

COMPOSICIÓN ISOTÓPICA DE LA PRECIPITACIÓN DE LA ESTACIÓN SAN CLEMENTE DEL TUYÚ, PARTIDO DE LA COSTA, PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Cristina Dapeña¹; Silvina Carretero², Leandro Rodrigues Capítulo², Eduardo Kruse², Eduardo Llambias¹

¹ Instituto de Geocronología y Geología Isotópica (INGEIS, CONICET-UBA), Intendente Güiraldes 2160, Pabellón INGEIS, Ciudad Universitaria 1428-CABA. dapenna@gmail.com

² CONICET, CEIDE, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), 64 n° 3, 1900 La Plata, Argentina

Resumen

La composición isotópica media de la precipitación es una característica de cada región y está determinada principalmente por los parámetros meteorológicos locales. Teniendo en cuenta que la precipitación puede constituir uno de los principales factores de la recarga las aguas subterráneas, el conocimiento, la caracterización y registro de su contenido isotópico es de importancia fundamental cuando se inicia un estudio hidrológico. En este trabajo se presentan los resultados de muestras mensuales y diarias obtenidas en la estación San Clemente durante 13 años, del 04/2011 al 11/2023. Esta estación está ubicada en la ciudad de San Clemente del Tuyú, en el partido de La Costa, provincia de Buenos Aires y es operada por la Cooperativa de Provisión de Obras y Servicios Públicos de San Clemente del Tuyú Ltda. Se ha obtenido la línea de aguas meteóricas local que permitirá utilizar estos registros como función de entrada a los sistemas hidrológicos de la región.

Palabras Claves: isótopos estables, lluvia, San Clemente, Argentina.

Abstract

The isotope composition of precipitation is a characteristic of each region. It is mainly determined by meteorological local parameters like temperature, relative humidity, and amount. Precipitation represents one of the most important factors of groundwater recharge. Therefore, the knowledge and characterization of the isotope content is of great relevance when hydrological investigations are initiated. As a result, systematic measurement of isotope composition of precipitation in long term records became a useful tool. This work presents the results of monthly and daily samples obtained at San Clemente Station for 13 years, from 4/2011 to 11/2023. This station is in San Clemente del Tuyú town, district de La Costa, province de Buenos Aires and is operated by Cooperativa de Provisión de Obras y Servicios Públicos de San Clemente del Tuyú Ltda. The local meteoric water line was built and these data can be used like input function to local hydrologic systems.

Keywords: Stable Isotopes, Rainfall, San Clemente, Argentina

INTRODUCCIÓN

La precipitación de una región responde a una composición isotópica media característica determinada por los parámetros meteorológicos locales (temperatura, cantidad) y constituye uno de los principales factores de recarga. El conocimiento y caracterización de su contenido isotópico es de importancia fundamental cuando se inicia un estudio hidrológico y por lo tanto es necesario contar con su registro histórico actualizado. La medición y archivo del contenido isotópico de las precipitaciones de la Argentina se lleva a cabo a través de estaciones colectoras de precipitación distribuidas en el país (Dapeña, 2008; Dapeña y Panarello, 1999, 2005, 2007, 2008, 2010, 2013; Martínez et al., 2011; Cabrera et al., 2019 entre muchos otros).

En la localidad de San Clemente del Tuyú, en la costa oriental de la provincia de Buenos Aires, ($36^{\circ} 22' \text{ Lat S}$, $56^{\circ} 44' \text{ Long O}$) (Figura 1) la Cooperativa de Provisión de Obras y Servicios Públicos de San Clemente del Tuyú Lda. (COS) suministra agua al 20 % de la población. El clima es templado húmedo y la precipitación media anual está en el orden de 1000 mm, donde el 60% ocurre de octubre a marzo. La temperatura media anual es de 14.5°C , la humedad relativa promedio es del 85 % (Carretero, 2011).

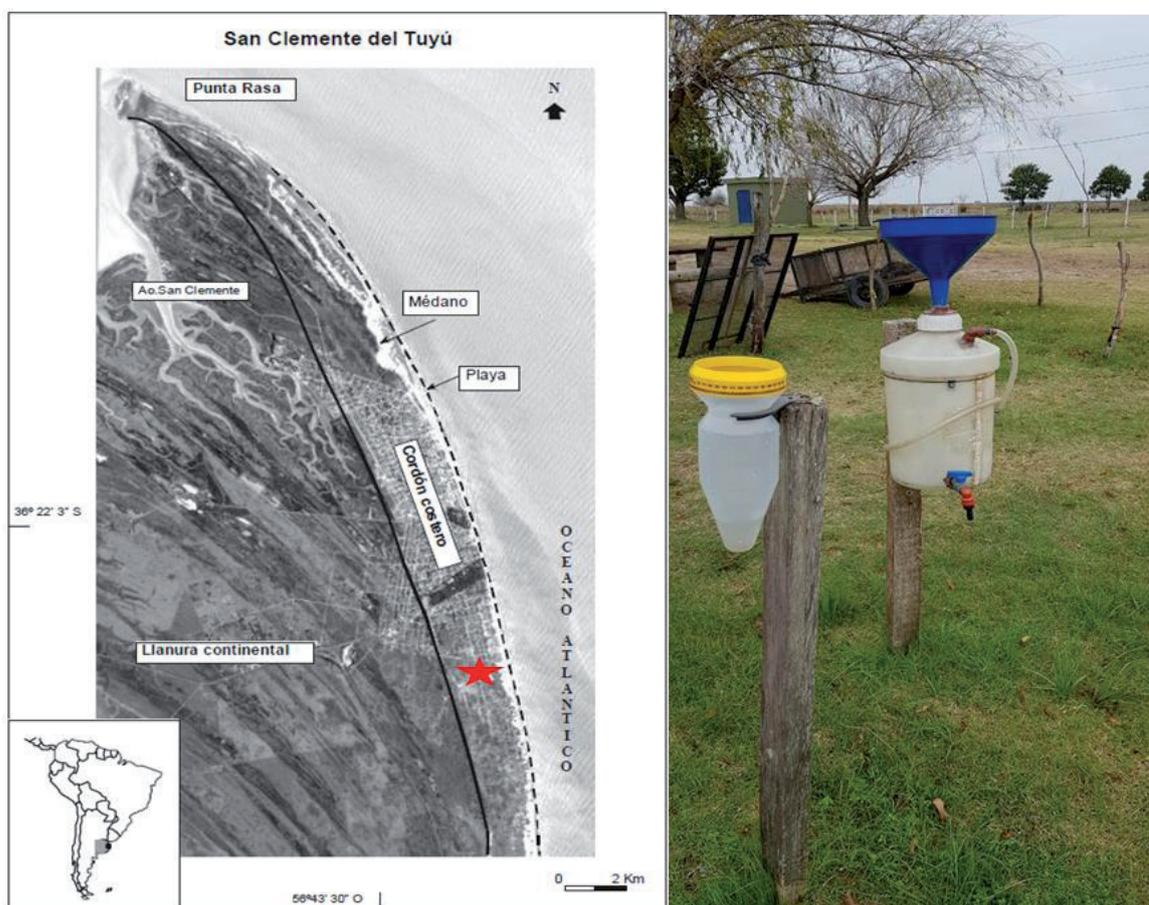


Figura 1. Mapa de ubicación y geomorfología (mapa modificado de Carretero y Kruse, 2009) y foto colector COS Mensual e individual.

El ambiente donde se encuentra esta ciudad pertenece a la Región Costera (González, 2005) en donde los ambientes geomorfológicos condicionan el comportamiento hidrodinámico e hidroquímico de las aguas subterráneas (Carretero y Kruse 2009). Esta región está constituida por médanos que conforman un cordón paralelo a la costa donde se acumulan lentes de agua dulce limitados hacia el Oeste por el agua salobre de la llanura continental y hacia el Este por el agua de mar. Las reservas de agua dulce son limitadas y restringidas a la franja de médanos costeros, estando directamente relacionadas con los

procesos de infiltración de los excesos de las precipitaciones (Carretero, 2011; Rodrigues Capítulo, 2015).

Las localidades costeras que constituyen uno de los destinos turísticos más importantes del país, incrementan notablemente su población durante el verano y la provisión de agua depende exclusivamente del acuífero costero para el suministro. El manejo y gestión de los recursos hídricos en toda la costa arenosa de la provincia de Buenos Aires es de gran importancia debido a sus limitadas reservas (Carretero et al, 2019).

En este marco, la COS solicitó en el año 2006 la asistencia a partir de un convenio de cooperación a la Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la Universidad Nacional de La Plata para la ampliación de su campo de bombeo y planta potabilizadora. A partir de ese año se lleva a cabo un programa de monitoreo a lo largo de toda la localidad y desde 2011 también se colecta agua de precipitación para analizar la composición isotópica (Carretero, 2011; Carretero et al, 2013). Este colector cubre un vacío en la distribución de estaciones ya que no se cuenta con otras en la costa entre Buenos Aires y Mar del Plata.

En este trabajo se presenta la composición isotópica de las precipitaciones en la Estación San Clemente del Tuyú ubicada en la localidad homónima durante el periodo 2011-2023. La estación es operada por la COS, que provee la cantidad de precipitación. Además de las muestras mensuales se obtuvo un set de muestras diarias en el período 2011-2022. La medición del contenido isotópico y la cantidad de las lluvias individuales se llevó a cabo con el objetivo de evaluar los procesos que modifican la composición isotópica del agua subterránea (Carretero et al, 2022).

ANTECEDENTES

La medición y registro de la precipitación en Argentina se llevó a cabo desde 1979 hasta 2015 a través de las estaciones de la Red Nacional de Colectores. Esta red fue creada por el Instituto de Geocronología y Geología Isotópica (INGEIS) en el marco de la Global Network of Isotopes in Precipitation (GNIP) (Panarello et al., 1998; Dapeña y Panarello, 1999; 2005, 2008). En 2015, a raíz del cierre durante casi 5 años del INGEIS en 2014, algunas estaciones de esta red pasaron a la órbita de la UNLPam y las mediciones fueron realizadas en los laboratorios del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y de Hidrología Isotópica de la Universidad Nacional de Mar del Plata. Actualmente, el INGEIS solamente mantiene las estaciones ciudad Universitaria y San Clemente del Tuyú (COS).

La composición isotópica del agua de lluvia es buena indicadora del origen del vapor (Dansgaard, 1964; Rozanski et al., 1993). Dansgaard (1964) realizó las primeras investigaciones con datos de la GNIP, sentó las bases para la aplicación de los métodos isotópicos en los estudios hidrogeológicos y explicó las variaciones isotópicas a través de los llamados "efectos", en términos de relaciones empíricas, que involucran parámetros meteorológicos y geográficos. El fraccionamiento isotópico depende de la temperatura (a menor temperatura mayor fraccionamiento) y juntamente con la condensación parcial durante las precipitaciones generan los efectos de "altitud", "continental", "latitud" y las variaciones estacionales (Dansgaard, 1964). Por estas razones, los procesos físicos y los fenómenos meteorológicos responsables del transporte del agua en las diferentes fases del ciclo hidrológico producen una caracterización isotópica del agua de acuerdo con su historia, que puede ser de gran utilidad en el estudio de su origen y comportamiento.

El análisis meteorológico de los extensos registros de precipitación en todo el mundo sugiere que la historia meteorológica a largo plazo de las masas de aire ("rainout history") es el principal factor que gobierna la variabilidad del contenido isotópico de una lluvia a otra, así como la estacionalidad y en las zonas tropicales la cantidad de precipitación. Todas las revisiones e investigaciones posteriores, utilizando la base de datos de la GNIP, confirmaron las variaciones espaciales y temporales observadas (Rozanski et al., 1993; Panarello et al., 1998, entre muchos otros).

Desde que Friedman (1953) publicó los primeros datos de la composición isotópica de aguas naturales se pudo observar una clara correlación entre los contenidos de deuterio

y oxígeno-18. Esta relación para aguas meteóricas no afectadas por evaporación fue fijada por Craig (1961), cuando al volcar en un gráfico $\delta^2\text{H}$ vs. $\delta^{18}\text{O}$ la composición isotópica de las precipitaciones de todo el mundo, observó que los datos determinaban una banda lineal que describió como: $\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 10 \text{‰}$. Dansgaard (1964) utilizó esta relación lineal para relacionar la composición isotópica de cualquier muestra de agua con la línea de aguas meteóricas y definió el parámetro conocido como exceso de deuterio, i.e.: "d" = $\delta^2\text{H} - 8 \cdot \delta^{18}\text{O}$, donde "d" es la ordenada al origen, parámetro inherente al vapor original y es la propiedad más útil para caracterizar el origen del mismo; éste, además, permite diferenciar procesos que se desarrollaron en equilibrio isotópico de aquellos que no lo hicieron. En la mayoría de las precipitaciones continentales "d" = +10 ‰.

Por otro lado, Gonfiantini (1999) confirmó que en cualquier lugar la composición isotópica del hidrógeno y oxígeno en precipitaciones obedece a la relación lineal del tipo: $\delta^2\text{H} = a \cdot \delta^{18}\text{O} + b$, donde: a varía de 6,5 a 8 y b varía de 0 a 30, dependiendo del origen e historia previa de la masa de aire, estación, altitud y latitud, características climáticas, etc. De esta manera se pueden definir líneas meteóricas locales que representan condiciones meteorológicas locales y que, en definitiva, permiten caracterizar la función de entrada en los sistemas hidrológicos en distintas regiones.

El análisis de varias estaciones de precipitación de la región pampeana muestra que hay una buena correlación entre la temperatura y la composición isotópica media mensual durante los meses de enero a abril y una inversión de la pendiente con un mayor enriquecimiento isotópico a menor temperatura en los meses más fríos (mayo-agosto). Asimismo, se observa un patrón estacional donde los valores más empobrecidos se registran durante los meses de febrero a mayo y en algunos años está marcado por un empobrecimiento isotópico mucho mayor con valores $\delta^{18}\text{O}$ inferiores a -10 ‰, seguramente vinculados a la procedencia de las masas de aire (Dapeña, 2008; González et al., 2009).

MATERIALES Y MÉTODOS

La operación de la estación se basa en la colección de aguas de lluvia en un pluviocolelector diseñado para recibir el total mensual de la precipitación, por lo tanto, la muestra que se analiza responde a toda la lluvia del mes. Estos colectores de precipitación se construyen de acuerdo con el diseño del OIEA (2002) para evitar los procesos de evaporación. Asimismo, desde abril 2011 hasta febrero 2022, se tomaron muestras diarias del pluviómetro colocado en las cercanías del colector (Figura 1). Las muestras se complementan con la información meteorológica: temperatura media mensual y cantidad de precipitación. En el caso de San Clemente la cantidad de precipitación es tomada por la cooperativa. La temperatura se obtiene de estaciones cercanas del Servicio Meteorológico Nacional y el INTA como Santa Teresita Aeropuerto y Dolores.

Los análisis isotópicos ($\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$) fueron realizados en el laboratorio de Isótopos Estables del INGEIS por espectroscopía Láser con un equipo Los Gatos Research inc. (OA-ICOS: Off-Axis Integrated Cavity Output Spectroscopy) hasta 2014 y con un equipo Picarro L2130-i (CRDS Cavity ring down spectroscopy) desde 2015. Los resultados se expresan como δ (‰), definido como: $\delta = 1000(R_s - R_p)/R_p \text{‰}$, donde, δ : desviación isotópica en ‰; S: muestra; P: referencia internacional; R: relación isotópica ($^2\text{H}/^1\text{H}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$). La referencia utilizada es Vienna Standard Mean Ocean Water (V-SMOW) (Gonfiantini, 1978) y los resultados y se normalizan en la escala V-SMOW-V-SLAP (Coplen, 1988). Las incertidumbres son ± 0.2 (‰) para $\delta^{18}\text{O}$ y ± 1 (‰) para $\delta^2\text{H}$ para las mediciones realizadas con ambos equipos.

Las muestras se representan en gráficos convencionales $\delta^2\text{H}$ (‰) vs $\delta^{18}\text{O}$ (‰) junto con la línea local de aguas meteóricas calculada en este trabajo, i.e $\delta^2\text{H}$ (‰) = $7.99 \cdot \delta^{18}\text{O}$ (‰) + 11.35. Se calculó el parámetro conocido como exceso de deuterio (d), mediante la ecuación d (‰) = $\delta^2\text{H} - 8 \cdot \delta^{18}\text{O}$ (Dansgaard, 1964).

La recta meteórica local se construyó aplicando regresión ortogonal, que tiene en cuenta la incertidumbre de la variable independiente y la dependiente (OIEA, 1992). El

cálculo de los promedios anuales se realizó con ponderación con la cantidad de precipitación, con una evaluación cuidadosa de los datos que deben ser depurados para eliminar los valores anómalos (OIEA, 1992). Las diferencias entre la media aritmética y la media ponderada generalmente no son significativas en las estaciones con distribución uniforme de la precipitación, sin embargo, los promedios ponderados son más apropiados como funciones de entrada en los sistemas hidrológicos (OIEA, 1992).

No todos los años tienen registro completo debido a cantidad insuficiente de agua para realizar los análisis, falta de precipitación, rotura o pérdida de envases durante el transporte o en la misma estación, no colección, etc. Se realizó una selección del registro, que consistió en la eliminación de valores que muestran anomalías extremas evidenciadas por incoherencias en los datos de ^{18}O , ^2H y d , que no pueden justificarse a través de procesos naturales y que pueden estar vinculadas a fraccionamiento por evaporación en el colector o pérdida de la muestra por desborde, mezcla de meses o días, etc. Asimismo, las muestras con registro < a 2 mm fueron descartadas dado que por su tamaño pueden ser modificadas por evaporación de las gotas de lluvia durante la precipitación (Leguy et al., 1983).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El período analizado corresponde a muestras mensuales desde abril 2011 hasta noviembre 2023 y consta de 100 registros. La composición isotópica de la precipitación mensual muestra gran dispersión con valores que varían entre -8.1 ‰ y +1.6 ‰ para $\delta^{18}\text{O}$ y -55 ‰ y +18 ‰ para $\delta^2\text{H}$ y un promedio aritmético de $\delta^{18}\text{O}=-4.3$ ‰, $\delta^2\text{H}=-23$ ‰, $d=12$ ‰ (Figura 2). En la Tabla 1 se presentan los promedios ponderados anuales con datos de más de 4 meses para este período y el promedio anual total ponderado de $\delta^{18}\text{O} = -4.5$ ‰, $\delta^2\text{H} = -25$ ‰ y $d=11$ ‰. La recta meteórica local obtenida para este período es $\delta^2\text{H} \text{ ‰} = (7.99 \pm 0.18) \delta^{18}\text{O} \text{ ‰} + (11.35 \pm 0.83)$, y $d = 11$ ‰ (Figura 2). Esta recta meteórica es consistente con otras rectas calculadas para la región pampeana (Dapeña, 2008; Dapeña y Panarello, 2004, 2007; Dapeña et al 2010, 2013; Martínez et al., 2011; Cabrera et al., 2019; Ceballo et al, 2022).

Con el objetivo de evaluar los procesos que modifican la composición isotópica del agua subterránea en la región se analizaron las lluvias diarias, cuya distribución se presenta en la Figura 3 junto con la línea meteórica local. El registro comprende 183 precipitaciones que muestra una amplia dispersión con valores entre -12.5 ‰ y +2.2 ‰ para $\delta^{18}\text{O}$ y -88 ‰, +28 ‰ para $\delta^2\text{H}$ y d entre 5 ‰ y 19 ‰ para el período 4/2011 – 2/2022 (Figura 3).

La gran amplitud en los valores de las lluvias individuales revela los distintos orígenes de las masas de aire que producen las precipitaciones, y a su mayor o menor influencia. Otros procesos que modifican el clima de la región son el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), la zona de interconvergencia tropical (ITCZ) y el Jet en capas bajas (González et al., 2009).

Tabla 1. Promedios anuales ponderados de la precipitación en la Estación San Clemente del Tuyú

Año	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	d (‰)	Período
2011	-4.0	-18	14	9 meses
2012	-4.9	-26	14	12 meses
2013	-3.6	-19	10	8 meses
2014	-4.8	-25	13	7 meses
2015	-4.6	-22	14	4 meses
2016	-5.1	-29	12	4 meses
2017	-4.7	-27	10	9 meses
2018	-4.5	-27	9	5 meses
2019	-4.6	-26	11	7 meses
2020	-3.7	-17	13	11 meses
2021	-5.0	-32	9	6 meses
2022	-4.7	-28	10	8 meses
2023	-4.6	-26	10	10 meses

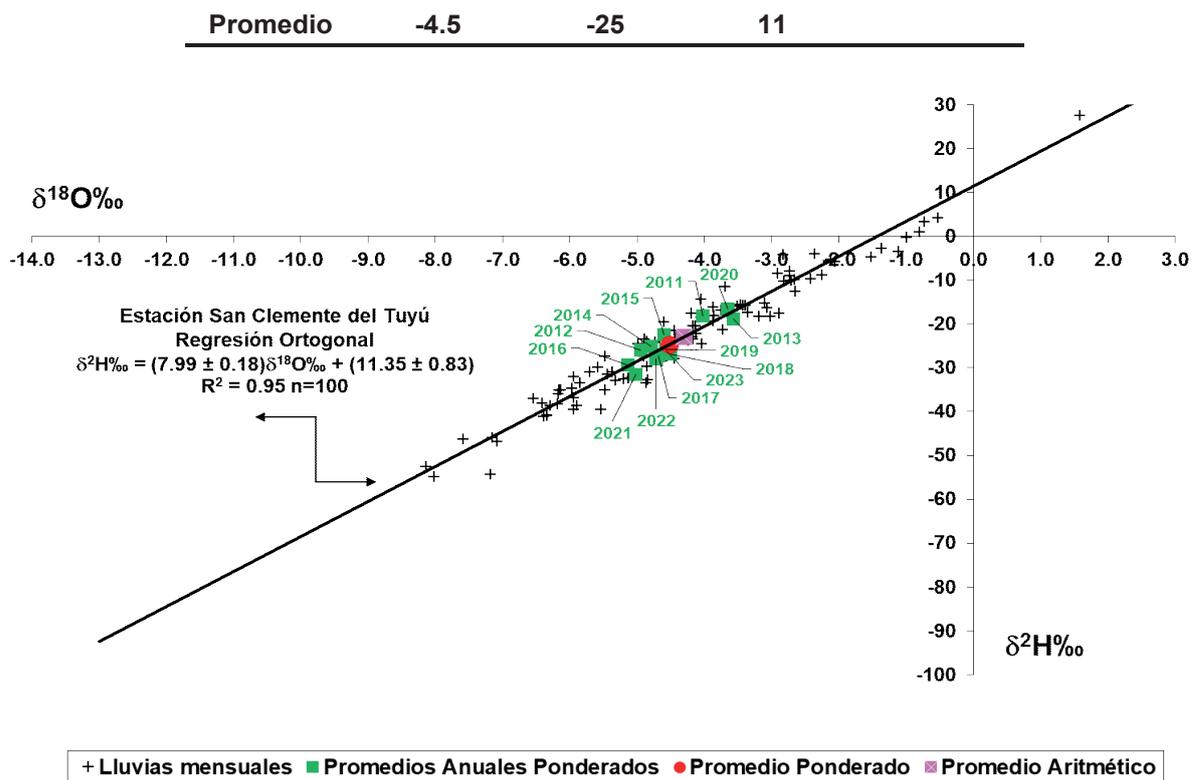


Figura. 2. $\delta^{18}\text{O}$ (‰) y $\delta^2\text{H}$ (‰) de la precipitación, recta meteórica local, lluvias mensuales, promedio ponderado, promedio aritmético y promedios anuales ponderados. Período 2011-2023.

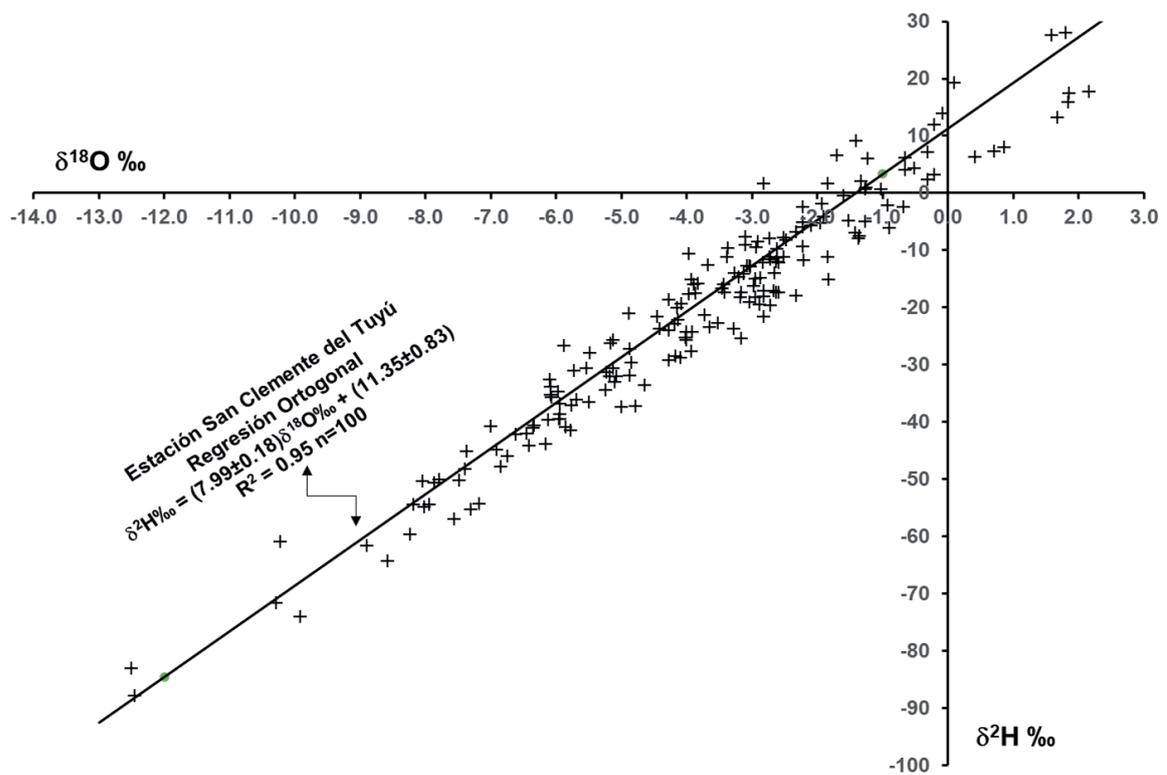


Figura. 3. $\delta^{18}\text{O}$ (‰) y $\delta^2\text{H}$ (‰) de las lluvias diarias junto con la recta meteórica local.

CONCLUSIONES

El propósito fundamental del registro de la precipitación en la estación San Clemente del Tuyú, así como en otras localidades del país, es brindar las bases científicas y técnicas necesarias para la realización de estudios isotópicos complementarios a los llamados métodos “clásicos” de la hidrogeología con el fin de lograr un manejo adecuado de los recursos hídricos a efectos de preservar su calidad y cantidad.

En el caso de la Estación San Clemente del Tuyú la medición de la composición isotópica de la precipitación mensual y diaria permitió determinar los procesos que modifican el agua subterránea como la infiltración directa, la infiltración selectiva, la intrusión salina (marina y continental).

La recta meteórica local obtenida, así como los promedios ponderados mensuales y las lluvias diarias, se usan como referencia para los trabajos de investigación aplicada que la Universidad Nacional de La Plata está desarrollando en otras localidades del Partido de la Costa como Las Toninas, Km314, Santa Teresita, Aguas Verdes, San Bernardo, Mar de Ajó, Montecarlo, Ostende, Valeria del Mar, Pinamar y Cariló.

REFERENCIAS

- Cabrera, A., Blarasin, M., Bécher Quinodoz, F., Lutri, V., Felizzia, J., Eric, C., Matteoda, E., Giacobonne, D.** (2019) The local meteoric water line in the Pampean Plain of Córdoba, Argentina. *J Appl Geol Geophys* 7:19-25
- Carretero, S.** (2011). Comportamiento hidrológico de las dunas costeras en el sector nororiental de la provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, La Plata. Argentina. <http://sedici.unlp.edu.ar/>
- Carretero, S. y Kruse, E.** (2009). Respuesta del nivel freático a un evento de precipitaciones extremas en médanos costeros. Trabajo R34. *VI Congreso Argentino de Hidrogeología* CD. La Pampa
- Carretero, S., Dapeña, C., Kruse, E.** (2013). Hydrogeochemical and isotopic characterisation of groundwater in a sand-dune phreatic aquifer in the northeastern coast of the province of Buenos Aires. Argentina. *Isotopes in Environmental & Health Studies*, 49(3), 399-419.
- Carretero, S., Rodrigues, C.L., Kruse, E.** (2019). Decision tree as a tool for the management of coastal aquifers of limited saturated thickness. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*. 53 (2), 189–200.
- Carretero, S., Rodrigues Capítulo, L., Dapeña, C., Fabiano, M., Kruse, E.** (2022). A chemical and isotopic approach to investigate groundwater dynamics in a coastal aquifer. *CATENA* 213: 106229, 18p.
- Ceballo, L., Dapeña, C., Schulz, C.J.** (2022). Isótopos ambientales en el agua subterránea en el noreste de la provincia de La Pampa, Argentina. *En: Libro digital PDF, XI congreso Argentino de Hidrogeología: agua subterránea, el agua que no se ve / Miguel P. Auge... [et al.]; coordinación general de René E. Albouy. -1a ed.-* Bahía Blanca: Editorial de la Universidad Nacional del Sur. Ediun: 134-142
- Coplen, T.B.** (1988). Normalization of oxygen and hydrogen isotope data. *Chemical Geology: Isotope Geoscience section* 72 (4): 293-297.
- Craig, H.** (1961). Isotope variations in meteoric waters. *Science* 133: 1702-1703.
- Dansgaard, W.** (1964). Stable isotopes in precipitation. *Tellus* 16: 436-468.
- Dapeña, C.** (2008). Isótopos Ambientales livianos: su aplicación en hidrología e hidrogeología. Tesis Doctoral. Departamento de Ciencias Geológicas, FCEN, UBA. Tesis 4282. 442p http://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n4282_Dapena
- Dapeña, C. y Panarello, H.O.** (1999). Development of the National Network for Isotopes in Precipitation of Argentina. *II Simposio Sudamericano de Geología Isotópica*, Córdoba, Actas: 503-507.
- Dapeña, C. y Panarello, H.O.** (2005). Evolución y estado actual de la Red Nacional de Colectores de Isótopos en Precipitación de la República Argentina. *XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata, Actas II*: 635-642.

- Dapeña, C. y Panarello, H.O.** (2004). Composición isotópica de la lluvia de Buenos Aires. Su importancia para el estudio de los sistemas hidrológicos pampeanos. *Revista Latinoamericana de Hidrogeología*, n.4, p.17-25,
- Dapeña, C. y Panarello, H.O.** (2007). Composición isotópica de la precipitación de la Estación Santa Fe. *V Congreso Argentino de Hidrogeología*, Actas: 187-198
- Dapeña, C. y Panarello, H.O.** (2008). Isótopos en precipitación en Argentina. Aplicaciones en estudios Hidrológicos e Hidrogeológicos. *IX Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea. ALHSUD Volumen CD T-100*. 8p. Quito, Ecuador.
- Dapeña, C., Varni, M. Panarello, H., Ducos, E., Weizental, P. y Usunof E.** (2010). Composición isotópica de la Estación Azul, provincia de Buenos Aires. Red Nacional de Colectores, Argentina. *I Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras*, Actas I: 227-234.
- Dapeña, C., Portela, S., Panarello, H., Ducós, E.I.** (2013). Composición isotópica de la precipitación de la Estación Pergamino, provincia de Buenos Aires. Red Nacional de Colectores Argentina." *Agua subterránea recurso estratégico*", Editores: González, Kruse, Trovatto y Laurencena. Tomo II: 21-28. EDULP
- Friedman, I.** (1953). Deuterium content of natural water and other substances. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 4: 89-103.
- Gonfiantini, R.** (1978). Standards for stable isotope measurements in natural compounds. *Nature* 271: 534-536.
- Gonfiantini, R.** (1999). Investigating the hydrological Cycle with Environmental Isotopes. Conference. *II South American Symposium on Isotope Geology*, Actas: 537-547.
- González, N.** (2005). Los ambientes hidrogeológicos de la Provincia de Buenos Aires- Editores de Barrio R, Etcheverry R, Caballé M, Llambías E (eds) *Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino* Asociación Geológica Argentina, La Plata, Argentina: 359–374.
- González, M., Dapeña, C., C., Cerne, B., Sanchez-Ccoyllo, O., Freitas, S., Silva Dias, P.L., Panarello, H.** (2009). Verification of the geographical origin of modeled air-mass trajectories by means of the isotope composition of rainwater during the SALLJEX experiment. *Environmental Fluid Mechanisms*. Vol 9 (4): 389-407.
- Leguy, C., Rindsberger, M., Zwangwil, A., Issar, A., Gat, J.R.** (1983). The relation relation between the 18O and deuterium contents of rainwater in the Negev Desert and air-mass trajectories. *Chem Geol*.1:205–218.
- Martínez, D.E., Quiroz Londoño, O.M., Dapeña, C., Massone, H.E., Ferrante A., Glok-Galli, M.** (2011). Caracterización Isotópica e Hidroquímica de las precipitaciones en el sector sur de Tandilía. *VII Congreso Argentino de Hidrogeología Salta*. Trabajo T47: 369-377
- OIEA** (1992). Statistical Treatment of Data on Environmental Isotopes in Precipitation. *Technical Reports Series N° 331*, Vienna, 781p.
- OIEA** (2002). A new device for monthly rainfall sampling for GNIP. *Water & Environment News, Isotope Hydrology Section, Issue 16: 5*.
- Panarello, H.O., Araguas-Araguas, L., Gerardo Abaya, J. y Gibert, E.** (1998). The role of the "Global Network for Isotopes in precipitation, GNIP, in hydrological and hydroclimatic studies. Key note. *Actas del International Symp. Isotope Techniques in the Study of Past and Current Environmental Changes in the Hydrosphere and the Atmosphere*. IAEA, Vienna, pp. 79-91.
- Rodrigues Capítulo, L.** (2015). Evaluación geohidrologica en la region costera oriental de la provincia de Buenos Aires. Caso de Estudio: Pinamar Tesis, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata <http://sedici.unlp.edu.ar/>
- Rozanski, K., Araguas Araguas, L. y Gonfiantini, R.** (1993). Isotopic patterns in modern global precipitation. *Geophysical Monograph* 78, American Geophysical Union, 1-36