

El recurso *Solanum tuberosum* y la reconstrucción paleodietaria humana en la ecorregión de Puna (provincia de Jujuy, Argentina)



Violeta A. Killian Galván

violetakillian@gmail.com

Estela I. Ducós

estela@ingeis.uba.ar

Liliana Marbán

marban@ingeis.uba.ar

Héctor O. Panarello

hector@ingeis.uba.ar

Instituto de Geocronología y Geología Isotópica/Conicet-UBA

Fecha de recepción: 02/11/2015. Fecha de aceptación: 09/07/2016

Resumen

El objetivo general de este trabajo fue generar datos para el armado de un marco de referencia adecuado para el estudio paleodietario humano, mediante el análisis de isótopos estables, en la ecorregión de Puna, Noroeste argentino. Con tal fin, se presentan los primeros resultados del análisis isótopos estables del carbono y el nitrógeno ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) en vegetales, principalmente *Solanum tuberosum* ($n = 24$). Los especímenes se adquirieron en el mercado local y en huertas familiares, estas últimas sin recibir ni abonos ni plaguicidas sintéticos, los cuales pueden incidir en las relaciones isotópicas del nitrógeno. La metodología propuesta consistió en el relevamiento de información entre productores locales, la caracterización del suelo en cuanto a sus propiedades químicas (PH, conductividad eléctrica, carbono orgánico y nitratos) y la medición isotópica de los vegetales muestreados. Los datos obtenidos demuestran una escasa variación en los valores $\delta^{15}\text{N}$, aunque tres especímenes de la variedad *Desirée* presentan valores llamativamente altos (entre +13,5 ‰ y +15,2 ‰).

Palabras clave

$\delta^{13}\text{C}$
 $\delta^{15}\text{N}$
Abono
Riego
Aridez

The *Solanum tuberosum* resource and human paleodiets reconstruction in Puna eco-region (Province of Jujuy, Argentina)

Abstract

Key words

$\delta^{13}\text{C}$
 $\delta^{15}\text{N}$
Fertilizer
Irrigation
Aridity

The overall objective of this work is to generate data to set a frame of reference for human paleodietary research, by the analysis of stable isotopes in Puna eco-region, Argentine Northwest. To this end, we present the first results of Carbon and Nitrogen isotopic ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) in plants, mostly *Solanum tuberosum* (n = 24). The specimens were purchased in the local market and family orchards, the latter not receiving neither synthetic fertilizers or pesticides, which can affect the isotopic ratios of nitrogen. The methodology consists of collection of information among local producers, soil characterization regarding its chemical properties (ph, electrical conductivity, organic carbon and nitrate) and analysis of isotopic values from plants. The data shows little variation in $\delta^{15}\text{N}$ values, although three specimens of *Desirée* variety are notorious high (between +13.5 ‰ and +15.2 ‰).

Le ressource *Solanum tuberosum* et la reconstruction du paléo-régime alimentaire humain dans l'écorégion de la Puna (Province de Jujuy, Argentine)

Résumé

Mots clés

$\delta^{13}\text{C}$
 $\delta^{15}\text{N}$
Engrais
Irrigation

L'objectif général de ce travail a été de générer des données pour la construction d'un cadre de référence approprié pour l'étude du paléo-régime alimentaire humain à travers l'analyse d'isotopes stables dans l'écorégion de la Puna, Nord-ouest argentin. Dans ce but, nous présentons les premiers résultats de l'analyse isotopique du carbone et du nitrogène ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$) sur des végétaux, principalement *Solanum tuberosum* (n=24). Les spécimens ont été acquis au marché local et dans des jardins potagers familiaux, ces derniers n'ayant reçu ni engrais ni insecticides synthétiques qui pourraient avoir une incidence sur les relations isotopiques du nitrogène. La méthodologie proposée a consisté en un relevé d'informations auprès de producteurs locaux, la caractérisation des propriétés chimiques du sol (pH, conductivité électrique, carbone organique et nitrates) et la mesure isotopique des végétaux. Les données obtenues montrent une faible variation des valeurs $\delta^{15}\text{N}$, même si trois spécimens de la variété *Desiree* présentent des valeurs étonnamment élevées (entre +13.5 ‰ et +15.2 ‰).

Introducción

En los últimos años diferentes investigadores incluyeron el análisis paleodietario como una vía para comprender aspectos económicos y sociales de las poblaciones que ocuparon la ecorregión de Puna en el Noroeste argentino durante el pasado prehispánico (Olivera y Yacobaccio, 1999; Pérez y Killian Galván, 2011; Amman *et al.*, 2014). Estos estudios advertían como necesaria la comprensión de la distribución de las relaciones isotópicas en la totalidad de los recursos consumidos, incluyendo el componente de origen vegetal. Por ejemplo, en el caso del sitio arqueológico Río Doncellas del período Tardío (*ca.* 1000 d. C.-1450 d. C., Departamento de Cochinoca, Puna de Jujuy), se obtuvieron valores isotópicos

sobre restos humanos a partir de los cuales se infirió un mayor aporte de recursos bajo un patrón fotosintético (C_3) diferente al que posee el maíz (C_4) (Killian Galván *et al.*, 2012). Al considerar los recursos probablemente consumidos por esta sociedad, se subrayó la importancia que pudieron tener vegetales microtéricos de altura, como son la quínoa (*Chenopodium quinoa*), papa (*Solanum tuberosum*) y oca (*Oxalis tuberosa*) (sugeridos por Albeck y Ruiz, 2003). Por otro lado, ante la presencia de valores $\delta^{15}N$ llamativamente altos, se ha señalado que el recurso cárnico pudo ser importante, en el contexto de economías ancladas en la producción pastoril (Pérez y Killian Galván, 2011). Por lo tanto, resultaba perentorio poder construir marcos de referencia que contemplaran una señal isotópica fiable de este tipo de recursos. Diferentes estudios han mostrado que la medición isotópica sobre vegetales arqueológicos es problemática dados los múltiples procesos diagenéticos que pueden alterar su señal primaria, siendo la señal del ^{15}N la más afectada (De Niro y Hastorf, 1984; Tessone *et al.*, 2009). Ejemplo de ello es el estudio isotópico de Killian Galván *et al.* (2014) sobre una muestra de maíz (*Zea mays*) también del sitio arqueológico Río Doncellas. Los valores $\delta^{15}N$ fueron llamativamente altos, llegando a +19,8‰. No obstante, el uso de vegetales actuales, como alternativa para la construcción de modelos interpretativos adecuados, también tiene sus problemas. Pues, se ha demostrado la influencia de pesticidas y fertilizantes sintéticos sobre los valores isotópicos de las plantas actuales (Choi *et al.*, 2002; Bateman y Nelly, 2007).

Considerando estas variables, Killian Galván y Salminci (2014) llevaron a cabo un estudio sistemático de prácticas agrícolas tradicionales actuales en huertas familiares con el fin de evaluar la influencia de las formas de regadío y abono en los valores isotópicos de vegetales. Este estudio tuvo lugar en la microrregión de Antofagasta de la Sierra, (provincia de Catamarca), también en la ecorregión de Puna, donde se halló una amplia variabilidad en los valores $\delta^{15}N$ en maíz e incluso valores más altos de los esperados teóricamente. A raíz de dicho análisis exploratorio, se planteó que la extrema aridez de la región podría producir tal variedad. Desde entonces, se cuestionó la pertinencia de utilizar indiscriminadamente los valores de vegetales de huerta producidos en una ecorregión en otras diferentes, pues los rangos isotópicos de vegetales en áreas de extremada aridez podrían no ser adecuados para áreas de menor altitud y/o mayor humedad.

Entendemos, entonces, que los análisis isotópicos, acompañados de estudios sobre prácticas agrícolas actuales, abren una vía más confiable para la conformación de modelos interpretativos. Con el fin de generar datos locales para la interpretación paleodietaria humana en el sector norte de la ecorregión de Puna del Noroeste argentino, este trabajo expone los resultados del análisis de la composición isotópica ($\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$) de ejemplares de *Solanum tuberosum* obtenidos en huertas (denominación local para referir a estos espacios productivos) emplazadas en localidades de Abra Pampa (provincia de Jujuy) (Figura 1). La metodología propuesta contempló tres aspectos: la entrevista a productores familiares, la caracterización química de los suelos de las huertas y la medición isotópica sobre los especímenes seleccionados. Esta aproximación apunta a dar los primeros pasos en la conformación de un marco de referencia adecuado para la comprensión de las paleodietas prehispánicas de la Puna septentrional en contextos agrícolas.



Figura 1. Ubicación del área bajo estudio.
Fuente: Googlemaps.

Valores $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en plantas

Los isótopos del carbono son incorporados en los ecosistemas y en las cadenas tróficas por los vegetales acuáticos y terrestres que, a través de la fotosíntesis, transforman el dióxido de carbono (CO_2) de la atmósfera en moléculas de glucosa. Durante la fotosíntesis se produce un sesgo con respecto a las moléculas que contienen el isótopo más pesado, con lo cual la relación $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ en las plantas es diferente a aquella presente

en la atmósfera (Ambrose, 1993). A su vez, existen tres patrones fotosintéticos: C₃ (especies arbóreas, arbustos y recursos comestibles humanos como papa –*Solanum tuberosum*– y quínoa –*Chenopodium quinoa*–, C₄ (maíz –*Zea mays*–, algunos amarantos, caña de azúcar y sorgo) y las crasuláceas de metabolismo ácido (como *Opuntia ficus-indica*, con valores que pueden hallarse tanto en la distribución de C₃ como de C₄) (Fernández y Panarello, 1999-2001). Entre las variables ambientales que pueden generar variación en los valores $\delta^{13}C^1$ en vegetales modernos se han señalado altitud, niveles de precipitaciones y CO₂ en la atmósfera.

Por otra parte, el nitrógeno posee dos isótopos estables, el ¹⁴N y el ¹⁵N. La reserva de nitrógeno en la atmósfera tiene una composición isotópica respecto del ¹⁴N de 99,637% y un restante de 0,363% de ¹⁵N; esta relación entre el isótopo más pesado y el más liviano se utiliza como estándar atmosférico² (Peterson y Fry, 1987). La transferencia del nitrógeno inorgánico de la atmósfera (N₂) a la esfera biológica se da a partir de organismos especializados ubicados en las raíces de las plantas fijadoras que convierten al nitrógeno gaseoso en formas posibles de ser utilizadas por las plantas (Pidwirny, 2006). Dicho proceso posee escaso fraccionamiento, lo cual hace que estas plantas tengan valores isotópicos similares al de la atmósfera (0‰) (Schoeninger y De Niro, 1984); no obstante, las consecuencias de este mecanismo aún se encuentran en discusión, como marcan Marshall *et al.* (2007). El resto de las plantas, denominadas comúnmente como “no fijadoras”, toman el nitrógeno de la descomposición orgánica de sus hábitats (nitratos, amoníaco y amonio disueltos), lo que lleva a una distribución bimodal entre las plantas con respecto a este isótopo (Schoeninger y De Niro, 1984). Aunque hay una superposición en los valores de las especies fijadoras y no fijadoras, estas últimas poseen, por lo general, valores significativamente más positivos (Heaton, 1987), siendo el valor medio para las fijadoras de +1‰, con un rango típico de -2 a +2‰, mientras que en el caso de las no fijadoras es de +3‰, con un rango típico de 0 a +6‰ (Pate, 1994).

Independientemente del proceso anteriormente mencionado, la disponibilidad de agua –considerando las precipitaciones anuales como indicador– ha sido señalada como una variable ligada a los valores obtenidos (Hartman, 2011). Sin embargo, otra variable importante que puede producir variaciones en las señales isotópicas en los vegetales es el abono de origen animal, dado que este posee un alto contenido de ¹⁵N debido a la pérdida preferencial de ¹⁴N en amonio volátil gaseoso. El efecto se produce cuando en la síntesis de aminoácidos vegetales interviene el nitrato generado a partir de dicho amonio enriquecido (Choi *et al.*, 2002). Ambas variables, la aridez y el agregado de abono para la nutrición de suelos, son importantes en el contexto de análisis propuesto. Asimismo, un estudio reciente ha mostrado que en suelos destinados al pastoreo esta variable puede resultar en valores $\delta^{15}N$ altos cuando también se añade irrigación (Mudge *et al.*, 2013).

Observaciones de prácticas actuales en Abra Pampa

La Puna presenta una gran amplitud térmica, una intensa radiación solar debida a la altitud y una marcada estacionalidad. De acuerdo con su grado de aridez, se diferencian dos sectores denominados Seca (ubicado en Jujuy) y Salada (porción suroccidental de Jujuy, Catamarca y Salta) (Santoro y Núñez, 1987). Las precipitaciones anuales se encuentran particularmente concentradas durante el verano y son de carácter torrencial, disminuyendo de N a S y de E a O. En la Puna septentrional pueden llegar a ser de 350 mm al año, mientras que en el sector meridional no suelen pasar de 50 mm, por lo tanto, los mayores valores de precipitaciones se encuentran en la provincia de Jujuy (Kulemeyer *et al.*, 1999). Las variaciones térmicas

diarias son amplias, llegando a registrarse temperaturas mínimas de -20°C , siendo la temperatura media anual menor a los 10°C . Las heladas son frecuentes durante la noche y más predecibles entre abril y octubre. En verano la variación es menos extrema gracias a la mayor humedad. Estas condiciones resultan en un balance hídrico negativo para la región durante todo el año, lo que lleva a escurrimientos torrentosos de agua superficial durante el verano. Asimismo, implica cauces sin agua superficial o con caudales pobres (Ottonello de Reinoso y Ruthsatz, 1982; Tchilinguirian, 2008).

Abra Pampa se inserta dentro del sector septentrional de esta ecorregión y es la cabecera departamental de Cochinocha (altitud mayor a los 3.000 msnm y con cumbres que superan los 5.000 msnm). Dadas las características altitudinales, climáticas y del suelo, la producción agrícola ha tenido una baja estimulación (Bianchi *et al.*, 2005). Las condiciones climáticas son muy hostiles y los proyectos impulsados por el INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) para el apoyo al productor agropecuario familiar local no han tenido mayor protagonismo en el área. El ciclo agrícola en el área se extiende de noviembre a marzo, dado que durante el resto del año no se puede sembrar por la influencia de las heladas. No obstante, actualmente existe una producción a escala familiar, en sectores reparados de quebradas de altura, cercanos a cursos de agua, siendo posibles el autoabastecimiento de maíz, cebada, habas, quínoa y papas (Bianchi, *op. cit.*). Sin embargo, ha sido importante la producción ganadera de animales para la lana, como llamas, ovejas y también caprinos, aprovechando las pasturas propias de la región. Por ello, recientemente se ha puesto en marcha el desarrollo de proyectos comunitarios que buscan mejorar la calidad de vida de sus miembros mediante el impulso a actividades productivas, pero los objetivos se han vinculado a la producción artesanal, de carne y curtiembre y no al cultivo de vegetales (Manzanal, 2003).

En el Mercado Central local, pudimos obtener información para llegar a cultivadores locales mediante la consulta a vendedores de frutas y verduras. Allí adquirimos también papas de dos tipos, andina y “collareja”. La vendedora afirmó además que en el pueblo no se cultivaban, pero sí en el “campo adentro”. De hecho, según su relato, los productos que compramos para el análisis eran aquellos de cosechas locales. En otro puesto de verduras, al preguntar de dónde provenían los productos, el vendedor afirmó que eran “de la quebrada (de Humahuaca)” y aseveró que todo lo que se vendía en Abra Pampa tenía ese origen, pues la gente ya no cultivaba allí.

Este panorama desalentador no impidió que pudiéramos realizar un relevamiento sobre prácticas de cultivo actuales, pues dimos con dos pobladores que tienen campos de cultivo en el pueblo. El relato de la agricultura como una actividad dificultosa se vio reforzado cuando los entrevistamos. Uno de ellos comenzó a cultivar hace diez años en un terreno propio, espacio que, de aquí en más, denominaremos Huerta 3. El otro comenzó a hacerlo recientemente también en un terreno de su propiedad, que llamaremos Huerta 2 (Figura 2). El problema radica en obtener las condiciones para comenzar la tarea del sembradío, pues estas personas no poseen acceso al alquiler de maquinarias, por lo que recurren simplemente a un arado armado por ellos mismos. No obstante, cuando sortean esta primera etapa obtienen cosechas muy exitosas. Las familias de estos pobladores ofrecieron, como parte de sus testimonios, fotos, filmaciones y recortes de diarios que daban cuenta de lo rendidor que era plantar en estos terrenos. El ejemplo más llamativo fue el de la cosecha de una remolacha (*Beta vulgaris*) que superó el kilogramo, además de adquirir papas que pesaron 400 gr y maizales que superaron los 2 m de altura.



Figura 2. Huertas 2 y 3 para el cultivo de tubérculos en Abra Pampa. Fotos tomadas en septiembre de 2013.

Antes de que pudiéramos hacer mención alguna a sus preferencias sobre los tipos de recursos para la siembra, uno de los pobladores comentó su interés en poder producir papas a gran escala. Mencionó que sus abuelos tenían un método para la conservación de este tubérculo, lo que les permitía garantizar su consumo durante todo el año, más allá de la producción de *chuño*. Realizaban un pozo, colocaban “yuyos” y allí guardaban las papas no consumidas tras la cosecha. Luego se las tapaba con 50 cm de tierra, logrando así su conservación.

Estos predios se encuentran emplazados entre 3.480 y 3.490 msnm, en terrenos llanos y con escasa pendiente. Asimismo, no poseen acceso a cursos de agua, con lo cual dependen mayoritariamente del sistema agrícola atemporal, aprovechando las lluvias que fueron particularmente importantes durante los años anteriores a nuestra recolección (2013). Sin embargo, en uno de los campos, Huerta 3, utilizan bombas para extraer agua subterránea. Por otro lado, en estas huertas no utilizan ni pesticidas ni abonos químicos. En Huerta 3 se informó el uso de estiércol de oveja, fertilizante que no fue agregado en el resto de los campos de cultivo y, además, se observaron restos de bagazo de cosechas anteriores. Es decir, se cuenta con las condiciones deseables para un estudio isotópico como marco de referencia no sesgado por el uso de tecnologías industriales actuales. A los predios mencionados añadimos el muestreo de suelos de dos campos adicionales (Huertas 1 y 4), los cuales serán destinados eventualmente a la producción agrícola, para tener un panorama más amplio sobre la calidad de suelos en el área.

Caracterización química de los suelos agrícolas

Las variables fundamentales para obtener una primera aproximación sobre la fertilidad de los suelos son pH, conductividad eléctrica, carbono orgánico y nitratos.

El pH se relaciona con la disponibilidad de los nutrientes, repercutiendo en la absorción de algunos de ellos. Para lo que aquí se discute, en suelos alcalinos, a partir del valor ocho (8) disminuye la absorción de nitrógeno. Por su parte, la medición de la conductividad eléctrica (C.E.), expresada en dS/m (deci Siemens por metro), nos permite evaluar la disponibilidad de nutrientes gracias a que los iones disueltos en el agua, al disociarse, poseen cargas positivas y negativas capaces de conducir electricidad. Al cuantificar las sales como conductividad eléctrica, en el extracto de pasta saturada, la concentración se refiere indirectamente a la concentración salina que afecta a las raíces. Es decir, existe una relación sencilla entre los valores de conductividad eléctrica en extracto de saturación y la presión osmótica de la solución en el suelo (Marban y Ratto, 2005). Las sales solubles pueden presentarse en cantidades que dificulten la germinación de semillas, el crecimiento de estas y la absorción de agua. De hecho, puede haber

acumulaciones de sales debido a problemas de drenaje, evaporación y sequía, llegando a resultar en suelos salinos. Por otro lado, el carbono orgánico (C%) es utilizado como un indicador de la materia orgánica del suelo, pues es un elemento que se encuentra presente en todas las sustancias orgánicas. La fracción orgánica está directamente relacionada con las propiedades químicas, siendo las más afectadas la capacidad de intercambio y de adsorción de iones nutritivos, la producción de nitrógeno (nitratos), fosfatos y sulfatos y elementos menores (Marban y Ratto, 2005). Con respecto a la cuantificación de nitratos (NO_3^-), las proteínas de la materia orgánica en los suelos se descomponen gracias a la acción de organismos heterótrofos, en aminoácidos y luego en amonio y CO_2 . La nitrificación es el proceso por el cual el amonio es oxidado, obteniéndose como producto final el nitrato que, gracias a su solubilidad, es la fuente de nitrógeno más importante de las plantas. De hecho, hay una dependencia total de la descomposición de restos orgánicos en la cantidad de nitrógeno disponible en los suelos (Marban y Ratto, *op. cit.*).

Materiales y métodos

Con el fin de evaluar la relación entre los tipos de suelos de las huertas y la composición isotópica del nitrógeno de los vegetales, se realizó una caracterización inicial del suelo en sus propiedades químicas como pH (método en agua relación 1:2.5), conductividad eléctrica (en extracto de saturación), carbono orgánico (Walkley y Black, 1934) y nitratos (NO_3^-), siguiendo las metodologías descritas en SAMLA (2004). Para llevar a cabo este estudio, durante el mes de septiembre de 2013 se realizaron cinco extracciones en un total de cuatro campos diferentes, para tener un muestreo homogéneo, pues los nutrientes por razones de declive pueden estar dispuestos de manera diferente. Estas se tomaron entre los 15 y 20 cm de profundidad para obtener una muestra representativa de los componentes absorbidos por las raíces (Amudson *et al.*, 2003; Marban y Ratto, 2005). Una vez extraídas se dejaron secar al aire libre hasta su transporte al laboratorio.

Con respecto a los vegetales, se obtuvieron veinticuatro especímenes en la localidad de Abra Pampa, provenientes de las Huertas 2 y 3 (correspondientes a la cosecha de marzo de 2013) y del Mercado Central. Los vegetales fueron pretratados y analizados en el Instituto de Geología Isotópica y Geocronología (INGEIS/Conicet-UBA). Para realizar las determinaciones isotópicas de carbono $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ y nitrógeno $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, los mismos fueron lavados en ultrasonido, secados en horno a 60 °C durante 24 hs y molidos hasta reducirlos a fragmentos de 1 mm. Se pesaron 3 mg de muestra en cápsulas de estaño que fueron procesadas en un analizador elemental Carlo Erba EA1108 acoplado a un espectrómetro de masas para la determinación de relaciones isotópicas Thermo Scientific Delta V Advantage de flujo continuo utilizando una interfaz ConFlo IV. El error analítico fue 0,2‰ para $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$.

Resultados

Caracterización química de suelos

Si nos detenemos en las mediciones de pH, los suelos, tanto de los campos cultivados como aquellos que aún no fueron usufructuados, resultaron extremadamente ácidos (media = 6,3 ± 0,5); no obstante, se encuentran en el rango

adecuado para el desarrollo agrícola y, en particular, para el cultivo de papa. Si bien estos valores no pueden extrapolarse a todo el Departamento de Cochínoca, nos dan una pauta para comprender la agroecología de la zona. Con respecto a la conductividad eléctrica (media = $0,3 \pm 0,1$), los valores son significativamente bajos. En lo referente al carbono orgánico total (C%), indicador que se utiliza en este trabajo para estimar la cantidad de materia orgánica en los suelos, llega a ser escaso al menos en los casos observados (media = $2,1 \pm 0,2$). Por último, en lo que corresponde a la disponibilidad de nitratos (NO_3^-), la cantidad es pobre en todas las huertas (media = $3,6 \pm 2,6$), aunque en la Huerta 3, el número es algo mayor. Esta escasa disponibilidad se convierte en un condicionante para la agricultura, dado que el nitrógeno es el elemento más importante entre los nutrientes de las plantas.

Si bien en el NOA es muy común encontrar suelos de exigua calidad respecto a la disponibilidad de nutrientes, en este caso los valores muestran una pobreza extrema. Los resultados de las variables medidas en el suelo se presentan en la Tabla 1.

Muestra AA N°	Huerta	Altitud	pH 1:2.5 H ₂ O	C.E. (e.s.) dS/m	Ct W. Black (C%) g/kg	NO ₃ ⁻ mg/kg
46.991	1	3.480	6,3	0,4	2,2	2,6
46.992	2	3.482	6,1	0,3	2	1,9
46.993	3	3.490	7,1	0,3	2,5	7,4
46.994	4	3.480	6	0,6	1,9	2,5
<i>Media</i>			6,4	0,4	2,2	3,6
<i>± SM</i>			0,5	0,1	0,3	2,6

Tabla 1. Ensayos químicos de suelos actuales de huertas en Abra Pampa: pH, conductividad eléctrica (C.E.), carbono orgánico total (C%) y disponibilidad de nitratos (NO_3^-).

Valores isotópicos en vegetales actuales

Para los ejemplares de *Solanum tuberosum*, la variación en carbono es escasa, siendo los valores medios: $\delta^{13}\text{C} -25,8\text{‰} \pm 0,6\text{‰}$ ($n = 6$) en el Mercado Central de Abra Pampa; $\delta^{13}\text{C} -25,6\text{‰} \pm 0,8\text{‰}$ ($n = 10$) en la Huerta 2; y $\delta^{13}\text{C} -26,5\text{‰} \pm 0,8\text{‰}$ ($n = 8$) en la Huerta 3. En el caso del nitrógeno, la variación aumenta notoriamente, mostrando valores medios de $\delta^{15}\text{N} 5,2\text{‰} \pm 1,7\text{‰}$, $3,9\text{‰} \pm 0,7\text{‰}$ y $9,7\text{‰} \pm 3,7\text{‰}$, respectivamente. La mayor variación isotópica en la Huerta 3 se debe a la presencia de valores notoriamente enriquecidos como son $\delta^{15}\text{N} +13,5\text{‰}$, $+13,7\text{‰}$ y $+15,2\text{‰}$, todos correspondientes a la variedad *Desirée*. Los valores isotópicos se sintetizan en la Tabla 2.

n	Procedencia	AIE	Género y especie	Nombre local	Parte anatómica	%C	%N	$\delta^{13}\text{C}$ ‰	$\delta^{15}\text{N}$ ‰	C/N
1	Huerta 2	32527	<i>Solanum tuberosum</i>	Revolución	Tubérculo	35,2	0,7	-26,7	3,4	59,5
2		32528		Revolución	Tubérculo	30,7	0,8	-26,7	4,8	42,7
3		32529		Revolución	Tubérculo	36,9	0,9	-24,7	3,8	48,1
4		32530		Revolución	Tubérculo	34,8	0,8	-25,5	3,8	52,5
5		32531		Revolución	Tubérculo	36,5	0,8	-25,5	4,2	55,3
6		32522		Negra	Tubérculo	37,4	0,7	-25,3	3,6	63,8
7		32523		Negra	Tubérculo	27,6	0,8	-26,6	4,8	39,7
8		32524		Negra	Tubérculo	35,8	0,7	-25,5	3,4	59,9
9		32525		Negra	Tubérculo	35,3	0,8	-25,1	2,5	54,3
10		32526		Negra	Tubérculo	38,7	0,7	-24,4	4,6	67,4
11	Huerta 3	32517	S/D	Tubérculo	36,6	0,6	-26,3	6,7	73,2	
12		32518	S/D	Tubérculo	37,6	0,7	-26,4	6,8	62,3	
13		32519	S/D	Tubérculo	35,3	0,3	-25,0	8,0	121,5	
14		32520	S/D	Tubérculo	37,3	0,5	-26,6	6,9	89,7	
15		32521	S/D	Tubérculo	36,4	0,5	-27,1	6,9	85,4	
16		31055	<i>Desirée</i>	Tubérculo	40,2	1,0	-27,7	13,7	47,0	
17		31054	<i>Desirée</i>	Tubérculo	41,0	1,1	-26,5	13,5	42,3	
18		31056	<i>Desirée</i>	Tubérculo	40,9	1,7	-26,7	15,2	27,9	
19	Mercado Central	31041	Ojito	Tubérculo	40,0	0,6	-26,3	4,8	82,8	
20		31058	Ojito	Tubérculo	41,2	1,0	-25,9	7,3	47,9	
21		31057	Ojito	Tubérculo	41,0	0,7	-24,9	5,9	63,9	
22		31039	Lisa*	Tubérculo	39,6	0,9	-26,4	6,6	50,4	
23		31049	Lisa*	Tubérculo	41,4	1,1	-25,2	2,5	44,2	

Tabla 2. Valores $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en vegetales de huertas actuales y otros adquiridos en el Mercado Central de Abra Pampa.

* En este caso la denominación “papa lisa” no corresponde a ejemplares de *Ullucus tuberosus*.

Discusión

Como señalaron Szpak *et al.* (2013), en los Andes en general, la composición isotópica de las plantas (y nosotros agregamos, de aquellas de consumo humano) se encuentra estudiada de manera escasa, tanto desde la perspectiva ecológica como paleodietaria. En este trabajo empezamos a revertir este panorama.

Cuando se realizó el primer estudio isotópico en huerta en Antofagasta de la Sierra (Killian Galván y Salminci, 2014), los ejemplares de *Solanum tuberosum* analizados presentaron valores $\delta^{15}\text{N}$ entre +8,7‰ y +6,2‰, (Figura 3) aunque la variabilidad de valores era mayor al considerar la totalidad de los recursos vegetales analizados, con valores en *Zea mays* cercanos a 0‰. En ese caso, nos preguntamos si la variación y el rango isotópico mostrados respondían a las características climáticas y ambientales del área de emplazamiento, es decir, al desierto de altura. Suponíamos que la altitud, y por lo tanto la temperatura, podría influenciar los valores. En aquel trabajo se planteó además la necesidad de realizar estudios químicos de suelo, como los aquí propuestos, como una vía para explicar la variabilidad, pues presuponíamos que existía una relación entre el enriquecimiento y el empobrecimiento de la señal isotópica de los especímenes y las características del suelo de procedencia (no todas las huertas analizadas en ese trabajo habían recibido la misma cantidad de abono, por ejemplo). Por otro lado, cuando se llevó a cabo el estudio sobre maíces de origen arqueológico, encontramos valores ^{15}N muy elevados, los cuales podían explicarse por procesos diagenéticos pero, a la vez, especulamos con que la señal isotópica primaria del ^{15}N podría ser alta debido también a las condiciones de aridez y al tipo de suelo de los cultivos de altura (Killian Galván *et al.*, 2014).

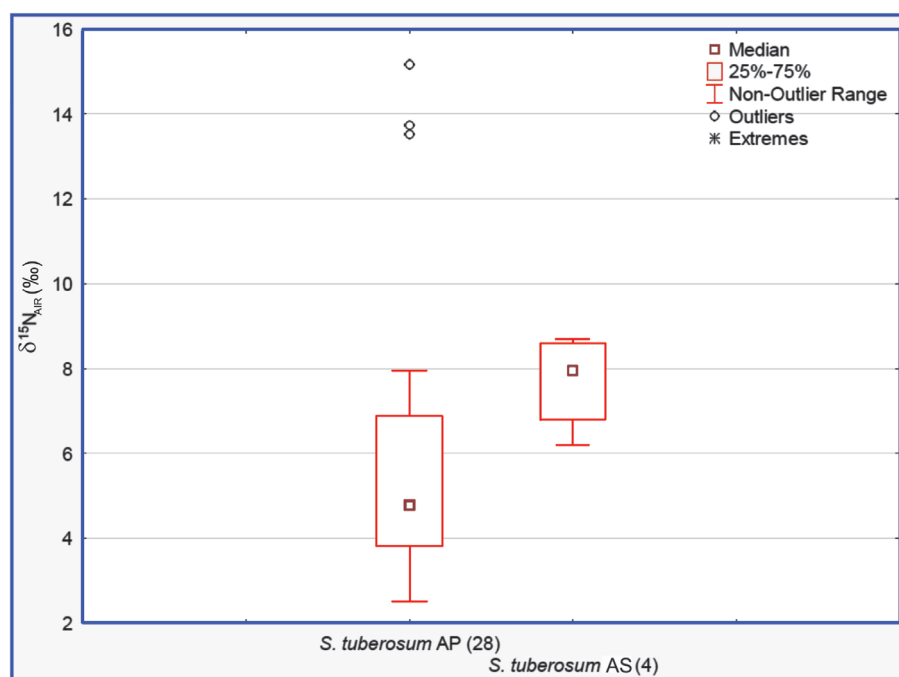


Figura 3. Box plot con distribución de valores $\delta^{15}\text{N}$ en *Solanum tuberosum* procedentes de Abra Pampa (AP) y aquellos publicados en Killian Galván y Salminci (2014) para el área de Antofagasta de la Sierra (AS, provincia de Catamarca, Argentina).

En este sentido, es importante destacar que al realizar estudios como los aquí propuestos, pudimos dar cuenta de variables que por lo general no pueden conocerse. Por ejemplo, si hubiéramos recurrido únicamente a recursos adquiridos en los mercados locales, no habríamos podido tener información relativa al uso de pesticidas y fertilizantes químicos y a las características geográficas de los lugares de emplazamiento de los campos de cultivo. Sin embargo, al integrar al análisis materiales actuales, persiste el problema del tipo de guano que, al provenir de especies introducidas desde Europa (cabra –*Capra aegagrus hircus*– y oveja –*Ovis orientalis aries*–, pero también, aunque en menor medida, aves de corral, caballo –*Equus ferus caballus*–, vaca –*Bos taurus*–, etc.), quizá difieran del guano utilizado en tiempos prehispánicos (llama –*Lama glama*–). Esta es una limitación que podría saldarse en el futuro mediante el trabajo experimental con productores locales que estuvieran interesados en integrar el guano de especies autóctonas como fertilizante.

Ahora bien, como puede observarse a partir de los resultados isotópicos obtenidos en esta investigación, los valores $\delta^{15}\text{N}$ hallados en *Solanum tuberosum* en este sector de la ecorregión resultan excepcionalmente altos y comprenden una gran variabilidad intraespecífica. Asimismo, estos resultados dificultan la asociación directa entre las variables ambientales (nivel de precipitaciones, altitud, temperatura) o la calidad de los suelos con los valores isotópicos, pues se han encontrado en la misma huerta valores extremos, tanto por hallarse enriquecidos como empobrecidos. Asimismo, a diferencia de lo hallado por otros autores (Mudge *et al.*, 2013), no encontramos una relación lineal entre la mayor proporción de fertilizantes y riego y los valores isotópicos del nitrógeno. Por lo tanto, si a partir de los estudios realizados en Antofagasta de la Sierra suponíamos que podría haber un incremento en la señal isotópica bajo la premisa de los efectos de una mayor aridez, el estudio de Abra Pampa muestra que no existe una relación clara entre esta variable y los valores $\delta^{15}\text{N}$, al menos en contextos de alta intervención humana como son los agrícolas, aunque sea aquí y no en otra área donde encontremos valores tan elevados. Un detalle a tener en cuenta es que estos ejemplares que presentaron valores entre +13,7 y 15,2‰ son de una variedad concreta, *Desirée*, sobre la que deberemos efectuar análisis específicos en el futuro.

En un trabajo reciente, Szpak *et al.* (2013), advierten que no deben descartarse las mediciones sobre restos arqueobotánicos para la reconstrucción paleodietaria, siempre y cuando pueda demostrarse la preservación de la composición del nitrógeno y el carbono originales. Por lo tanto, y ante los llamativos valores hallados en Abra Pampa, muestras como la de *Zea mays* (maíz) del sitio arqueológico Río Doncellas –recordemos, también del Departamento de Cochino (Killian Galván *et al.*, 2014)–, deberían ser reevaluadas pero aislando un subgrupo que cumpla con valores %C y %N aceptables para el análisis de composición isotópica. Pues, el presente estudio nos permite pensar que en la Puna de Jujuy, más específicamente en el Departamento de Cochino, pudieron darse carencias nutricionales en los suelos con consecuentes valores atípicos incluso para los cereales. Si además consideramos que el sitio es paradigmático para el período en el que se expandieron las fronteras agrarias prehispanicas (Alfaro de Lanzone, 1988; Albeck, 2001), es probable que la composición isotópica de los vegetales cultivados fuera alta, al actuar de manera sinérgica variables como la aridez y la falta de nutrientes del suelo, compensadas con cantidades sustanciales de abono animal.

Entonces, los valores $\delta^{15}\text{N}$ elevados, y que incluso se consideran altos comparados con aquellos hallados en sitios costeros de alta aridez, no resultan anómalos. Por lo tanto, tenemos elementos para reconsiderar eventualmente los valores obtenidos en la muestra de maíz de la colección arqueológica Río Doncellas como insumo para la conformación de modelos para la estimación paleodietaria. En consonancia con este escenario se cuenta con el reciente estudio de Samec *et al.* (2015) sobre vegetales silvestres de consumo animal en el área de Susques, Puna de Jujuy. Allí, se ha realizado un estudio contemplando el análisis de plantas C_3 y C_4 , donde se halló una amplia distribución de valores $\delta^{15}\text{N}$ (desde -3,1‰ a 13,0‰).

Conclusiones

En los estudios paleodietarios humanos, la composición isotópica de los recursos vegetales es relevante, sobre todo por la variabilidad intraespecífica que pueden producir en ellos los factores ambientales. Los estudios detallados, considerando tales variables, resultan particularmente útiles en regiones como el NOA, área que presenta

una gran diversidad ambiental dados sus gradientes altitudinales producidos por su accidentada geografía. Asimismo, la agricultura familiar ocupa actualmente diferentes lugares en las economías del NOA, pues puede ser parte del sustento cotidiano, un reaseguro frente a situaciones económicas difíciles o una vía para mantener vivas prácticas tradicionales de relación con el ambiente (Killian Galván y Salminci, 2014), por lo tanto, este escenario abre una puerta para los estudios de agroecología isotópica aplicados a problemáticas arqueológicas.

A partir de este estudio, debemos resaltar al menos, tres aspectos. En primer lugar, como hemos mostrado con el análisis químico de los suelos, las huertas de Abra Pampa exhiben un estado nutricional pobre, lo cual puede repercutir en el ciclo del nitrógeno, generando valores sorprendentemente altos, probablemente por el reciclaje de los nutrientes disponibles. No obstante, no hallamos una consecuencia directa y unívoca respecto a los valores isotópicos de este elemento.

En segundo lugar, entendemos que el hallazgo de esta amplitud de valores en el caso del nitrógeno permite discutir aquellos notoriamente enriquecidos en individuos hallados en el sitio arqueológico Río Doncellas –por ejemplo en Pérez y Killian Galván (2011) se presentan individuos con valores aproximados a $\delta^{15}\text{N} +14\text{‰}$ –, pudiendo atribuir tal enriquecimiento no solo al consumo de proteína animal, sino a un conjunto de recursos que pudieron presentar globalmente valores más positivos. Entonces, tubérculos como la papa no deben ser subestimados para comprender la agricultura del pasado puneño, pues estos valores se ajustan de manera más acertada a las dietas humanas inferidas en Puna a partir del análisis isotópico.

Por último y en relación a lo anterior, más allá de la falta de nutrientes en suelos con falta de agua, con baja materia orgánica y escasez de nitratos, y teniendo como marco estos condicionamientos negativos, resulta fundamental destacar que en estas huertas puneñas se han obtenido cosechas de papa. Esto precisamente por sus niveles de pH –que resultan óptimos para ese cultivo– y la falta del imperativo del riego. Este tipo de observaciones no deben ser subestimadas por los arqueólogos que indagan acerca de la producción agropecuaria prehispánica. Pues puede ser este tipo de recursos, los tubérculos, sobre los que se sostuvo la etapa de mayor expansión agrícola atribuida a los Desarrollos Regionales del pasado puneño y no la producción cerealera que quizá sí fue el elemento central de la producción en ecorregiones más bajas.

Agradecimientos

Agradecemos a las familias de Abra Pampa por permitimos realizar esta investigación y esperamos que la información sobre el análisis químico de suelos les sea de utilidad. Deseamos que esta publicación sea parte de su “carta de presentación” para impulsar la economía agrícola en el área. A Celeste Samec por su gentil colaboración en las tareas de campo y a Augusto Tessone y Nazareno Piperizza por su asistencia en las tareas de laboratorio en INGEIS. A Jorge F. Ghera por su ayuda en la traducción al inglés del resumen y a Agustina Scaro por la traducción del mismo al francés. Este manuscrito mejoró notablemente a partir de las sugerencias de dos evaluadores anónimos, a ellos nuestro agradecimiento. Esta investigación se realizó en el marco de las becas doctorales y posdoctorales de la primera autora, otorgadas por Conicet. Lo aquí vertido es absoluta responsabilidad de los autores.

Referencias bibliográficas

- » Albeck, M. E. (2001). “La Puna Argentina en los Períodos medio y tardío”. En *Historia argentina prehispánica*, 1, 347-388.
- » Albeck, M. E. y Ruiz, M. S. (2003). “El tardío en la puna de Jujuy: poblados, etnias y territorios”. En *Cuadernos* 20, 199-221.
- » Alfaro de Lanzzone, L. C. (1988). *Investigación Arqueológica en la Cuenca del río Doncellas. Dpto. Cochinoca, Jujuy. Reconstrucción de una cultura olvidada en la Puna Jujeña*. Imprenta del Estado de la Provincia de Jujuy.
- » Ambrose, S. H. (1993). “Isotopic analysis of paleodiets: Methodological and interpretive considerations”. En Sandford, M. K. (ed.). *Investigations of ancient human tissue. Chemical analysis in anthropology*, pp. 59-130. Pensilvania, Gordon and Breach Science Publishers.
- » Ammann, M. G., Mendonça, O. J., Merlo, N. I., Bordach, M. A. y Tykot, R. H. (2014). “Stable isotopes ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) from North West Argentina: paleodietary implications”. En *Open Journal of Archaeometry*, 2(1).
- » Amundson, R., Austin, A. T., Schuur, E. A. G., Yoo, K., Matzek, V., Kendall, C., Uebersax, A., Brenner, D. y Baisden, W. T. (2003). “Global patterns of the isotopic composition of soil and plant nitrogen”. En *Global biogeochemical cycles*, 17(1), 1031.
- » Aranibar, J. S., López Campeny, M. L., Colaneri, M. G., Romano, A. S., Macko, S. A. y Aschero, C. A. (2007). “Dieta y sociedades agropastoriles: análisis de Isótopos Estables de un sitio de la Puna meridional argentina (Antofagasta de la Sierra, Catamarca)”. En *Comechingonia*, 10, 29-48.
- » Aufderheide, A. C., Kelley, M. A., Rivera, M., Gray, L., Tieszen, L. L., Iversen, E. y Carevic, A. (1994). “Contributions of chemical dietary reconstruction to the assessment of adaptation by ancient highland immigrants (Alto Ramirez) to coastal conditions at Pisagua, North Chile”. En *Journal of archaeological science*, 21(4), 515-524.
- » Bateman, A. S. y Nelly, S. D. (2007). “Fertilizer nitrogen isotope signatures”. En *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 43(3), 237-247.
- » Bianchi, A. R., Yáñez, C. E. y Acuña, L. R. (2005). “Base de datos mensuales de precipitaciones del Noroeste Argentino”. En *Instituto Nacional de tecnología Agropecuaria. Proyecto Riesgo Agropecuario, Convenio Específico*, (3), 41.
- » Choi, W., Lee, S., Ro, H., Kim, K. y Yoo, S. (2002). “Natural ^{15}N abundances of maize and soil amended with urea and composted pig manure”. En *Plant and Soil*, 245, 223-232.
- » De Niro, M. J. y Hastorf, C. A. (1985). “Alteration of $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ and $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios of plant matter during the initial stages of diagenesis: Studies utilizing archaeological specimens from Peru”. En *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 49, 97-115.
- » Falabella, F., Planella, M. T., Aspillaga, E., Sanhueza, L. y Tykot, R. H. (2007). “Dieta en sociedades alfareras de Chile Central: aporte de análisis de isótopos estables”. En *Chungara, Revista de Antropología Chilena*, 39, 1, 5-27.
- » Fernández, J. y Panarello, H. O. (1999-2001). “Isótopos del carbono en la dieta de herbívoros y carnívoros de los andes jujeños”. En *Xama* 12-14, 71-85.
- » Hartman, G. (2011). “Are elevated $\delta^{15}\text{N}$ values in herbivores in hot and arid environments caused by diet or animal physiology?”. En *Functional Ecology*, 25(1), 122-131.

- » Heaton, T. H. E. (1987). "The $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ratios of plants in South Africa and Namibia: relationship to climate and coastal/saline environments". En *Oecologia* 74, 2, 236-246.
- » Killian Galván, V. A. y Salminci, P. (2014). "Aportes a la ecología isotópica: información actual y sistemas de regadío arqueológicos en la microrregión de Antofagasta de la Sierra (provincia de Catamarca, Argentina)". En *Comechingonia*, 18(1), 51-72.
- » Killian Galván, V. A., Olivera, D. E. y Gallegos, E. (2012). "Una aproximación isotópica al consumo del maíz en la localidad arqueológica Río Doncellas (Dpto. de Cochino, Prov. de Jujuy)". En Babot, P., Pazzarelli, F. y Marschoff, M. (eds.). *Las manos en la masa: arqueologías y antropologías de la alimentación en Sudamérica*, pp. 319-338. Córdoba, Corintios 31.
- » Killian Galván, V. A., Oliszewski, N., Olivera, D. E. y Panarello, H. O. (2014). "Intraspecific Variability in the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ Values of Archaeological samples of *Zea mays* Cobs (Northwestern Argentinean Puna)". En Kligmann, D. M. y Morales, M. (comps.). *British Archaeological Reports, Internacional Series*, 39-51.
- » Kulemeyer, J. A., Lupo L. C., Kulemeyer, J. J. y Laguna, L. R. (1999). "Desarrollo Paleocológico durante las Ocupaciones Humanas del Prececerámico del Norte de la Puna Argentina". En *Beiträge zur Quartären Landschaftsentwicklung Südamerikas. Festschrift zum 65. Geburtstag*, 233-55. Bamberg.
- » Manzanal, M. (2003). "Instituciones y gestión del desarrollo rural en Argentina (experiencias y enseñanzas)". En *Realidad Económica* 197, 92-115.
- » Marbán L. y Ratto, S. E. (2005). *Tecnologías en análisis de suelos*. 1º ed. Ed. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo.
- » Marshall, J. D., Brooks, J. R. y Lajtha, K. (2007). "Sources of variation in the stable isotopic composition of plants". En Michner, R. y Lajtha, K. (eds.). *Stable isotopes in ecology and environmental science*, pp. 22-60. Oxford, Blackwell Publishing.
- » Mudge, P. L., Schipper, L. A., Ghani, A., Upsdell, M. y Baisden, W. T. (2013). "Changes in natural ^{15}N abundance in pastoral soils receiving differing amounts of superphosphate fertilizer and irrigation for 50 years". En *Soil Sci. Soc. Am. J.* 77, 830-841.
- » Santoro, C. y Nuñez, L. (1987). "Hunters of the dry Puna and the salt Puna in northern Chile". En *Andean Past*, 1, 57-109.
- » Olivera, D. E. y Yacobaccio, H. D. (1999). "Estudios de paleodieta en poblaciones humanas de los Andes del Sur a través de isótopos estables". Trabajo presentado al V Congreso Nacional de Paleopatología, Alcalá La Real, Jaén.
- » Ottonello de García Reinoso, M. y Ruthsatz, B. (1982). "Environment, human settlement, and agricultura in the Puna de Jujuy, Argentina. A case study of land-use change". En *Mountain Research and Development* 2 (1), 111-126.
- » Pate, F. D. (1994). "Bone Chemistry and Paleodiet". En *Journal of Archaeological Method and Theory* 1, 161-209.
- » Pérez M. y Killian Galván, V. A. (2011). "Doncellas (Puna Septentrional, Jujuy, Argentina): Nuevos enfoques a partir del estudio cerámico y el análisis paleodietario". En *Estudios Atacameños, Arqueología y Antropología surandinas*, 42, 79-100.
- » Peterson, B. J. y Fry, B. (1987). "Stable Isotopes in Ecosystem Studies". En *Annual Review of Ecology and Systematics*, vol. 18, 253-320.
- » Pidwirny, M. (2006). "The Nitrogen Cycle". En *Fundamentals of Physical Geography*, 2º ed. Disponible en: <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/9s.html>
- » Samec, C. T., Yacobaccio, H. D. y Panarello, H. O. (2015). "Carbon and nitrogen isotope composition of natural pastures in the dry Puna of Argentina: a baseline for the study

- of prehistoric herd management strategies". En *Archaeological and Anthropological Sciences*, 1-11.
- » SAMLA (2004). *Sistema de Apoyo Metodológico a los Laboratorios de Análisis de Suelos, Agua, Vegetales y Enmiendas Orgánicas*, 1º ed., SAGPyA, Dirección de Agricultura. CD-Rom.
 - » Schoeninger, M. J. y De Niro, M. J. (1984). "Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from marine and terrestrial animals". En *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48(4), 625-639.
 - » Szpak, P., White, C. D., Longstaffe, F. J., Millaire, J. F. y Sánchez, V. F. V. (2013). "Carbon and nitrogen isotopic survey of northern Peruvian plants: baselines for paleodietary and paleoecological studies". En *PloSone*, 8(1), e53763.
 - » Tchilinguirian, P. (2008). "Paleoambientes Holocenos en la Puna Austral (27ºS): Implicancias Geoarqueológicas". Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires.
 - » Tessone A., Samec, C., Killian Galván, V. y Panarello, H. (2009). "Restos vegetales de origen arqueológico e isótopos estables del Carbono: su posibilidad de uso en las reconstrucciones paleodietarias y paleoclimatológicas". En *Actas del III Congreso Argentino de Arqueometría y II Jornadas Nacionales para el estudio de Bienes Culturales*. Córdoba, Argentina.
 - » Walkley, A y Black, I. (1934). "An examination of the Degtjareff method and a proposed modification of the chromic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method". En *Soil Sci.* 34, 29-38.

Violeta A. Killian Galván

Becaria posdoctoral del Conicet con sede de trabajo en el Instituto de Geocronología y Geología Isotópica (INGEIS/UBA-Conicet). Doctora por la Universidad de Buenos Aires, orientación Arqueología, Facultad de Filosofía y Letras (UBA). Desde 2009 es docente de la cátedra "Antropología Biológica y Paleoantropología" (Departamento de Ciencias Antropológicas, Facultad de Filosofía y Letras, UBA). Miembro del equipo "Proyecto Arqueológico Antofagasta de la Sierra", con sede en el Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano. Ha publicado trabajos sobre la aplicación de isótopos estables en arqueología en diferentes ecorregiones del Noroeste argentino.

Estela I. Ducós

Profesional principal, CPA, Conicet, con lugar de trabajo en el Instituto de Geocronología y Geología Isotópica (INGEIS, Conicet-UBA). Licenciada en Ciencias Geológicas de la Universidad de Buenos Aires. Responsable del ensayo de carbono-13 en materia orgánica (método *off-line*) y responsable del analizador elemental acoplado al espectrómetro de masas de relaciones isotópicas de flujo continuo (EA-IRMS) y de los ensayos que lo utilizan (carbono-13 y nitrógeno-15 en materia orgánica).

Liliana Marbán

Profesional Principal del Conicet, sede de trabajo en el Instituto de Geocronología y Geología Isotópica, Ciudad Universitaria Buenos Aires. Ingeniera Agrónoma. Magister

Scientiae en Ciencia del Suelo de la Escuela de Graduados, Facultad de Agronomía (UBA) (EPG-FAUBA). Profesora adjunta de la cátedra “Edafología”, Facultad de Agronomía (UBA). Directora de los cursos de posgrado de la EPG-FAUBA en Ciencia del Suelo “Química de Suelo” y “Análisis de suelo y Diagnóstico de la Fertilidad”. Miembro de comisiones en IRAM, Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca de la Nación (SAMLA) y Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo.

Héctor O. Panarello

Doctor en Ciencias Químicas de la Universidad de Buenos Aires. Es investigador del Instituto de Geocronología y Geología Isotópica (INGEIS-Conicet-UBA). Desde 1975 ha creado y desarrollado el Laboratorio de Isótopos Ambientales de INGEIS. Ha sido investigador visitante en más de quince centros científicos en Europa y Sudamérica y fue miembro de la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA) y del Instituto Internacional de Investigación Geotérmica (Italia). Actualmente es asesor en Hidrología Isotópica para la IAEA y UNDP y participa en numerosos proyectos de investigación. Es profesor en diferentes cursos de posgrado en la Argentina y otros países.



Notas

1. La notación delta ($\delta^{13}\text{C}$ en carbono y $\delta^{15}\text{N}$ en nitrógeno) representa la diferencia entre la medición de la relación isotópica que interesa y la de un patrón. En el caso del carbono, dicho patrón se encuentra representado por el carbonato V-Pee Dee Belemnite. Debido a que esta diferencia es muy pequeña, dicha tasa es expresada como partes per mil (‰), siguiendo la siguiente ecuación:

$$\delta^{13}\text{C} = \left(\frac{{}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}_{\text{Muestra}}}{{}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}_{\text{VPDB}}} - 1 \right) \cdot 1000$$

2. Las relaciones de isótopos del nitrógeno son analizadas y expresadas también como valores per mil, utilizando la siguiente fórmula y teniendo como valor estándar el Ambient Inhalable Reservoir (AIR):.

$$\delta^{15}\text{N} = \left[\frac{({}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N})_{\text{muestra}}}{({}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N})_{\text{AIR}}} - 1 \right] \times 1000$$