

N.º 1 - 2024

Boletín nacional de hidrología isotópica



GUSTAVO FRANCISCO PETRO URREGO

Presidente de la República de Colombia

FRANCIA ELENA MÁRQUEZ MINA

Vicepresidenta de Colombia

MARÍA SUSANA MUHAMAD GONZÁLEZ

Ministra de Ambiente y Desarrollo Sostenible

MAURICIO CABRERA LEAL

Viceministro de Políticas y Normalización Ambiental

LILIA TATIANA ROA AVENDAÑO

Viceministra de Ordenamiento Ambiental del Territorio

Consejo Directivo

MARÍA SUSANA MUHAMAD GONZÁLEZ

Ministra de Ambiente y Desarrollo Sostenible

FRANCISCO JAVIER CANAL ALBÁN

Viceministro de Ordenamiento Ambiental del Territorio

NÉSTOR ROBERTO GARZÓN CADENA

Director de Cambio Climático y Gestión del Riesgo (e)

FERNEY CAMACHO

Director de Infraestructura - Ministerio de Transporte

PAOLA RICAURTE AYALA

Asesora de la Dirección de Ambiente y Desarrollo Sostenible - Departamento Nacional de Planeación (DNP)

SANDRA LILIANA MORENO MAYORGA

Directora de la Dirección Técnica Geoestadística – Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE)

HECNEY ALEXCEVITH ACOSTA

Director general - Corporación Autónoma Regional de Santander (CAS)

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – Ideam

GHISLIANE ECHEVERRY PRIETO

Directora general

JUAN FERNANDO ACOSTA MIRKOW

Secretario general

FABIO ANDRÉS BERNAL QUIROGA

Subdirector de Hidrología

ELIZABETH PATIÑO CORREA

Subdirectora de Estudios Ambientales

LINA MARÍA CABALLERO VILLALOBOS

Subdirectora de Ecosistemas e Información Ambiental

TC. JORGE GIOVANNI JIMÉNEZ SÁNCHEZ

Subdirector de Meteorología

ÍNGRID TATIANA SIERRA GIRALDO

Jefe de la Oficina del Servicio de Pronóstico y Alertas

CÉSAR AUGUSTO SÁNCHEZ WALDRON

Jefe de la Oficina Asesora de Planeación

WILMER ESPITIA MUÑOZ

Jefe de la Oficina de Informática

GILBERTO ANTONIO RAMOS SUÁREZ

Jefe de la Oficina Asesora Jurídica

MARÍA EUGENIA PATIÑO JURADO

Jefe de la Oficina de Control Interno

Subdirección de Hidrología

FABIO ANDRÉS BERNAL QUIROGA

Subdirector de Hidrología

MARÍA CONSTANZA ROSERO MESA

Coordinadora del Grupo de Evaluación

Autores

**ANA MARÍA VESGA GÜIZA
ANA KARINA CAMPILLO PÉREZ**

**LUIS EDUARDO TORO ESPITIA
LINA JOHANA GARZÓN RIVEROS**

Producción y gestión editoriales

ANDRÉS FELIPE TAPIERO RÍOS

Grupo de Comunicaciones y Prensa

Corrección de estilo

SEBASTIÁN URIBE RODRÍGUEZ

Grupo de Comunicaciones y Prensa

Diseño editorial y diagramación

LUISA FERNANDA RODRÍGUEZ ARIAS

Grupo de Comunicaciones y Prensa

Foto de carátula:

**MARIANA VALDERRAMA
ARISTIZÁBAL - IDEAM (2024).**

Cítese como:

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - Ideam. (2024). *Boletín nacional de hidrología isotópica. N.º 1 - 2024.* Ideam.

Publicación aprobada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - Ideam.

Bogotá, D. C., agosto de 2024.

Distribución gratuita.

Todos los derechos reservados. Los textos pueden ser usados parcial o totalmente citando la fuente. Su reproducción total o parcial debe ser autorizada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - Ideam.

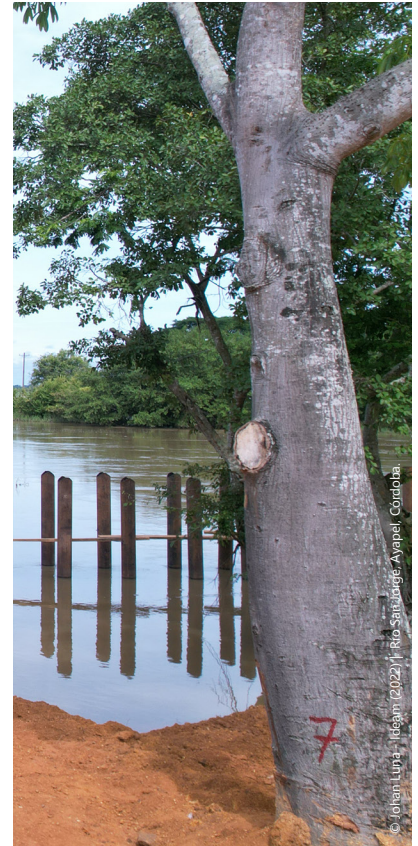
© Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - Ideam.
Calle 25 D No. 96 B - 70 - Bogotá, D. C.
PBX: +57 (601) 352 7160
contacto@ideam.gov.co



© Ana Karina Campillo - Ideam (2022) | Quebrada La Gómez, Santander

Este boletín es una iniciativa del Grupo de Evaluación de la Subdirección de Hidrología, y tiene como propósito difundir la información disponible en hidrología isotópica que se adelanta en el país.

En esta primera publicación, se presenta, de manera general, una introducción a lo que es la hidrología isotópica y su utilidad para el conocimiento del recurso hídrico. Además, el proyecto de la Red Nacional de Isotopía -RNI, que adelanta el Ideam, muestra un reporte general de la estación de Bogotá, que monitorea isótopos estables desde 1971.



Contenido

Generalidades de la hidrología isotópica **2**

Red Nacional de Isotopía **4**

Generalidades de la hidrología isotópica

Desde hace varias décadas, los isótopos se han vuelto una herramienta útil para la validación de otras técnicas hidrológicas e hidrogeológicas, que han facilitado la solución de problemas relacionados con la calidad del agua, interconexiones hidráulicas, interacción entre agua superficial y agua subterránea, mezclas de agua, profundidad de circulación o localización de zonas de recarga, tránsito y descarga y, por último, de fuentes de contaminación. Son comunes, en la estimación de la relación de la climatología local/regional, las diferentes escalas de tiempo que permiten afinar los modelos de circulación atmosférica y últimamente los estudios de cambio climático.

Figura 1. Estación isotópica de Pasto - Ideam



Fuente: Jaime Riascos - Área Operativa 07 - Ideam (2024).

En Colombia, el uso de estas técnicas se viene dando desde mediados de 1970. Sin embargo, hasta hace veinte años aproximadamente ha adquirido mayor relevancia.

En los últimos ocho años, por un lado, se ha implementado la Red Nacional de Isotopía - RNI por parte del Ideam y, por el otro, se ha fortalecido el Laboratorio de Análisis de Isótopos Estables en Agua Líquida - LAIE del SGC.

Figura 2. Laboratorio de Análisis de Isótopos Estables en Agua Líquida - LAIE del SGC



Fuente: Ana Milena Velásquez - Grupo de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares y Geocronológicas - SGC (2024).

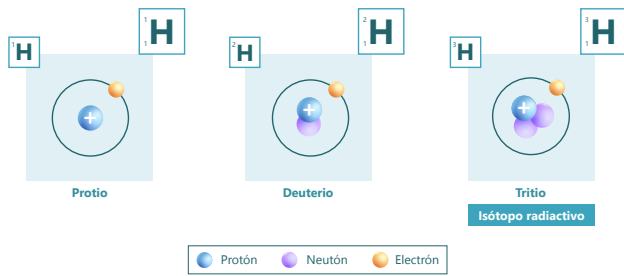
El uso de estas técnicas depende del carácter específico de los isótopos, que pueden ser estables o radioactivos, lo que permite aplicarlos como trazadores en el ciclo hidrológico. Debido a que las moléculas de agua tienen una huella isotópica única, es posible rastrear el movimiento del agua por todo el ciclo hidrológico: desde cuando el vapor de agua se condensa en la atmósfera y se precipita hasta cuando se infiltra o escurre en forma de escorrentía y regresa a la atmósfera por la evapotranspiración de las plantas (Ortega y Gil, 2019).

Los isótopos son átomos de un mismo elemento químico, que tienen en su núcleo igual número de protones, pero diferente número de neutrones; por lo tanto, cuentan con una masa diferente.

Entre ellos comparten casi las mismas propiedades químicas, pero, al diferir en masa, presentan diferentes propiedades físicas.

El hidrógeno presenta tres isótopos, los primeros dos son estables (1 H y 2 H), mientras que el tercero es inestable (3 H conocido como tritio).

Figura 3. Isótopos del hidrógeno



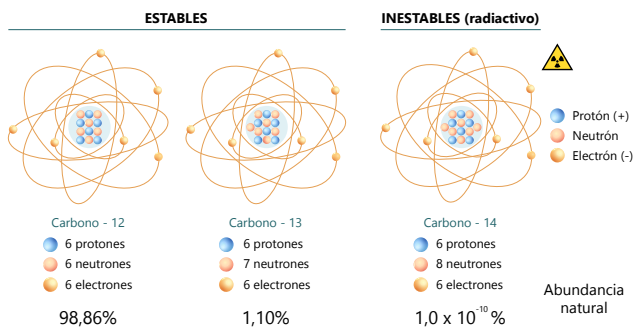
Fuente: rediseñada y adaptada de IAEA (Organismo Internacional de Energía Atómica), <https://www.iaea.org/es/newscenter/news/que-es-un-isotopo>

Los isótopos pueden dividirse en dos grupos, estables-inestables y radiactivos. Los isótopos estables son los que ocurren naturalmente de los elementos que se encuentran en abundancia en el entorno. Por lo tanto, son aquellos que no sufren decaimiento radiactivo (proceso en el que un núcleo inestable se transforma en uno más estable) o aquellos cuya vida media es superior a los 300 millones de años.

Entre estos isótopos, se encuentran los siguientes, que son usados para el estudio y diagnóstico del ciclo hidrológico (Gat, Mook y Meijer, 2002):

18 O (oxígeno 18), 2 H (deuterio), 13 C (carbono 13), 34 S (azufre 34), 15 N (nitrógeno 15).

Figura 4. Isótopos de carbono, tanto estables como inestables (radiactivos)



Fuente: rediseñada de IAEA (Organismo Internacional de Energía Atómica), <https://geolodiaavila.com/tag/isotopos-de-carbono/>

Los isótopos como el deuterio (2 H) y oxígeno-18 (18 O) son muy útiles para identificar las diferentes fuentes subterráneas de recarga de agua y distinguir las aguas con una composición química similar, ya que son trazadores ideales, en tanto que

son parte de la molécula de agua y no reaccionan como otros elementos disueltos en esta (Dickinson et al., 2006). Son útiles, también, para balance de agua y la dinámica en las cuencas fluviales, embalses y estuarios, y para la relación agua superficial-agua subterránea (Geyh y Stichler, 2002).

Otros isótopos estables utilizados son los isótopos del carbono, como el 13 C. Estos son trazadores relevantes en el origen del carbono del agua subterránea, en la cuantificación de las interacciones agua-roca, además de identificar la proporción de CO₂ biogénico y de los carbonatos en el agua, y determinar los ambientes geológicos iniciales de la recarga de agua subterránea. Además, son útiles para determinar el ciclo del carbono en las riberas, procesos de meteorización, contaminación y procesos biológicos (Geyh y Stichler, 2002).

Con respecto a los isótopos radiactivos, el 3 H se ha convertido, junto con los isótopos estables, en una buena herramienta para la caracterización de la recarga, especialmente en acuíferos a poca profundidad, debido a su presencia en la atmósfera, a causa de las pruebas de bombas termonucleares de los años 50 y principios de los 60. Sin embargo, la concentración del 3 H en la atmósfera y en las aguas subterráneas ha disminuido hasta el punto tal que es difícil obtenerlo de los niveles naturales, por lo que su uso queda relegado a otras técnicas.

Figura 5. Estación isotópica de Bucaramanga - UIS - Ideam



Fuente: Ana María Vesga - Subdirección de Hidrología - Ideam (2021).

Figura 6. Estación isotópica Puerto Carreño - Ideam



Fuente: Gustavo Pedroza Romero - Área Operativa 03 - Ideam (2022).

Red Nacional de Isotopía

En el marco del Programa Nacional de Aguas Subterráneas - PNASUB, el Ideam ha implementado, desde el 2015, el monitoreo de isótopos ambientales, con el objetivo de disponer este tipo de información al país, cuestión que resulta de gran importancia para la aplicación de técnicas isotópicas en estudios hidrogeológicos, hidrometeorológicos, paleoclimáticos, ambientales, etc.

Esta actividad se realiza a través de la Red Nacional de Isotopía - RNI, la cual monitorea isótopos a nivel nacional como oxígeno-18 y deuterio, y tritio para algunas regiones del país; esta red tiene como objetivo determinar las variaciones temporales y espaciales de los isótopos estables y radioactivos del agua en la precipitación dentro del territorio colombiano. El monitoreo se ha establecido en sitios como Bucaramanga, Duitama, Ibagué, Pasto, Pereira, Villavicencio, Santiago de

Cali, Carmen de Tonchalá, Bogotá, Buenaventura, Quibdó, San Andrés, La Macarena, Cáchira, Oiba, Anserma, Viterbo, Remedios, Chita, Canelos, Bahía Solano, Puerto Carreño, Leticia y Barranquilla; todos son puntos conformados por colectores, que muestrean agua lluvia durante un periodo de observación de un mes.

Las estaciones de Bogotá, Leticia y Barranquilla hacen parte de la Red Global de Isótopos en la Precipitación - GNIP, la cual es operada en cooperación con el Organismo Internacional de Energía Atómica - OIEA. Vale la pena aclarar que las estaciones como Bogotá, y Leticia, además de monitorear oxígeno-18 y deuterio, monitorean tritio.

A continuación, se relacionan las estaciones activas, listadas en la Tabla 1.

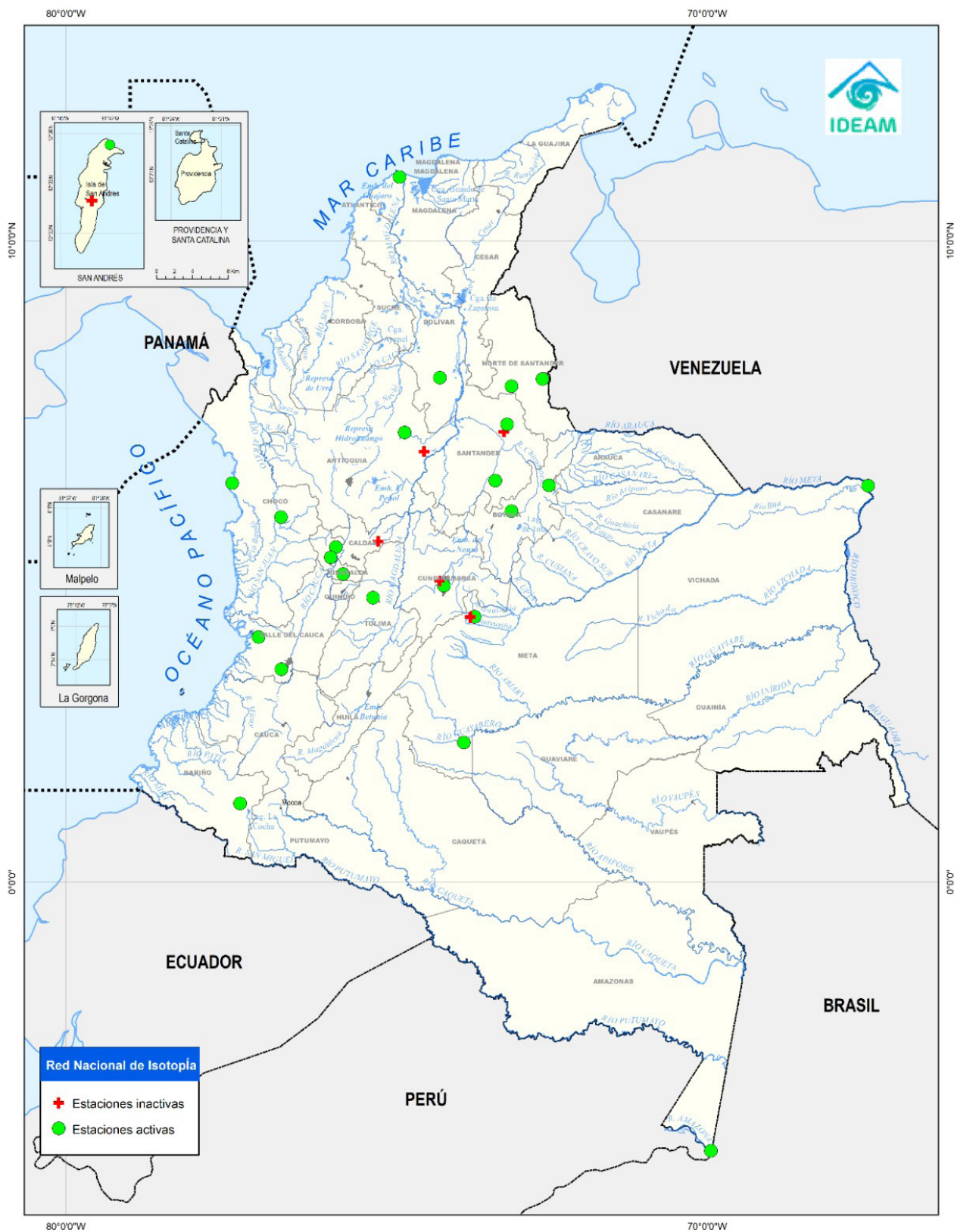
Tabla 1. Estaciones isotópicas que se encuentran activas a la fecha de presentación de este informe

ID	Municipio	Departamento	Localización	Norte	Este	Altura	Fecha de instalación	Fecha de inicio de muestreo
BUC_01	Bucaramanga	Santander	Universidad Industrial de Santander	7,141389	-73,118333	1013	5/11/2014	1/12/2014
DUIT_01	Duitama	Boyacá	Km 1 vía pantano de Vargas	5,787394	-73,051642	2512	31/08/2015	1/09/2015
IBA_01	Ibagué	Tolima	Carrera 6 # 46-71	4,435631	-75,208828	1773	30/04/2014	1/05/2014
PAS_01	Pasto	Nariño	Carrera 36 # 18-148 (Barrio Palermo)	1,225653	-77,283286	2500	23/05/2014	3/06/2014
PER_01	Pereira	Risaralda	Planta de Tratamiento de agua potable Nueva Aurora Aguas y Aguas de Pereira	4,804233	-75,675181	1560,8	18/06/2014	1/07/2014
VILL_01	Villavicencio	Meta	Transversal 23 # 19-02 (Barrio San Cristóbal)	4,1375	-73,625	444	13/11/2014	1/12/2014
SCA_01	Santiago de Cali	Valle del Cauca	Reserva natural el Topacio, Pance (Estación climatológica El Topacio - CVC)	3,317708	-76,63669	1743,09	18/09/2015	1/10/2015
CTON_01	Carmen de Tonchalá	Cúcuta	Km 8 vía Carmen de Tonchalá (Estación climatológica Carmen de Tonchalá)	7,846694	-72,566667	323	12/06/2016	1/10/2016

ID	Municipio	Departamento	Localización	Norte	Este	Altura	Fecha de instalación	Fecha de inicio de muestreo
BOG_02	Bogotá, D. C.	Cundinamarca	Calle 12 # 42b-44 (Terraza Bodega de Inventarios y Almacén del Ideam)	4,621664	-74,103436	2559	1/06/2018	1/08/2016
B/TURA_01	Buenaventura	Valle del Cauca	Aeropuerto de Buenaventura	3,820224	-76,993544	18	8/08/2019	8/08/2019
QUIB_01	Quibdó	Chocó	Aeropuerto de El Caraño	5,690556	-76,643778	75	5/08/2019	5/08/2019
S/AND_02	San Andrés	San Andrés Islas	Aeropuerto Internacional Gustavo Rojas Pinilla	12,588611	-81,700833	1	26/08/2019	26/08/2019
LMC_01	La Macarena	La Macarena	Finca La Umata (Estación meteorológica La Macarena]	2,176167	-73,793444	241	6/05/2022	7/05/2022
CAN_01	Santa Rosa del Sur	Bolívar	Estación pluviométrica Los Canelos	7,866667	-74,166667	1042	29/09/2021	1/10/2021
CACH_01	Cáchira	Norte de Santander	Estación climatológica Escuela Agrícola de Cáchira	7,735278	-73,051667	1930	1/10/2021	1/10/2021
OIBA_01	Oiba	Santander	Estación pluviométrica Oiba	6,2625	73,3033333	1467	3/10/2021	3/10/2021
ANSER_01	Anserma	Caldas	Hospital San Vicente de Paul	5,224944	-75,789806	1700	20/01/2021	1/02/2021
VITER_01	Viterbo	Caldas	Hospital San José	5,064833	-75,869769	967	20/01/2021	1/02/2021
REM_01	Remedios	Antioquia	Estación climatológica Aeropuerto del Otu	7,01175	-74,716306	640	5/12/2021	5/12/2021
CHITA_02	Chita	Boyacá	Estación climatológica de Chita	6,188333	-72,466333	2970	3/12/2021	3/12/2021
B/SOL_01	Bahía Solano	Chocó	Barrio La Floresta (Estación climatológica Panamericana)	6,223333	-77,404444	4	9/08/2019	9/08/2019
PTO CARREÑO_01	Puerto Carreño	Vichada	Aeropuerto de Puerto Carreño	6,18243611	-67,4 912222	57	16/09/2022	16/09/2022
LET_01	Leticia	Amazonas	Aeropuerto Vásquez Cobo Leticia	-4,1938611	-69,9409167	84	20/01/2023	20/01/2023
BARRAQUILLA_02	Barranquilla	Atlantico	Terraza Edicio (Área Operativa 02)	10,997611	-74,7967222	12	21/12/2022	22/12/2022

Mapa de las estaciones de la RNI

Figura 7. Mapa de estaciones de la Red Nacional de Isotopía Ideam



La RNI ha establecido cooperaciones técnicas y científicas con algunas entidades nacionales e internacionales, cuestión que ha contribuido en el fortalecimiento de la información. Algunas de estas cooperaciones han sido acordadas con la Organismo Internacional de Energía Atómica - OIEA, lo que ha permitido un seguimiento y acompañamiento a las actividades de monitoreo de isótopos estables de la red nacional, como instalación y análisis de muestras. En el marco de esta cooperación, el Ideam hace parte de la Red Global de Isótopos en la Precipitación (Global Networks of Isotopes in Precipitation - GNIP).

También, se tiene un acuerdo de cooperación con el Servicio Geológico Colombiano - SGC, lo que ha permitido analizar varias de las muestras que genera la Red Nacional de Isotopía. Otra de las alianzas ha sido la establecida, en el 2019, con la Universidad de Harvard y la Universidad Nacional de Costa Rica, con las cuales se logró la instalación de algunos colectores a nivel nacional, junto con el análisis de algunas muestras.

De igual forma, la participación en proyectos como el (RLA/7/024) - "Integración de la Hidrología Isotópica en las Evaluaciones Nacionales de los Recursos Hídricos" ha permitido no solo la densificación de la red, sino el fortalecimiento de la capacidad institucional en optimización en la gestión del agua a través del uso de isótopos.

Figura 8. Izquierda: estación isotópica de Leticia. Derecha: estación isotópica de Barranquilla.



Fuente: Diego Efraín Monsalve - Grupo de Meteorología Aeronáutica Zona Oriente - Ideam; Carlos Cucunuba Ariza - Área Operativa 01 - Ideam (2023)

La RNI se articula, también, con las Autoridades Ambientales, las cuales apoyan en asuntos de instalación y monitoreo en zonas de interés. Así mismo, se han adoptado algunas de las estaciones, que hacen parte de las redes regionales, en la Red Nacional de Isotopía.

Los resultados de la red se integran en una base de datos, la cual está disponible para cualquier usuario de la información.

.....

La Red Nacional de Isotopía continúa ampliándose y busca cubrir gran parte de territorio colombiano.

La operación de la Red Nacional de Isotopía es crucial para el fortalecimiento del conocimiento hidrológico e hidrogeológico en el país, dado que por primera vez se intenta muestrear de manera sistemática la composición isotópica de la lluvia a escala nacional, construyendo series históricas para la firma isotópica de la lluvia en regiones que al 2014 carecían de este tipo de datos.

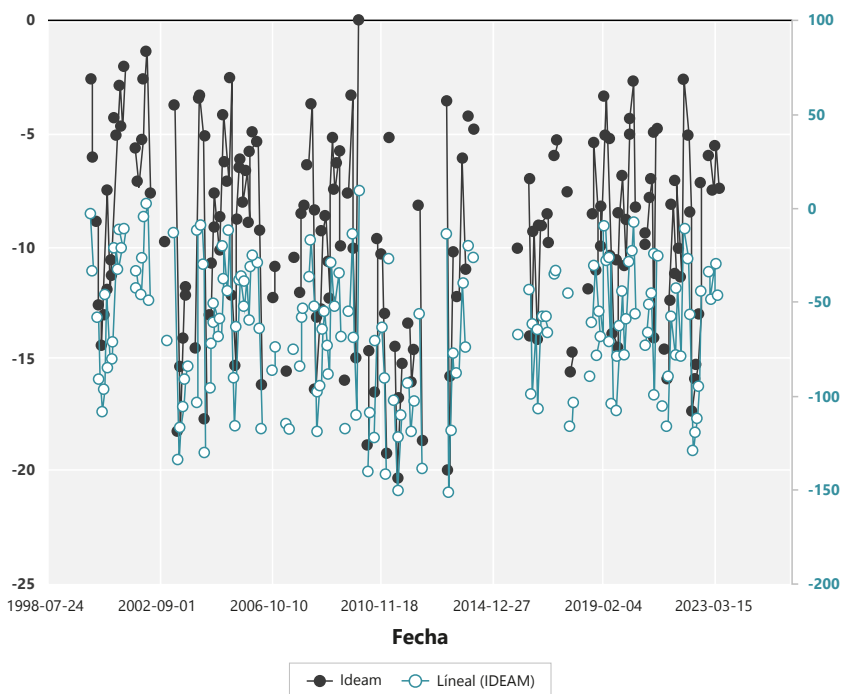
En este sentido, la Red Nacional de Isotopía permite la conformación de una base de datos que será de interés no solo en el campo de la hidrología, sino también en otras ciencias como meteorología, paleo climatología y biología, con resultados de oxígeno 18, deuterio, y tritio, como los isótopos más empleados en hidrología, que permiten evaluar procesos y reacciones que el agua experimenta a medida que se mueve de un compartimento del ciclo hidrológico a otro. Asimismo, con la implementación de esta red se ha motivado a las Autoridades Ambientales para conformar su propia red, por medio de apoyo técnico, capacitaciones realizadas por el Ideam y en algunos casos, análisis de muestras.

Una de las estaciones que cuenta con un histórico de más de cuatro décadas es la estación de Bogotá, la cual tiene datos desde 1971. Se presentan a continuación los reportes realizados para la estación de Bogotá, con los últimos resultados obtenidos, a corte de 2023.

Tabla 2. Estadística descriptiva estación GNIP-Bogotá

	H2	O18	d
Media	-66,25	-9,64	11,24
Error típico	2,74	0,33	0,22
Mediana	-62,98	-9,14	11,74
Moda	-85,70	-8,91	14,20
Desviación estándar	36,06	4,38	2,86
Varianza de la muestra	1300,09	19,17	8,17
Curtosis	-0,75	-0,65	-0,51
Coficiente de asimetría	-0,25	-0,28	-0,08
Rango	159,54	20,32	13,56
Mínimo	-151,14	-20,36	5,06
Máximo	8,40	-0,04	18,62
Suma	-11461,40	-1677,64	1955,95
Promedio	-65,89	-10,15	11,24
Promedio ponderado	-1525,04	-206,19	227,44
Datos utilizados	174,00	174,00	174,00
Datos descartados	12,00	12,00	12,00

Nota: valores en notación delta, en por miles respecto al VSMOW.

Figura 9. Series de datos, oxígeno-18 y deuterio, estación GNIP-Bogotá**Figura 10.** Estación isotópica de Bogotá

Fuente: Ana María Vesga - Subdirección de Hidrología - Ideam (2018).

Figura 11. Precipitación mensual (mm), estación GNIP-Bogotá

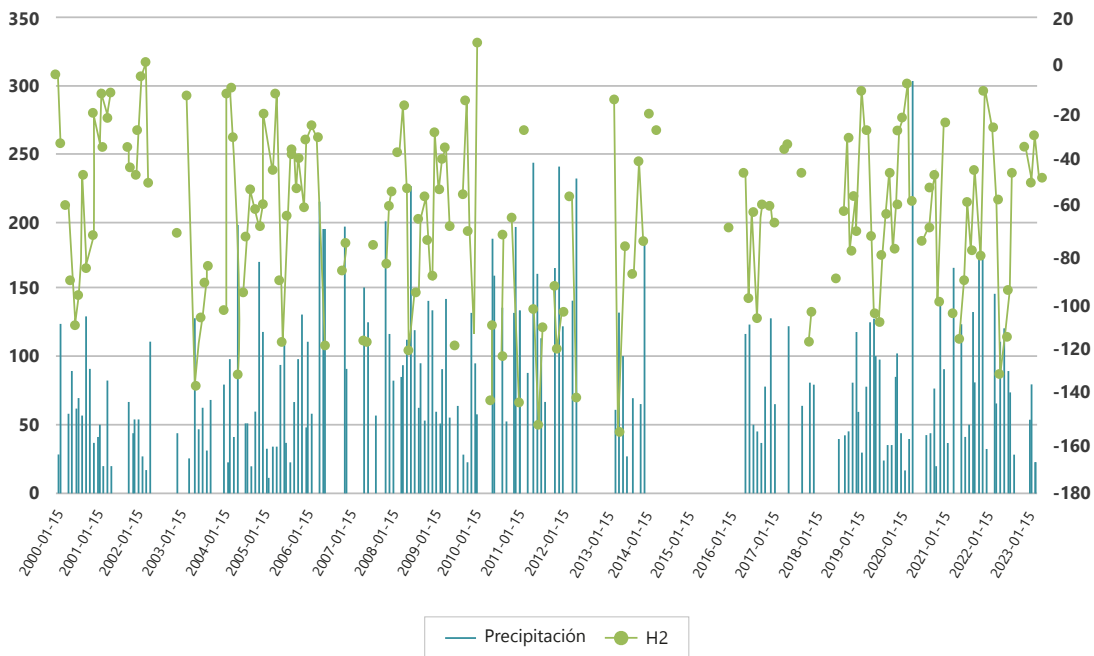
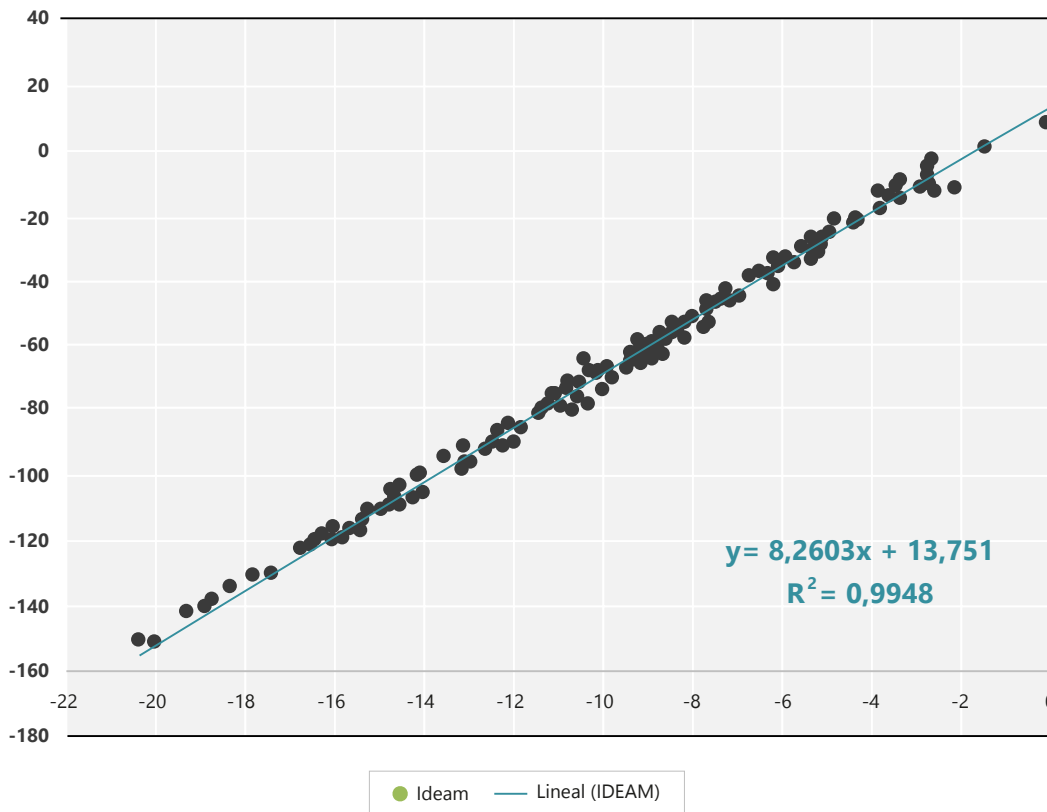


Figura 12. Recta meteórica local, estación GNIP-Bogotá, D. C.





Bibliografía:

Ortega, L. y Gil, L. (2019). Panorama de la hidrología isotópica. *Aiea Bulletin* 60, (1), 4-5.

Gat, J. E., Mook, W. G., y Meijer, H. A. (2002). Agua Atmosférica. En Mook, W. G. (Ed.), *Isótopos ambientales en el ciclo hidrológico. Principios y aplicaciones*. (págs. 177-242). Instituto Geológico y Minero de España.

Geyh, M., y Stichler, W. (2002). Agua Subterránea Zona Saturada y no saturada. En Mook, W. G. (Ed.), *Isótopos ambientales en el ciclo hidrológico. Principios y aplicaciones*. (págs. 315-426). Instituto Geológico y Minero de España.

