

ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA RELACIÓN ENTRE LOS ISÓTOPOS DEL OXÍGENO EN UN SISTEMA HIDROLÓGICO Y EN MOLUSCOS, EN EL ÁMBITO DE LA LLANURA PAMPEANA (BUENOS AIRES, ARGENTINA)

A PRELIMINARY ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN OXYGEN ISOTOPES IN A HYDROLOGICAL SYSTEM AND MOLLUSKS IN THE PAMPEAN PLAIN (BUENOS AIRES, ARGENTINA)

María Soledad Gualde^{(1)(2)(*)}, Sebastián Dietrich⁽¹⁾⁽³⁾⁽⁴⁾, María Emilia Zabala⁽¹⁾⁽³⁾⁽⁵⁾ y Sabrina Dubny⁽¹⁾⁽³⁾

⁽¹⁾ Instituto de Hidrología de Llanuras, Azul, Buenos Aires, Argentina.

⁽²⁾ Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, Argentina.

⁽³⁾ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina.

⁽⁴⁾ Facultad de Agronomía, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Azul, Buenos Aires, Argentina

⁽⁵⁾ Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Olavarría, Buenos Aires, Argentina.

(*)email: msgualde@ihlla.org.ar

RESUMEN

Los isótopos estables son utilizados ampliamente como trazadores y marcadores para evaluar los ecosistemas dado que se encuentran circulando integradamente en ellos reflejando los procesos que allí ocurren. En este trabajo, se recopiló información antecedente química e isotópica de un sistema hidrológico ubicado en las cuencas de los arroyos del Azul y Tapalqué, (ámbito de la llanura pampeana) y de conchas de moluscos fósiles y modernos del mismo sistema. El objetivo fue analizar e integrar los datos mediante diagramas hidroquímicos e isotópicos. A través del análisis del $\delta^{18}\text{O}$ se encontró que en el sistema hidrológico actual los valores isotópicos responden a un acoplamiento de procesos hidrológicos. En este sentido, se ha podido establecer que las conchas de los moluscos modernos presentan similitudes respecto a los valores isotópicos medios de sus aguas madres, las cuales reflejan los procesos hidrológicos del sistema. En cuanto a las conchas de moluscos fósiles se estableció una relación entre su paleoambiente de depositación y las lagunas del sistema hidrológico actual. De este modo, las interpretaciones ambientales en los ecosistemas, a partir del análisis del $\delta^{18}\text{O}$, se robustecen cuando se tienen en cuenta los procesos hidrológicos que ocurren en el sistema bajo estudio de forma integrada.

Palabras clave: $\delta^{18}\text{O}$, procesos hidrológicos, ecosistemas, interpretaciones ambientales.

ABSTRACT

Stable isotopes are widely used as tracers and markers, since they are circulating in ecosystems and reflect the integration of processes occurring within them. In this study, background chemical and isotopic information was collected from a hydrological system and from fossil and modern mollusk shells from del Azul and Tapalqué basins, in the Pampean plain. The objective was to analyze and integrate data using hydrochemical and isotopic diagrams. Based on the analysis of $\delta^{18}\text{O}$ it was found that in the present hydrological system the isotopic values respond to a coupling of hydrological processes. It was demonstrated that modern mollusk shells exhibit similarities with the mean isotopic values of their mother waters, which reflect the hydrological processes of the system. As regards the fossil mollusks shells, a relationship was established between their paleoenvironment of deposition and the shallow lakes of the present hydrological system. Therefore, environmental interpretations in ecosystems, based on $\delta^{18}\text{O}$ analysis, are improved when the whole set of hydrological processes occurring in the system under study are taken into account in an integrated manner.

Keywords: $\delta^{18}\text{O}$, hydrological processes, ecosystems, environmental interpretations.

INTRODUCCIÓN

Los isótopos constituyen una herramienta ampliamente utilizada en diversos campos de las ciencias y presentan una extensa gama de aplicaciones. Brindan información sobre el funcionamiento y la dinámica de los componentes que integran un mismo sistema. En el caso de los sistemas hidrológicos, el uso de herramientas isotópicas permite conocer el origen del agua, la edad y su dinámica, identificar zonas de recarga y descarga y calcular la temperatura a la que se recargan los acuíferos. Su aplicación contribuye al entendimiento del funcionamiento hidrológico actual y posibilita efectuar inferencias sobre su funcionamiento en el pasado. Es abundante la literatura científica que aborda el estudio de los procesos hidrológicos a partir de la utilización de herramientas isotópicas. A escala mundial se cuenta con los trabajos pioneros de Urey (1947), Epstein y Mayeda (1953), Dansgaard (1954) y Craig (1961). En las últimas décadas Gat (1998; 1996), Leng y Marshall (2004), Darling (2004), Sprenger et al. (2016), Passey y Levin (2021), entre otros, han utilizado además, a los isótopos estables, como indicadores paleoclimáticos. A escala local se cuenta con los trabajos de Dapeña y Panarello (2004), Dapeña et al. (2010), Martínez et al. (2011, 2013, 2016), Zabala et al. (2021; 2015, 2016; 2011), Glock Galli et al. (2018), Quiroz Londoño et al. (2015), Calvi et al. (2022), entre muchos otros, que han aplicado técnicas isotópicas para identificar y explicar diferentes procesos.

Los isótopos estables constituyen marcadores y trazadores que están presentes en los sistemas naturales, su distribución refleja una historia integrada de los procesos metabólicos y físicos ocurridos en los ecosistemas (Peterson y Fry, 1987). Pueden ser aplicados ya sea para describir un sistema hidrológico como también para monitorear perturbaciones, tales como cambios en el clima o la ocurrencia de inundaciones/sequías e incendios, entre otros. Por otro lado, contribuyen a la identificación de cuál o cuáles componentes del ecosistema son más sensibles a cierta perturbación. Por ejemplo, Kelemen et al. (2017), han evaluado el $\delta^{18}\text{O}$ del agua de los ríos y el $\delta^{18}\text{O}$ de las conchas de moluscos de agua dulce que habitan en ellos, concluyendo que ambos indicadores isotópicos empleados en conjunto, robustecen los balances de precipitación- evaporación y registran mejor los cambios ocurridos en los sistemas fluviales. Por su parte, Zanchetta et al. (2017), han demostrado que el

análisis del $\delta^{18}\text{O}$ del carbonato pedogénico junto con el $\delta^{18}\text{O}$ del carbonato de caracoles terrestres son buenos indicadores y refuerzan la estimación de las precipitaciones y variaciones de la temperatura atmosférica durante el Cuaternario. Estos trabajos, entre otros, confirman el potencial de las herramientas isotópicas para el estudio de los medios físicos y bióticos con un enfoque integrador, las cuales reflejan la interacción que ocurre en los ecosistemas.

En el ámbito de la llanura pampeana bonaerense, el estudio de los procesos hidrológicos ha sido abordado mediante la utilización de variadas herramientas isotópicas. Se ha caracterizado tanto el agua de lluvia como el agua superficial (arroyos, lagunas) y subterránea y se han identificado los principales procesos que condicionan el movimiento y distribución del agua en zonas de llanura (Dapeña y Panarello, 2004; Glock-Galli et al., 2020; Quiroz Londoño et al., 2020; Romanelli et al., 2014; Zabala et al., 2021). Respecto al análisis de isótopos estables sobre el medio biótico, De Francesco y Hassan (2013), hacen hincapié en realizar dichos estudios sobre las conchas de moluscos, ya que estos juegan un rol fundamental en los ecosistemas continentales, no sólo por su diversidad sino también por su amplia distribución temporal y espacial, convirtiéndolos en buenos indicadores para efectuar interpretaciones ambientales tanto para el tiempo presente (moluscos modernos) como para el pasado (moluscos fósiles). Los estudios isotópicos que se efectúan sobre estos organismos evalúan las relaciones de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$ encontrados en el carbonato de sus conchas, las cuales están controladas por ciertos aspectos geoquímicos y ecológicos del cuerpo de agua que los hospeda durante el crecimiento de la concha (Epstein y Mayeda, 1953; Goodfriend et al., 1989; Lemeille et al., 1983; Urey, 1947, entre otros). La composición isotópica del agua ambiental y su temperatura son los factores principales que determinan el contenido de $\delta^{18}\text{O}$ en el carbonato de las conchas de los moluscos de agua dulce (Abell, 1985). Se ha encontrado una fuerte relación entre el $\delta^{18}\text{O}$ de las conchas y el $\delta^{18}\text{O}$ promedio de las precipitaciones locales (Bao et al., 2019). Por otro lado, el enriquecimiento isotópico de $\delta^{18}\text{O}$ en las aguas debido al proceso de evaporación, especialmente en sistemas lacustres de ambientes áridos y/o cálidos, explica en gran medida el $\delta^{18}\text{O}$ encontrado en las conchas de los organismos que habitan dichos ambientes (Wurster y Patterson, 2001). Sin embargo, en el caso de los caracoles terrestres higrófilos, esta

relación es un tanto más compleja. En estos casos, se estima que el contenido de $\delta^{18}\text{O}$ de las conchas está controlado por el vapor atmosférico y el agua que ingiere el organismo, ya sea desde la vegetación o desde cuerpos de agua (Prendergast et al., 2015).

En resumen, la relación entre el $\delta^{18}\text{O}$ de cada componente del sistema hidrológico y el $\delta^{18}\text{O}$ de las conchas de los moluscos que habitan o habitaron esos sistemas constituyen indicadores sumamente útiles para inferir las condiciones ambientales, dado que los isótopos del oxígeno se encuentran circulando integradamente en los ecosistemas.

OBJETIVOS

En este trabajo se analizará la relación entre el $\delta^{18}\text{O}$ de conchas de moluscos fósiles y modernos con el $\delta^{18}\text{O}$ de muestras de agua (precipitaciones, agua superficial y subterránea) de un sistema hidrológico actual, con el objetivo de establecer los procesos hidrológicos que controlan la impronta isotópica de las conchas, a partir de las cuales se realizan interpretaciones paleoambientales. Para evaluar esta relación, se utilizarán datos antecedentes de $\delta^{18}\text{O}$ de moluscos fósiles (Pleistoceno Superior, ~35-34 ka A.P.) y modernos colectados en el arroyo Tapalqué y muestras de agua procedentes de las precipitaciones, los arroyos del Azul y Tapalqué, lagunas de la región y el acuífero Pampeano en el ámbito de las cuencas homónimas.

ÁREA DE ESTUDIO

Características generales

El área de estudio se ubica en el ámbito de la llanura pampeana, en el centro de la provincia de Buenos Aires, entre los arroyos del Azul y Tapalqué. Ambos cursos de agua integran la red hidrográfica de la margen sur de la cuenca del río Salado y son afluentes del mismo (Figura 1). Las cuencas de los dos arroyos, colindantes entre sí, están caracterizadas por un típico paisaje de llanura y comparten características geológicas, geomorfológicas, hidrológicas, ecológicas y productivas, ya que se encuentran ubicadas en los complejos ecosistémicos Sierras Bonaerenses hacia las nacientes de los arroyos (sur de la región) y Pampa Deprimida hacia el norte (Morello et al., 2012). Estructuralmente, se emplazan entre las unidades de las Sierras de Tandilia hacia el sur y la cuenca tectónica del Salado hacia el norte (Dalla Salda et al., 2006).

Climáticamente, en el ámbito de las Sierras de Tandilia, se despliega un clima templado serrano, dónde son frecuentes los vientos desde el noroeste, excepto en invierno, cuando la región es atravesada por los frentes fríos del suroeste. Las sequías son eventos poco probables, mientras que las lluvias son más frecuentes pero con baja intensidad y corta duración. El sector extraserrano de ambas cuencas se ubica dentro de una zona con clima templado, caracterizada como muy lluviosa debido al ingreso de masas húmedas desde el Océano Atlántico Sur. Los eventos de sequía son frecuentes pero de baja duración e intensidad, mientras que los ciclos húmedos presentan menor frecuencia, con una intensidad intermedia y una mayor duración (Aliaga et al., 2017). El promedio anual de precipitaciones obtenido de la estación meteorológica de Azul (Servicio Meteorológico Nacional, periodo 1901-2019), es de 911 mm, siendo junio el mes con menos precipitaciones registradas (31 mm) y marzo el mes más lluvioso (118 mm). En cuanto a la temperatura, el promedio anual es de 14.4 °C, con una temperatura promedio mínima de 6.7 °C para el mes de julio y una temperatura promedio máxima para el mes de enero de 21.6 °C (periodo 1966-2019).

Geología, geomorfología e hidrología

La zona bajo análisis está conformada por una sucesión sedimentaria que se apoya en discordancia sobre rocas proterozoicas del basamento ígneo-metamórfico del Sistema de Tandilia y en sectores, sobre pelitas, areniscas y calizas del Neoproterozoico. De dicha sucesión, sólo afloran los primeros metros, generalmente en las barrancas de los arroyos o en cortes de rutas y caminos rurales. A rasgos generales, estos sedimentos representan antiguas divisorias de valles y cursos fluviales con algunas depresiones de pendiente muy suave que correspondieron a sistemas de lagunas. Textualmente estas unidades se describen como limos, limos arcillosos y arenas finas con intercalaciones de clastos tamaño grava fina a media, con niveles de carbonato de calcio. Fidalgo et al. (1986) describieron estas unidades en las barrancas del arroyo Tapalqué y las nombraron como Formación Luján, la cual se compone del Miembro Guerrero (base) y el Miembro Río Salado (techo). En la base del Miembro Guerrero, Dillon y Rabassa (1985), describen una sucesión limo arcillosa y areno limosa con colores amarrados que nombraron como Miembro La Chumbiada. Fidalgo et al. (1986) distinguieron importantes niveles de paleosuelos representativos del límite

Pleistoceno-Holoceno, que separan el Miembro Guerrero del Miembro Río Salado. El Miembro Guerrero, muestra un origen subacuático y está compuesto por arena fina y arena limosa. En la base presenta coloración marrón a marrón amarillento (Miembro La Chumbiada) que transicionalmente pasa a arena limosa y limo arenoso, verde amarillento a verde grisáceo. Por su parte, los sedimentos del Miembro Río Salado (Fidalgo, 1983) se apoyan en discordancia, y por sectores en forma transicional, sobre los depósitos del Miembro Guerrero. Están conformados por limos arenosos a arcillosos, de coloración grisácea a blanquecina. Según estudios paleontológicos efectuados sobre mamíferos de Buenos Aires, la Formación Luján presenta edades que van desde el Pleistoceno

Superior al Holoceno Inferior (Soibelzon, et al., 2019). Para los depósitos de las barrancas del arroyo del Azul, si bien no se cuenta con una sección tipo en la bibliografía, los estudios de afloramiento (Zárate et al., 2010) y las correspondientes correlaciones de los primeros metros de perforaciones en campo, coinciden con las descripciones litológicas y estratigráficas correspondientes a la Formación Luján. Cabe mencionar que a estos depósitos de la Formación Luján de origen fluvial y palustre, se los correlaciona espacio-temporalmente con la Formación La Postrema (Fidalgo, et al., 1986), de génesis típicamente eólica y asociada a mantos de loess depositados fundamentalmente en las divisorias de valle (Zárate, 2005).

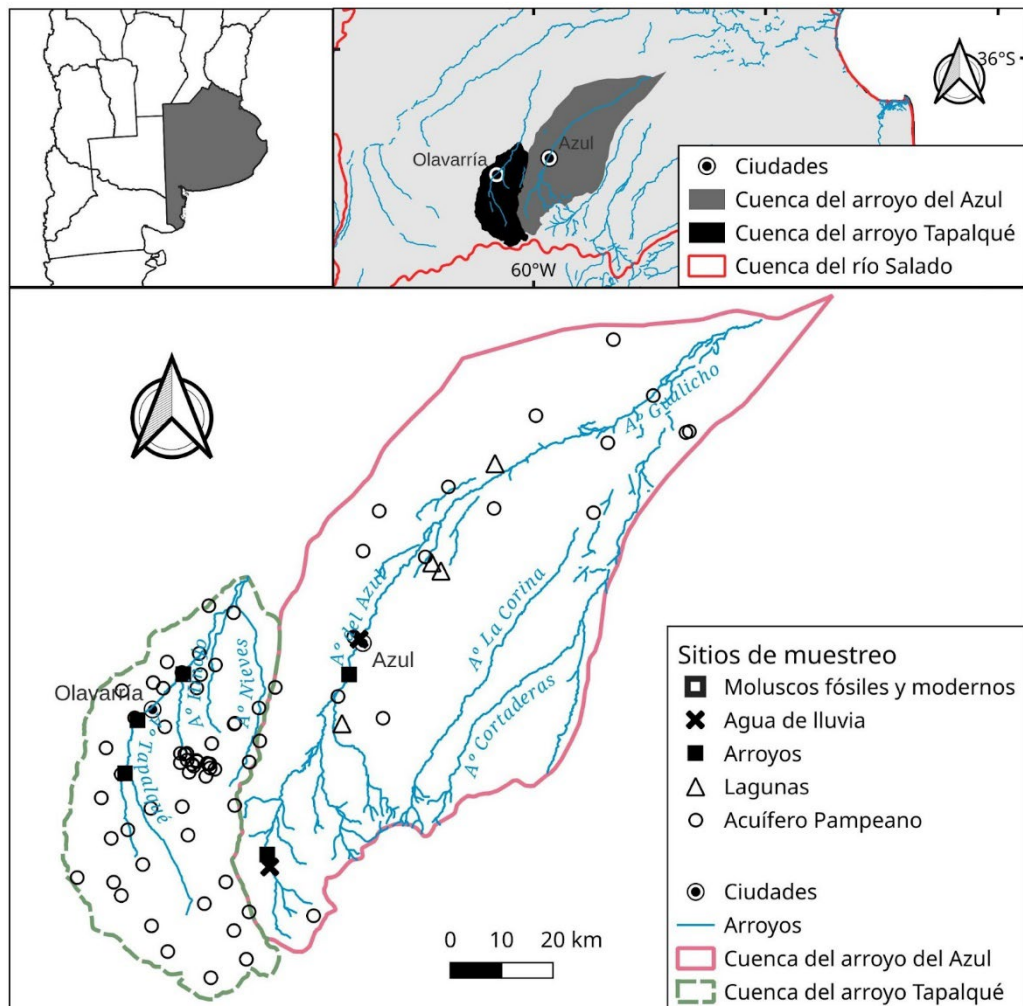


Figura 1: Mapa de ubicación de la zona de estudio y sitios de muestreo de conchas y aguas.

Por su parte, el acuífero de la región, se conforma en su sección superior por las formaciones Luján y La Postrera, mientras que en su sección inferior por los Sedimentos Pampeanos (Fidalgo, 1983). Estos últimos, de edad Plio-Pleistoceno, están compuestos por limos arcillo arenosos y arcillas limo arenosas, con tramos edafizados y sectores con acumulaciones calcáreas. Para los Sedimentos Pampeanos se infiere una génesis eólica y sedimentación en medios ácuos, lacustres y/o fluviales (Zárate, 2005). Estas unidades conforman un único acuífero sedimentario multicapa denominado acuífero Pampeano.

Geomorfológicamente, el área serrana conformada por las Sierras de Tandilia, corresponde a una superficie de planación regional muy antigua, ascendida y posteriormente disectada. En esta zona son comunes los cerros aislados en cuyas cúspides afloran rocas del basamento ígneo-metamórfico precámbrico, alcanzando una altitud de 450-500 m. Por sectores aflora la roca desnuda, en forma de bochones o subhorizontalmente, generando un relieve suavemente ondulado. Los pedemontes serranos están formados por mantos de loess de pocos metros de espesor, depositados sobre una costra calcárea (tosca), que suele aflorar en las lomas. La red de drenaje es bien definida y está formada por arroyos encajonados que bajan de las sierras y luego se vuelven temporarios o se insumen en la llanura (Morello et al., 2012; Zárate et al., 2010). Este sector constituye la cabecera de los arroyos del Azul y Tapalqué. Respecto al área extraserrana, se presenta como una extensa planicie de relieve muy suave. El paisaje está caracterizado por geoformas eólicas, fluviales y palustres, que se superponen entre sí generando un complejo mosaico de unidades sedimentarias. Entre las geoformas eólicas de acumulación se destacan los mantos de loess, las dunas parabólicas y las dunas longitudinales, cuya orientación permite inferir una acción dominante de los vientos desde el cuadrante oeste-sudoeste. Las geoformas eólicas de erosión comprenden las cubetas de deflación. Las mismas exhiben dimensiones variables y se distribuyen en casi todo el ámbito del dominio extraserrano. (Zárate et al., 2010). Fidalgo (1983) estableció que la zona está conformada por amplios abanicos aluviales de bajo gradiente topográfico. Según Zárate et al. (2010), esta interpretación estaría vinculada con el diseño de la red de drenaje de tipo distributivo que se desarrolló para ambas cuencas. Este patrón de drenaje conforma líneas sin encauzamiento o con encauzamiento moderado. En ambas cuencas, el gradiente y orientación general que presenta el diseño distributivo está controlado

por una planicie de agradación, que exhibe una costra calcárea estratiforme (tosca) bastante regular en el espacio con pendientes muy bajas (Zárate et al., 2010; Morello et al., 2012).

Los arroyos, tanto del Azul como Tapalqué, son los típicos cursos de agua de la llanura pampeana con un cauce principal bien establecido y de baja sinuosidad en cuenca alta, la cual aumenta hacia cuenca baja, donde se desarrollan algunos meandros. Hacia la cuenca baja, estos cauces van perdiendo su expresión hasta el punto de desarrollar un diseño de drenaje tipo anárquico. Ambos arroyos exhiben barrancas que pueden superar los 3-4 m (especialmente en cuenca media y alta), mientras que, en otros sectores ubicados en cuenca baja, las barrancas son menores a 1 m. Las lagunas se desarrollan en las cubetas de deflación, siendo algunas temporarias en periodos secos, mientras que en los periodos húmedos se conectan entre sí a través de líneas de drenaje. Estos cuerpos de agua en general presentan forma circular a semicircular, con escasa profundidad y extensión areal (Zárate et al., 2010).

En esta zona el nivel freático fluctúa muy próximo a la superficie del terreno. En el caso de la cuenca del arroyo del Azul, varía entre 6 m aproximadamente en cuenca alta y menos de 1 m en cuenca baja, lo que favorece la evaporación y evapotranspiración directamente desde el acuífero (Marcovecchio y Varni, 2020). El acuífero Pampeano se recarga por precipitaciones, principalmente en otoño y primavera, con tasas de recarga anual que oscilan entre el 20% de la precipitación en cuenca alta, entre 10 y 20% en cuenca media y menos de 10% en cuenca baja (Varni et al., 2013). El acuífero en esta región es sumamente relevante ya que tanto los arroyos como las lagunas, son alimentados a través de flujos locales de agua subterránea. Estos aportes son variables de acuerdo a la profundidad del nivel freático. En el sector de cuenca alta, Guevara Ochoa et al. (2019) determinaron una descarga media anual de agua subterránea al arroyo del Azul de 34 mm, mientras que la recarga media anual del arroyo hacia el acuífero es de 1.4 mm. Estos autores determinaron además, que desde invierno a primavera, las descargas medias mensuales del acuífero al arroyo son mayores (un promedio de 3.3 mm) mientras que hacia las estaciones de verano a otoño disminuyen (un promedio de 2.8 mm). El caudal para el arroyo del Azul en la estación de verano es de 0.18 m³/s mientras que en primavera es de 1.02 m³/s (Zabala et al., 2021). Por su parte, el caudal básico para el arroyo Tapalqué es de 1.0 m³/s (Kruse et al., 1993).

MATERIALES Y MÉTODOS

Datos antecedentes de la cuenca del arroyo del Azul

Para la caracterización hidroquímica de las muestras de agua de lluvia, agua superficial (arroyo del Azul y lagunas) y agua subterránea (acuífero Pampeano), se utilizaron los datos publicados por Zabala et al. (2020). Esta información es de libre acceso y la misma puede descargarse desde <https://data.mendeley.com/datasets/b34kg4jx7r/1>. Se cuenta con 40 análisis físico-químicos y 34 análisis isotópicos ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$) de agua de lluvia que cubren el periodo 2010-2019, procedentes de dos colectores localizados en los sectores alto y medio de la cuenca; 4 análisis físico-químicos e isotópicos (febrero y noviembre de 2018) procedentes de 2 sitios de muestreo localizados sobre el arroyo del Azul (cuenca alta y media); 3 análisis físico-químicos e isotópicos (noviembre de 2019) procedentes de cuatro lagunas localizadas en los sectores alto y medio de la cuenca; 67 análisis físico-químicos y 17 análisis isotópicos (febrero y septiembre de 2018 y 2019) procedentes de 17 piezómetros (profundidad <10 m) distribuidos homogéneamente dentro de la cuenca (Figura 1). Las relaciones isotópicas tanto para el oxígeno como el hidrógeno, se reportan relativas a la media estándar del agua oceánica de Viena (Vienna Standard Mean Ocean Water - V-SMOW), empleando la notación delta en partes por mil (‰).

Las rectas meteóricas locales (RML) utilizadas en este trabajo son las publicadas por Zabala et al. (2021). Dichas rectas se calcularon a partir de los análisis isotópicos efectuados sobre las muestras de agua de lluvia de los dos colectores mencionados anteriormente: Establecimiento La Germania (LG) en cuenca alta e Instituto de Hidrología de Llanuras (ciudad de Azul, IHLLA), en cuenca media. Las ecuaciones resultantes fueron las siguientes: $\delta^2\text{H} = 8.3(\pm 0.5)\delta^{18}\text{O} + 16.2(\pm 3.0)$ para el colector de La Germania (RML LG) y $\delta^2\text{H} = 9.4(\pm 0.4)\delta^{18}\text{O} + 21.2(\pm 2.3)$ para el colector del IHLLA (RML IHLLA). Se considerará, a los fines de este trabajo, dado que no hay publicados datos isotópicos del agua de lluvia de la cuenca del arroyo Tapalqué, que las características isotópicas de las lluvias de la cuenca del arroyo del Azul son representativas de las lluvias de la región.

Datos antecedentes de la cuenca del arroyo Tapalqué

Los datos antecedentes utilizados para la caracterización hidroquímica e isotópica ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$) de esta cuenca proceden de Glok Galli et al. (2020). Los datos son de libre acceso y han sido descargados desde:

<https://doi.org/10.6084/m9.figshare.13027341.v2>.

De esta base de datos, se han seleccionado 14 muestras de agua superficial procedentes de 3 sitios localizados sobre el arroyo Tapalqué, los cuales se encuentran aguas arriba de la ciudad de Olavarría, en la ciudad y aguas abajo de la misma. Estos sitios fueron muestreados en invierno del año 2015 (muestra aguas arriba), y los dos restantes se muestrearon desde el año 2015 a 2019 (excepto 2016) cubriendo los meses de primavera, verano, invierno y otoño. La razón de la selección de los datos de estos 3 sitios de muestreo se debe a que las muestras de las conchas de moluscos recolectadas por Bonadonna et al. (1999), fueron tomadas en las barrancas de dicho arroyo en el área urbana (Ver detalle más abajo). Por su parte, los datos hidroquímicos e isotópicos que describen el acuífero Pampeano en la cuenca del arroyo Tapalqué provienen de 57 perforaciones someras distribuidas en toda la cuenca, que en total cuentan con 95 análisis químicos y 50 isotópicos. Los análisis químicos corresponden a muestras tomadas en el año 2002 y luego en el periodo 2010-2019, mientras que los análisis isotópicos cubren el periodo 2015-2019 (Figura 1). Las relaciones isotópicas tanto para el oxígeno como el hidrógeno, se reportan relativas a la media estándar del agua oceánica de Viena (Vienna Standard Mean Ocean Water - V-SMOW), utilizando la notación delta en partes por mil (‰).

Los datos antecedentes de $\delta^{18}\text{O}$ medidos en las conchas de los moluscos, utilizados en este trabajo, proceden del trabajo de Bonadonna et al. (1999). Estos autores midieron el $\delta^{18}\text{O}$ de las conchas de moluscos fósiles y modernos provenientes del arroyo Tapalqué. Las conchas fósiles fueron recolectadas en las barrancas del arroyo, en un perfil que exhibe el Miembro Guerrero (parte del Pleistoceno Superior) en las inmediaciones de la ciudad de Olavarría. Bonadonna et al. (1999) agruparon estos ejemplares en una asociación fósil que denominaron Serie Olavarría, la cual reúne a: *Littoridina parchappei* (Actualmente *Heleobia parchappii*, nombrada de este modo a partir de aquí) y *Biomphalaria* sp., ambos moluscos de agua dulce, y *Succinea meridionalis*, un caracol terrestre. Paralelamente, estos mismos autores

midieron el $\delta^{18}\text{O}$ en conchas de moluscos modernos que habitan en el arroyo Tapalqué, en un sector de la ciudad de Olavarría. Los organismos analizados fueron *Chilina* sp. y *Biomphalaria* sp., ambos moluscos de agua dulce.

Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ del carbonato de las conchas fueron reportados de acuerdo al estándar Belemnita PeeDee (PeeDee Belemnite-PDB) establecido para

ese momento (año 1999), en por mil (‰) empleando la notación delta. Por último, estos mismos autores dataron las conchas fósiles de *Heleobia parchappii* de la Serie Olavarría, empleando el método de ^{14}C , cuyas edades resultantes fueron expresadas en años convencionales A.P. (anterior a 1950; Kromer et al., 1996). En la Tabla 1, se presentan los datos de $\delta^{18}\text{O}$ medidos en los moluscos fósiles y modernos y las dataciones realizadas sobre *Heleobia parchappii*.

Tabla 1: Valores de $\delta^{18}\text{O}$ del carbonato de conchas modernas y fósiles.
(S/D: sin datos; extraído y modificado de Bonadonna et al., 1999).

| Conchas de moluscos modernos | | | | | |
|---|----------------------------------|--------------------------------------|--|--------------------------|-------------------------|
| Muestra | <i>Biomphalaria</i> sp. (n=2) | <i>Chilina</i> sp. (n=1) | Distancia al lecho (m) | | |
| $\delta^{18}\text{O}$ (‰PDB) | -4.3 -3.6 | -4.5 | - | | |
| Conchas de moluscos fósiles Serie Olavarría | | | | | |
| Muestra | <i>Biomphalaria</i> sp. (n=6) | <i>Heleobia parchappii</i> (n=10) | <i>Succinea meridionalis</i> (n=12) | Distancia al lecho (m) | Edad ^{14}C |
| $\delta^{18}\text{O}$ (‰ PDB) | S/D | -1.3 | 1.8 | 0.85 (Base Mb. Guerrero) | 35300 + 1300, -1100 |
| | S/D | S/D | -0.4 | 1.3 | |
| | S/D | S/D | 0.1 | 1.4 | |
| | 0.2 | -1.3 | 1.2 | 1.5 | |
| | -1.9 | 0.3 | 3.7 | 1.9 | |
| | -2.6 | -2.6 | 2.8 | 2.3 | |
| | -2.2 | -2.1 | 0.6 | 2.7 | |
| | S/D | -0.4 | 0.1 | 2.9 | |
| | S/D | -0.9 | 0.2 | 3.2 | |
| | S/D | -0.5 | -0.1 | 3.5 | 34500 ± 100 |
| | -1.0 | -1.0 | -0.7 | 3.9 | |
| -2.9 | 1.1 | -0.5 | 4.6 (Techo Mb. Guerrero) | | |

*La edad con ^{14}C se efectuó sobre conchas de *Heleobia parchappii*.

Metodología aplicada

La metodología de trabajo consistió en la recopilación, análisis e integración de la información antecedente tanto química como isotópica correspondiente a muestras de agua (precipitaciones, superficial y subterránea) y a conchas de moluscos fósiles y modernos. Los datos químicos fueron interpretados a través de diagramas de distribución espacial y de diagramas de Piper. Estos últimos se

efectuaron agrupando los datos según dos periodos de muestreo: invierno y primavera-verano. Por su parte, los datos isotópicos medidos en aguas superficiales y subterráneas fueron interpretados en función de las rectas meteóricas locales y recta de evaporación, a través de gráficos de tipo $\delta^{18}\text{O}$ vs $\delta^2\text{H}$. La integración de los datos isotópicos del agua y de las conchas de los moluscos fueron analizados mediante la utilización de gráficos de caja. Se ha incluido en cada caja el valor medio de $\delta^{18}\text{O}$ de cada

conjunto de datos. La incorporación de este último estadístico, viene ligado principalmente a los valores del $\delta^{18}\text{O}$ de las conchas de moluscos fósiles. Los valores individuales de $\delta^{18}\text{O}$ de conchas fósiles de gastrópodos de agua dulce que, generalmente, crecen en un año, no son representativos de la composición isotópica promedio de la especie durante el tiempo de depositación de los sedimentos (Apolinarska et al., 2015), por lo que los valores medios arrojan resultados más robustos a la hora de hacer interpretaciones ambientales.

RESULTADOS

Descripción de la información antecedente

Cuenca del arroyo del Azul

Caracterización química e isotópica del agua de lluvia, agua superficial y agua subterránea

Las muestras de agua menos mineralizadas del sistema hidrológico son las de lluvia. Los valores de conductividad eléctrica (CE) varían entre 14 y 125 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con un valor medio de 55 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que el pH varía entre 5.1 y 7.8, con un valor medio de 6.7 (Figura 2). Con respecto a las muestras de agua superficial, la CE del arroyo del Azul varía entre 758 y 809 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con un valor medio de 778 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que el pH varía entre 7.9 y 8.4, con un valor medio de 8.2 (Figura 2). En el caso de las lagunas, la CE varía entre 901 y 1126 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con un valor medio de 1013 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 2), mientras que el pH varía entre 7.8 y 8.7, con un valor medio de 8.4 (Figura 2). La CE del acuífero freático varía entre 608 y 3840 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con un valor medio de 1433 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 2), y el pH oscila entre 7.2 y 8.1 con un valor medio de 7.7.

La composición isotópica del agua de lluvia en los sectores alto y medio de la cuenca varía entre -9.0 y -4.1 ‰ para $\delta^{18}\text{O}$ y entre -62.0 y -19 ‰ para $\delta^2\text{H}$. Los valores medios ponderados de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ son -7.0 ‰ y -41.6 ‰, respectivamente, para las estaciones de otoño e invierno. En cuanto a las estaciones de primavera y verano, los valores medios ponderados de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ son -5.3 ‰ y -27.8 ‰, respectivamente. Para efectuar este cálculo se utilizaron los valores de precipitaciones acumuladas (mm) del colector de agua de lluvia ubicado en el IHLLA. Respecto a los valores de exceso de deuterio, varían entre +4 y +18 ‰, con un promedio de +14.2 ‰. Por otro lado, la composición isotópica del agua del arroyo del Azul varía entre -5.5 ‰ y -4.7 ‰ para el $\delta^{18}\text{O}$ y entre -

30.0 ‰ y -28.0 ‰ para el $\delta^2\text{H}$, con un promedio de -5.1 ‰ de $\delta^{18}\text{O}$ y -29.0 ‰ de $\delta^2\text{H}$. El valor isotópico mínimo y máximo de $\delta^{18}\text{O}$ en las lagunas oscila entre -0.6 y +10.0 ‰, mientras que en el caso del $\delta^2\text{H}$ varía entre -6.0 y +53.0 ‰ en tanto que el contenido isotópico promedio para el $\delta^{18}\text{O}$ y el $\delta^2\text{H}$ es de +3.3 ‰ y +16.0 ‰, respectivamente. Finalmente, la composición isotópica del acuífero freático varía entre -6.4 ‰ y -3.9 ‰ en cuanto al $\delta^{18}\text{O}$ y entre -41.0 ‰ y -25.0 ‰ con respecto al $\delta^2\text{H}$. Los valores medios de $\delta^{18}\text{O}$ y de $\delta^2\text{H}$ son -5.3 ‰ y -31.2 ‰, respectivamente.

Cuenca del arroyo Tapalqué

Caracterización química e isotópica del agua superficial y agua subterránea

Los valores de CE del agua del arroyo Tapalqué varían entre 811 y 1233 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con un valor medio de 964 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 2), mientras que el pH varía entre 7.3 y 9.1, con un valor medio de 8.2. Los valores de CE del agua subterránea del acuífero Pampeano varían entre 585 y 1932 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con un valor medio de 850 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 2), con un pH que oscila entre 7.0 y 8.5 y una media de 7.4. Para el arroyo Tapalqué, los contenidos de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ varían entre -5.5 ‰ y -2.8 ‰ y entre -29.2 ‰ y -17.3 ‰, respectivamente, siendo los valores medios de $\delta^{18}\text{O}$ -4.3 ‰ y de $\delta^2\text{H}$ -25.1 ‰. En lo que concierne al acuífero Pampeano, el contenido de $\delta^{18}\text{O}$ exhibe un valor mínimo de -6.7 ‰ y un máximo de -3.6 ‰, mientras que el $\delta^2\text{H}$ presenta un mínimo de -32.2 ‰ y máximo de -23.2 ‰. Los valores isotópicos medios para el $\delta^{18}\text{O}$ y el $\delta^2\text{H}$ son -5.4 ‰ y -29.7 ‰, respectivamente.

Composición isotópica de las conchas de los moluscos modernos y fósiles

Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ de las conchas fósiles de *Biomphalaria* sp., de la Serie Olavarría, van desde -2.9 ‰ a +0.2 ‰, con un promedio de -1.7 ‰ (Tabla 1). Respecto a *Heleobia parchappii*, también integrante de la Serie Olavarría, presenta un rango que se extiende desde -2.6 ‰ a +1.1 ‰, siendo su valor medio de -0.9 ‰. Por su parte *Succinea meridionalis*, el ejemplar terrestre de esta asociación fósil, presenta un mínimo de -0.7 ‰ y un máximo de +3.7 ‰, siendo el promedio de +0.7 ‰. En cuanto a los moluscos de agua dulce modernos, los valores isotópicos de las conchas de *Biomphalaria* sp. exhiben valores de $\delta^{18}\text{O}$ -4.3 y -3.6 ‰, mientras que *Chilina* sp. presenta un valor único de -4.5 ‰.

La datación con ^{14}C a partir de las conchas fósiles

de *Heleobia parchappii* (Serie Olavarría), data de 35-34 ka A.P., representando un intervalo muy corto de tiempo de no más de 2-3 mil años. Este

rango de edades se encuentra en una ventana temporal ubicada hacia el tramo final del Pleistoceno Superior.

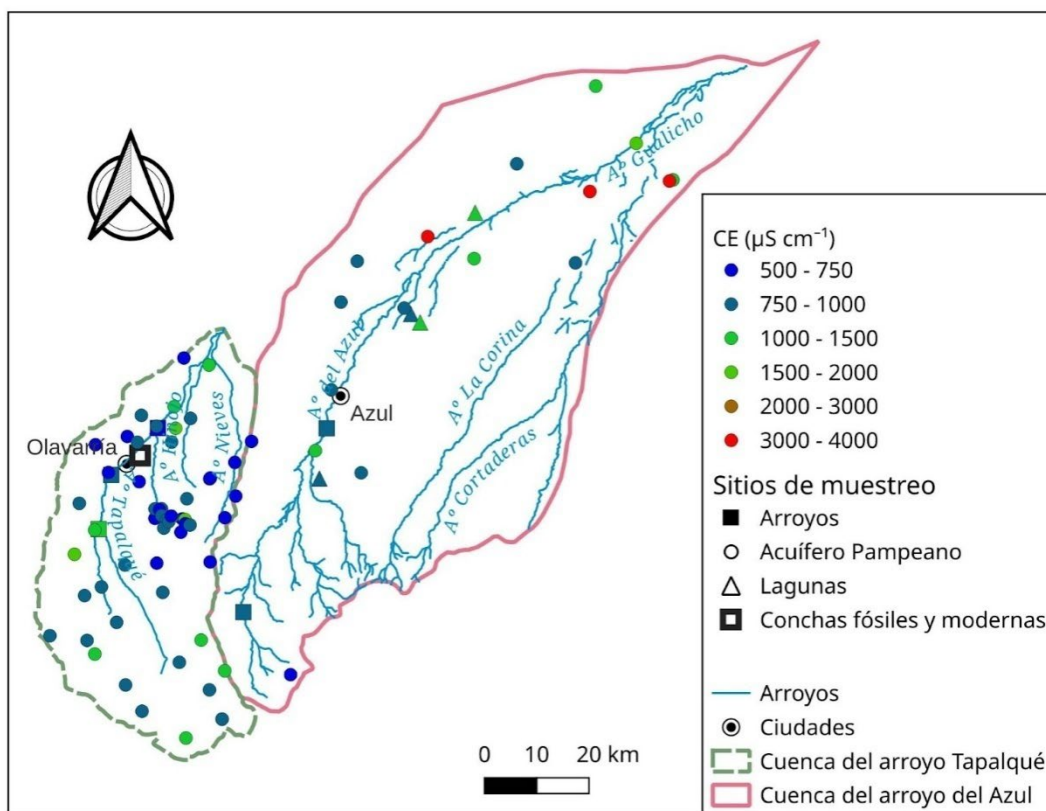


Figura 2. Distribución espacial de la conductividad eléctrica (CE) promedio del agua en las cuencas de los arroyos del Azul y Tapalqué. Las muestras corresponden a aguas superficiales (arroyos y lagunas) y al acuífero Pampeano. Se muestra el sitio de recolección de las conchas fósiles y modernas (Bonnadona et al., 1999).

Análisis de la información química e isotópica antecedente proveniente de muestras de agua de ambas cuencas hidrológicas

Análisis de los datos químicos

Al analizar la CE (Figura 2), a grandes rasgos se observa que las aguas del arroyo del Azul son menos salinas que las aguas del arroyo Tapalqué. En el caso del arroyo del Azul se observa que existe, en promedio, un pequeño aumento de la mineralización de las aguas desde la cuenca alta (769 $\mu\text{S/cm}$) hacia la cuenca media (785 $\mu\text{S/cm}$). Por su parte el arroyo Tapalqué, muestra una mayor CE (1201 $\mu\text{S/cm}$) en el sector de cuenca media, la cual va disminuyendo (950 $\mu\text{S/cm}$) hacia aguas abajo de Olavarría, donde se reportan las muestras menos salinas (Figura 2). En lo que respecta a las lagunas, se observa que todas presentan conductividades que van en

aumento, aquellas menos salinas están ubicadas en cuenca alta mientras que las de mayor salinidad en cuenca media, en promedio constituyen los cuerpos de agua superficial más salinos del sistema con una CE promedio de 1013 $\mu\text{S/cm}$ (Figura 2). Considerando el agua subterránea, para el caso de la cuenca del arroyo del Azul los valores de CE más bajos se encuentran en cuenca alta y van aumentando progresivamente hacia cuenca media y baja, en donde se reportan las aguas subterráneas de mayor salinidad (Figura 2). Para la cuenca del arroyo Tapalqué, la CE es un tanto más variable, dado que los valores más altos se observan tanto en cuenca alta como en cuenca baja, existiendo una zona en cuenca media con los valores más bajos de CE de la cuenca (Figura 2).

Por otro lado, con el objetivo de evaluar la evolución

química de las aguas del sistema hidrológico, se han agrupado las muestras en dos épocas del año contrastantes, por un lado periodo húmedo (Figura 3), que comprende los meses de diciembre a marzo, y por otro, periodo seco (Figura 4), abarcando los meses desde abril a noviembre. En lo que concierne

al carácter geoquímico de las aguas para el periodo húmedo, se observa que el arroyo del Azul presenta un tipo de agua que evoluciona de bicarbonatada sódica con alta proporción los cationes calcio y magnesio en cuenca alta, a bicarbonatada sódica en cuenca media (Figura 3).

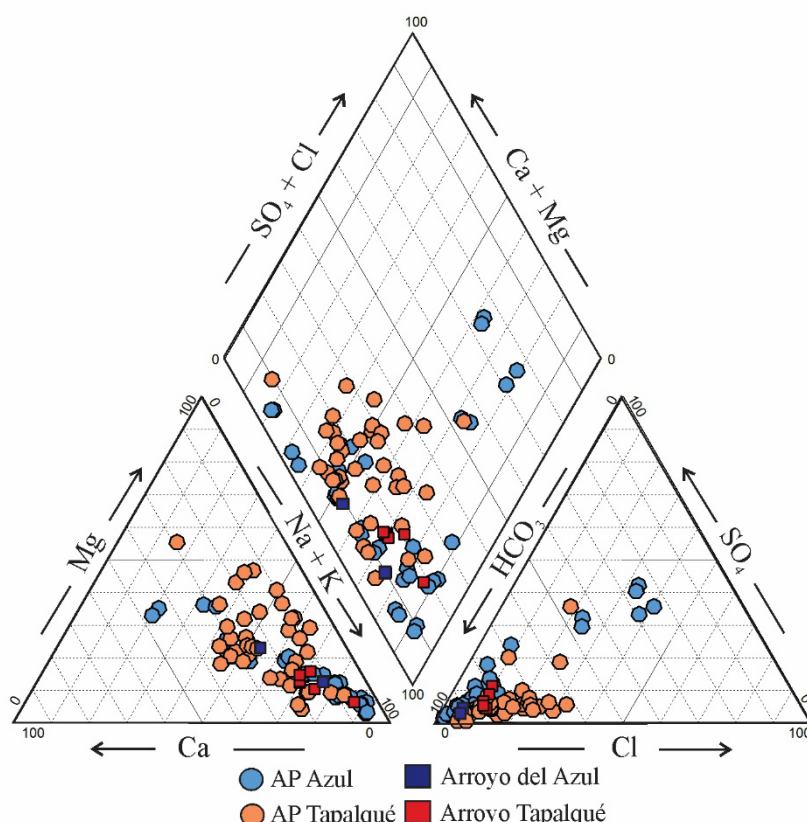


Figura 3: Diagrama de Piper representando las muestras de agua subterránea y los arroyos para ambas cuencas hidrológicas durante el periodo húmedo (diciembre a marzo). AP: Acuífero Pampeano.

En cuanto al arroyo Tapalqué el agua presenta carácter geoquímico bicarbonatado sódico en la totalidad de las muestras (Figura 3). El agua del acuífero Pampeano en el ámbito de la cuenca del arroyo del Azul para este periodo, evoluciona de bicarbonatada calcíco-magnésica en cuenca alta, pasando por bicarbonatada sódica en cuenca media, a clorurada sódica y sulfatada sódica en cuenca baja (Figura 3). El acuífero Pampeano en la cuenca del arroyo Tapalqué muestra un tipo geoquímico de agua que evoluciona de bicarbonatado calcíco y magnésico a bicarbonatado sódico, una sola muestra durante este periodo, exhibe alta proporción de cloruros y sulfatos (Figura 3).

En cuanto al arroyo del Azul, se presentan de tipo geoquímico bicarbonatadas calcíco-magnésicas con alta proporción de sodio tanto en cuenca alta como media, mientras que las aguas del arroyo Tapalqué se muestran mayormente bicarbonatadas sódicas, exceptuando algunas muestras de tipo bicarbonatadas magnésicas (Figura 4). En cuanto al carácter geoquímico del agua de las lagunas de la cuenca del arroyo del Azul, las muestras correspondientes a cada una de ellas se presentan geoquímicamente diferenciadas. Si bien todas son de tipo bicarbonatado sódico, se observa un aumento del catión sodio a medida que se pasa de las lagunas ubicadas en cuenca alta a aquellas emplazadas en cuenca media. Respecto a los aniones, domina el bicarbonato con baja proporción de cloruros, este último mayormente asociado a las lagunas de cuenca media (Figura 4).

Para el periodo seco en lo que respecta a los arroyos, la composición química de las muestras del arroyo del

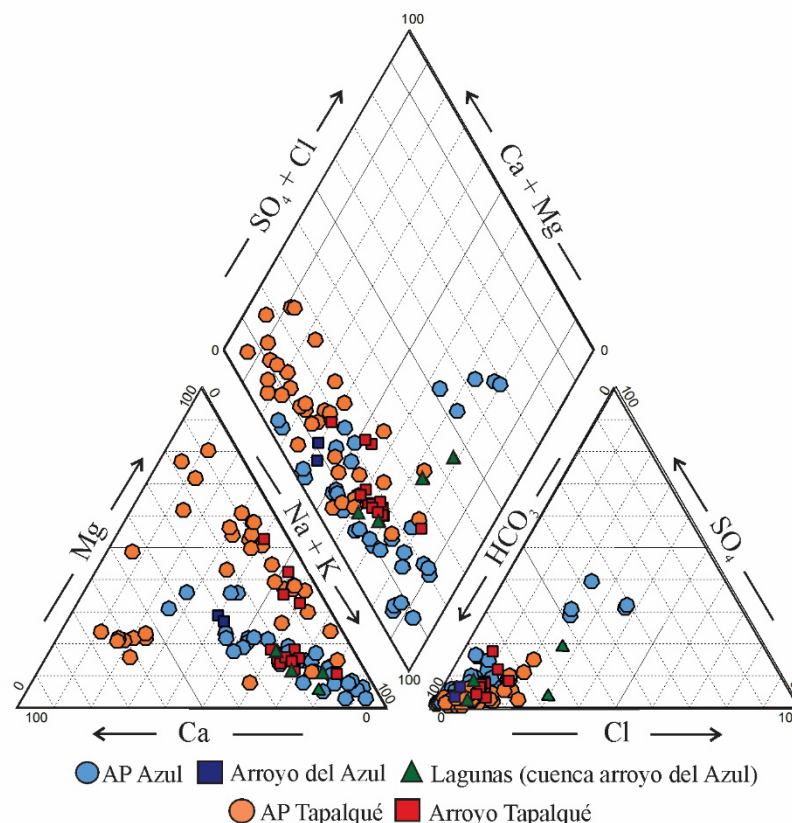


Figura 4: Diagrama de Piper representando las muestras de agua subterránea, los arroyos y lagunas para ambas cuencas durante el periodo seco (abril a noviembre). AP: acuífero Pampeano.

Respecto a la composición química mayoritaria del agua subterránea del acuífero Pampeano en la cuenca del arroyo del Azul evoluciona de bicarbonatada cálcica-magnésica en cuenca alta a bicarbonatada sódica en la parte media de la cuenca, en tanto que en la zona de cuenca baja, exhibe aguas de tipo sulfatadas-cloruradas sódicas y cloruradas sódicas (Figura 4). El agua subterránea de la cuenca del arroyo Tapalqué por su parte evoluciona de bicarbonatada cálcica y magnésica a bicarbonatada sódica, en cuenca media-baja en donde se mantiene este tipo químico de agua (Figura 4). En general en lo que respecta a la proporción de cationes, las aguas del acuífero Pampeano en la cuenca del arroyo del Azul, exhiben mayormente sodio y en menor medida calcio y magnesio, mientras que en la cuenca del arroyo Tapalqué, las aguas subterráneas contienen una mayor proporción de calcio por un lado y magnesio por el otro y en menor medida sodio. Posiblemente, las aguas subterráneas de la cuenca del arroyo Tapalqué, estén asociadas a dos fuentes diferentes, una más magnésica y otra más cálcica. Respecto a los aniones, en la cuenca del arroyo del

Azul, domina el bicarbonato y en menor proporción el sulfato y el cloruro (cuenca baja), en tanto que para la cuenca del arroyo Tapalqué, es dominante el bicarbonato.

A rasgos generales, durante el periodo húmedo el agua del sistema hidrológico, evoluciona desde una clara línea de tendencia que va de aguas bicarbonatadas cálcicas-magnésicas o magnésicas-cálcicas hacia bicarbonatadas sódicas, finalizando en cloruradas y sulfatadas sódicas (algunas muestras). Durante el periodo seco, el sistema muestra un comportamiento con mayores variaciones, se observan dos líneas de tendencias y una mayor dispersión en cuanto a los cationes, participando no sólo el sodio en altas proporciones, sino el calcio y magnesio. Esta característica, se observa claramente en la cuenca del arroyo Tapalqué, en tanto que en la cuenca del arroyo del Azul, se mantiene similar respecto al periodo húmedo. En cuanto a los aniones, domina el bicarbonato en todo el sistema, excepto para pocas muestras de cuenca baja (cuenca del arroyo del Azul) en las que dominan los cloruros y sulfatos.

Análisis de los datos isotópicos

En la Figura 5 se ha graficado la composición isotópica de los cursos y cuerpos de agua superficial y agua subterránea de las cuencas de los arroyos del

Azul y Tapalqué (Zabala et al., 2021; Glok Galli et al., 2020), junto a la recta meteórica global (Craig, 1960) y las rectas meteóricas locales calculadas para la cuenca del arroyo del Azul (Zabala et al., 2021).

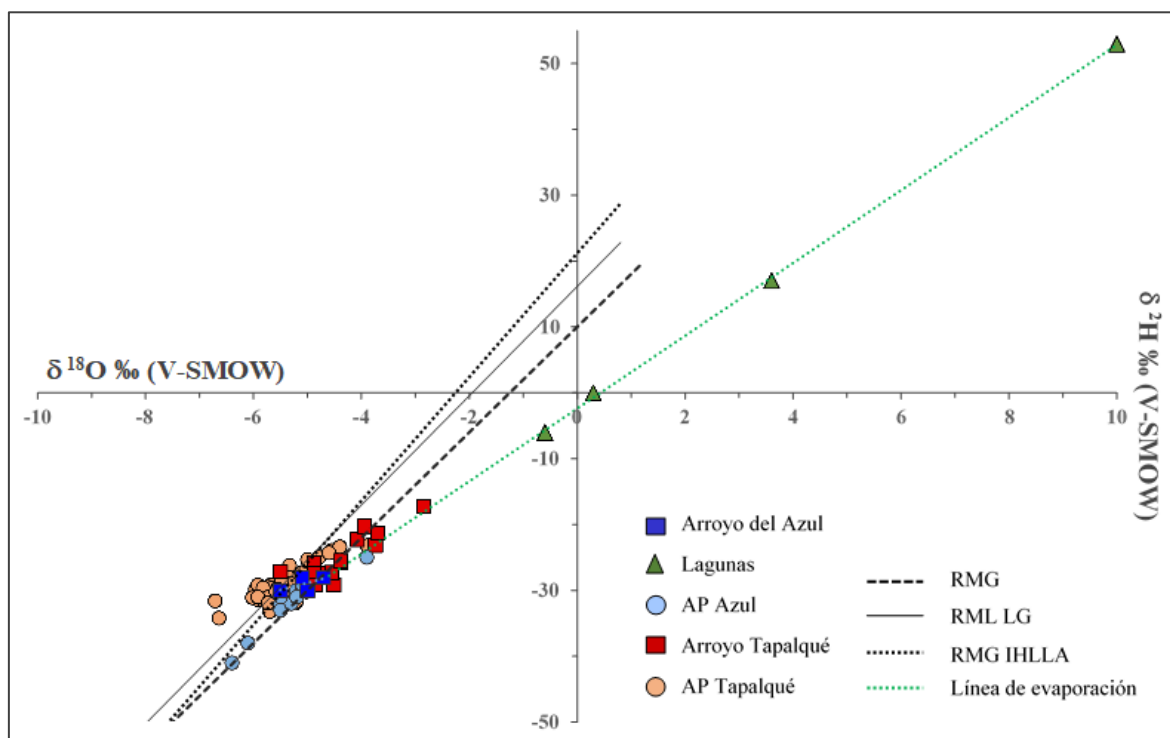


Figura 5: Gráfico de $\delta^{18}\text{O}$ vs $\delta^2\text{H}$ de las muestras del sistema hidrológico. AP: acuífero Pampeano; RMG: recta meteórica global ($\delta^2\text{H}=8\delta^{18}\text{O} + 10$, Craig, 1961); RML LG: recta meteórica local colector Establecimiento La Germania - cuenca alta ($\delta^2\text{H} = 8.3\delta^{18}\text{O} + 16.2$, Zabala et al., 2021); RML IHLLA: recta meteórica local colector IHLLA - cuenca media ($\delta^2\text{H} = 9.4\delta^{18}\text{O} + 21.2$, Zabala et al., 2021).

Se observa que las aguas del acuífero Pampeano presentan un origen meteórico y son el resultado de la recarga por lluvias locales, lo cual es válido para ambas cuencas. En ambos casos se advierte cierta dispersión en los datos, la cual se relaciona principalmente a la variación isotópica estacional de las precipitaciones. Por otro lado, pocas muestras del acuífero evidencian signos incipientes de evaporación, dado que se ubican debajo de las rectas meteóricas. Para el caso de la cuenca del arroyo del Azul, las muestras más enriquecidas proceden de los piezómetros ubicados en cuenca baja. Sin embargo, sucede lo contrario para el caso del arroyo Tapalqué, donde las muestras más enriquecidas se encuentran, en general, en cuenca alta. A su vez, existe una estrecha relación entre aquellos piezómetros ubicados en cuenca alta y las precipitaciones de esa región, evidenciando una recarga por precipitaciones. Sin embargo, los pozos situados hacia cuenca media y baja muestran un mayor efecto de la evaporación sobre los valores medidos, en los

que es posible deducir procesos de mezclas de agua. Por su parte, tanto el arroyo del Azul como el arroyo Tapalqué son alimentados permanentemente por agua subterránea de origen meteórico, razón por la cual muchas de las muestras se encuentran sobre las rectas meteóricas. No obstante, es posible observar que algunas muestras presentan signos de evaporación al quedar ubicadas por debajo de la RML. Con respecto a las muestras procedentes de lagunas, se aprecia que estas son las aguas isotópicamente más pesadas, las más evaporadas del sistema hidrológico, ubicándose todas ellas sobre una recta de evaporación. Si la línea de evaporación es extendida hasta las rectas meteóricas, se observa que la composición isotópica de estas lagunas antes de ser evaporadas, sería similar a la de las precipitaciones de la región y a la del agua subterránea no evaporada.

A partir de la integración y análisis conjunto de los datos isotópicos procedentes de ambas cuencas

hidrológicas se observa que estas tienen la misma impronta isotópica, la evaporación es un proceso clave en estos ambientes de llanura y que la recta de evaporación calculada para las lagunas de la cuenca del arroyo del Azul, es también representativa de la cuenca del arroyo Tapalqué.

Integración y análisis de datos antecedentes procedentes de muestras de agua y de conchas de moluscos

En la Figura 6 se presentan los valores de $\delta^{18}\text{O}$ de las conchas de moluscos, tanto fósiles como modernos, de las precipitaciones, de los cursos y cuerpos de agua superficial y del acuífero.

En el extremo izquierdo del diagrama se agrupan las especies *Biomphalaria* sp., *Heleobia parchappii* y *Succinea meridionalis*, integrantes de la asociación de moluscos fósiles de la Serie Olavarría, que junto con las lagunas del sistema hidrológico actual, presentan los valores isotópicos medios más elevados.

Las conchas de los moluscos dulceacuícolas modernos *Chilina* sp. y *Biomphalaria* sp, evidencian una similitud en cuanto a los valores isotópicos medios del agua del arroyo Tapalqué, dado que constituye el agua madre en la cual depositan las conchas.

Respecto a las precipitaciones, si se considera el valor de $\delta^{18}\text{O}$ medio, se observa que son las aguas más empobrecidas de todo el sistema hidrológico. Por su parte, el arroyo del Azul, muestra un mayor enriquecimiento promedio respecto al valor isotópico de las precipitaciones, con baja dispersión de datos y sin valores atípicos.

El acuífero Pampeano en la cuenca del arroyo del Azul, exhibe valores isotópicos algo más pesados que el agua de lluvia, pero más ligera que el agua de los arroyos. Sin embargo, muestra valores atípicos de enriquecimiento, que podrían corresponderse con aquellas muestras levemente evaporadas observadas en la Figura 5.

En cuanto al arroyo Tapalqué, se observa un mayor enriquecimiento isotópico promedio respecto a las precipitaciones y al arroyo del Azul. También se registran variaciones entre ellos, en cuanto a la simetría de la distribución, evidenciando enriquecimiento/empobrecimiento de $\delta^{18}\text{O}$, dado por épocas en donde la evaporación juega un papel

importante en el fraccionamiento isotópico (Figura 5).

El acuífero Pampeano en la cuenca del arroyo Tapalqué, presenta valores isotópicos un tanto más enriquecidos que las precipitaciones así como también valores promedios similares al acuífero Pampeano en la cuenca del Azul.

DISCUSIÓN

Es importante destacar que los diferentes cuerpos de agua superficial responden de manera diferencial a los procesos evaporativos. Los ambientes palustres, en donde el agua está estancada por periodos relativamente prolongados, son más sensibles a los efectos de la evaporación, mientras que los arroyos, al presentar un flujo de agua constante, exhiben menor sensibilidad a dicho proceso.

Con respecto a las muestras de agua, en términos generales, se observa una progresión del fraccionamiento isotópico, que comienza con las precipitaciones, continúa con las aguas del acuífero freático y finaliza con las aguas de los arroyos y lagunas, aguas más evaporadas del sistema hidrológico. En relación a las muestras de las conchas de moluscos fósiles, se observa esta misma progresión. Esta característica probablemente esté dada por el hábitat de cada especie, ya que *Biomphalaria* sp. y *Heleobia parchappii*, eran organismos que vivían sumergidos en el cuerpo de agua, mientras que *Succinea meridionalis*, vivía en finas películas de agua o en tierra. Los organismos han captado el oxígeno disponible para depositar sus conchas según las características del cuerpo de agua en ese momento en particular, por lo tanto *Biomphalaria* sp. y *Heleobia parchappii*, aparecen más empobrecidas que *Succinea meridionalis*, cuyos requerimientos biológicos son diferentes.

Existe una relación directa entre los valores de $\delta^{18}\text{O}$ de las conchas de los moluscos dulceacuícolas modernos y sus aguas madres. Esto se ejemplifica con el $\delta^{18}\text{O}$ medido en las conchas modernas de *Chilina* sp. y *Biomphalaria* sp. con el valor isotópico del $\delta^{18}\text{O}$ del arroyo Tapalqué. Incluso es posible observar que los valores isotópicos de las conchas presentan un rango similar al del arroyo, especialmente aquellas relacionadas a los valores más enriquecidos. Las variaciones del $\delta^{18}\text{O}$ del arroyo estarían ligadas principalmente a la descarga de aguas subterráneas en el cuerpo de agua y a los efectos de la evaporación sobre la lámina de agua.

Pero a su vez, cierta proporción de las muestras de agua del arroyo Tapalqué también presentan enriquecimiento por la incorporación de agua proveniente de la escorrentía superficial durante la estación de primavera (Glok Galli et al., 2020). Según Bonadonna et al. (1999), las diferencias en los valores isotópicos de las conchas de los individuos modernos dentro del mismo curso de

agua, estarían relacionadas con la estación del año en la que se depositan, su ciclo de vida y las variaciones en el contenido de $\delta^{18}\text{O}$ del arroyo Tapalqué. En este sentido, el $\delta^{18}\text{O}$ de las conchas estaría reflejando un acoplamiento de procesos hidrológicos, como ser, la descarga de agua subterránea, la evaporación y el escurrimiento superficial.

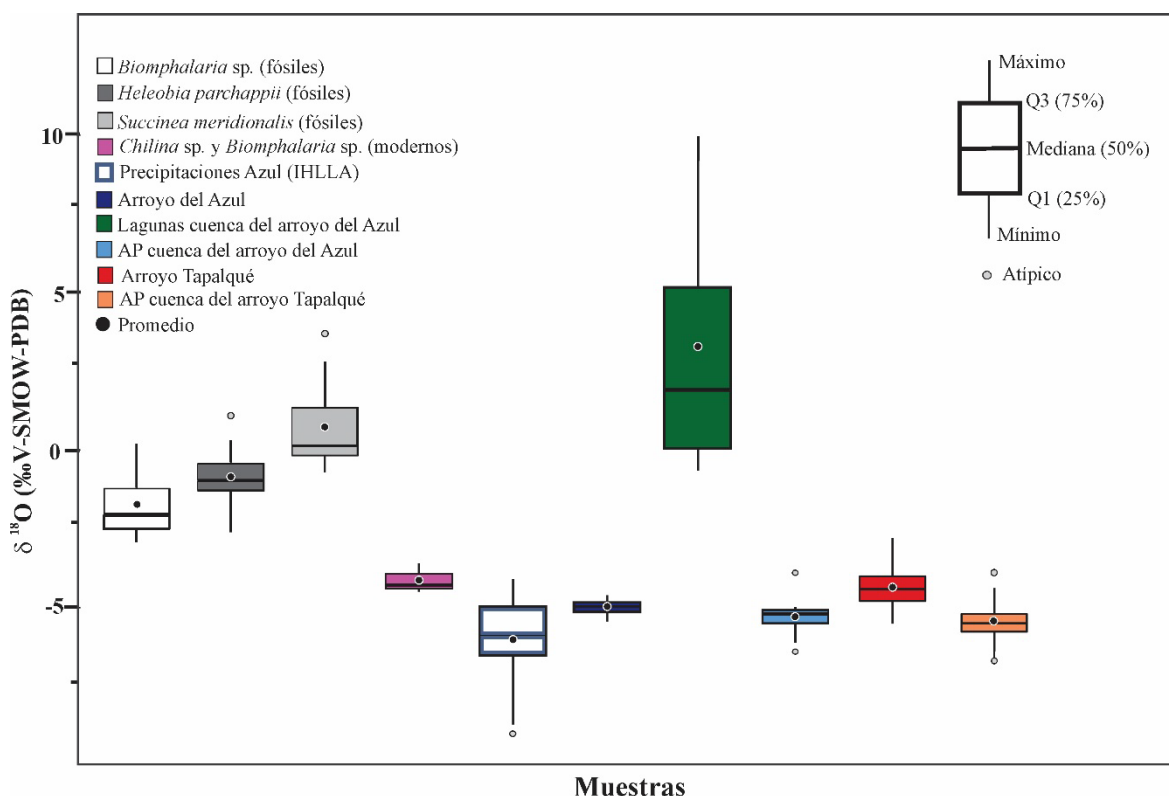


Figura 6: Diagrama de cajas mostrando los valores de $\delta^{18}\text{O}$ medidos en conchas de moluscos fósiles y modernos recolectados en el arroyo Tapalqué y en muestras de aguas de lluvia, superficial y subterránea pertenecientes a las cuencas de los arroyos del Azul y Tapalqué.

En cuanto a los moluscos fósiles, *Biomphalaria* sp., *Heleobia parchappii* y *Succinea meridionalis* de la Serie Olavarría, muestran variaciones isotópicas dentro de la misma especie, así como también variaciones entre especies fósiles. Pero, en general, la asociación fósil muestra un mayor enriquecimiento isotópico respecto a sus contrapartes modernas. Es importante mencionar que el ambiente en el que vivieron estos organismos fósiles era de tipo léntico con características palustres (Miembro Guerrero), y poca o nula influencia fluvial, mientras que el sistema desarrollado en la actualidad, donde habitan *Chilina* sp. y *Biomphalaria* sp. es típicamente fluvial, con sistemas de lagunas temporarias. La Serie Olavarría

fue datada con una edad de aproximadamente 35-34 ka AP (calculada sobre *Heleobia parchappii*), lo que ubica a estos organismos en el último tercio del Pleistoceno Superior. Como este registro fósil es acotado temporalmente, la evidencia ambiental que se puede extraer de su análisis también representaría un corto lapso (Bonadonna et al., 1999). No obstante, se ha establecido, de acuerdo a la evidencia de fauna de mamíferos fósiles, que durante la depositación del Miembro Guerrero de la Formación Luján, se desarrolló un evento cálido dentro de un evento mayor de características glaciales, el cual abarca todo el Pleistoceno Superior (Rabassa y Clapperton, 1990; Soibelzon et al., 2019). Sin embargo, Bonadonna et al. (1999) afirman que el

enriquecimiento de la Serie Olavarría no se debería al aumento de temperaturas, dado que se estaba transitando un período glacial, en el cual el enriquecimiento isotópico del agua meteórica no sería probable. En contraposición, plantean que tal enriquecimiento podría deberse a un proceso evaporativo estacional en los cuerpos de agua tipo lénticos, favorecido por la aridez del clima, dando como resultado un enriquecimiento de $\delta^{18}\text{O}$ durante la precipitación del carbonato biogénico de las conchas. El molusco fósil *Succinea meridionalis* es el que muestra el mayor enriquecimiento de la asociación fósil y la mejor relación con las lagunas del sistema hidrológico actual. Estos organismos, si bien están asociados con ambientes acuáticos, están presentes también en un amplio rango de ambientes terrestres. Según De Francesco et al. (2007), la aparición de este caracol terrestre (*Succinea meridionalis*) para la misma época (~30 mil años A.P.) y en un hábitat de tipo léntico, sugiere un descenso del nivel en los cuerpos de agua. Posiblemente, la similitud isotópica entre las muestras de *Succinea meridionalis* y las lagunas actuales, está dada por el carácter temporario de estas últimas. La dinámica hidrológica de estos cuerpos de agua, debido a su morfología y al clima de la región, favorece la ocurrencia del proceso de evaporación, con el consecuente enriquecimiento isotópico del agua. El contexto ambiental en el cual se deposita la Formación Luján, particularmente el Miembro Guerrero, tuvo su génesis en un ambiente subácueo con características mayormente palustres, con algunos episodios fluviales. Es por ello, que el ambiente actual que probablemente mejor represente el hábitat de dicha asociación de moluscos sean los sistemas de lagunas actuales, las que presentaron los valores isotópicos más enriquecidos y más similares a los valores isotópicos de los moluscos de esta serie en general.

Cómo se ha visto, estos tipos de hábitats lénticos, están sujetos a una dinámica hidrológica que es inherente a su morfología y características particulares, por lo que generan una impronta isotópica, generalmente enriquecida, sobre los organismos que habitan en ellos, que no está necesariamente ligada a climas fríos o cálidos.

Otro ejemplo de la relevancia de la dinámica hidrológica y las características propias de un cuerpo de agua en este tipo de análisis, fue abordado por Zabala et al. (2021), que demostraron que en primavera, los cuerpos de agua superficial se alimentan tanto de aguas subterráneas como de agua

de lluvia y escorrentía superficial, sugiriendo que el proceso de mezcla en los cuerpos palustres es muy relevante, al menos en dicha estación. Si bien las evidencias indican que hoy en día el proceso de evaporación, especialmente en las lagunas pampeanas, es relevante e imprimiría una marca isotópica en el $\delta^{18}\text{O}$ de las conchas de los organismos que las habitan, hay que tener en cuenta otros procesos, como la descarga de agua subterránea hacia estos cuerpos. Estas consideraciones deben tenerse presentes a la hora de efectuar interpretaciones paleoambientales y ambientales a partir de las firmas isotópicas en las conchas de los moluscos de agua dulce, ya que podrían exhibir cierto empobrecimiento debido a la descarga del agua subterránea en los cuerpos de agua superficial que habitaban.

CONCLUSIONES

Los cuerpos de agua superficial, hábitat de los moluscos, son sensibles al efecto de la evaporación pero también a la influencia del agua subterránea y la escorrentía superficial que descarga en ciertas épocas del año, principalmente en primavera. Por lo que, el $\delta^{18}\text{O}$ del carbonato de las conchas de los moluscos modernos, especialmente aquellos que crecen en el seno del cuerpo de agua, estaría reflejando la ocurrencia de los procesos hidrológicos, descarga y evaporación.

La estrecha relación que existe entre el $\delta^{18}\text{O}$ de las conchas de moluscos fósiles de la Serie Olavarría (*Biomphalaria* sp., *Heleobia parchappii* y *Succinea meridionalis*) y las lagunas actuales, se puede explicar a partir de similitudes en cuanto al hábitat, ya que dichos organismos fueron colectados desde el Miembro Guerrero, interpretado como un ambiente palustre. Es decir, podría existir una analogía en las características morfológicas de las lagunas pampeanas actuales con los cuerpos palustres desarrollados para cierto lapso del Pleistoceno Superior. Probablemente, *Succinea meridionalis*, refleja las variaciones climáticas de este hábitat de una mejor forma que los demás integrantes de la serie Olavarría debido a que es un caracol terrestre que se adapta a los momentos en que la laguna se seca, tal como sucede con las lagunas actuales.

Para finalizar, es importante resaltar que las interpretaciones ambientales a partir del análisis de datos de $\delta^{18}\text{O}$ procedentes de cuerpos de agua y de moluscos dulceacuícolas y terrestres, debe realizarse

teniendo en cuenta los procesos hidrológicos de forma integrada en el sistema bajo estudio. Las herramientas isotópicas favorecen el abordaje a nivel ecosistema y brindan un panorama más acabado sobre los procesos metabólicos e hidrológicos que ocurren dentro de los sistemas.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue posible gracias a las facilidades aportadas por el Instituto de Hidrología de Llanuras "Dr. Eduardo Jorge Usunoff" y al financiamiento otorgado por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica a través del proyecto PICT 2016 N° 3688. Los autores agradecen los constructivos comentarios del revisor los cuales ayudaron a mejorar sustancialmente el manuscrito.

REFERENCIAS

- Abell, P. I. (1985). Oxygen isotope ratios in modern African gastropod shells: A data base for paleoclimatology. *Chemical Geology: Isotope Geoscience Section*, 58(1), 183-193. doi: 10.1016/0168-9622(85)90037-5
- Aliaga, V. S., Ferrelli, F., y Piccolo, M. C. (2017). Regionalization of climate over the Argentine Pampas. *International Journal of Climatology*, 37(S1), 1237-1247. doi: 10.1002/joc.5079
- Apolinarska, K., Pelechaty, M., y Noskowiak, D. (2015). Differences in stable isotope compositions of freshwater snails from surface sediments of two Polish shallow lakes. *Limnologica*, 53, 95-105. doi: 10.1016/j.limno.2015.06.003
- Bao, R., Sheng, X., Lu, H., Li, C., Luo, L., Shen, H., ... Chen, J. (2019). Stable carbon and oxygen isotopic composition of modern land snails along a precipitation gradient in the mid-latitude East Asian monsoon region of China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 533, 109236. doi: 10.1016/j.palaeo.2019.109236
- Bonadonna, F. P., Leone, G., y Zanchetta, G. (1999). Stable isotope analyses on the last 30 ka molluscan fauna from Pampa grassland, Bonaerense region, Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 153(1-4), 289-308. doi: 10.1016/S0031-0182(99)00063-2
- Calvi, C., Dapeña, C., Quiroz Londoño, O. M., y Martínez, D. E. (2022). Assessing recharge process in plain catchments using isotopic and hydrochemical techniques. *Groundwater for Sustainable Development*, 19, 100828. doi: 10.1016/j.gsd.2022.100828
- Craig, H. (1961). Isotopic Variations in Meteoric Waters. *Science*, 133(3465), 1702-1703. doi: 10.1126/science.133.3465.1702
- Dalla Salda, L., Spalletti, L., Poiré, D., De Barrio, R., Echeveste, H., y Benialgo, A. (2006). Tandilia. Serie correlación geológica, 21(1), 17-46.
- Dansgaard, W. (1954). The O18-abundance in fresh water. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 6(5), 241-260. doi: 10.1016/0016-7037(54)90003-4
- Dapeña, C., Varni, M., Panarello, H. O., Ducos, E., Weinzettel, P., Usunoff, E. Composición isotópica de la precipitación de la Estación Azul, provincia de Buenos Aires. Red Nacional de Colectores Argentina. Varni, M., Entraigas, I., Vives, L. (Eds.). (2010). *Hacia la Gestión Integral de los Recursos Hídricos en Zonas de Llanura*. Mar del Plata, Argentina. Editorial Martín.
- 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 Latino-Americana de Hidrogeología*, 4(17-25).
- Darling, W. G. (2004). Hydrological factors in the interpretation of stable isotopic proxy data present and past: A European perspective. *Quaternary Science Reviews*, 23(7), 743-770. doi: 10.1016/j.quascirev.2003.06.016
- De Francesco, C. G., y Hassan, G. S. (2013). Stable isotope composition of freshwater mollusk shells from Central-Western Argentina. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 16(2), 213-224. doi: 10.4072/rbp.2013.2.04
- De Francesco, C. G., Zárate, M. A., y Miquel, S. E. (2007). Late Pleistocene mollusc assemblages and inferred paleoenvironments from the Andean piedmont of Mendoza, Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 251(3-4), 461-469. doi: 10.1016/j.palaeo.2007.04.011
- Dillon, A. y Rabassa, J. 1985. Miembro La Chumbiada, Formación Luján (Pleistoceno, provincia de Buenos Aires): Una nueva unidad estratigráfica del valle del río Salado. I Jornadas Geológicas Bonaerenses. Resúmenes, 27. Tandil, Buenos Aires, Argentina.
- Epstein, S., y Mayeda, T. (1953). Variation of O18 content of waters from natural sources. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 4(5), 213-224. doi: 10.1016/0016-7037(53)90051-9
- Fidalgo F. (1983). Algunas características de los sedimentos superficiales de la Cuenca del Río Salado y Pampa Ondulada. Coloquio sobre Hidrología de Grandes Llanuras, 2, 1044-1067.

- PHI – UNESCO. Olavarría, Argentina.
- Fidalgo, F., Gentile, R. O. y Correa, H. A., (1986). Geología y Geomorfología en la Cuenca del Arroyo Tapalqué. Provincia de Buenos Aires, Comisión de Investigaciones Científicas. Informe 30, 1-73. La Plata, Argentina.
- Gat, J. R. (1996). Oxygen and hydrogen isotopes in the hydrologic cycle. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 24, 225-262.
- Gat, J. R. (1998). Stable isotopes, the hydrological cycle and the terrestrial biosphere. En *Stable Isotopes*. Garland Science.
- Glok Galli, M., Colasurdo, V., Martínez, D. E., Grosman, F., Quiroz Londoño, O. M., Salzano, P. (2018). Caracterización hidrogeoquímica e isotópica de La Laguna la Barrancosa (Provincia De Buenos Aires) y su interacción con el acuífero Pampeano. *Actas X Congreso Argentino y XIV Congreso Latinoamericano de Hidrogeología. Química, Calidad y Contaminación del Agua*, 131–138. Salta, Argentina.
- Glok-Galli, M., Martínez, D. E., Vadillo-Pérez, I., Busso, A. A. S., Barredo, S. P., Londoño, O. M. Q., y Trezza, M. A. (2020). Multi-isotope ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$ -TDIC, $\delta^{18}\text{O}$ -TDIC, $87\text{Sr}/86\text{Sr}$) and hydrochemical study on fractured-karstic and detritic shallow aquifers in the Pampean region, Argentina. doi: 10.6084/m9.figshare.13027341.v2
- Glok-Galli, M., Martínez, D. E., Vadillo-Pérez, I., Silva Busso, A. A., Barredo, S. P., Quiroz Londoño, O. M., y Trezza, M. A. (2020). Multi-isotope ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$ -TDIC, $\delta^{18}\text{O}$ -TDIC, $87\text{Sr}/86\text{Sr}$) and hydrochemical study on fractured-karstic and detritic shallow aquifers in the Pampean region, Argentina. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 56(5-6), 513-532. doi: 10.1080/10256016.2020.1825412
- Goodfriend, G. A., Magaritz, M., y Gat, J. R. (1989). Stable isotope composition of land snail body water and its relation to environmental waters and shell carbonate. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 53(12), 3215-3221. doi: 10.1016/0016-7037(89)90102-6
- Guevara Ochoa, C., Medina Sierra, A., Vives, L., Zimmermann, E., y Bailey, R. (2019). Spatio-temporal patterns of the interaction between groundwater and surface water in plains. *Hydrological Processes*, 34(6), 1371-1392. doi: 10.1002/hyp.13615
- Kelemen, Z., Gillikin, D. P., Graniero, L. E., Havel, H., Darchambeau, F., Borges, A. V., ... Bouillon, S. (2017). Calibration of hydroclimate proxies in freshwater bivalve shells from Central and West Africa. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 208, 41-62. doi: 10.1016/j.gca.2017.03.025
- Kruse, E., Rojo, A. y Varela, L. (1993). Características Hidroquímicas Subterráneas de la Cuenca del Arroyo Tapalqué (Buenos Aires). *Relatorio del XII Congreso Geológico Argentino, II Congreso de Exploración de Hidrocarburos*. Tomo VI, 208-215. Mendoza, Argentina.
- Lemeille, E., Letolle, R., Meliere, F., y Olive, P. (1983). Isotope and other physico-chemical parameters of palaeolake carbonates Tools for climatic reconstruction. En *Paleoclimates and Paleowaters. A collection of environmental studies*. IAEA, 135-150.
- Leng, M. J., y Marshall, J. D. (2004). Palaeoclimate interpretation of stable isotope data from lake sediment archives. *Quaternary Science Reviews*, 23(7), 811-831. doi: 10.1016/j.quascirev.2003.06.012
- Marcovecchio, R., y Varni, M. (2020). Una aproximación a las descargas por evapotranspiración del acuífero freático pampeano en la cuenca del Arroyo del Azul (llanura pampeana). Recuperado de <http://rephip.unr.edu.ar/xmlui/handle/2133/19920>
- Martínez, D. E., Quiroz Londoño, O. M., Bocanegra, E., Massone, H. E., Dapeña, C. (2013). Isotopes tracing the water cycle in the Pampeano Aquifer at the southeast of Buenos Aires province, Argentina. *Proceedings Isotopes in Hydrology, Marine Ecosystems and Climate Change Studies*, 177–183. Viena, Austria.
- Martínez, D. E., Quiroz Londoño, O. M., Dapeña, C., Glok Galli, M., Massone, H. E., Ferrante, A. (2011). Caracterización isotópica e hidroquímica de las precipitaciones en el sector sur de Tandilia. *Actas VII Congreso Argentino de Hidrogeología y V Seminario Hispano-Latinoamericano Sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. Calidad y Contaminación de Agua Subterránea*, 369–376. Salta, Argentina.
- Martínez, D. E., Quiroz Londoño, O. M., Solomon, D. K., Dapeña, C., Massone, H. E., Benavente, M. A., y Panarello, H. O. (2016). Hydrogeochemistry, Isotopic Composition and Water Age in the Hydrologic System of a Large Catchment within a Plain Humid Environment (Argentine Pampas): Quequén Grande River, Argentina. *River Research and Applications*, 33(3), 438-449. doi: 10.1002/rra.3072
- Morello, J., Matteucci, S., Rodriguez, A., y Silva, M. (2012). Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos. Buenos Aires, Argentina. Editorial: Orientación Gráfica Editora.
- Passey, B. H., y Levin, N. E. (2021). Triple Oxygen

- Isotopes in Meteoric Waters, Carbonates, and Biological Apatites: Implications for Continental Paleoclimate Reconstruction. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 86(1), 429-462. doi: 10.2138/rmg.2021.86.13
- Peterson, B. J., y Fry, B. (1987). Stable Isotopes in Ecosystem Studies. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 18, 293-320.
- Prendergast, A. L., Stevens, R. E., Barker, G., y O'Connell, T. C. (2015). Oxygen isotope signatures from land snail (*Helix melanostoma*) shells and body fluid: Proxies for reconstructing Mediterranean and North African rainfall. *Chemical Geology*, 409, 87-98. doi: 10.1016/j.chemgeo.2015.05.014
- Quiroz Londoño, O. M., Martínez, D. E., Massone, H. E., Londoño Ciro, L. A., y Dapeña, C. (2015). Spatial distribution of electrical conductivity and stable isotopes in groundwater in large catchments: A geostatistical approach in the Quequén Grande River catchment, Argentina. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 51(3), 411-425. doi: 10.1080/10256016.2015.1056740
- Quiroz Londoño, O. M., Romanelli, A., Martínez, D. E., y Massone, H. E. (2020). Water exchange processes estimation in a temperate shallow lake based on water stable isotope analysis. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 56(5-6), 465-479. doi: 10.1080/10256016.2020.1803857
- Rabassa, J., y Clapperton, C.M. (1990). Quaternary glaciations of the southern Andes. *Quaternary Science Reviews*, 9(2), 153-174. doi: 10.1016/0277-3791(90)90016-4
- Romanelli, A., Quiroz Londoño, O. M., Martínez, D. E., Massone, H. E., y Escalante, A. H. (2014). Hydrogeochemistry and isotope techniques to determine water interactions in groundwater-dependent shallow lakes, Wet Pampa Plain, Argentina. *Environmental Earth Sciences*, 71(4), 1953-1966. doi: 10.1007/s12665-013-2601-y
- Soibelzon, E., Soibelzon, L. H., Gasparini, G. M., y Tonni, E. P. (2019). El Pleistoceno de la provincia de Buenos Aires y sus mamíferos. Recuperado de <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/118077>
- Sprenger, M., Leistert, H., Gimbel, K., y Weiler, M. (2016). Illuminating hydrological processes at the soil-vegetation-atmosphere interface with water stable isotopes. *Reviews of Geophysics*, 54(3), 674-704. doi: 10.1002/2015RG000515
- Urey, H. C. (1947). The thermodynamic properties of isotopic substances. *Journal of the Chemical Society*, (0), 562-581. doi: 10.1039/JR9470000562
- Varni, M., Comas, R., Weinzettel, P., y Dietrich, S. (2013). Application of the water table fluctuation method to characterize groundwater recharge in the Pampa plain, Argentina. *Hydrological Sciences Journal*, 58(7), 1445-1455. doi: 10.1080/02626667.2013.833663
- Wurster, C. M., y Patterson, W. P. (2001). Seasonal variation in stable oxygen and carbon isotope values recovered from modern lacustrine freshwater mollusks: Paleoclimatological implications for sub-weekly temperature records. *Journal of Paleolimnology*, 26(2), 205-218. doi: 10.1023/A:1011194011250
- Zabala, M. E., Gorocito, M., Dietrich, S., Varni, M., Murillo, R. S., Manzano, M., y Ceballos, E. (2021). Key hydrological processes in the Del Azul Creek basin, sub-humid Pampean Plain. *Science of The Total Environment*, 754, 142258. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142258
- Zabala, M. E., Manzano, M., y Vives, L. (2015). The origin of groundwater composition in the Pampeano Aquifer underlying the Del Azul Creek basin, Argentina. *Science of The Total Environment*, 518-519, 168-188. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.02.065
- Zabala, M. E., Manzano, M., y Vives, L. (2016). Assessment of processes controlling the regional distribution of fluoride and arsenic in groundwater of the Pampeano Aquifer in the Del Azul Creek basin (Argentina). *Journal of Hydrology*, 541, 1067-1087. doi: 10.1016/j.jhydrol.2016.08.023
- Zabala, M., Sánchez-Murillo, R., Dietrich, S., Gorocito, M., Vives, L., Manzano, M., y Varni, M. (2020). Hydrological dataset of a sub-humid continental plain basin (Buenos Aires, Argentina). *Data in Brief*, 33. doi: 10.1016/j.dib.2020.106400
- Zabala, M.E., Manzano, M., Varni, M., Weinzettel, P. (2011). On the sources of salinity in groundwater under plain areas. Insights from ^{18}O , $2H$ and hydrochemistry in the Azul River basin, Argentina. *Actas International Symposium on Isotopes in Hydrology, Marine Ecosystems, and Climate Change Studies*, 287-294. Mónaco.
- Zanchetta, G., Bini, M., Giaccio, B., Manganelli, G., Benocci, A., Regattieri, E., ... Biagioni, C. (2017). Middle Pleistocene (MIS 14) environmental conditions in the central Mediterranean derived from terrestrial molluscs and carbonate stable isotopes from Sulmona Basin (Italy). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 485, 236-246. doi: 10.1016/j.palaeo.2017.06.016
- Zárate, M.A. (2005). El Cenozoico tardío continental de la provincia de Buenos Aires. *Relatorio XVI Congreso Geológico Argentino: Geología y Recursos Minerales de la provincia de*

Buenos Aires. Relatorio XVI Congreso Geológico Argentino, 139-159. La Plata, Argentina.

Zárate, M.A., Mehl, A., y Castro, M. (2010). Geomorfología de la cuenca del arroyo Del Azul. Instituto de Hidrología de Llanuras “Dr. Eduardo Jorge Usunoff”, Azul, Buenos Aires, Argentina. Informe inédito.

Tipo de Publicación: ARTICULO.

Trabajo recibido el 05/05/2022 y aprobado para su publicación el 21/12/2022.

COMO CITAR

Gualde, M. S., Dietrich, S., Zabala, M. E., Dubny, S. (2022) Análisis Preliminar de la Relación entre los Isótopos del Oxígeno en un Sistema Hidrológico y en Moluscos, en el Ámbito de la Llanura Pampeana (Buenos Aires, Argentina). *Cuadernos del CURIHAM*, 28, 65-83. doi: <https://doi.org/10.35305/curiham.v28i.187>

Este es un artículo de acceso abierto bajo licencia: Creative Commons Atribución -No Comercial -Compartir Igual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>)

