33	-5.54	±0.07	-28.5	±0.11			
22	W-1337	TAPACHULA	128	01/07/2019	Junio	4537.00	CHICO (r=6.75cm)	316.98	-5.21	±0.06	-30.8	±0.11			
22	W-1338	TAPACHULA	128	01/08/2019	Julio	1920.00	CHICO (r=6.75cm)	134.14	-3.68	±0.08	-19.4	±0.11			
22	W-1397	TAPACHULA. AGO	128	01/09/2019	Agosto	3090.00	CHICO (r=6.75cm)	215.89	-4.5	±0.04	-25.00	±0.75			

Red Nacional de Monitoreo de la Composición Isotópica y Química de la Precipitación Pluvial (RENIP): Complementación, operación y análisis de resultados

Table with 15 columns: NÚM., # LAB. IMTA, IDENTIFICACIÓN, ALTITUD (msnm), FECHA DE MUESTREO, PERIODO DE MUESTREO, VOLUMEN COLECTADO (ml), EMBUDO, PRECIPITACIÓN (mm), δ18O (‰), 1σ (‰), δ2H (‰), 1σ (‰), δ18O (‰) PROM, δ2H (‰) PROM, and ϕ-excess. It contains 246 rows of precipitation data from various locations including TETELCO, TORREÓN, TULANCINGO, TUXTLA GUTIÉRREZ, VERACRUZ, and VILLAHERMOSA.

7. PUESTA EN OPERACIÓN Y APLICACIÓN DEL ANALIZADOR LÁSER LWIA-4S-EP, EN LA MEDICIÓN DE MUESTRAS DE AGUA NATURAL.

Analizador láser Los Gatos Research Inc. Modelo LIWA-45-EP

Las proporciones de isótopos estables de deuterio y oxígeno-18 en las aguas naturales ($\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$) son marcadores efectivos del ciclo hidrológico y proporcionan una perspectiva única sobre los procesos hidrológicos, climáticos y ecológicos a escala local, regional y continental, así como la relación del agua subterránea en los ríos y lagos, la recarga de acuíferos, las fuentes de humedad en las precipitaciones, el reciclaje y transporte de la humedad atmosférica y la absorción de agua por parte de las plantas.

La invención de un espectrómetro de masas de isótopos (IRMS) a finales de 1940 fue el factor propicio para la aplicación de los isótopos en ciencias de la tierra. Por otro lado, el costo relativamente alto y las habilidades operacionales requeridas para un IRMS, han limitado el amplio uso de los isótopos por los investigadores en general.

El equipo espectroscópico, desarrollado por Los Gatos Research Inc. para analizar las proporciones de isótopos en el agua líquida, mide la absorción láser dentro de una cavidad con espejos de alta reflectividad, que generan trayectorias de longitudes de varios kilómetros, dando como resultado una clara separación de las líneas de absorción láser de diferentes moléculas de agua.

El analizador laser mide las relaciones isotópicas $\delta^{18}\text{O}$ ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) y δD ($^2\text{H}/^1\text{H}$) en muestras de agua líquida, los tipos de mediciones proporcionan una herramienta útil para investigar procesos hidrológicos en superficies y sistemas de agua subterránea, así como para estudios de agua doblemente etiquetados

Los beneficios de usar el analizador laser de isotopos estables LGR son:

- Velocidad: cuando se configura con el auto cargador opcional puede medir al menos 800 inyecciones por día. Esto es significativamente más rápido que los instrumentos competitivos y se logra sin sacrificar datos de calidad.
- Modo de alta precisión: el LGR se puede ejecutar en un modo de alta precisión para aplicaciones que requieren la más alta precisión y exactitud.
- Consumo de energía: el LGR y el auto inyector requieren solo 150 vatios. El bajo consumo de energía es particularmente importante en lugares de campo con suministro de energía limitado.
- Confiabilidad: la tecnología de LGR es fácil de usar, operar y fabricar. Como resultado, muchos LGR han estado en uso por más de 4 años sin problemas reportados.

El analizador LGR (Los Gatos Research Inc.) mide la absorción alrededor de una longitud de onda de 1,390 nm (nanómetros) para calcular las concentraciones moleculares de $^2\text{H}_2\text{O}$, H_2^{18}O y H_2O . Las concentraciones moleculares se convierten en relaciones atómicas $^2\text{H}/\text{H}$ y $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$. Se utiliza un procedimiento de post-procesamiento para calcular los valores en escala-delta (δ) con respecto al VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water):

$$\delta = \frac{R_{\text{medido}} - R_{\text{VSMOW}}}{R_{\text{VSMOW}}}$$

Donde R es $^2\text{H}/\text{H}$ o $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$

El analizador de isótopos de agua líquida de Los Gatos Research (LGR) proporciona mediciones de $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{17}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ de agua en líquidos (incluidos los vinos) y muestras de vapor discretas con un rendimiento insuperable. Las mediciones pueden informarse a la velocidad incomparable de (al menos) 800 inyecciones por día. Y,

con el aclamado paquete de rendimiento mejorado de LGR, las mediciones se pueden registrar con una precisión y una estabilidad sin igual.

El analizador LGR incorpora control térmico patentado para mediciones ultra estables con una precisión, una precisión y una velocidad insuperables, validadas en laboratorios líderes en todo el mundo.

Para mediciones de "alto rendimiento" de $\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$ prácticamente en cualquier lugar, el analizador ultra portátil de LGR y el auto inyector ultra compacto requieren una potencia promedio de menos de 70 vatios y pesan 19 kg (excluyendo la bomba de vacío externa).

El Analizador de Isótopos de Agua Líquida (LWIA por sus siglas en inglés) es ideal para una amplia variedad de aplicaciones hidrológicas, analíticas y biológicas que involucran mediciones de agua dulce, agua de mar y otros líquidos. La facilidad de uso, la durabilidad en el campo y el alto rendimiento del analizador lo convierten en el analizador estándar de la industria para este tipo de mediciones. El analizador de isótopos de agua líquida de LGR es utilizado por investigadores, científicos, agencias gubernamentales y organizaciones intergubernamentales en los 7 continentes.

La tecnología patentada de LGR, una técnica de absorción mejorada por cavidad de cuarta generación, tiene muchas ventajas (más simple, más fácil de construir, robusta) sobre las técnicas más antiguas y convencionales de espectroscopía de reducción de cavidades (CRDS). Como resultado, los analizadores LGR ofrecen un mayor rendimiento a un menor costo.

Todos los analizadores LGR tienen una computadora interna (sistema operativo Linux) que puede almacenar datos prácticamente indefinidamente en un disco

duro interno y enviar datos en tiempo real a un registrador de datos a través de las salidas digital (RS232) o Ethernet. Además, el analizador incluye el aclamado software de análisis de LGR, que realiza automáticamente muchos procedimientos de análisis en mediciones de líquidos que los investigadores realizaron previamente una vez que se recopilaron los datos. Entre las capacidades del software de LGR se incluyen la aplicación automática de las mediciones estándar de calibración realizadas durante la ejecución de la muestra, mostrar gráficamente todos los resultados y diagnosticar el funcionamiento del instrumento. Además, el software de análisis posterior incluye la tecnología de identificación espectral de contaminación espectral (SCI) de LGR, el único software que ha demostrado cuantificar y corregir con precisión la presencia de contaminantes orgánicos en las muestras de agua. Finalmente, los analizadores de agua isotópicos de LGR (incluidos los modelos que reportan $\delta^{17}\text{O}$) son totalmente compatibles con LIMS para láseres utilizado por el Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA por sus siglas en inglés).

Al igual que con todos los analizadores LGR, el LWIA puede controlarse completamente de forma remota a través de Internet. Esta capacidad le permite al usuario operar el analizador usando un navegador web prácticamente en cualquier lugar donde haya acceso a Internet. Además, el acceso remoto permite el control total del instrumento y la oportunidad de obtener y compartir datos y diagnosticar el funcionamiento del instrumento sin estar en el sitio.

Todos los analizadores LGR utilizan una tecnología única de absorción láser llamada espectroscopia de salida de cavidad integrada fuera del eje (OA-ICOS). Esta técnica patentada por LGR ofrece un rendimiento, valor y confiabilidad superiores en comparación con la espectroscopia de reducción de cavidades (CRDS).

La absorción mejorada de la cavidad fue desarrollada por primera vez como un método de detección ultra sensible por el fundador de LGR Anthony O'Keefe en 1988 (Review of Scientific Instruments [ISSN 0034-6748], vol. 59, diciembre de 1988, p. 2544-2551) en el Forma de la cavidad de reducción de la espectroscopia (CRDS). Aunque es innovadora, esta técnica de primera generación requiere una alineación sub-nanométrica de sus ópticas internas, lo que se traduce directamente en limitaciones en términos de alto costo, confiabilidad y vulnerabilidad a las vibraciones y los cambios de temperatura/presión.

Para superar estos inconvenientes, los científicos de LGR desarrollaron, y posteriormente patentaron, una tecnología de absorción de láser mejorada por cavidad de cuarta generación llamada OA-ICOS. Este enfoque ofrece un rendimiento superior, sin embargo, los órdenes de magnitud son menos sensibles a la alineación interna de los componentes y a las variaciones en la temperatura y presión locales. Como resultado, OA-ICOS es ideal para uso en instrumentos comerciales incluso para las aplicaciones más exigentes en ubicaciones remotas.

Rango dinámico más amplio: OA-ICOS mide directamente la absorción en lugar de solo un tiempo de descomposición de la cavidad. Por lo tanto, ofrece una respuesta lineal en un rango dinámico significativamente más amplio que la CRDS convencional.

Servicio de campo: el desempeño de OA-ICOS es de una magnitud menos sensible a la alineación interna, porque el instrumento es robusto y confiable. Esta diseñado de forma simple y cualquier persona puede reparar fácilmente los instrumentos LGR en sitio.

Menor costo de fabricación: el rendimiento del analizador OA-ICOS no depende de la alineación óptica hiper crítica, mientras que las técnicas CRDS más antiguas y convencionales requieren la alineación de componentes ópticos sub-nanométricos. esto requiere el uso de componentes electromecánicos costosos y

circuitos de retroalimentación complejos, así como un ensamble de sala limpia que consume mucho tiempo y pruebas elaboradas.

Mejor valor: el rendimiento del analizador OA-ICOS no se ve afectado por cambios menores en la alineación óptica. Esto permite el uso de componentes más simples, de menor costo y menos sistemas de control de retroalimentación, además de simplificar el proceso de ensamblaje.

Mínimo tiempo de inactividad: la tecnología OA-ICOS no requiere una alineación óptica ultra precisa. Esto significa que un usuario mínimamente capacitado puede quitar fácilmente un espejo de cavidad, si es necesario, y luego limpiarlo y reemplazarlo en solo minutos, sin afectar el rendimiento o los costosos retornos a la fábrica.

El analizador laser LGR está diseñado para ser utilizado en campo debido a que cuenta con las siguientes características para ese tipo de trabajos:

- **Bajo consumo:** en aplicaciones de campo, minimizar el consumo de energía que suele ser crítico.
- **Resistente:** la tecnología patentada de ICOS fuera de eje es insensible a la alineación, por lo que es relativamente inmune a los efectos de vibración y manejo brusco que pueden ocurrir durante las implementaciones de campo.
- **Características opcionales:** hay varias opciones disponibles para mediciones de campo, que incluyen: Muestreador continuo de agua que permite el muestreo directo de lagos, ríos, arroyos, precipitaciones, etc.
- **Acceso y control remoto desde cualquier parte del mundo a través de internet.**
- **Experiencia de campo:** los instrumentos LGR están en uso en los 7 continentes en algunos de los entornos más difíciles.

El analizador laser LGR puede ser utilizado para medir de forma rápida y precisa las muestras de agua extremadamente enriquecida en ^2H , y con valores de $\delta^2\text{H}$ al menos hasta 57,000 ‰ (~90,000 ppm), y posiblemente incluso más alto.

La capacidad de medida de ^2H en concentraciones extremas por espectrometría láser, proporciona una nueva forma de determinar rápidamente el rendimiento de las celdas electrolíticas de la TEU y 3 factores de enriquecimiento de H, sin tener que esperar semanas la determinación de resultados por la técnica de recuento de picos de LSC (conteo por centelleo líquido).

La tasa de procesamiento de un LGR de última generación es de 60 muestras altamente enriquecidas en ^2H por día proporcionando de este modo información casi inmediata sobre el lote. Para la descontaminación del analizador laser se requieren aproximadamente 50 inyecciones secuenciales (aproximadamente 1 h en total) de agua limpia, inclusive el agua del grifo es suficiente para eliminar la memoria residual de las muestras de agua enriquecidas en ^2H .

El uso de espectrometría láser de salida de cavidad integrada fuera del eje, para medir de forma precisa y directa el ^2H ultra enriquecido, en un rango de hasta 57,000 ‰ (~9000 ppm de deuterio) a una tasa de 60 muestras/día, facilitan el uso de ^2H como marcador en aplicaciones ambientales e hidrológicas.

La incorporación del láser basado en el método de enriquecimiento de ^2H en las operaciones de tritio de bajo nivel, pueden facilitar un aumento del 10-20% en el rendimiento de la muestra por la eliminación de Spikes, y gravimetría laboriosa, además de proporcionar una retroalimentación inmediata sobre la calidad del rendimiento de las celdas electrolíticas de la TEU.

Instalación del analizador láser modelo LIWA 45-EP en el laboratorio de espectrometría de masas del IMTA

La instalación del analizador láser se realizó siguiendo el manual de instrucciones y utilizando las herramientas sugeridas por el fabricante debido a que la garantía del equipo se encuentra vigente se realizaron las adecuaciones de espacio

necesarias para la seguridad del equipo y del personal que labora en el laboratorio, las conexiones eléctricas se realizaron a una fuente de alimentación con respaldo de energía y supresor de picos para proteger el equipo de las variaciones eléctricas que pudiera sufrir además que se asegura un uso continuo sin interrupciones por índole eléctrico del equipo, una vez terminada la instalación se realizaron pruebas a cada componente para verificar su correcto funcionamiento, pruebas de calibración del brazo robótico en sus tres ejes, pruebas de conexión de la drierita disecante, pruebas en la bomba de vacío, pruebas de respaldo eléctrico para el uso continuó e ininterrumpido del equipo, pruebas y verificación de conexiones de los puertos de comunicación del equipo, además se realizaron los ajustes en conexiones de gases y programación necesarios para el uso correcto del analizador.

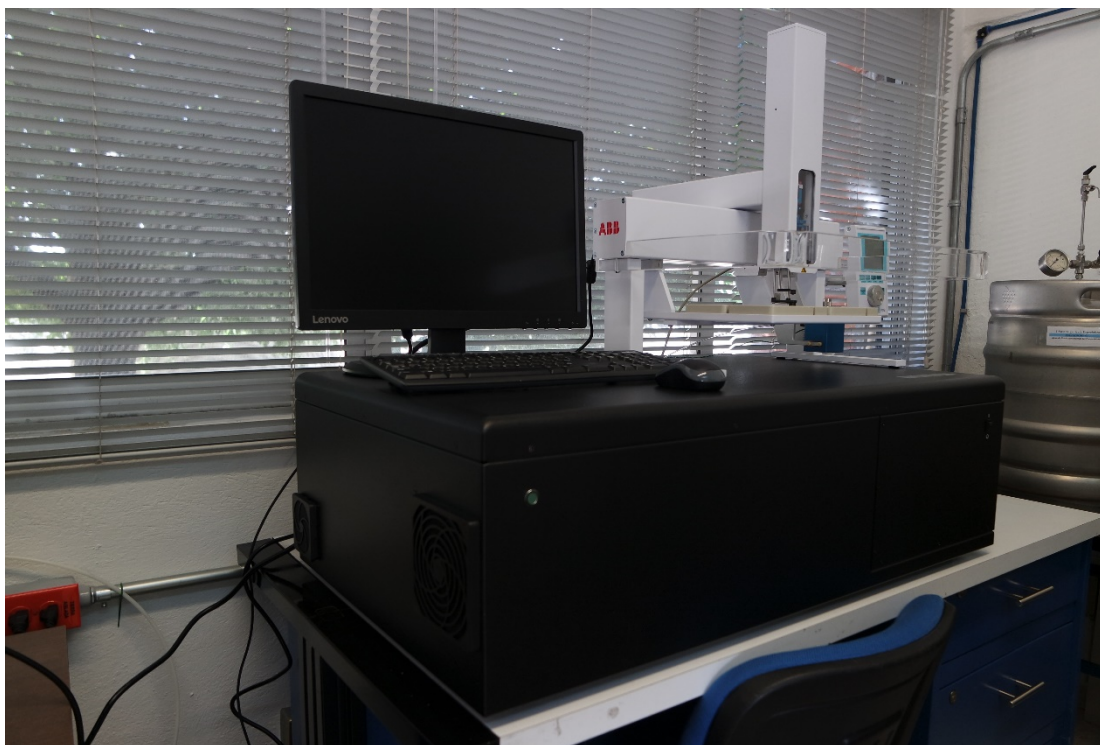


Figura 42 Analizador Láser de isótopos estables de agua Los Gatos Reseach Inc instalado en el laboratorio de espectrometría de masas del IMTA

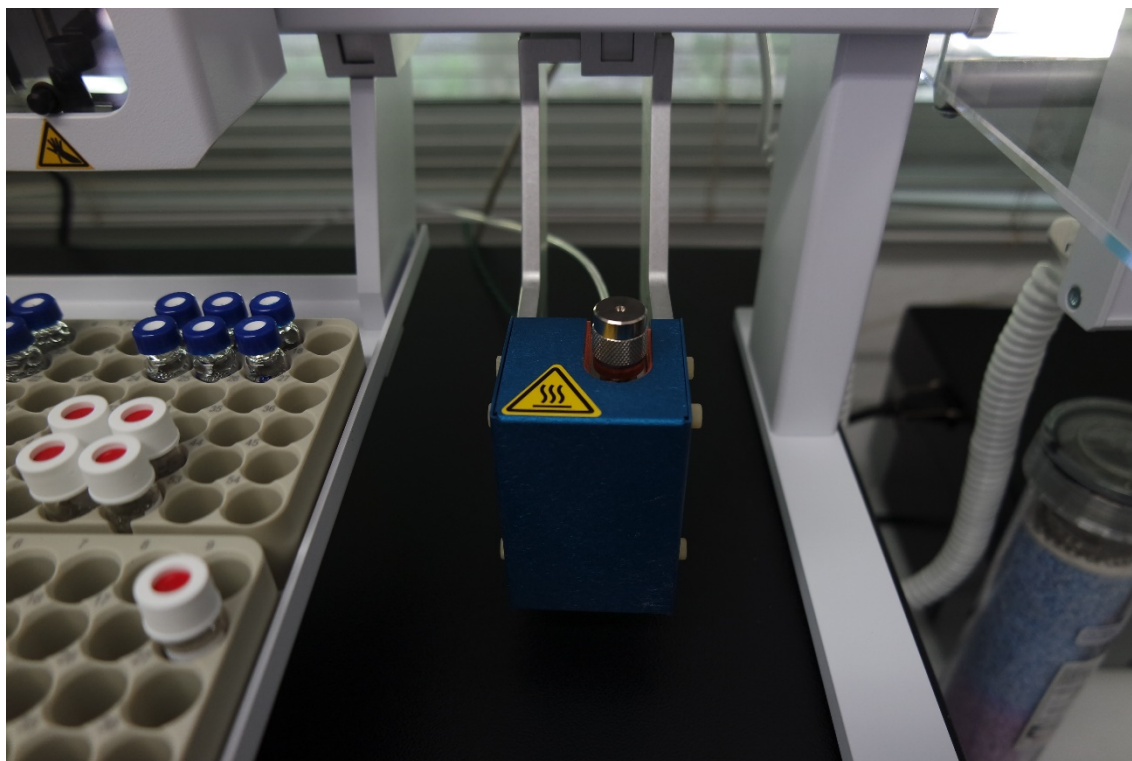


Figura 43 Vaporizador instalado

7.1. Valores nominales de operación

Se realizaron los ajustes y calibraciones pertinentes a los diferentes componentes del equipo para lograr alcanzar los valores nominales de operación del fabricante y así medir las muestras de agua con una mayor precisión, la calibración y los ajustes realizados se muestran en las siguientes imágenes.

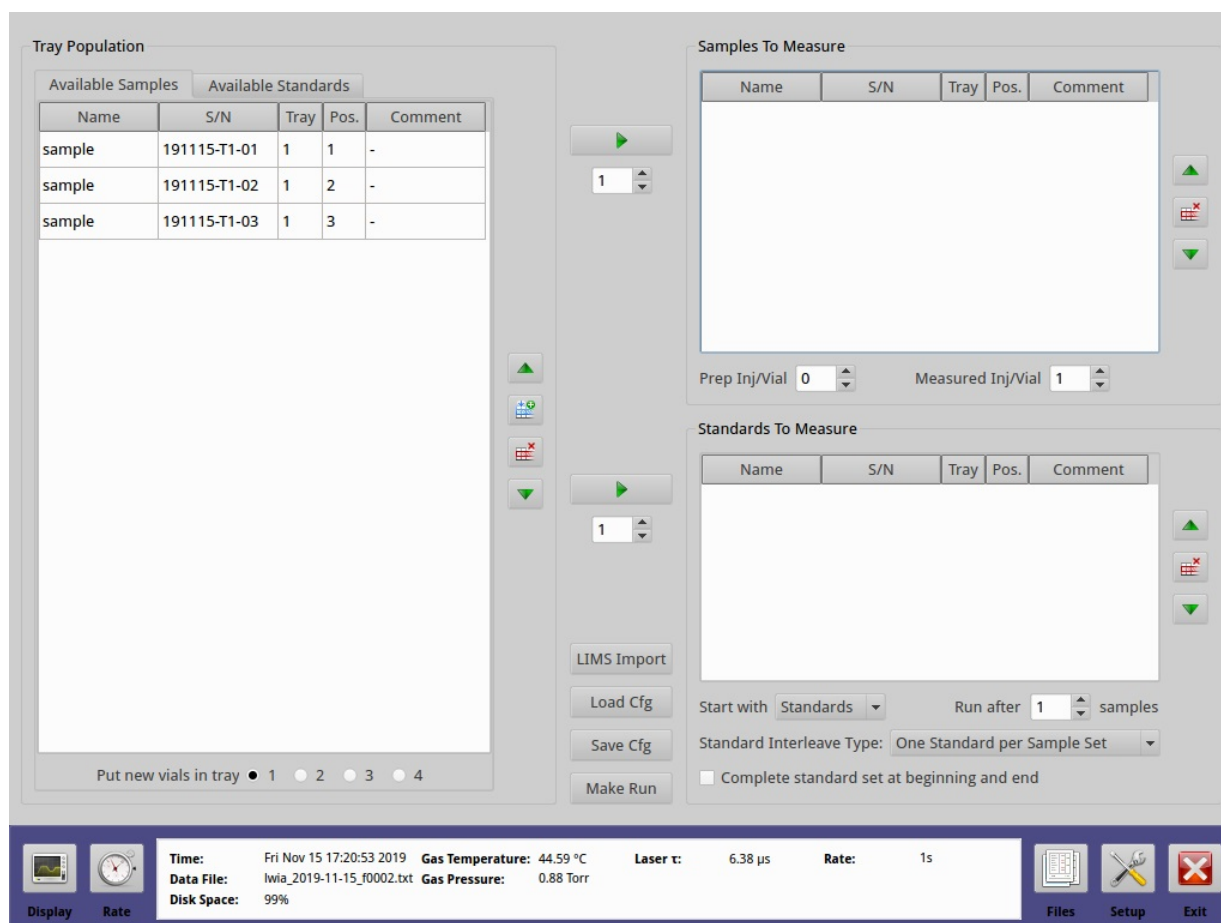


Figura 44 Panel principal, con ventana de parámetros e interfaz de usuario con barra de control

En la parte inferior de la imagen anterior, se puede observar los valores nominales alcanzados una vez realizada la calibración y ajustes al equipo, la temperatura ideal dentro de la celda es entre 43 y 46 °C, la presión del gas dentro de la celda en

el proceso de medición debe ser siempre por debajo de 1 Torr, la intensidad ideal del láser debe oscilar entre 6.20 y 6.60 μs , y por último la frecuencia de muestreo debe ser de 1s.

Los resultados obtenidos fueron satisfactorios y todos los ajustes y calibraciones realizados nos indican que fueron los correctos debido a que los valores obtenidos se encuentran dentro del rango de los valores nominales de operación del equipo.

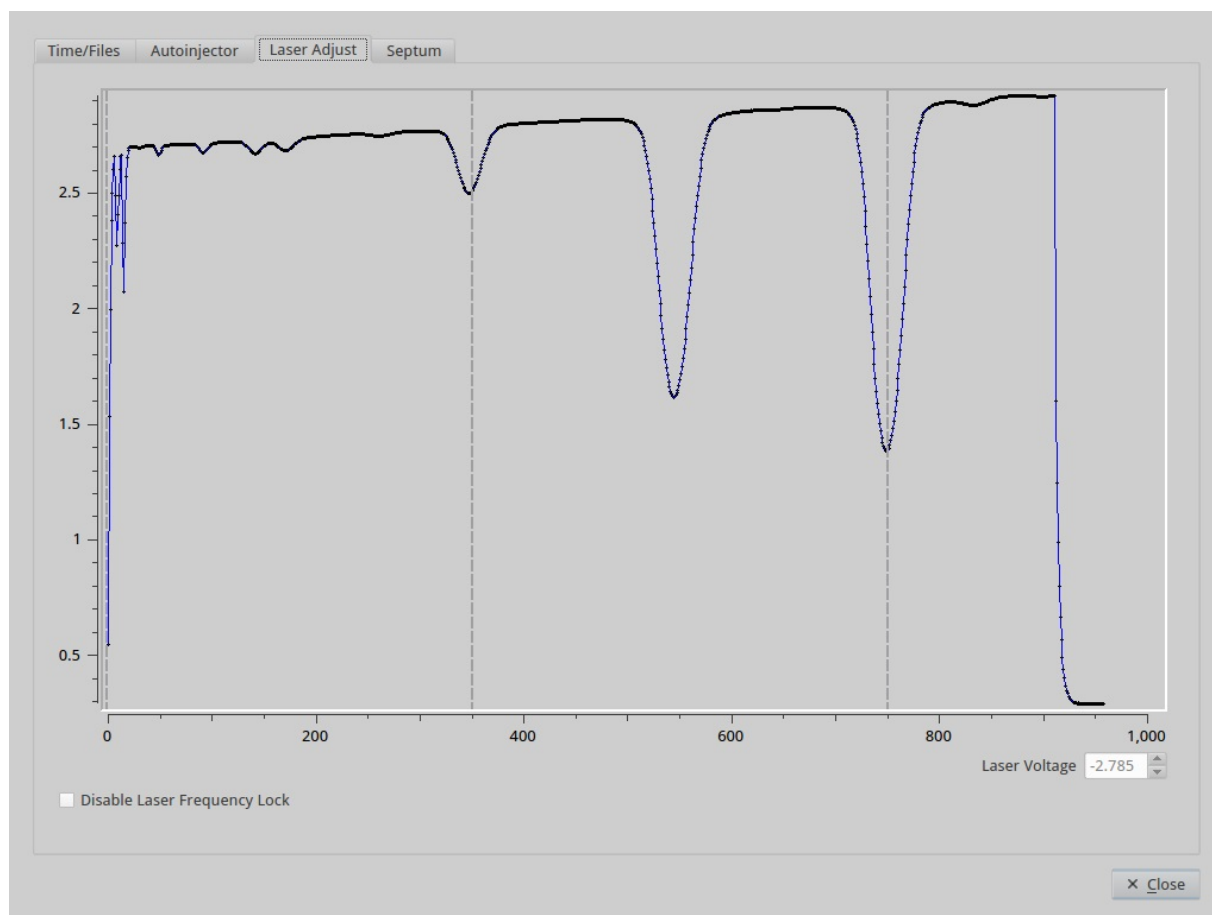


Figura 45 Ventana de verificación y ajuste de láser

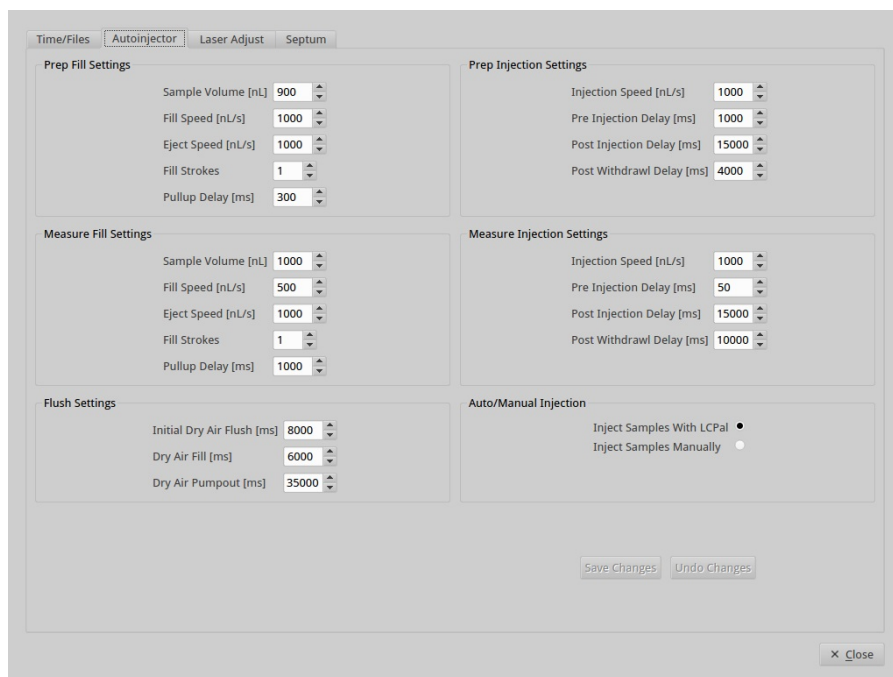


Figura 46 Ventana de ajustes y calibración del auto inyector con valores de operación ajustados



Figura 47 Ventana de ajuste y calibración del Cambio del Septum

8. CURSO NACIONAL DE CAPACITACIÓN SOBRE CARACTERIZACIÓN QUÍMICA E ISOTÓPICA DE AGUAS ATMOSFÉRICAS



Figura 48 Fotografía grupal del curso nacional de capacitación sobre caracterización química e isotópica de las aguas atmosféricas impartido en el IMTA

Como parte de los compromisos establecidos entre el IMTA y el Organismo Internacional de Energía Atómica, a través del proyecto RLA7024 “Integración de la Hidrología isotópica en las Evaluaciones Nacionales de los Recursos Hídricos” se desarrolló el curso “CURSO NACIONAL DE CARACTERIZACIÓN QUÍMICA E ISOTÓPICA DE LAS AGUAS ATMOSFÉRICAS” en el Centro de Capacitación del IMTA del 01 al 05 de julio de 2019.

El curso fue dirigido a especialistas y técnicos que participan activamente en el desarrollo del proyecto regional RLA7024 “Integración de la Hidrología Isotópica en las Evaluaciones Integrales Nacionales de los Recursos Hídricos”. El objetivo del curso fue proveer los conceptos básicos de hidrología isotópica, Introducir las distintas técnicas de muestreo isotópico en el ciclo hidrológico, analizar los principales factores que gobiernan las variaciones isotópicas en zonas tropicales y latitudes medias, estudiar la relación entre la composición isotópica y el transporte de humedad, principalmente en los procesos de formación de precipitación,

introducir las aplicaciones de las mediciones isotópicas en los estudios hidrogeológicos y meteorológicos, e introducir los conceptos de modelación espacial isotópica Isoscapes, con principal atención en mapas isotópicos de aguas subterráneas.

Participaron especialistas y técnicos comprometidos a lograr un mejor entendimiento de los procesos del ciclo hidrológico que generan los recursos hídricos atmosféricos:

- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
- Instituto de Geología de la UNAM
- Sistema de Aguas de la Ciudad de México
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Instituciones interesadas en el tema de la aplicación de los isótopos ambientales

El conocimiento obtenido de la aplicación de los isótopos, característico de cada región hidrológica, contribuye al entendimiento de los procesos del ciclo hidrológico en forma más completa, obteniendo información de la naturaleza del agua en los procesos atmosféricos, los cuales son fundamentales para el aprovechamiento, protección, administración y gestión eficientes del recurso hídrico.

El curso fue impartido por el Dr. Ricardo Sánchez Murillo, Experto del Organismo Internacional de Energía Atómica, profesor investigador en la Escuela de Química de la Universidad Nacional de Costa Rica. El Dr. Sánchez-Murillo es Coordinador del Grupo de Investigación en Isótopos Estables de la Universidad Nacional de Costa Rica. Cuenta con más de 10 años de experiencia en hidrología isotópica, su principal tema de investigación radica en la utilización de trazadores ambientales para el entendimiento de procesos hidrológicos superficiales, subterráneos y atmosféricos en ecosistemas tropicales. Su trabajo en la región Latinoamericana y Caribe incluye estudios en Costa Rica, Nicaragua, El Salvador, Bahamas, Cuba, Brasil y Chile. Es autor de varios artículos indiciados en revistas científicas. Adicionalmente el Dr. Sánchez-Murillo colabora activamente como revisor de las siguientes revistas internacionales:

- Journal of Hydrology
- Hydrological Sciences
- Mountain Research and Development
- Applied Water Science
- Isotopes in Environmental and Health Studies
- Geophysical Research Letters
- Hydrological Processes (Editor Invitado para la edición especial: Stable Isotopes in Hydrological Studies in the Tropics” Hydrological Processes Journal (2017-2018)
- International Journal of Tropical Biology and Conservation



LISTA DE ASISTENCIA				
PROYECTO: RLA7024 "CURSO NACIONAL DE CARACTERIZACIÓN QUÍMICA E ISOTÓPICA DE LAS AGUAS ATMOSFÉRICAS."				
 MIERCOLES 03 DE JULIO DE 2019. 9:00 A 18:00 HRS., SEDE AULA MAGNA, CENTRO DE CAPACITACIÓN INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA				
				
Nº	NOMBRE	INSTITUCIÓN	CORREO	FIRMA
1	Martín José Montero Martínez	IMTA	mzrh_mart@firdoc.imeh.mx	
2	Antonio Salinas Prieto	IMTA	jsalinas@tlaloc.imta.mx	
3	René Lobato Sánchez	IMTA	relobato@tlaloc.imta.mx	
4	Miguel Ángel Mejía González	IMTA	mamejia@tlaloc.imta.mx	
5	Carlos Gutiérrez Ojeda	IMTA	cgutierrez@tlaloc.imta.mx	
6	Luis González Hita	IMTA	lg_hita@tlaloc.imta.mx	
7	María Eugenia Maya Magaña	IMTA	mayam.maya@gmail.com	
8	Juan Carlos Aparicio González	IMTA	japaricio@gmail.com	
9	Dustin Silverio Mañón Flores	IMTA	pisalpin@gmail.com	
10	Jorge Armando Ávila Guzmán	IMTA	javila@tlaloc.imta.mx	
11	Yolanda Pica Granados	IMTA	yo.pica@gmail.com	
12	Vicente Ortega Lara	IMTA	g.lentia.pica@gmail.com	
13	Blanca de Jesús Cartefio Martínez	IMTA	blancartm@hotmai.com	
14	Jesús Emmanuel Reyes López	JIAPAZ	jesus_reyes_ic@gmail.com	
15	Eric Morales Casique	UNAM	ericm.casique@geologia.unam.mx	
16	Juan Pérez Quezada	UNAM	jpquezada@geologia.unam.mx	
17	Selene Olea Olea	UNAM	selene.olea.olea@gmail.com	
18	Jorge Alejandro Montiel Mona	UNAM	jorge_mona@hotmail.com	
19	Raúl Alberto Silva Aguilera	UNAM	raulsa@ciencias.unam.mx	
20	Priscila Medina Ortega	UNAM	priscilamedina.o@gmail.com	
21	Sandra Paola Blanco Gaona	UNAM	sandrablanco_923@hotmail.com	
22	Alejandra Cortés Silva	UNAM	acortes@geofisica.unam.mx	
23	Saúl Arciniega Esparza	UNAM	saul.ae@gmail.com	
24	Alfredo Zavala Rivera	SACMEX	alfredozaval@hotmail.com	
25	Jaime Roque Botello	SACMEX	jroque_botello@yahoo.com.mx	
26	Jessica Marlen López Ibarra	INEGI	jessica_lopez@inegi.org.mx	
27	Ismael del Carmen Sandoval Montes	INEGI	ismad.sandoval@inegi.org.mx	
28	Uriel Martín Pedraza Rodríguez	INEGI	uriel.pedraza@inegi.org.mx	
29	Ricardo Sánchez Murillo	UNA-OIEA		
30				

Figura 49 Lista de asistencia al curso

COORDINACIÓN DE HIDROLOGÍA

SUBCOORDINACIÓN DE HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

LABORATORIO DE HIDROLOGÍA ISOTÓPICA

Isotopía de la lluvia

Red nacional de monitoreo de isótopos de la precipitación pluvial (RENIP)

INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

Paseo Cuauhnáhuac 8532
Col. Progreso
62550 Jiutepec, Morelos
México

Teléfono: 52 (777) 329 3600 Ext. 805
Fax: 52 (777) 329 3600
Correo electrónico: lghita@tlaloc.imta
Página web: www.gob.mx/imta

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA
Hidrología Isotópica
PO Box 100, 1400 Vienna, Austria
Teléfono: (+43-1) 2600-21734
Fax: (+43-1) 2600-7
Página web: www.iaea.org

CURSO NACIONAL DE CARACTERIZACIÓN QUÍMICA E ISOTÓPICA DE LAS AGUAS ATMOSFÉRICAS

Del 1 al 5 de julio de 2019
Centro de Capacitación del IMTA

HIDROLOGÍA ISOTÓPICA

El uso de isótopos ambientales permite obtener información probada del comportamiento del agua en el ciclo hidrológico. Se considera que la información que proporcionan es complementaria a la de los métodos tradicionales de la ingeniería y de las ciencias del agua pero, en algunos casos, es única. En especial, es útil para conocer la génesis y evolución de las aguas meteoricas, superficiales y subterráneas.

PROGRAMA

- Conceptos básicos y fundamentos teóricos en hidrología isotópica.
- Caracterización química e isotópica de las aguas atmosféricas.
- Entrenamiento práctico para el muestreo apropiado y almacenamiento de muestras de lluvia para análisis químico e isotópico.
- Análisis de los factores que gobiernan las variaciones isotópicas en zonas tropicales y latitudes medias.
- Introducción a los principios básicos de análisis estadístico y modelación espacial de datos químicos e isotópicos, con énfasis en aguas atmosféricas
- Presentación de casos de estudio

Se recomienda ampliamente traer Laptop

INSTRUCTOR

Dr. Ricardo Sánchez Murillo
Profesor asociado en la Escuela de Química y Coordinador del Grupo de Investigación en Isótopos Estables de la Universidad Nacional de Costa Rica.
Experto del Organismo Internacional de Energía Atómica.

Lugar: Centro de Capacitación del IMTA
Fecha: Del 1 al 5 de julio de 2019

ALCANCES

El curso está dirigido a especialistas y técnicos que se espera participen activamente en el desarrollo del proyecto regional RLA7024. "Integración de la Hidrología Isotópica en las Evaluaciones Integrales Nacionales de los Recursos Hídricos". Se espera que los participantes tengan una visión o realicen actividades en temas relacionados del ciclo hidrológico en sus diferentes componentes, o que participen en la toma de muestras en los observatorios integrantes de la red nacional de monitoreo de la composición isotópica de la precipitación pluvial (RENIP), que este Instituto opera en colaboración con el Organismo Internacional de Energía Atómica, la Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional y el Sistema de Aguas de la Ciudad de México.

LABORATORIO DE HIDROLOGÍA ISOTÓPICA

El laboratorio de hidrología isotópica del IMTA cuenta con instalaciones instrumentales y metodologías para la medición de la composición isotópica del agua, mediante espectroscopía láser y espectrometría de masas, contenido de tritio ambiental por enriquecimiento electrolytico y medición de carbono-14 mediante síntesis del benceno. El laboratorio permitirá mostrar a los participantes del curso, las técnicas de medición e infraestructura instrumental utilizada en hidrología isotópica y en la operación de la RENIP.

El laboratorio de hidrología isotópica del IMTA ha sido reconocido mediante ejercicios de intercomparación del OIEA, proporciona servicios de análisis de la composición de isótopos estables de H y O, y de los contenidos de tritio ambiental y radiocarbono en muestras de agua natural.

Los isótopos ambientales son trazadores gratuitos, existentes en la naturaleza, que aportan información valiosa sobre el comportamiento de las aguas atmosféricas, superficiales y subterráneas.

Figura 50 Tríptico promocional del curso

ORDEN DEL PROGRAMA			
"CURSO NACIONAL DE CARACTERIZACIÓN QUÍMICA E ISOTÓPICA DE LAS AGUAS ATMOSFÉRICAS"			
01 AL 05 JULIO DE 2019. 9:00 A 18:00 HRS., SEDE AULA MAGNA, CENTRO DE CAPACITACIÓN			
INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA			
LUNES 01			
ACTIVIDAD		HORA	
1	REGISTRO DE PARTICIPANTES	TODOS	09:00-09:30
2	PALABRAS DE BIENVENIDA	Director General del IMTA	09:30-09:40
3	TEMA: Introducción a la hidrología isotópica enfocada en procesos atmosféricos		09:40-10:50
4	DESCANSO/COFFE BREAK		10:50-11:15
5	TEMA: Introducción a la hidrología isotópica enfocada en procesos atmosféricos		11:15-13:00
6	COMIDA		13:00-14:30
7	Ejercicio 1: Líneas meteóricas ponderadas e incertidumbre de pendientes e interceptos		14:30-16:40
8	DESCANSO/COFFE BREAK		16:40-17:00
9	Ejercicio 1: Líneas meteóricas ponderadas e incertidumbre de pendientes e interceptos		17:00-18:00
MARTES 02			
10	TEMA: Técnicas de muestreo, preservación, almacenamiento y análisis de aguas meteóricas		09:00-10:50
11	DESCANSO/COFFE BREAK		10:50-11:15
12	TEMA: Técnicas de muestreo, preservación, almacenamiento y análisis de aguas meteóricas		11:15-13:00
13	COMIDA		13:00-14:30
14	Ejercicio 2: Desarrollo conceptual de estrategias de muestreo en proyectos (actividad y presentación en grupos)		14:30-16:40
15	DESCANSO/COFFE BREAK		16:40-17:00
16	Ejercicio 3: Análisis de series de tiempo de información química atmosférica		17:00-18:00
MIÉRCOLES 03			
17	TEMA: Mapas isotópicos: conceptualización, diseño experimental, elaboración y limitaciones		09:00-10:50
18	DESCANSO/COFFE BREAK		10:50-11:15
19	TEMA: Mapas isotópicos: conceptualización, diseño experimental, elaboración y limitaciones		11:15-13:00
20	COMIDA		13:00-14:30
21	Ejercicio 4: Generación de mapas isotópicos en QGIS		14:30-16:40
22	DESCANSO/COFFE BREAK		16:40-17:00
23	Ejercicio 4: Generación de mapas isotópicos en QGIS		17:00-18:00
JUEVES 04			
24	TEMA: Variabilidad climática y su relación con las características químicas e isotópicas de la atmósfera		09:00-10:50
25	DESCANSO/COFFE BREAK		10:50-11:15
26	Ejercicio 5: Composición isotópica y el fenómeno ENOS		11:15-13:00
27	COMIDA		13:00-14:30
28	TEMA: Visita al laboratorio de análisis isotópico		14:30-16:40
29	DESCANSO/COFFE BREAK		16:40-17:00
30	Ejercicio 5: Composición isotópica y el fenómeno ENOS		17:00-18:00
VIERNES 05			
31	TEMA: Aplicaciones locales, regionales y globales utilizando isótopos estables y otros trazadores		09:00-10:50
32	DESCANSO/COFFE BREAK		10:50-11:15
33	TEMA: Aplicaciones locales, regionales y globales utilizando isótopos estables y otros trazadores		11:15-13:00
34	COMIDA		13:00-14:30
35	Presentación de casos de estudio		14:30-18:00

Nota: se recomienda ampliamente traer Laptop

Figura 51 Programa del curso

9. CURSO REGIONAL DE CAPACITACIÓN SOBRE EL USO DE TÉCNICAS ISOTÓPICAS PARA LA DATACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS



Figura 52 Fotografía grupal del curso regional de capacitación sobre el uso de técnicas isotópicas para la datación de las aguas subterráneas

Se desarrolló el **“Curso Regional de Capacitación Sobre Uso de Técnicas Isotópicas en la Datación de Aguas Subterráneas”** del 9 al 13 de septiembre de 2019, en Cuernavaca, Morelos.

El objetivo fue capacitar a los participantes en la aplicación de técnicas isotópicas y de trazadores en la determinación de la edad del agua subterránea para la caracterización y gestión de los sistemas hidrológicos, conocer los conceptos de edad del agua y de la distribución de tiempos de residencia de los flujos subterráneos en acuíferos detríticos y medios fracturados, métodos prácticos y teóricos sobre aplicación de isótopos y técnicas de trazadores para la datación de agua en la evaluación y manejo de sistemas hidrológicos, uso de diferentes herramientas geoquímicas de datación, simulación de distribuciones de edades de agua subterránea, e incorporación de herramientas isotópicas en el modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico de áreas de estudio para guiar trabajos futuros más precisos y confiables.

El curso regional contó con la participación de 24 representantes de los siguientes países: Argentina, Bolivia, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, El Salvador, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, República Dominicana, Uruguay y Venezuela.

Los instructores del curso fueron:

- Dr. José Antonio Corcho Alvarado, Radiochemistry / Inorganic Analysis Branch, Federal Department of Defence, Civil Protection and Sports (DDPS), Federal Office for Civil Protection (FOCP), SPIEZ LABORATORY, Nuclear Chemistry Division, Suiza.
- Dr. Daniel Emilio Martínez, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (CONICET), Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina.





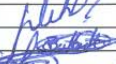
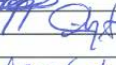
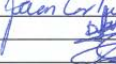
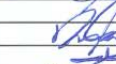

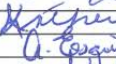

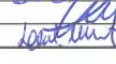







LISTA DE ASISTENCIA				
PROYECTO: RLA7024, Taller Regional "Uso de Técnicas Isotópicas para la Datación de Aguas Subterráneas" IAEA - México				
 IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA		Lunes 09 de Septiembre de 2019. 9:00 A 18:00 HRS., SEDE SALON RUFINO, HOTEL HOLIDAY INN CUERNAVACA, MORELOS, MEXICO		 IAEA
Nº	NOMBRE	País	CORREO	FIRMA
1	Orlando Quiroz Londono	Argentina	ormaquiroz@gmail.com	
2	Paola Carmiñha Mancilla Ortuño	Bolivia	paulina_manor@yahoo.com	
3	Heriberto Antonio Moya Gutierrez	Chile	heriberto.moya@mop.gov.cl	
4	Jimmy Alejandro Muñoz Rocha	Colombia	jimmy21ale@gmail.com	
5	Rolando Alberto Sanchez Gutierrez	Costa Rica	rolando.sanchez.gutierrez@una.ac.cr	
6	Debora Hernández Torres	Cuba	debora@ceaden.edu.cu	
7	Berenice Matias De Reyes	Republica Dominicana	berenicematiasmarte@gmail.com	
8	Lilia Angelica Peñafiel Aguiar	Ecuador	lilia.peniafiel@aguquito.gob.ec	
9	Ricardo Alfredo Mata Zelaya	El Salvador	rmata.hidro@gmail.com	
10	Cristian Ramírez Argueta	Honduras	cristianramirez1610@gmail.com	
11	Juan Carlos Aparicio González	Mexico	jcapariciog@gmail.com	
12	Blanca de Jesús Carteño Martínez	Mexico	blancartmart@hotmail.com	
13	Oscar Arnoldo Escolero	Mexico	escolero@geologia.unam.mx	
14	Luis González Hita	Mexico	gonzhita@gmail.com	
15	Dustin Silverio Mañon Flores	Mexico	skyzenknd@hotmail.com	
16	Miguel Angel Mejia González	Mexico	miguelangelmejiagonzalez@gmail.com	
17	Eric Morales Casique	Mexico	ericmc@geologia.unam.mx	
18	Juan Pérez Quezadas	Mexico	pquezadas_1@hotmail.com	
19	Carlos Roberto Chevez Novoa	Nicaragua	carlos.chevez@rh.ineter.gob.ni	
20	Kathia Tamara Broce Mack	Panamá	kathia.broce@utp.ac.pa	
21	Alexander Dario Esquivel López	Panamá	alexander.esquivel@utp.ac.pa	
22	Maria Leticia Montiel Leguizamon	Paraguay	letuskam@gmail.com	
23	Javier Germán Gregorio	Uruguay	jgregorio@fing.edu.uy	
24	Beatriz Celeste Angulo Saldiña	Venezuela	angulobcs@gmail.com	
25	José Corcho	IAEA	Jose.corcho@babs.admin.ch	
26	Daniel Martínez	IAEA	demarti@mdp.edu.ar	

Figura 53 Lista de asistencia del curso regional

COORDINACIÓN DE HIDROLOGÍA

SUBCOORDINACIÓN DE HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

LABORATORIO DE HIDROLOGÍA ISOTÓPICA






INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

Paseo Cuauhnáhuac 8532
Col. Progreso
62550 Jiutepec, Morelos
México

Teléfono: 52 (777) 329 3600 Ext. 805
Fax: 52 (777) 329 3600
Correo electrónico: lghita@tloloc.imta
Página web: www.gob.mx/imta



ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA
Hidrología Isotópica
PO Box 100, 1400 Vienna, Austria
Teléfono: (+43-1) 2600-21734
Fax: (+43-1) 2600-7
Página web: www.iaea.org

CURSO REGIONAL DE CAPACITACIÓN SOBRE USO DE TÉCNICAS ISOTÓPICAS PARA LA DATACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Del 9 al 13 de septiembre de 2019
Hotel Holiday Inn Cuernavaca





Como parte de los compromisos establecidos entre el IMTA y el Organismo Internacional de Energía Atómica, a través del proyecto RLA7024 "Integración de la Hidrología isotópica en las Evaluaciones Nacionales de los Recursos Hídricos" se desarrollará el "Curso regional de capacitación sobre uso de técnicas isotópicas en la datación de aguas subterráneas" del 9 al 13 de septiembre de 2019, en el hotel Holiday Inn Cuernavaca.

PROGRAMA

- Datación de aguas subterráneas: conceptos básicos y técnicas de datación.
- Datación de aguas jóvenes: Tritio (3H).
- Gases disueltos en agua: conceptos básicos.
- Datación de aguas jóvenes: Tritio/Helio-3 (3H/3He), BSK, CFC's y SF6.
- Modelos de parámetros agregados: conceptos básicos.
- Uso combinado de trazadores: ejercicios y casos de estudio.
- Datación de aguas viejas: 14C.
- Datación de aguas fósiles: 4He, 81Kr y 36Cl.

Se recomienda ampliamente traer Laptop

INSTRUCTORES
Dr. José Antonio Corcho Alvarado
Dr. Daniel Emilio Martínez
Expertos del Organismo Internacional de Energía Atómica

Lugar: Hotel Holiday Inn Cuernavaca Fecha: Del 9 al 13 de septiembre de 2019

ALCANCES

El curso tiene como objetivo capacitar a los participantes en la aplicación de técnicas isotópicas y de trazadores en la determinación de la edad del agua subterránea para la caracterización y gestión de los sistemas hidrológicos, conocer los conceptos de edad del agua y de la distribución de tiempos de residencia de los flujos subterráneos en acuíferos detríticos y medios fracturados, métodos prácticos y teóricos sobre aplicación de isótopos y técnicas de trazadores para la datación de aguas en la evaluación y manejo de sistemas hidrológicos, uso de diferentes herramientas geoquímicas de datación, simulación de distribuciones de edades de agua subterránea, e incorporación de herramientas isotópicas en el modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico de áreas de estudio para guiar trabajos futuros más precisos y confiables.

En el curso regional participan representantes de: Argentina, Bolivia, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, El Salvador, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, República Dominicana, Uruguay y Venezuela.

HIDROLOGÍA ISOTÓPICA

El uso de isótopos ambientales permite obtener información probada del comportamiento del agua en el ciclo hidrológico. Se considera que la información que proporcionan es complementaria de los métodos tradicionales de la ingeniería y de las ciencias del agua, en algunos casos es única. En especial, es útil para conocer la génesis y evolución de las aguas subterráneas.



LABORATORIO DE HIDROLOGÍA ISOTÓPICA

El laboratorio de hidrología isotópica del IMTA cuenta con instalaciones instrumentales y metodologías para la medición de la composición isotópica del agua, mediante espectroscopia láser y espectrometría de masas, contenido de tritio ambiental por enriquecimiento electrohídrico y medición de carbono-14 mediante síntesis del benceno.




Figura 54 Tríptico promocional del curso regional

RLA7024 Curso Regional de Capacitación Sobre uso de Técnicas Isotópicas en la Datación de Aguas Subterráneas		
IAEA - México		PROGRAMA
9 AL 13 SEPTIEMBRE DE 2019, 9:00 A 18:00 HRS., SEDE SALON RUFINO, HOTEL HOLIDAY INN CUERNAVACA, MORELOS, MEXICO		
LUNES 09		
ACTIVIDAD	HORA	
1	REGISTRO DE PARTICIPANTES	TODOS 08:30-09:00
2	PALABRAS DE BIENVENIDA	Director General del IMTA 09:00-09:20
3	<i>Introducción al curso / motivación</i> 09:20-9:40	
4	<i>Presentación de participantes</i> 9:40-10:40	
5	DESCANSO/COFFE BREAK 10:40-11:00	
6	<i>Datación de aguas subterráneas: conceptos básicos</i> 11:00-13:00	
7	ALMUERZO 13:00-14:30	
8	<i>Datación de aguas subterráneas: técnicas de datación</i> 14:30-15:15	
9	<i>Datación de aguas jóvenes: Tritio (3H)</i> 15:15-16:00	
10	DESCANSO/COFFE BREAK 16:00-16:15	
11	<i>Ejercicios y casos de estudio</i> 16:15-17:45	
12	<i>Recapitulación día 1</i> 17:45-18:00	
MARTES 10		
13	<i>Gases disueltos en agua: conceptos básicos</i> 09:00-10:45	
14	DESCANSO/COFFE BREAK 10:45-11:00	
15	<i>Datación de aguas jóvenes: Tritio/Helio-3 (3H/3He)</i> 11:15-12:30	
16	<i>Ejercicios y casos de estudio</i> 12:30-13:00	
17	ALMUERZO 13:00-14:30	
18	<i>Datación de aguas jóvenes: 85Kr</i> 14:30-15:15	
19	<i>Datación de aguas jóvenes: CFC's y SF6</i> 15:15-16:00	
20	DESCANSO/COFFE BREAK 16:00-16:15	
21	<i>Ejercicios y casos de estudio</i> 16:15-17:45	
22	<i>Recapitulación día 2</i> 17:45-18:00	
23	EVENTO DE CORDIALIDAD 19:30-22:30	
MIÉRCOLES 11		
24	<i>Modelos de parámetros agregados: conceptos básicos</i> 09:00-10:45	
25	DESCANSO/COFFE BREAK 10:45-11:00	
26	<i>Uso combinado de trazadores: casos de estudio</i> 11:15-13:00	
27	ALMUERZO 13:00-14:30	
28	<i>Datación de aguas con edades intermedias: 39Ar</i> 14:30-15:15	
29	<i>Ejercicios y casos de estudio</i> 15:15-16:00	
30	DESCANSO/COFFE BREAK 16:00-16:15	
31	<i>Uso combinado de trazadores: Ejercicios y casos de estudio</i> 16:15-17:45	
32	<i>Recapitulación día 3</i> 17:45-18:00	
JUEVES 12		
33	<i>Datación de aguas viejas: 14C</i> 09:00-10:45	
34	DESCANSO/COFFE BREAK 10:45-11:00	
35	<i>Datación de aguas viejas: 14C</i> 11:15-13:00	
36	ALMUERZO 13:00-14:00	
37	<i>Datación de aguas fósiles: 4He, 81Kr y 36Cl</i> 14:00-15:30	
38	<i>Casos de estudio</i> 15:30-16:30	
40	<i>visita al laboratorio de hidráulica e hidrología isotópica del IMTA</i> 16:30-18:00	
VIERNES 13		
41	<i>Presentación de proyectos nacionales</i> 09:00-10:45	
42	DESCANSO/COFFE BREAK 10:45-11:00	
43	<i>Presentación de proyectos nacionales</i> 11:15-13:00	
44	ALMUERZO 13:00-14:30	
45	<i>Recapitulación del curso y examen</i> 14:00-16:00	
46	<i>Entrega de certificados/diplomas</i> 16:00-17:30	

Figura 55 Programa del curso regional

10. DESARROLLO DE ACTIVIDADES 2019 DEL PROYECTO REGIONAL PLURIANUAL RLA7024 ESTABLECIDO CON EL OIEA

Misiones de experto de medio término del Proyecto RLA7024
PROYECTO REGIONAL RLA7024 “INTEGRACIÓN DE LA HIDROLOGÍA ISOTÓPICA EN LAS EVALUACIONES NACIONALES DE LOS RECURSOS HÍDRICOS”



Figura 56 Fotografía de la reunión con autoridades de las dependencias nacionales colaboradoras con el proyecto RLA7024

El Organismo Internacional de Energía Atómica desarrolla el Proyecto Regional RLA7024 “Integración de la Hidrología isotópica en las Evaluaciones Nacionales de los Recursos Hídricos” con el propósito de asistir a los Estados Miembros en el desarrollo de un plan de acción para la evaluación integral de sus recursos hídricos, con énfasis en las aguas subterráneas, haciendo uso de metodologías sistemáticas basadas en principios científicos, incluida la hidrología isotópica. Con esta estrategia, se espera cerrar las brechas que existen en la generación de información técnica sobre el funcionamiento de los sistemas hidrológicos, para mejorar su administración, aprovechamiento y protección sustentables.

El proyecto RLA7024 es plurianual, con vigencia para el período 2018-2021, en el cual participan como países líder México, a través del IMTA, Colombia, Paraguay y Bolivia. Las instituciones mexicanas que colaboran con el IMTA en el desarrollo del

proyecto, son: Instituto de Geología de la UNAM, Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional de la CONAGUA y el Sistema de Aguas de la CDMX. Al inicio del proyecto, las instituciones nacionales participantes plantearon sus colaboraciones en los siguientes temas:

- Coordinación del Servicio Meteorológico Nacional: Operación de la Red Nacional de Monitoreo Isotópico de la Precipitación Pluvial (RENIP) e incorporación de datos de la química e isotopía de la lluvia en las aguas atmosféricas;
- Sistema de Aguas de la Ciudad de México: Operación de la RENIP y caracterización química e isotópica de los acuíferos profundos de la Cuenca del Valle de México
- Instituto de Geología en el estudio y caracterización de los acuíferos de Sonora y cuenca del Valle de México mediante el concepto hidrogeológico de flujos regionales.

Como parte de los compromisos establecidos en el presente proyecto, se realizó una misión de expertos de medio término, con el objeto de proporcionar orientación estratégica para mejorar la planeación nacional sobre gestión de recursos hídricos, la reunión se llevó a cabo del 28 al 30 de octubre del presente año, con la visita de los expertos Dra. Emilia Bocanegra y el Dr. Ricardo Sánchez Murillo.

DRA. EMILIA BOCANEGRA

Ingeniero de Petróleos y Doctorado en Ingeniería de Recursos Hídricos.

Profesora fundadora del Grupo de Investigación Hidrogeología y Directora de la Escuela de Postgrado de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Mar del Plata, Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario.

Experta y Consultora de la Agencia Internacional de Energía Atómica de Naciones Unidas.

Directora de proyectos nacionales e internacionales sobre el impacto de las actividades humanas sobre los recursos hídricos subterráneos.

Autora de 115 publicaciones científicas.

Vicepresidente de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos para América Latina y el Caribe (2000-2008).

20 Conferencias invitadas en Europa y Latinoamérica.

DR. RICARDO SÁNCHEZ MURILLO

Ph.D. Water Resources, Isotope Hydrology, May 2014, M.Sc. Water Resources, Hydro-Chemical Modeling, Profesor investigador en la Escuela de Química de la Universidad Nacional de Costa Rica. Es Coordinador del Grupo de Investigación en Isótopos Estables de la Universidad Nacional de Costa Rica. Experto y consultor del

Organismo Internacional de Energía Atómica, cuenta con más de 10 años de experiencia en hidrología isotópica, su principal tema de investigación radica en la utilización de trazadores ambientales para el entendimiento de procesos hidrológicos superficiales, subterráneos y atmosféricos en ecosistemas tropicales. Su trabajo en la región Latinoamericana y Caribe incluye estudios en Costa Rica, Nicaragua, El Salvador, Bahamas, Cuba, Brasil y Chile. Es autor de varios artículos iniciados en revistas

científicas. Adicionalmente el Dr. Sánchez-Murillo colabora activamente como revisor de las siguientes revistas internacionales: Journal of Hydrology, Hydrological Sciences, Mountain Research and Development, Applied Water Science, Isotopes in Environmental and Health Studies, Geophysical Research Letters, Hydrological Processes (Editor invitado para la edición especial: Stable Isotopes in Hydrological Studies in the Tropics Hydrological Processes Journal (2017-2018), International Journal of Tropical Biology and Conservation.

LISTA DE ASISTENCIA				
PROYECTO REGIONAL RLA7024 "INTEGRACIÓN DE LA HIDROLOGÍA ISOTÓPICA EN LAS EVALUACIONES NACIONALES DE LOS RECURSOS HÍDRICOS"				
Misión de expertos del OIEA de revisión de medio término Dra. Emilia Bocanegra y Dr. Ricardo Sánchez Murillo				
Lunes 28 de Octubre de 2019. 11:00 A 15:00 HRS.				
INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA, MORELOS, MEXICO				
Nº	NOMBRE	DEPENDENCIA	CORREO	FIRMA
1	Dr. Adrián Pedrozo Acuña	IMTA	adrian - pedro @ hta. imta. mx	[Firma]
2	Dr. Agustín Acosta Naranjo	IMTA		
3	Dr. Laurent Guillaume Courty	IMTA		
4	Dra. Maricarmen Espinosa Bouchot	IMTA	maricarmen - espinosa @ hta. imta. mx	[Firma]
5	Dr. Alberto Rojas Rueda	IMTA	alberto - rojas @ hta. imta. mx	[Firma]
6	M.C. Malinali Domínguez Mares	IMTA	malinali - dominguez @ hta. imta. mx	[Firma]
7	M.C. Marco Antonio Sánchez Izquierdo	IMTA		
8	M.C. Carlos Gutierrez Ojeda	IMTA	cgutierrez @ hta. imta. mx	[Firma]
9	Dr. Julio Cesar Soriano Monzalvo	IMTA		
10	Dr. Martín José Montero Martínez	IMTA	mmontero @ hta. imta. mx	[Firma]
11	Dr. José Antonio Salinas Prieto	IMTA		
12	Dr. Miguel Ángel Mejía González	IMTA	mmejia @ hta. imta. mx	[Firma]
13	Fis. Luis González Hita	IMTA	lhita @ hta. imta. mx	[Firma]
14	Dr. Heber Saucedo Rojas	CONAGUA		
15	M.I. Pedro Rafael Soto Navarro	CONAGUA	- pedro.soto @ conagua.gob.mx	[Firma]
16	Ing. Miguel Ángel Gallegos Benitez	CGSMN	miguel.gallegos @ conagua.gob.mx	[Firma]
17	Ing. Modesto Mendoza González	CGSMN	modestomendoza @ conagua.gob.mx	[Firma]
18	M.I. Claudia Lucia Hernández Martínez	SACMEX		
19	M.I. Talisia Anaf Domínguez Sánchez	SACMEX	Talisia.ana @ gmail.com	[Firma]
20	M. I. Sergio Ramos Tapia	SACMEX		
21	M. I. Ignacio Noriega Rioja	SACMEX		
22	Ing. Santiago Maldonado Bravo	SACMEX		
23	Dr. Eric Morales Casique	IGEOUNAM	eric.m.c @ geologia.unam.mx	[Firma]
24	Dr. Oscar Escolero Fuentes	IGEOUNAM	escolero @ geologia.unam.mx	[Firma]
25	Dr. Juan Pérez Quezadas	IGEOUNAM	quezadas.j @ hotmail.com	[Firma]
26	M.C. Rogelio Mondragón Bonilla	INEGI	rogelio.mondragon @ inegi.org.mx	[Firma]
27	M.I. Ismael del Carmen Sandoval Montes	INEGI		
28	Ing. Uriel Martín Pedraza Rodríguez	INEGI		
29	Dra. Emilia Maria Bocanegra	IAEA	emilia.bocanegra @ gmail.com	[Firma]
30	Dr. Ricardo Sánchez Murillo	IAEA	ricardo.sanchez.murillo @ unam.mx	[Firma]
31				
32				
33				

Figura 57 Lista de asistencia a la reunión de autoridades de alto nivel

PROYECTO REGIONAL RLA7024 "INTEGRACIÓN DE LA HIDROLOGÍA ISOTÓPICA EN LAS EVALUACIONES NACIONALES DE LOS RECURSOS HÍDRICOS" Misión de expertos del OIEA de revisión de medio término Dra. Emilia Bocanegra y Dr. Ricardo Sánchez Murillo PROGRAMA DE ACTIVIDADES			
28 AL 31 OCTUBRE DE 2019, SALA DE CONSEJO, INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGIA DEL AGUA, JIUTEPEC, MORELOS, MEXICO			
LUNES 28			HORA
<i>Reunión de trabajo de los expertos con la contraparte principal, autoridades de alto nivel e instituciones vinculadas o interesadas en el proyecto</i>			
1	PALABRAS DE BIENVENIDA AI IMTA	Director General del IMTA	11:00-11:15
2	<i>Objetivo y alcances de la reunión (Emilia Bocanegra)</i>		11:15-11:30
3	<i>Presentación de representantes de instituciones invitadas y participantes vinculados con el proyecto</i>		11:30-11:45
4	<i>Presentación del proyecto RLA/7/024 y de la metodología IWAVE (Expertos OIEA)</i>		11:45-12:15
5	DESCANSO/COFFE BREAK		12:15-12:30
6	<i>Presentaciones de experiencias de gestión y/o de estudios de recursos hídricos en el ambito de competencia de instituciones invitadas (Representantes de instituciones invitadas)</i>		12:30-14:00
7	COMIDA		14:00-15:00
8	<i>Reunión de trabajo de los expertos con: la contraparte principal, participantes de instituciones que colaboran activamente y especialistas de instituciones que deseen participar en el proyecto</i>		15:15-16:00
9	<i>Presentación del estado de ejecución del plan de acción: avances, dificultades y logros</i>		16:00-17:00
10	<i>Revisión del plan de trabajo 2019, 2020 y 2021, presupuesto, y propuestas de actualización y mejora</i>		17:00-18:00
MARTES 29 (*)			
MIÉRCOLES 30			
11	<i>Reunión de trabajo de los expertos con la contraparte principal y los participantes que colaboran activamente en el proyecto para revisión y consolidación del informe de medio término</i>		9:00-13:30
12	COMIDA		13:30-15:00
13	<i>Desarrollo y presentación de propuesta para informe de síntesis nacional para última reunión de coordinación del proyecto</i>		15:00-18:00

NOTA

(*) El día martes 29 de octubre, los expertos del OIEA se reunirán con la Oficial Nacional de Enlace de la Secretaría de Energía (NLO-México) para presentar los objetivos y alcances del proyecto RLA7024.

Figura 58 Programa de la reunión

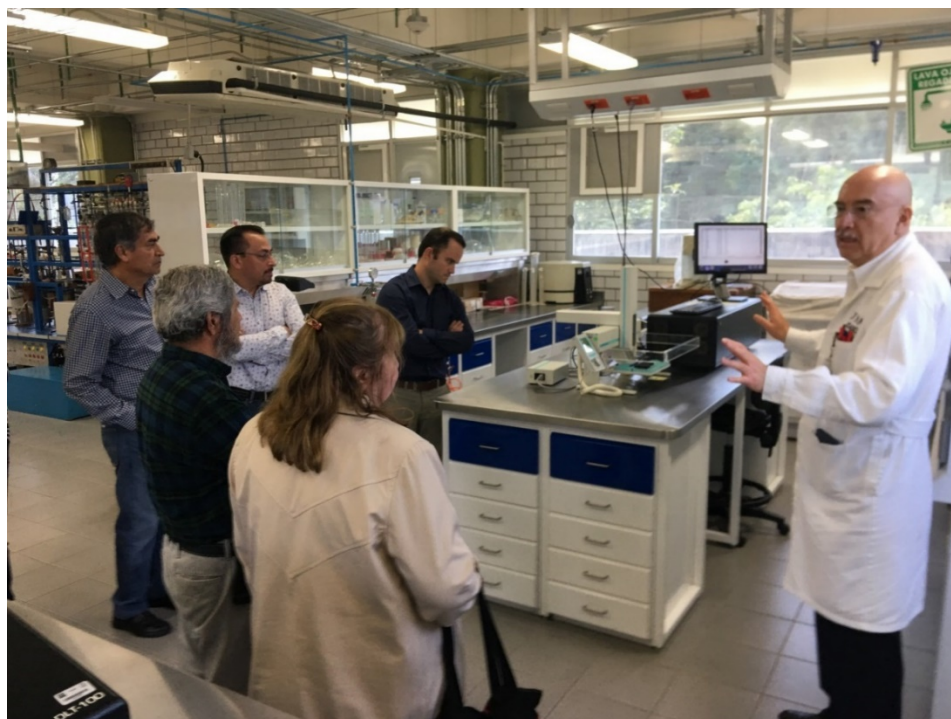


Figura 59 Visita al laboratorio de isotopos estables en la UNAM

11. INFORME DE REUNIÓN INTERMEDIA DE COORDINADORES DE PROYECTO

Uno de los objetivos de la reunión intermedia de coordinadores de proyecto del proyecto regional RLA7024 fue la elaboración de un informe de los avances del proyecto. El informe elaborado durante la reunión fue el siguiente.

PROYECTO REGIONAL RLA7024

INTEGRACIÓN DE LA HIDROLOGÍA ISOTÓPICA EN LAS EVALUACIONES NACIONALES DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

Informe de Reunión Intermedia de Coordinadores de Proyecto



IMTA, Cuernavaca, Morelos, México 28-30 de Octubre, 2019

I) Introducción

El Organismo Internacional de Energía Atómica desarrolla el Proyecto Regional RLA7024 “Integración de la Hidrología Isotópica en las Evaluaciones Nacionales de los Recursos Hídricos” con el propósito de asistir a los Estados Miembros en el

desarrollo de un plan de acción para la evaluación integral de sus recursos hídricos, con énfasis en las aguas subterráneas, haciendo uso de metodologías sistemáticas basadas en principios científicos, incluida la hidrología isotópica, para mejorar su administración, aprovechamiento y protección sustentables.

Con el propósito de verificar los avances y estrategias para cumplir con los objetivos del proyecto y proporcionar orientación estratégica para mejorar la planeación nacional sobre gestión de recursos hídricos, se realizó una misión de expertos de medio término, del 28 al 31 de octubre del presente año, en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), con la visita de los expertos Dra. Emilia Bocanegra y el Dr. Ricardo Sánchez Murillo.

a. Participantes en la reunión

Las autoridades de alto nivel y especialistas que participaron en el evento, por parte del país anfitrión, son:

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA)

Dr. Adrián Pedrozo Acuña, Director General

Dra. Maricarmen Espinosa Bouchot, Coordinadora de Calidad del Agua

M.C. Malinali Domínguez Mares, Coordinadora de Asesores

M.C. Carlos Gutierrez Ojeda, Subcoordinador de Hidrología Subterránea

Dr. Martín José Montero Martínez, Tecnólogo del Agua

Dr. Miguel Ángel Mejía González, Tecnólogo del Agua

Fis. Luis González Hita, Tecnólogo del Agua

Ing. Dustin Silverio Mañón Flores, Técnico Especializado

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)

M.I. Pedro Rafael Soto Navarro, Subgerente de Exploración y Monitoreo

Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional (CGSMN)

Ing. Miguel Ángel Gallegos Benitez, Subgerente de pronóstico Meteorológico

Ing. Modesto Mendoza González, Jefe de Proyecto de Base de Datos e Imágenes

Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX)

M.I. Talisia Anaí Domínguez Sánchez, Subdirectora de información y Análisis

Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México (IGEOUNAM)

Dr. Eric Morales Casique, Secretario Académico del Instituto de Geología

Dr. Oscar Escolero Fuentes, Jefe del Departamento de Dinámica Terrestre Superficial
Dr. Juan Pérez Quezadas, Investigador asociado C

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)

M.C. Rogelio Mondragón Bonilla, Jefe del Departamento de Hidrología

b. Objetivos y resultados esperados

Presentar a las nuevas autoridades encargadas de la gestión de los recursos hídricos la metodología IWAVE y asistir en la actualización del plan de acción para la evaluación integral de los recursos hídricos, con énfasis en las aguas subterráneas, haciendo uso de metodologías sistemáticas basadas en principios científicos, incluida la hidrología isotópica.

Evaluar las capacidades actuales, metodologías y análisis del laboratorio de hidrología isotópica del IMTA.

Se espera que al final de la misión de expertos del OIEA, las autoridades que realizan la gestión o realizan estudios e investigaciones de los recursos hídricos, tengan una visión actualizada del proyecto regional RLA7024, con el propósito de fortalecer las capacidades y reducir las debilidades que aún persisten, a fin de mejorar el conocimiento del funcionamiento y naturaleza de los recursos hídricos con base en la ciencia y tecnologías del agua, incluida la hidrología isotópica.

Incrementar la colaboración, participación y comunicación entre las instituciones, así como entre especialistas y técnicos dedicados al estudio e investigación de los recursos hídricos, para coadyuvar o establecer sinergias en planes de acción que contribuyan a la gestión y aprovechamiento sustentables de los recursos hídricos del país.

Tener una visión clara del estado actual de avance del proyecto regional, reorientar las actividades que hayan tenido dificultades en su ejecución, definir las causas que hayan afectado el desarrollo de las actividades originalmente planeadas en la primera reunión de coordinación, actualizar el plan de trabajo de las actividades por realizar para obtener los resultados esperados y la consecución exitosa de los objetivos del proyecto.

Evaluar las capacidades actuales del laboratorio de hidrología isotópica para apoyar la investigación y estudio de los recursos hídricos del país y de la región.

II) Cumplimiento de los objetivos del proyecto

El objetivo general del proyecto es expandir la capacidad técnica para realizar evaluaciones integrales de los recursos hídricos, en apoyo de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 6), promoviendo el uso de la hidrología isotópica en

América Latina. Para ello, las instituciones mexicanas que colaboran activamente en el desarrollo del proyecto, son: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Instituto de Geología de la UNAM, Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional (CONAGUA), y Sistema de Aguas de la Ciudad de México. En la primera reunión de coordinación de agosto del 2018, en el marco del proyecto, las instituciones nacionales participantes plantearon sus colaboraciones en los siguientes temas:

- Coordinación del Servicio Meteorológico Nacional: Operación de la Red Nacional de Monitoreo Isotópico de la Precipitación Pluvial (RENIP) e incorporación de datos de la química e isotopía de la lluvia en el estudio de las aguas atmosféricas;
- Sistema de Aguas de la Ciudad de México: Operación de la RENIP y caracterización química e isotópica de los acuíferos profundos del Valle de México.
- Instituto de Geología en el estudio y caracterización del sistema río Sonora y Cuenca de México, mediante el concepto hidrogeológico de flujos regionales.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua: Instrumentar y operar una red nacional de monitoreo de la composición isotópica de la precipitación pluvial; realizar la caracterización geoquímica e isotópica de los flujos que recargan el acuífero profundo del Valle de México; Determinar los estratos que pueden producir agua de buena calidad en el acuífero granular de la Comarca Lagunera de los estados de Coahuila y Durango.

Como consecuencia de la misión de expertos de medio término para revisar el grado de cumplimiento de los objetivos, y proporcionar orientación estratégica para mejorar la planeación sobre gestión de recursos hídricos en el marco del proyecto, se considera que el cumplimiento de los objetivos es alto y la orientación estratégica de mejora, propuesta a las nuevas autoridades del país, ha sido efectiva.

Con base en la revisión de avance del proyecto, en el período 2018-2019 se han desarrollado las actividades que se describen a continuación:

A) Con el propósito de fortalecer la capacidad técnica e integrar la hidrología isotópica en la evaluación de los recursos hídricos, se ha consolidado una red nacional de monitoreo químico e isotópico de la precipitación pluvial (RENIP), la cual cuenta con 29 estaciones de captación de muestras mensuales acumuladas de lluvia, instaladas en las provincias fisiográficas y de precipitación pluvial que integran el territorio nacional.

Los equipos están instalados en los espacios que ocupa la red de observatorios de la Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA); así como, en las estaciones climatológicas del

Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX) y del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

La red aporta información de la composición isotópica estable de H y O y contenido de tritio ambiental de la precipitación pluvial a nivel nacional, mediante bases de datos en proceso de ser incorporadas en boletines y/o portales de información, disponibles para usuarios que los requieran. Se han generado mapas isotópicos preliminares (*isoscapes*) con datos generados a la fecha. Esta información ya se utiliza en proyectos de evaluación de recursos hídricos en el sureste de México; por ejemplo, en el estudio hidrogeológico del acuífero de Xpujil, estado de Campeche, y otros estudios de caso que realiza el IMTA.

Con el mismo propósito de expandir la capacidad técnica, se cuenta con el laboratorio de hidrología isotópica del IMTA, el cual cuenta con la infraestructura instrumental y metodologías para la medición de los contenidos de isótopos estables de H y O y tritio ambiental en muestras de agua natural.

El análisis del contenido de isótopos estables de H y O en agua natural se realiza en analizadores láser: *Cavity Ringdown Spectrometer L2110-i Isotopic H₂O Picarro con vaporizador de alta precisión y/o analizador láser Los Gatos Research LWIA-45EP*, los cuales han sido proporcionados por el OIEA.

El contenido de tritio ambiental, se determina por enriquecimiento electrolítico y conteo por centelleo líquido de la emisión beta del tritio, mediante una unidad compacta (TEU), proporcionada por el OIEA, y mediante contadores de alta sensibilidad y ultrabajo nivel de actividad Packard 2560TR/XL y Quantulus GCT 6220.

La calidad de las mediciones está reconocida por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), a través de ejercicios de intercomparación en el que participan laboratorios especializados (WICO2016, TRIC2018, IC-LAC2018).

B) Como parte de las actividades establecidas en el proyecto RLA7024, se desarrolló el **“Curso Nacional de Aplicación de Isótopos Estables en el Estudio de las Aguas Atmosféricas, Superficiales y Subterráneas”** en el Centro de Capacitación del IMTA del 9 al 13 de julio de 2018.

El curso tuvo como objetivo proveer los conceptos básicos de hidrología isotópica, introducir las distintas técnicas de muestreo isotópico en el ciclo hidrológico, analizar los principales factores que gobiernan las variaciones isotópicas en zonas tropicales y latitudes medias, estudiar la relación entre la composición isotópica y el transporte de humedad, principalmente en los procesos de formación de precipitación, introducir las aplicaciones de las mediciones isotópicas en los estudios hidrogeológicos y meteorológicos, e introducir los conceptos de modelación espacial isotópica, *Isoscapes*, con principal atención en mapas isotópicos de aguas subterráneas.

Se contó con la participación de 24 especialistas de las siguientes instituciones:

- Instituto de Geología de la UNAM
- Servicio Meteorológico Nacional de la CONAGUA
- Organismos de Cuenca de la CONAGUA,

- Sistema de Aguas de la Ciudad de México
- Gerencia Operativa del Cotas San Juan Del Río Querétaro
- Instituciones interesadas en el tema de la aplicación de los isótopos ambientales

El curso fue dictado por el Dr. Ricardo Sánchez Murillo, experto del Organismo Internacional de Energía Atómica, profesor investigador en la Escuela de Química de la Universidad Nacional de Costa Rica

C) Se desarrolló el “**Curso Nacional de Caracterización Química e Isotópica de las Aguas Atmosféricas**” en el Centro de Capacitación del IMTA del 01 al 05 de julio de 2019.

El curso tuvo como objetivo proveer capacitación en los conceptos y fundamentos teóricos de la hidrología isotópica, con énfasis en la caracterización química e isotópica de las aguas atmosféricas; proveer entrenamiento práctico para la colecta y almacenamiento correcto de muestras de agua de lluvia, para el análisis químico e isotópico; introducir los principios básicos para el análisis estadístico de datos y métodos de modelación espacial de datos isotópicos y químicos, con especial atención a las aguas meteóricas; motivar a los participantes a realizar ejercicios y cálculos básicos para la creación de gráficas y mapas; conducir interpretaciones preliminares basadas en datos obtenidos en diferentes regiones del mundo y de los proyectos en curso, o incluso de datos proporcionados por los propios participantes; y, finalmente, presentar ejemplos de casos de estudio.

En el curso participaron 25 especialistas y técnicos de las instituciones siguientes:

- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
- Instituto de Geología de la UNAM
- Sistema de Aguas de la Ciudad de México
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía
- Sistema Intermunicipal de Agua y Saneamiento de Zacatecas
- Instituciones interesadas en el tema de la aplicación de los isótopos ambientales.

El curso fue dictado por el Dr. Ricardo Sánchez Murillo, Experto del Organismo Internacional de Energía Atómica, profesor investigador en la Escuela de Química de la Universidad Nacional de Costa Rica.

D) Se desarrolló el “**Curso Regional de Capacitación Sobre Uso de Técnicas Isotópicas en la Datación de Aguas Subterráneas**” del 9 al 13 de septiembre de 2019, en Cuernavaca, Morelos. El objetivo fue capacitar a los participantes en la aplicación de técnicas isotópicas y de trazadores en la determinación de la edad

del agua subterránea para la caracterización y gestión de los sistemas hidrológicos, conocer los conceptos de edad del agua y de la distribución de tiempos de residencia de los flujos subterráneos en acuíferos detríticos y medios fracturados, métodos prácticos y teóricos sobre aplicación de isótopos y técnicas de trazadores para la datación de agua en la evaluación y manejo de sistemas hidrológicos, uso de diferentes herramientas geoquímicas de datación, simulación de distribuciones de edades de agua subterránea, e incorporación de herramientas isotópicas en el modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico de áreas de estudio para guiar trabajos futuros más precisos y confiables.

El curso regional contó con la participación de 24 representantes de los siguientes países: Argentina, Bolivia, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, El Salvador, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, República Dominicana, Uruguay y Venezuela.

Los instructores del curso fueron:

- Dr. José Antonio Corcho Alvarado, Radiochemistry / Inorganic Analysis Branch, Federal Department of Defence, Civil Protection and Sports (DDPS), Federal Office for Civil Protection (FOCP), SPIEZ LABORATORY, Nuclear Chemistry Division, Suiza.
- Dr. Daniel Emilio Martínez, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (CONICET), Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina.

E) Con respecto a la aplicación de ciencias y tecnologías del agua con integración de la hidrología isotópica, se han hecho avances importantes en mejorar el conocimiento a nivel nacional sobre la disponibilidad, sostenibilidad y vulnerabilidad de los recursos hídricos.

Los estudios de caso en proceso de desarrollo son:

1. Acuífero de Sonora (Juan Pérez Quezada, UNAM)

El objetivo del proyecto es determinar el origen y la zona de recarga del agua subterránea y comprender el funcionamiento hidrogeológico integral del sistema regional Sonora.

Las actividades implementadas en este caso de estudio, han sido: recopilación y adecuación de información geográfica, hidrogeológica, hidrogeoquímica, climática e isotópica contenida en diversas fuentes como: páginas de internet

oficiales de diversas instituciones como son INEGI, CONAGUA, SGM, así como tesis, artículos científicos, informes técnicos, entre otros.

Paralelamente se dio de alta una estación recolectora de agua de lluvia en la Red Mundial de Isótopos en la Precipitación localizada en la ciudad de Hermosillo, Sonora, a la cual se le ha dado seguimiento al muestreo mensual. Hasta el momento se tienen resultados isotópicos de la lluvia ocurrida durante los meses de julio, agosto, septiembre y octubre del año 2018. Se logró tomar muestras mensuales, durante ese mismo tiempo de muestreo, en seis sitios distribuidos espacialmente distribuidos en un área mayor a 20,000 km² a la cual llamamos Red Local de Isótopos de la Precipitación. Esas muestras fueron analizadas en el Instituto de Geofísica, UNAM. Los datos están siendo procesados y conformando una publicación científica.

Se colabora con la Universidad de Sonora a través de estudiantes interesados en el tema. Como resultado de la colaboración, se está concluyendo un trabajo de tesis, nivel licenciatura con título: Identificación de fuentes de recarga al agua subterránea en los acuíferos Arizpe, Río Bacanuchi y Banamichi (zona norte de la cuenca del río Sonora) aplicando isotopos estables (¹⁸O y ²H).

En general, se ha avanzado parcialmente en el entendimiento del funcionamiento hidrológico integral de la cuenca hidrográfica Río Sonora, independientemente de fronteras geopolíticas.

2. Acuíferos de la Cuenca de México (Oscar Escolero, UNAM)

Dentro del marco del proyecto relacionado con las aplicaciones isotópicas para mejorar la gestión del agua que se lleva a cabo en la Cuenca de México, se realizaron recorridos de campo en donde se visitaron 406 sitios, de los cuales 73 son manantiales y 333 pozos. En estos 406 sitios se tomaron muestras para análisis de iones mayoritarios, elementos traza, isotopos estables de O e H e isotopos radioactivos de tritio y carbono-14.

Los primeros resultados de la química del agua de iones mayoritarios y elementos traza fueron analizados en el Instituto de Geología de la UNAM, y fueron usados para definir las componentes del sistema de flujo. Se identificaron las zonas de recarga o componentes locales, en donde el agua muestreada tiene una trayectoria de recorrido corta, poca evolución en cuanto a los iones mayoritarios del agua y bajas temperaturas. De igual forma se identificaron zonas con mayor evolución hidrogeoquímica y trayectorias de recorrido mayores a las componentes locales, en donde el ion sulfato es característico, llamadas componentes intermedias. A su vez, se han logrado identificar dos componentes regionales, la primera está relacionada con trayectorias de recorrido largas y mayor evolución hidrogeoquímica del agua y la segunda se encuentra relacionada a la presencia de fallas que funcionan como conductos los cuales permiten que agua de mayor profundidad se presente en zonas menos profundas, en donde la presencia de altas temperaturas y mayor evolución hidrogeoquímica refleja este comportamiento. Dentro de la caracterización de las componentes del sistema de

flujo se ha determinado la presencia de mezclas entre las componentes mencionadas anteriormente, esto se encuentra fuertemente relacionado con la extracción intensiva de agua subterránea en la cuenca, la presencia de estructuras geológicas complejas y el diseño constructivo de los pozos de extracción. En la siguiente etapa de este proyecto se planea relacionar estos resultados con las estimaciones isotópicas de O e H, tritio y carbono-14, con la finalidad de corroborar el modelo propuesto o ajustarlo.

Específicamente para los manantiales localizados en una de las zonas de recarga al noroeste de la Cuenca de México, se enviaron 41 muestras para análisis de isótopos estables de O e H a la Escuela de Química de la Universidad Nacional en Heredia, Costa Rica con la colaboración del Dr. Ricardo Sánchez Murillo. Los resultados de estos análisis están siendo procesados para generar el modelo conceptual y determinar la evolución hidrogeoquímica de los manantiales, con la finalidad de identificar cuales representan aguas de reciente infiltración y cuales tienen trayectorias más largas.

En lo referente a isótopos radiactivos, se colectaron 406 muestras para tritio y carbono-14 respectivamente, de las cuales se han seleccionados 100 muestras para su análisis en cada elemento.

Finalmente proponemos que la gestión del agua subterránea debe comenzar con una caracterización preliminar de las componentes del sistema de flujo. Comprender el funcionamiento de un sistema de flujo debería ser de los elementos claves para la implementación de acciones exitosas en la gestión del agua. Comprender la diferencia entre componentes químicamente más evolucionadas, auxiliara en planear estrategias de gestión que eviten extraer agua de mala calidad. De igual forma para la gestión del agua es importante considerar las variaciones de las estructuras geológicas y el diseño constructivo de los pozos. Diseños constructivos de pozos orientados a las características particulares de cada sitio auxiliaran en una mejor gestión de la calidad del agua, en favorecer o evitar mezclas entre componentes.

3. Exploración geoquímica e isotópica de los acuíferos profundos del Valle de México (Luis González Hita)

La importancia del estudio radica en el hecho de que la principal fuente de abastecimiento de agua de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México es el acuífero somero que la subyace. La extracción intensiva a que ha sido sometido, ha ocasionado su sobreexplotación, estrés hídrico y hundimiento del terreno. Diversos estudios hidrogeológicos del subsuelo del Valle de México sugieren la existencia de fuentes de agua dulce con posibilidades de ser aprovechadas, alojadas en rocas de origen volcánico y marino a profundidades de 2000m. Con este propósito se ha iniciado la exploración de los acuíferos profundos del Valle de México, con la perforación de pozos exploratorios profundos: San Lorenzo Tezonco de 2,008.5m, Agrícola Oriental 2B de 2,000m, Agrícola Oriental 2C de 1560m, Mixuca 1 de 2452m, Santa Catarina 3A de 2050m y El Mirador 2 de 2380m.

A la fecha se ha analizado el marco hidrogeológico regional y la caracterización de las propiedades geoquímicas e isotópicas estables de los flujos que captan los pozos exploratorios SLT y Santa Catarina, además de pozos que presentan anomalías termales y geoquímicas en la cuenca de México, para identificar el origen de la recarga y establecer los tiempos de residencia del agua subterránea. Los resultados obtenidos a la fecha de las campañas de muestreo, medición de parámetros de campo y resultados de laboratorio químicos e isotópicos, de manera preliminar, sugieren que el flujo captado por el pozo profundo SLT está formado por una mezcla de agua con una componente predominante, originada en las sierras Chichinautzin y Las Cruces y una componente minoritaria proveniente de las vulcanitas oligo-miocénicas, recargada en la porción norte del valle a una altitud de inferior a los 2400 msnm. La calidad del agua de la mezcla (STD = 1,145 mg/L) la controla la componente mayoritaria de agua dulce proveniente de la porción sur de la cuenca.

Las edades aparentes más antiguas, medidas con radiocarbono, resultaron para el agua del Pozo San Lorenzo Tezonco de 20,770 años (7.54 PCM), similar a la del Peñón de los Baños de 20,030 años (8.3 PCM). Este tiempo de residencia es consistente con la ausencia total de tritio ambiental en las muestras colectadas, lo cual indica que no se trata de aguas modernas. Este resultado sugiere que se trata de un sistema de circulación muy lenta, que se podía incrementar paulatinamente al desarrollarse los recursos de agua almacenados en el acuífero intermedio.

El IMTA, como parte de la sustitución del estudio de caso de la Comarca Lagunera, ha realizado trabajos en el pozo denominado Popotla, que permitieron identificar los estratos de agua de buena calidad, con lo cual se mejoró substancialmente la extracción del pozo, beneficiando a 30,000 usuarios directos del recurso y el ahorro de aproximadamente 10 millones de pesos estimados para la construcción de un nuevo pozo.

Los resultados del estudio mostraron la existencia de una estratificación vertical de la calidad del agua, debido a que el pozo capta dos sistemas de flujo subterráneo que circulan a diferente profundidad por medios geológicos distintos. El agua subterránea somera es de buena calidad (hasta 250 m), mientras que la profunda es de mala calidad (250m-400m). Los resultados también revelaron que la mayor parte del agua captada por el pozo, proviene del flujo somero. Las recomendaciones derivadas del estudio permitieron mejorar notablemente la calidad del agua: La alcalinidad total disminuyó 36%, la conductividad eléctrica 42%, el sodio total 50%, el nitrógeno amoniacal 52% y los cloruros 61%.

4. Comarca Lagunera

El caso de estudio queda fuera de los alcances del proyecto, a causa de ajustes presupuestales, cambio en las prioridades y planes de trabajo y reducción de personal en el Organismo de Cuenca Cuencas Centrales del Norte, CONAGUA. Esta

dependencia había ofrecido colaborar activamente en el estudio de la zona, para identificar los estratos del subsuelo de buena calidad en el acuífero principal de la Comarca Lagunera. Debido a la problemática arriba mencionada, no se tiene la capacidad de apoyo ni logística para desarrollar los trabajos de campo requeridos, siendo necesario cambiar la zona de estudio e incluir con el mismo alcance y objetivos los pozos de abastecimiento público operados por el Sistema de Aguas de la ciudad de México (SACMEX), que presentan deterioro en la calidad de las extracciones.

III) Resultados alcanzados asociados al proyecto

Los resultados alcanzados asociados al proyecto, derivados de los estudios realizados por las instituciones que participan activamente en el proyecto se describen a continuación.

Con respecto a la instalación, operación, medición de muestras, organización de datos y construcción preliminar de mapas isotópicos (*isoscapes*) de la RENIP, se cuenta con 29 colectores de lluvia acumulada, adquiridos por el IMTA e instalados de la siguiente manera: 25 en los observatorios de la Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional de la CONAGUA, y 3 en las estaciones climatológicas del Sistema de Aguas de la Ciudad de México y uno en el IMTA.

El mantenimiento de los equipos, consumibles, piezas de repuesto y envío de muestras al laboratorio, mediante servicio de paquetería, son solventados por el IMTA. La toma de muestras, medición de lluvia acumulada y preparación de muestras los realiza personal técnico de los observatorios del CGSMN y del SACMEX; el cual, fue capacitado durante la instalación de los equipos en campo.

La operación continua y sistematizada de la RENIP se garantiza mediante convenios de colaboración, establecidos entre el IMTA y la Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional de la CONAGUA y el Sistema de Aguas de la Ciudad de México. Es importante destacar el apoyo recibido por parte del OIEA en los rubros de equipo, consumibles, capacitación y visitas de expertos.

Resultado principal	Indicador	Resultados al final 2019
Mejorar el conocimiento a nivel nacional sobre la disponibilidad, sostenibilidad y vulnerabilidad de los recursos hídricos, integrando el uso de técnicas isotópicas en la gestión de los recursos hídricos.	Evaluaciones nacionales de los recursos hídricos completadas y publicadas por los países que implementan la metodología IWAVE al final del proyecto.	Se ha mejorado sustancialmente el conocimiento de las condiciones atmosféricas y formación de sistemas precipitantes mediante la red de monitoreo isotópico en aguas meteóricas. Además, se ha avanzado en el entendimiento de las condiciones hidrogeológicas de la cuenca del río Sonora y cuenca de México.

Producto	Indicador	Resultados a final 2019
Equipo de gestión del proyecto operativo.	Una misión preliminar para cada país piloto y tres reuniones de coordinación celebradas.	Se cuenta con un equipo consolidado de trabajo conformado por instituciones claves en la gestión de los recursos hídricos.
Identificación de los vacíos de información hidrológicos nacionales / provinciales y formalización de un acuerdo sobre las prioridades de información de datos.	En diciembre de 2019, un análisis de los vacíos de información hidrológica (priorizada), y un Plan de Acción formulado, de acuerdo con la metodología IWAVE, por cada país piloto.	Se han identificado vacíos de información y tres áreas prioritarias de estudio: cuenca de México, río Sonora y río Amacuzac.
Refuerzo de las capacidades institucionales y técnicas para completar los vacíos de información identificados tanto en la comprensión hidrológica, como en la producción de datos e información hidrológica.	En junio de 2020, todo el personal involucrado en el proyecto está debidamente capacitado sobre los requisitos comunes de capacidad nacional/regional para implementar la metodología IWAVE.	Se han realizado tres cursos de capacitación en hidrología isotópica y datación de aguas subterráneas.
Datos e información hidrológica producidos: extensión del acuífero, caracterización hidroquímica e isotópica de los recursos hídricos, balance hídrico, interacción de aguas superficiales y subterráneas, uso del agua y simulación de escenarios de cambio climático.	En junio de 2021, se dispone de una caracterización preliminar hidrológica, hidroquímica e isotópica de aguas superficiales y subterráneas, y una simulación preliminar de escenarios de cambio climático a nivel nacional, regional o provincial en cada país que esté implementando la metodología IWAVE.	Se ha generado bases de datos hidrométricas, isotópicas, hidroquímicas e hidrogeológicas en las cuencas del río Sonora y Valle de México, además de la caracterización química e isotópica por dos años de la lluvia en 28 colectores en todo el país.

IV) Principales dificultades encontradas en la ejecución del proyecto

Las principales dificultades que se han presentado, y que han influido en la consecución de los objetivos y alcances planteados en el programa inicial del proyecto, son los cambios en la administración federal por ejercicio de nuevo gobierno en el país a partir de principios del 2019. Los acuerdos derivados de la misión de expertos realizada en abril del 2018, en la cual se presentó la metodología IWAVE, diseñada por el OIEA para fortalecer la capacidad nacional de los Estados Miembros a llevar evaluaciones hidrológicas integrales para mejora de la gestión de sus recursos hídricos; así como escuchar a las distintas instituciones nacionales vinculadas al conocimiento y gestión de los recursos hídricos, han cambiado. Las nuevas autoridades de alto nivel, en algunos casos, han establecido nuevos objetivos y prioridades. Los directivos y autoridades de alto nivel que participaron en la reunión de expertos de abril del 2018 ya no están en el cargo.

Es importante considerar que la comunicación de los técnicos y especialistas que participan activamente en el proyecto con las autoridades de alto nivel, a cargo de las instituciones y de los sistemas que realizan la administración y estudios de los recursos hídricos, es compleja y difícil de realizar. Por esta razón, gran parte de los resultados técnicos derivados de estudios de caso, realizados en un contexto sistematizado y con base científica inciden de manera limitada en la gestión y aprovechamiento sustentables del agua.

V) Principales medidas adoptadas para garantizar la conclusión del proyecto

Establecer estrategias de comunicación con las nuevas autoridades de alto nivel, para explicar que la evaluación integral de los recursos hídricos es una capacidad crítica para enfrentar la protección y escasez de agua y, requisito técnico clave para su aprovechamiento y gestión sustentables.

Enfatizar que el estudio de los recursos hídricos se debe realizar con base en las tecnologías y ciencias del agua de manera sistematizada, con la incorporación de la hidrología isotópica. Para ello se ha recomendado incluir en las misiones de expertos de medio término del proyecto, incluir en su agenda base, la difusión de la metodología IWAVE.

Una medida adicional es establecer convenios de colaboración entre las instituciones encargadas de la operación y gestión de los recursos hídricos, atmosféricos, superficiales y subterráneos y adherir o establecer sinergias con otras instituciones que realizan estudios e investigaciones de los recursos de agua. Ello optimizará los recursos económicos e infraestructura instrumental y capital humano destinados al estudio e investigación y fortalecerá las estrategias para lograr una evaluación más integral del agua.

VI) Propuestas de ajustes al Plan de Actividades del Proyecto

Incorporar a otras instituciones e investigadores dedicados al estudio de los recursos hídricos interesados en el proyecto, y evaluar sus fortalezas y debilidades para ser consideradas de acuerdo con los objetivos, alcances y recursos económicos asignados al proyecto.

Derivado de la revisión de medio término del proyecto por parte de los expertos con la contraparte y los grupos que participan activamente, se ha considerado incorporar al proyecto como nueva área de estudio la cuenca del río Amacuzac. La zona se considera de alta prioridad para caracterizar el comportamiento hidrogeológico de las principales fuentes de abastecimiento para diferentes usos mediante manantiales en el estado de Morelos; así como, fuente adicional de suministro a la Ciudad de México (CDMX).

Para fortalecer las capacidades técnicas e institucionales se proponen nuevos cursos nacionales y el curso regional “Comunicación y gobernanza del agua en el contexto de los derechos humanos”, cuyas temáticas han sido sugeridas por los actores del proyecto.

El plan de acción actualizado se presenta a continuación:

**Red Nacional de Monitoreo de la Composición Isotópica y
Química de la Precipitación Pluvial
(RENIP): Complementación, operación y análisis de resultados**

Año	ID	Actividad	Objetivos (alcance)	País	Fecha y Sede	Organizadores	Participantes	Contribución del país sede	Contribución del OIEA	Duración	Expertos
2020	3.2.3	3.2.3 National training -MEX- Curso/Taller sobre hidrogeología urbana	Capacitación técnica e institucional	Mexico	Segundo trimestre de 2020, México	SACMEX, IMTA, CONAGUA, INEGI	30 participantes nacionales	Logística. Infraestructura.	Experto	5 días	1 IEX
2020	3.2.4.	3.2.4 National training -MEX- Curso/taller sobre la aplicación de la hidrología isotópica en pronósticos meteorológicos	Capacitación técnica e institucional	Mexico	Segundo trimestre de 2020, México	CGSMN, IMTA, CONAGUA	30 participantes nacionales	Logística. Infraestructura.	Experto	5 días	1 IEX
2020	3.2.5	3.2.5 National training -MEX- Curso/taller sobre muestreo de gases nobles y datación	Capacitación técnica e institucional	Mexico	Tercer trimestre de 2020, México	IMTA, UNAM, CONAGUA, SACMEX	10 participantes nacionales	Logística. Infraestructura.	Experto	5 días	1 IEX
2020	3.2.14	3.2.14 Fellowship/Beca MEX (3 meses) para capacitación en el manejo y mantenimiento de espectrometro de masas Finnigan Delta	Capacitación técnica e institucional	Mexico	Barcelona, ESP	OIEA	1	NA	NA	3 meses	NA
2021	3.1.4	3.1.4 Regional Training course-MEX-Comunicación y Gobernanza del agua en el contexto de los derechos humanos	Capacitación institucional y comunitario	Mexico	Primer trimestre, 2021, Mexico DF, Mexico	IMTA, UNAM, CONAGUA, SACMEX, INEGI	30 participantes nacionales	Logística. Infraestructura.	Experto	5 días	1 IEX
2021	3.1.5	3.1.5 National Training course-MEX-Asesoría para la interpretación de trazadores en el contexto del cambio climático	Asesoría técnica	Mexico	Segundo trimestre, 2021, Mexico DF, Mexico	IMTA, UNAM, CONAGUA, SACMEX	10 participantes nacionales	Logística. Infraestructura.	Experto	5 días	1 IEX

VII) Propuestas de ajustes al presupuesto del Proyecto

Con base en las necesidades del proyecto en las áreas de trabajo en Sonora, Cuenca de México, cuenca del río Amacuzac, la Red Nacional de Monitoreo de la Composición Química e Isotópica de la Precipitación Pluvial, Servicio Meteorológico Nacional (COAGUA), Investigaciones en cambio climático (IMTA), Participación de INEGI en el proyecto.

Se propone considerar los siguientes rubros en el ejercicio del presupuesto:

- Análisis de muestras de isótopos estables de H y O (RENIP, Cuenca del Valle de México, Sonora y Amacuzac).
- Medición de gases nobles en Sonora y Cuenca del Valle de México
- Equipo de medición de gases in situ (GASOMETRIX) para los pozos del Valle de México.
- Medición de los contenidos de tritio y carbono-14 (Sonora y Amacuzac)
- Expertos para cursos de capacitación y asesorías
- Consumibles para análisis y mantenimiento preventivo de equipos
- Colectores complementarios de la RENIP (8 en total)

A continuación, se detallan las actividades de generación de datos en 2019 y propuestas para 2020:

**Red Nacional de Monitoreo de la Composición Isotópica y
Química de la Precipitación Pluvial
(RENIP): Complementación, operación y análisis de resultados**

ID	Actividad	Objetivos	Fecha y Sede	Organizadores	Requisitos y características	Contribución del país sede	Contribución del OIEA
4.2	Insumos para el análisis de isótopos estables de O y de H por espectroscopia láser, en muestras de agua.	Generación de datos hidrogeológicos	2019, México	IMTA			Suministro de insumos
	Insumos para el análisis de contenido de tritio ambiental por enriquecimiento electrolítico, en muestras de agua	Generación de datos hidrogeológicos	2019, México	IMTA			Suministro de insumos
	Reunión para firma de convenio de colaboración para operación de la RENIP	Generación de datos climatológicos	2019 CONAGUA	IMTA, CONAGUA			No aplica
4.2	Muestreo y análisis de gases nobles en muestras de agua de pozos exploratorios profundos y con anomalías termales y geoquímicas.	Generación de datos hidrogeológicos	2020, México-OIEA	IMTA	Es necesario analizar la capacidad de análisis para determinar los muestreos prioritarios de acuerdo al presupuesto	Logística de muestreo	Pago de análisis, OIEA
	Equipo e instrumental para recolección y análisis de muestras de gases, GASOMETRIX	Generación de datos hidrogeológicos	2020, México	IMTA	Es necesario analizar la posibilidad del préstamo o adquisición del equipo de acuerdo al presupuesto	Logística de muestreo	Suministro de equipo e instrumentación, OIEA
	Suministro de 8 colectores de lluvia acumulada	Generación de datos climatológicos	2020, México	IMTA	Están pendientes 8 colectores en áreas de interés para el país	Instalación de colectores	Suministros, OIEA
	Análisis del contenido de carbono 14 y carbono 13 en muestras de agua.	Generación de datos hidrogeológicos	2020, OIEA	IMTA	Es necesario analizar la capacidad de análisis para determinar los muestreos prioritarios de acuerdo al presupuesto	Logística de muestreo	Pago de análisis, OIEA
	Operación de la red nacional de monitoreo de la composición isotópica de la precipitación pluvial (RENIP)	Generación de datos climatológicos	2018, 2019, 2020, 2021, MEXICO	CONAGUA	Se requiere completar la red en otras áreas de interés	Instalación y operación	Suministro de 8 colectores pendientes
	Análisis de la composición isotópica estable y de tritio ambiental de muestras de lluvia	Generación de datos climatológicos	2018, 2019, 2020, 2021, IMTA	IMTA	Es necesario analizar la capacidad de análisis para determinar los muestreos prioritarios de acuerdo al presupuesto		Suministro de estándares de calibración, OIEA

**Red Nacional de Monitoreo de la Composición Isotópica y
Química de la Precipitación Pluvial
(RENIP): Complementación, operación y análisis de resultados**

Instalación de colectores de lluvia en la cuenca de México	Generación de datos climatológicos	2019, 2020 Cuenca de México	IMTA, IGL UNAM			No aplica
Toma de muestras de agua y medición de parámetros de campo en cuenca de México	Generación de datos hidrogeológicos	2019, 2020, 2021 Cuenca de México	IGL UNAM			No aplica
Toma de muestras de agua y medición de parámetros de campo en cuenca de Sonora	Generación de datos hidrogeológicos	2020, 2021 Cuenca de México	IGL UNAM			No aplica
Análisis de la composición isotópica estable y otros trazadores en la cuenca de Sonora	Generación de datos climatológicos	2020, 2021, Sonora	IGL UNAM	Es necesario analizar la capacidad de análisis para determinar los muestreos prioritarios de acuerdo al presupuesto		OIEA
Toma de muestras de agua y medición de parámetros de campo en cuenca de Amacuzac	Generación de datos hidrogeológicos	2020, 2021 Amacuzac	IGL UNAM			No aplica
Análisis de la composición isotópica estable y otros trazadores en la cuenca de Amacuzac	Generación de datos climatológicos	2020, 2021, Sonora	IGL UNAM	Es necesario analizar la capacidad de análisis para determinar los muestreos prioritarios de acuerdo al presupuesto		OIEA
Análisis de especies químicas disueltas en muestras de agua y lluvia	Generación de datos climatológicos	2018, 2019,2020, IMTA	IMTA			No aplica
Reunión de trabajo para presentación de avances y resultados en cuenca de México	Generación de datos climatológicos	2019,2020 SACMEX	SACMEX, IMTA, IGL UNAM			No aplica

VIII) Conclusiones y Recomendaciones

Con base en la revisión de medio término por parte de los expertos, la contraparte técnica y los participantes activos del proyecto, se concluye que se han alcanzado los logros de los objetivos: Fortalecimiento de Capacidades Institucionales y Técnicas, y Mejora de la Comprensión Hidrológica de las Áreas de Estudio.

Con el propósito de entender las condiciones hidrológicas pasadas y futuras es importante considerar las componentes de cambio climático observado y futuros escenarios regionalizados.

Es importante reforzar la alianza con el INEGI, instituto dedicado al desarrollo de cartografía e nivel nacional. La información espacial que ofrece el INEGI es de gran utilidad para la interpretación de información generada durante el proyecto. Asimismo, el portal web de esta institución, puede convertirse en una excelente herramienta de visualización y comunicación de los resultados finales.

Para garantizar la aplicación integral de los productos derivados del proyecto, es fundamental que las instituciones, especialistas e infraestructura instrumental existentes, continúen fortaleciéndose, incluyendo las alianzas y sinergias estratégicas.

Se considera que para que los productos derivados del proyecto incidan en la gestión integral de los recursos hídricos, se deben propiciar mecanismos de comunicación y gobernanza del agua en el contexto de los derechos humanos.

La cooperación entre los países de la región se fortalecerá en la medida que se compartan las experiencias y conocimientos, mediante el ofrecimiento de cursos que las instituciones, especialistas y participantes activos del proyecto, puedan ofrecer mediante un catálogo regional.

12. PARTICIPACIÓN EN EJERCICIOS INTERNACIONALES DE INTERCOMPARACIÓN DE RESULTADOS ISOTÓPICOS DEL OIEA

Muestras utilizadas

Los contenidos isotópicos $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ se expresan como desviaciones isotópicas δ (expresados en ‰ con respecto al estándar internacional VSMOW), donde la abundancia isotópica se calcula como la desviación de la relación isotópica (por ejemplo, $18\text{R} = 18\text{O}/16\text{O}$) de una referencia establecida:

$$\delta = \frac{R_A}{R_r} - 1 \quad (\times 10^3, \text{‰}) \quad (1)$$

Los resultados isotópicos deben estar normalizados con respecto a la escala VSMOW-SLAP primaria (Gonfiatini 1979). Dada la limitada disponibilidad de materiales de referencia primarios, no es posible utilizar VSMOW2 y SLAP2 para las operaciones de rutina diaria en el laboratorio, por lo que se utilizan estándares internos que abarcan un rango adecuado de valores de δ , siempre que se calibren regularmente con materiales de referencia primarios.

Las muestras para el ejercicio de intercomparación se prepararon a partir de un stock de ampollas selladas a la llama conteniendo aguas de varias composiciones isotópicas. Éstas incluyen muestras candidatas a ser estándares internos del OIEA, o bien muestras de las pruebas de aptitud anteriores para análisis de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$. Estas ampollas fueron selladas a la llama en el momento de su preparación, por lo que su composición isotópica se ha mantenido constante desde su calibración inicial. La determinación de estos valores iniciales asignados se realizó mediante espectrometría de masas de doble entrada siguiendo el método de equilibración clásico con CO_2 o gas H_2 .

Las condiciones precisas de las ampollas, se comprobaron analizándose dos veces varias de ellas, de cada muestra elegidas al azar, en un espectrómetro láser Picarro-2140-i. Los pequeños sesgos observados en esta prueba estaban dentro de las especificaciones de deriva e incertidumbre analítica que indica el fabricante del instrumento. Los valores isotópicos asignados y verificados de las muestras utilizadas en este ejercicio, y sus incertidumbres estadísticas se presentan en la Tabla 30.

Tabla 30 Muestras utilizadas y valores isotópicos δ asignados, relativos a los estándares VSMOW2 y SLAP2.

Muestra	Origen	Valor asignado				Valor verificado			
		$\delta^{18}\text{O}$	SD	$\delta^2\text{H}$	SD	$\delta^{18}\text{O}$	SD	$\delta^2\text{H}$	SD
ILS-05	Israel Mix	-0.96	0.01	-2.5	0.2	-0.91	0.03	-1.9	0.2
ILS-12	Heidelberg Tap	-8.60	0.02	-60.0	0.4	-8.55	0.04	-	0.1
ILS-18	Fischbach	-15.31	0.01	-110.3	0.7	-15.31	0.04	-	0.2

12.1. Descripción de los métodos de evaluación del ejercicio

Los criterios de evaluación para las muestras del ejercicio se han derivado de los ejercicios similares realizados a escala internacional WICO2016 (Wassenaar et al., 2018) y TRIC2018, mediante los cuales se establecen los resultados del desempeño de cada laboratorio que se consideran apropiados para el uso general de isótopos en estudios hidrológicos. (Este ejercicio no tiene en consideración aplicaciones que requieran un nivel de precisión diferente, como ocurre en ciertas aplicaciones que involucran $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$, tales como el estudio de testigos de hielo o los análisis isotópicos de agua doblemente marcada).

Sobre esta base, se definieron las “desviaciones estándar para la evaluación del desempeño de cada laboratorio” (SDPA - *Standard deviation of the proficiency assessment*, por sus siglas en inglés) (σ_p), de acuerdo a la opinión de los expertos en ejercicios similares llevados a cabo en el pasado. Para $\delta^{18}\text{O}$, se eligió un valor de σ_p de 0.1 ‰ (vs. VSMOW2-SLAP2) y para $\delta^2\text{H}$, $\sigma_p = 0.8$ ‰ (vs. VSMOW2-SLAP2).

Se considera que estas incertidumbres son las habituales en laboratorios de alto desempeño, pero, aun así, son puntos de referencia útiles para la comunidad de hidrología isotópica, particularmente dada la rápida proliferación de técnicas analíticas de espectrometría láser, que ha aumentado considerablemente el número de laboratorios que realizan mediciones de isótopos estables.

Esta evaluación utiliza tres puntajes para evaluar el desempeño de cada laboratorio (dos de los cuales están relacionados entre sí debido al uso de un SDPA uniforme):

El sesgo de la medida (D) se calcula como:

$$D = x - x_a \quad (2)$$

donde x es el valor medido (reportado) y x_a es el valor asignado en la Tabla 31. Tenga en cuenta que, en esta evaluación, "D" siempre se refiere al sesgo de la medición, y nunca se refiere a "deuterio", que siempre se expresa como " $\delta^2\text{H}$ ".

El puntaje z se usa para determinar si una medición reportada por un laboratorio se encuentra lo suficientemente cercana al valor asignado (es decir, su precisión o nivel de veracidad):

$$z = \frac{x - x_a}{\sigma_p} \quad (3)$$

donde x es la medida reportada por el laboratorio x_a es el valor asignado y σ_p es la desviación estándar o incertidumbre asignada para la evaluación del desempeño. Esta evaluación estadística revela si una medida reportada es apropiada para el propósito de este ejercicio:

Satisfactorio: $|z| \leq 2,00$ Cuestionable: $2,00 < |z| < 3,00$ No satisfactorio: $|z| \geq 3,00$

Para la comparación del desempeño general de un laboratorio (es decir, que incluye todas las muestras evaluadas), se determinó el promedio de las puntuaciones z absolutas $|z|$. En este caso se aplican los mismos umbrales que se indicaron anteriormente.

El parámetro ζ (dseta) permite realizar una evaluación de cada valor isotópico reportado y de su incertidumbre:

$$\zeta = \frac{x - x_a}{\sqrt{u_{x^2} + u_{x_a^2}}} \quad (4)$$

En donde x es el valor reportado, x_a es el valor asignado, u_x es la incertidumbre reportada por el laboratorio y u_{x_a} es la incertidumbre del valor asignado. Los puntajes ζ pueden evaluarse de manera similar a los puntajes z, sin embargo, a raíz de las discusiones en curso sobre las incertidumbres en las mediciones de isótopos

estables, el parámetro ζ puede utilizarse como una herramienta de cribado bastante genérica dentro de un análisis de incertidumbre demasiado optimista. Al igual que las puntuaciones z , los valores de ζ se catalogan en rangos satisfactorios, cuestionables y no satisfactorios.

Los tres parámetros mencionados anteriormente se utilizan de forma conjunta para emitir una evaluación condicional sobre los resultados reportados, con el objetivo de proporcionar una valoración preliminar a los participantes del ejercicio. Una lista completa de estas valoraciones de resultados y de sus condiciones de activación se presenta en la Tabla 31.

Tabla 31 Valoración de resultados y condiciones.

No.	Condición	Texto
1	La muestra tiene un valor $ z \geq 3$ y $ \zeta \geq 3$	Exactitud y precisión pobres: este resultado tiene puntajes de $ z $ y $ \zeta \geq 3$; le sugerimos que revise sus procedimientos, así como los cálculos de incertidumbre.
2	La muestra tiene un valor $ z \geq 3$ y $ \zeta < 2$	Exactitud pobre con buena precisión: este resultado tiene $ z \geq 3$ y $ \zeta < 2$; es posible que haya reportado la incertidumbre correctamente, pero el sesgo (inexactitud) de estos resultados es "no satisfactorio".
3	La muestra tiene un valor $ z < 2$ y $ \zeta \geq 3$	Buena exactitud con pobre precisión. Este resultado tiene $ z < 2$ y $ \zeta \geq 3$; el rendimiento general es satisfactorio, pero es posible que haya subestimado o pasado por alto algunas fuentes relevantes de incertidumbre.
4	Los resultados faltan para una o más muestras	Los promedios se han calculado a partir de informe incompleto y no abarcan todo el conjunto de muestras.
5	La remisión contiene una o más muestras con $ z \geq 3$	Valores atípicos: una o más muestras presenta $ z \geq 3$; le sugerimos que revise cuidadosamente su procedimiento analítico, especialmente para las muestras en el rango (s) de abundancia en cuestión.
6	La remisión contiene una o más muestras con $ \zeta \geq 3$	Precisión sobreestimada: una o más muestras presenta $ \zeta \geq 3$; le sugerimos que revise cuidadosamente la estimación de la incertidumbre de sus mediciones, especialmente para las muestras en el rango de abundancia en cuestión.

Al contrario que en informe del ejercicio WICO2016, no se genera una clasificación basada en los puntos obtenidos en el análisis de los sesgos.

12.2. Desempeño del laboratorio en el contexto regional

Para evaluar el rendimiento comparativo general del laboratorio con respecto a otros laboratorios en esta prueba, se compara la media $|z|$ que se encuentra en los diagramas de dispersión de Posición vs. Valor medio $|z|$ para $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$

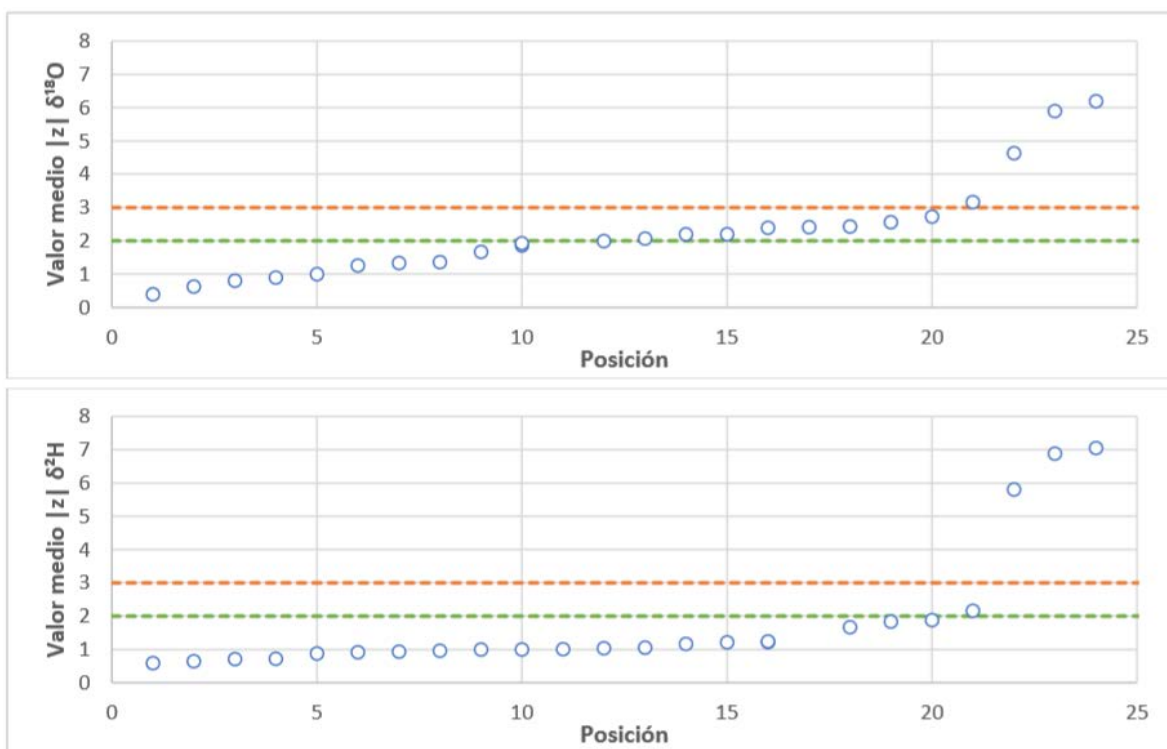


Figura 60 Posición vs. Valor medio $|z|$ para $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$

La línea verde denota un rendimiento satisfactorio (es decir, valor medio de $|z| < 2$ para $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$). Cualquier resultado sobre la línea naranja es “no satisfactorio” (es decir, media $|z| \geq 3$ para $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$)

12.3. Resultados de $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ y exceso de deuterio

En la **Tabla 32** se presentan los resultados de $\delta^{18}\text{O}$ de las muestras analizadas en el laboratorio.

Tabla 32 Resultados de $\delta^{18}\text{O}$

Muestra	Valor de referencia			Resultados reportados		Evaluación			Comentario
	$\delta^{18}\text{O}$	Inc.	σ_p	$\delta^{18}\text{O}$	Inc.	D	z-test	ζ -test	
ILS-05	-0,96	0,01	0,10	-0,95	0,06	0,01	0,10	0,16	
ILS-12	-8,60	0,02	0,10	-8,80	0,05	-0,20	-2,00	-3,71	
ILS-18	-15,31	0,01	0,10	-15,50	0,07	-0,19	-1,90	-2,69	
Código de colores:		satisfactorio				Avg z $\delta^{18}\text{O}$		1,33	
		cuestionable				Avg \zeta $\delta^{18}\text{O}$		2,19	6
		No satisfactorio				SD of D $\delta^{18}\text{O}$		0,12	
Comentarios:									
6	Precisión sobreestimada: una o más muestras presenta $ \zeta \geq 3$; le sugerimos que revise cuidadosamente la estimación de la incertidumbre de sus mediciones, especialmente para las muestras en el rango de abundancia en cuestión.								

La **Figura 71** muestra el desempeño del laboratorio con respecto al valor medio $|z|$ para $\delta^{18}\text{O}$

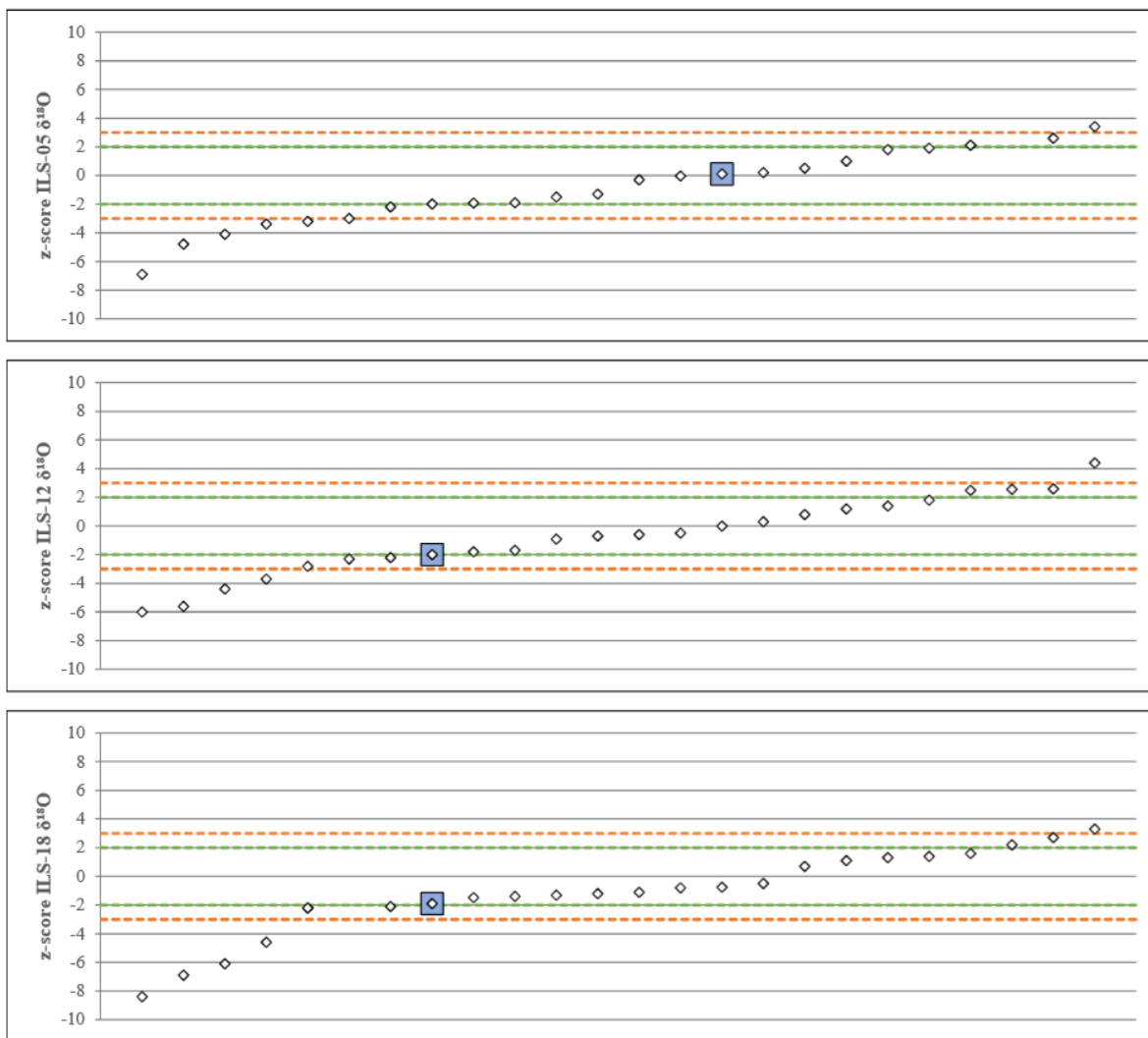


Figura 61 Diagramas S de $\delta^{18}\text{O}$

En la **Tabla 33** se presentan los resultados de $\delta^2\text{H}$ de las muestras analizadas en el laboratorio

Tabla 33 Resultados de $\delta^2\text{H}$

Muestra	Valor de referencia			Resultados reportados		Evaluación			Comentario
	$\delta^2\text{H}$	Inc.	σ_p	$\delta^2\text{H}$	Inc.	D	z-test	ζ -test	
ILS-05	-2,50	0,20	0,80	-1,60	0,18	0,90	1,13	3,34	3
ILS-12	-60,00	0,40	0,80	-61,30	0,21	-1,30	-1,63	-2,88	
ILS-18	-110,30	0,70	0,80	-110,50	0,08	-0,20	-0,25	-0,28	
Código de colores:		satisfactorio				Avg z $\delta^2\text{H}$		1,00	
		cuestionable				Avg ζ $\delta^2\text{H}$		2,17	6
		No satisfactorio				SD of D $\delta^2\text{H}$		1,10	
Comentarios:									
3	Buena exactitud con pobre precisión. Este resultado tiene $ z < 2$ y $ \zeta \geq 3$; el rendimiento general es satisfactorio, pero es posible que haya subestimado o pasado por alto algunas fuentes relevantes de incertidumbre.								
6	Precisión sobreestimada: una o más muestras presenta $ \zeta \geq 3$; le sugerimos que revise cuidadosamente la estimación de la incertidumbre de sus mediciones, especialmente para las muestras en el rango de abundancia en cuestión.								

La **Figura 62** muestra el desempeño del laboratorio con respecto al valor medio $|z|$ para $\delta^2\text{H}$

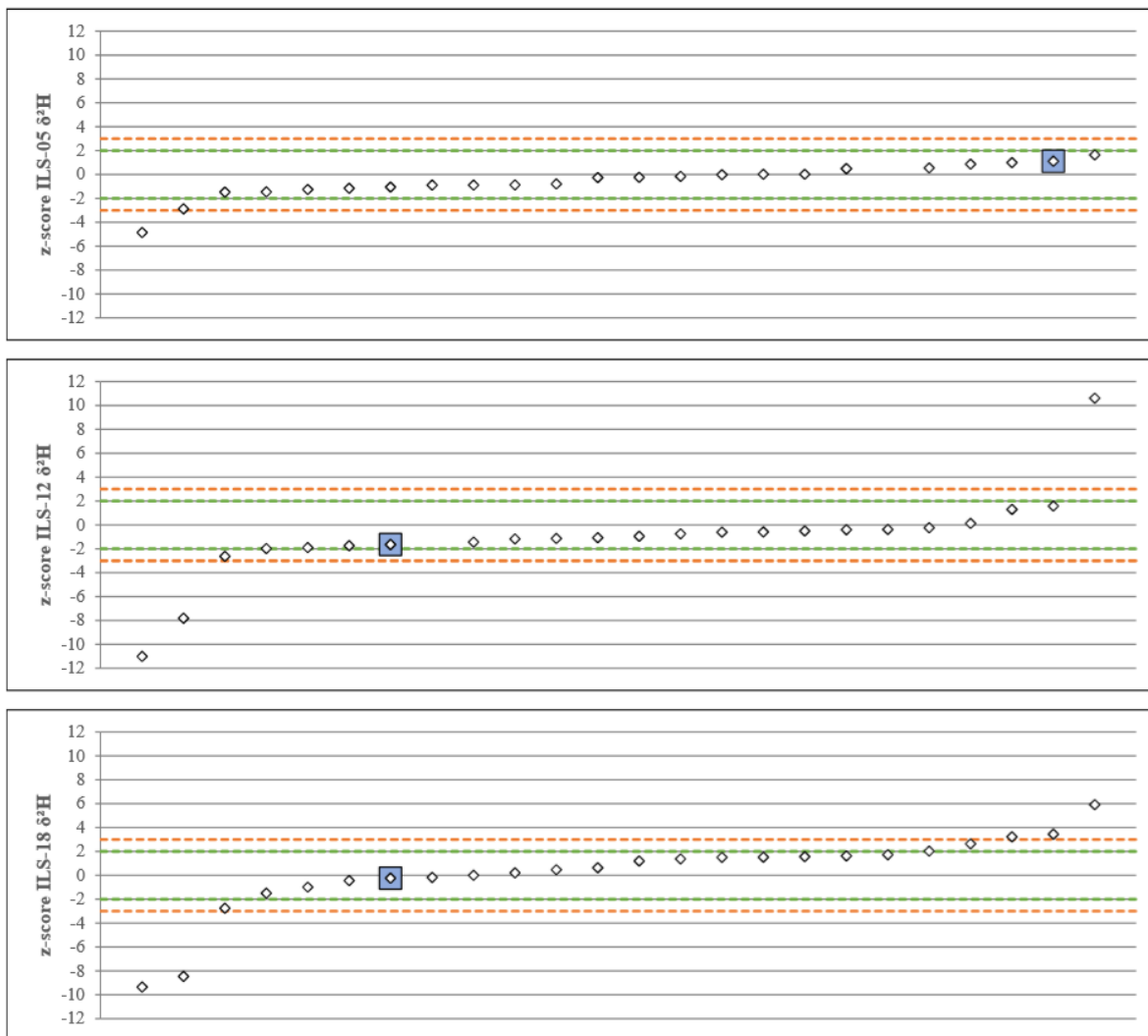


Figura 62 Diagramas S de $\delta^2\text{H}$

En la **Tabla 34** se presentan los resultados del exceso de deuterio obtenidos

Tabla 34 Exceso de deuterio

Muestra	Valor de referencia			Resultado reportados		Evaluación			Comentario
	d-exc.	Inc.	σ_p	d-exc.	Inc.	D	z-test	ζ -test	
ILS-05	5,2	0,2	0,8	6,0	0,2	0,82	1,02	2,97	
ILS-12	8,8	0,4	0,8	9,1	0,2	0,30	0,37	0,66	
ILS-18	12,2	0,7	0,8	13,5	0,1	1,32	1,64	1,86	
Código de colores:		satisfactorio			Avg z d-exc.			1,01	
		cuestionable			Avg ζ d-exc.			1,83	
		No satisfactorio			SD of D d-exc.			0,51	

La **Figura 63** Mediciones realizadas con los estándares internos dentro del rango isotópico correcto y normalizado

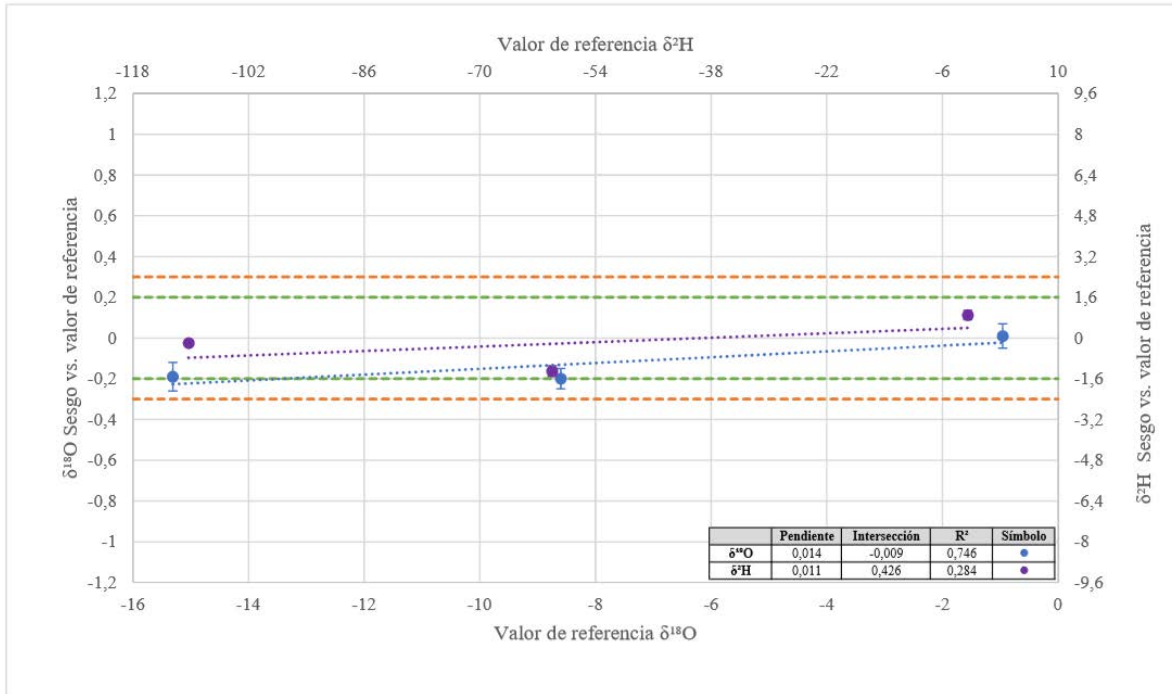


Figura 63 Valores de referencia vs. Sesgo

13. CONCLUSIONES

El presente proyecto permitió cubrir las partes de operación, de análisis de muestras, de innovación instrumental, de capacidad técnica de recursos humanos calificados, de convenios de colaboración nacional e internacional y de integración de bases de datos para conformar de manera integral una red nacional de monitoreo de la composición química e isotópica de la precipitación pluvial (RENIP), La red comprende las provincias fisiográficas y de precipitación pluvial del territorio nacional de manera representativa que genera información de la composición isotópica y química de la lluvia para el mejor entendimiento de la naturaleza de las aguas atmosféricas, superficiales y subterráneas.

La RENIP aporta los siguientes beneficios:

- Operación continua y sistematizada de las 36 estaciones de monitoreo isotópico de lluvia, 28 de la RENIP y 8 de las estaciones de la red que cubre el acuífero Cuernavaca.
- Bases de datos de las composiciones isotópica y química de las 15 provincias fisiográficas de la República Mexicana.
- Mapas isotópicos preliminares de la República Mexicana.
- Medición y análisis de la composición isotópica estable y del contenido de tritio ambiental de muestras de agua natural y lluvia, mediante espectroscopía láser y enriquecimiento electrolítico, con calidad reconocida por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).
- Capacitación de especialistas con cursos nacionales y regionales sobre uso de técnicas isotópicas en la datación de aguas subterráneas y de caracterización isotópica de aguas atmosféricas, superficiales y subterráneas, para su gestión y aprovechamiento sustentables.

- Evaluación periódica de la calidad de resultados analíticos del laboratorio de hidrología isotópica del IMTA, mediante ejercicios de intercomparación organizados por el OIEA.

Los resultados que se derivan de la RENIP incidirán favorablemente en la mejora de la planeación, aprovechamiento y gestión integral de los recursos hídricos, con énfasis en las aguas subterráneas del país, mediante la integración de la hidrología isotópica en las evaluaciones nacionales de los recursos hídricos.

Adicionalmente permitirá la simulación numérica del funcionamiento hidrogeológico de acuíferos, cuencas y componentes del ciclo hidrológico con datos complementarios más confiables, para su mejor protección y aprovechamiento sustentables. Asimismo la RENIP contribuirá a la caracterización de la calidad química de las aguas meteóricas y sus efectos en los componentes del ciclo hidrológico y en el medio ambiente.

14. BIBLIOGRAFÍA

Clark, I.D., y Fritz, P., 1997. *Environmental isotopes in hydrogeology*. Lewis Publishers, N.Y., U.S.A., 63-108 y 287-290.

CONAGUA, 2018. Comisión Nacional del Agua, “Resúmenes Mensuales de Temperaturas y Lluvia”, <https://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>.

Craig, H., 1961. Standard for Reporting Concentrations of Deuterium and Oxygen-18 in Natural Waters, *Science* 133, 1833.

Horita, J., 2005. Saline Waters, in Aggarwal, P.K., Gat, J.R., and Froehlich, K.F.O. eds., *Isotopes in the Water Cycle*, Berlin/Heidelberg, Springer-Verlag.

IAEA, 2005. *Isotopes in the water cycle, past, present and future of a developing science*.

INEGI, 2018. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, “Clasificación fisiográfica del Territorio Nacional”.

Mazor, E., 1991. - *Applied chemical and isotopic groundwater hydrology* - Open Univ. Press.

Méndez, J., Nívar J. y González V., 2007. “Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México”, *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, No. 65, pp. 38-55.

OIEA, Organismo Internacional de Energía Atómica, 2016. “Guía de muestreo de la precipitación pluvial”, GNIP.

Page, J., 1929. "Climate of Mexico", Monthly Weather Review, United States Department of Agriculture.

Dansgaard, W., 1964. Stable isotopes in precipitation. *Tellus* 16 (4), 436-468.

Gonfiantini, R., 1978. Standards for stable isotope measurements in natural compounds. *Nature* 271, 534-536.

Gonfiantini, R., 1979. Techniques of measuring stable isotope variations in natural waters. IAEA, Final Report.

Wassenaar, L. et al., 2018. Seeking excellence: An evaluation of 235 international laboratories conducting water isotope analyses by isotope-ratio and laser-absorption spectrometry. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 32 (5), 393-406.