



# Estudios de isótopos estables en huertas familiares actuales de la Quebrada de Humahuaca (Jujuy, Argentina). Su potencial aporte a los estudios paleodietarios del Noroeste argentino

Violeta A. Killian Galván\*, Gloria Sanmartino\*\*, Verónica Castellano\*\*\*, Verónica Seldes\*\*\*\*y Liliانا G. Marban\*\*\*\*\*

\* INGEIS/CONICET-UBA. E-mail: violetakillian@gmail.com; \*\* Escuela de Nutrición, Facultad de Medicina, UBA. E-mail: gloriasammartino@gmail.com; \*\*\* Facultad de Filosofía y Letras, UBA. E-mail: castellanovs@gmail.com; \*\*\*\* CONICET – Instituto de Ciencias Antropológicas, sección Antropología Biológica, Facultad de Filosofía y Letras, UBA. E-mail: vseldes@gmail.com; \*\*\*\*\* INGEIS/CONICET-UBA. E-mail: marban@ingeis.uba.ar

## Resumen

Presentamos una propuesta metodológica para la generación de marcos de referencia en los estudios paleodietarios, mediante el análisis de la composición isotópica del carbono y el nitrógeno ( $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ ) en arqueología. En particular, nos centraremos en cómo influyen algunas prácticas de cultivo en los valores isotópicos de las plantas procedentes de huertas familiares (siendo las especies escogidas *Zea mays*, *Solanum tuberosum*, *Oxalis tuberosa*, *Ullucus tuberosus*, *Chenopodium quinoa* y *Opuntia ficus-indica*, esta última como especie silvestre del área). La metodología propuesta consiste 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. A partir de los resultados obtenidos, podemos afirmar que al menos en entornos semiáridos, como es el caso de Quebrada de Humahuaca, la disponibilidad de nutrientes en el suelo repercute en los valores  $\delta^{15}\text{N}$  de *Zea mays*. Si bien no hay una relación lineal entre las variables propuestas y los resultados isotópicos obtenidos, se registró un rango más amplio de valores cuando la calidad del suelo fue menor.

**Palabras clave:** ecología isotópica; huertos familiares; abono; riego; paleodieta.

Stable isotope studies on current home gardens of the Quebrada de Humahuaca (Jujuy, Argentina). Their potential contribution to Argentine Northwest paleodietary studies

## Abstract

We present a methodological proposal for the construction of a frame of reference in paleodietary research through the analysis of Carbon and Nitrogen stable isotopes ( $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ ) in archaeology. In particular, we focus on the effect of certain harvest practices in the isotopic values of plants from family farms (the species chosen being *Zea mays*, *Solanum tuberosum*, *Amaranthus caudatus*, *Chenopodium quinoa* and *Opuntia ficus-indica*, this last as a wild plant from the area). The methodology consist in: collection of information among local producers, soil characterization in terms of their chemical properties (Ph, electrical conductivity, organic carbon and nitrate) and analysis of isotopic values from plants. Considering the results, we can state that at least in semi-arid environments, such as Quebrada de Humahuaca, nutrient availability in soils impact in *Zea mays*  $\delta^{15}\text{N}$  values. While there is not a linear relationship between the proposed variables and the isotopic result obtained, a wider range of values was found when soil quality was lower.

**Key words:** isotopic ecology; family farms; fertilizer; irrigation; paleodiet.

En los últimos años han proliferado los estudios de ecología isotópica aplicada al estudio de problemáticas arqueológicas. Entre ellos, se encuentran los que plantean analizar las variables antrópicas que afectan a los valores isotópicos de las plantas cultivadas, siendo las más importantes respecto a los cultivos, el riego (Araus 1997) y el abono (Boogard *et al.* 2007). Este último es vital en lo que respecta a la producción cerealera, dado el

requerimiento de suelos con disponibilidad de nutrientes para poder lograr la intensificación en su producción. Justamente se ha encontrado que suelos nutridos de diferente modo, resultan en señales isotópicas también diferentes, tanto en los cereales como también en pasturas (Bateman y Kelly 2007, Kriszan *et al.* 2009).

Ahora bien, considerando que en la mayoría de los

Recibido 09-11-2014. Recibido con correcciones 23-10-2015. Aceptado 04-12-2015

Revista del Museo de Antropología 8 (2): 107-118, 2015 / ISSN 1852-060X (impreso) / ISSN 1852-4826 (electrónico)

<http://revistas.unc.edu.ar/index.php/antropologia/index>

IDACOR-CONICET / Facultad de Filosofía y Humanidades – Universidad Nacional de Córdoba - Argentina

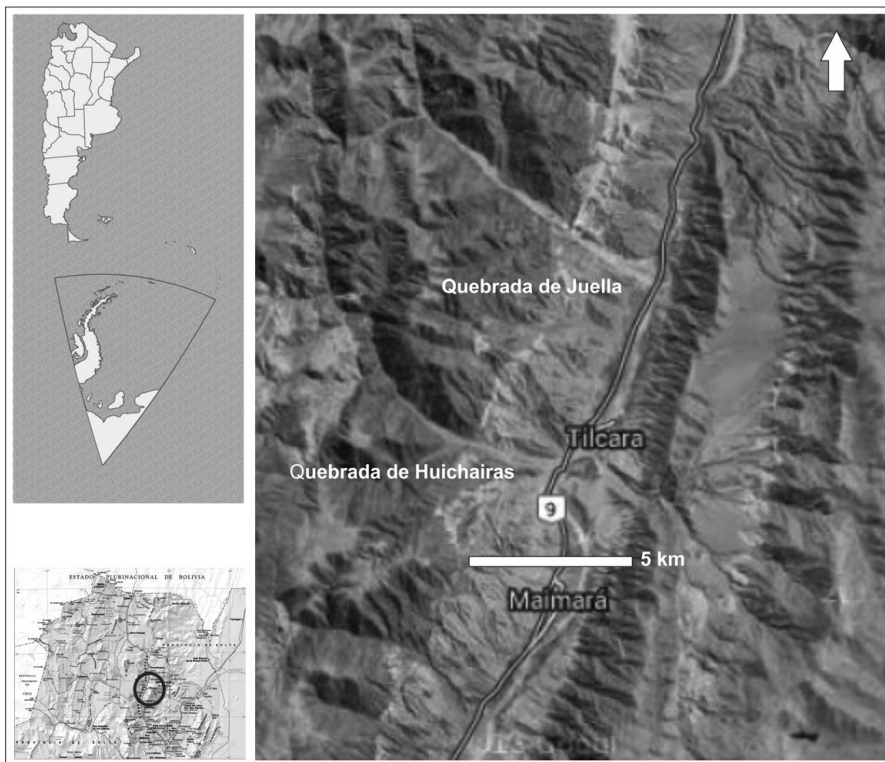


Figura 1. Ubicación del área bajo estudio. Imágenes: Instituto Geográfico Nacional y Google maps.

Figure 1. Location of the area under study. Images: Instituto Geográfico Nacional and Google maps.

casos este tipo de materiales no logra resistir el paso del tiempo, la arqueología debe recurrir a muestras vegetales actuales cuyos valores isotópicos deben ser corregidos para ser utilizados en los estudios paleodietarios (efecto producto de las emisiones de combustible fósil que requiere la adición de +1,5‰ en los valores de carbono; Suess 1955, Craig 1957). Asimismo, diferentes estudios han señalado como problemático el uso exclusivo de ejemplares recuperados en sitios arqueológicos dada la posible presencia de procesos diagenéticos (De Niro y Hastorf 1985).

En este marco, incluir la información proporcionada por los productores locales resulta pertinente, pues uno de los problemas de extrapolar valores isotópicos de vegetales cultivados actuales al pasado se vincula a la naturaleza del abono. Los valores isotópicos, al menos los del nitrógeno, serán diferentes si se utilizan productos sintéticos, como lo han demostrado las investigaciones sobre marcadores para diferenciar productos "orgánicos" de aquellos que no lo son (Choi *et al.* 2002). Por lo tanto, para la investigación arqueológica, es conveniente buscar ejemplares vegetales que, por sus características de cultivo, puedan proyectarse al pasado y sean pertinentes en la construcción de modelos explicativos. El antecedente más próximo a esta propuesta metodológica en Argentina ha sido el llevado a cabo en Antofagasta de la Sierra, Provincia de Catamarca (Killian Galván y Salminci 2014). Por otra parte, un abordaje considerando este tipo de información también se ha contemplado en Gheggi y Williams (2013) para el área de Valles Calchaquies.

En este trabajo se presenta una propuesta metodológica para la generación de información utilizada como marco de referencia en los estudios paleodietarios en arqueología, mediante el análisis isotópico (principalmente de carbono y nitrógeno,  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ ). En particular, nos centraremos en cómo se construyen los datos sobre materiales vegetales para ser utilizados en la inferencia de dietas humanas. Se hará foco en aquellos recursos cultivados que pudieron ser consumidos por las sociedades agropastoriles que ocuparon la Quebrada de Humahuaca en el pasado prehispánico. A partir de lo expuesto hasta aquí, proponemos un diseño de investigación que contemple el trabajo interdisciplinario con el objetivo de generar un marco de referencia apropiado. Recurriremos, por un lado, a técnicas antropológicas como la observación participante y entrevistas en profundidad a productores; por otro, a la medición isotópica sobre muestras vegetales así como el análisis de sedimentos de las huertas en uso actualmente.

### Características actuales del manejo agrícola

La Quebrada de Humahuaca ( $23^{\circ} 10'$  y  $23^{\circ} 50'$  S;  $65^{\circ} 20'$  O; Figura 1) posee características geográficas que han favorecido la producción agrícola, principalmente gracias a su gradiente altitudinal, que permite la diversidad productiva y la alta heliofanía (horas de sol). Este factor, sumado a la escasa humedad (con precipitaciones anuales de 136 mm y temperatura media anual de  $12^{\circ}$ ) y la altura (alrededor de 2500 msnm), permiten el cultivo de productos agrícolas con óptimas propiedades organolépticas, frutas y hortalizas con una alta resistencia

al estrés (Rodríguez 2009). Aunque los árboles frutales y hortalizas comienzan a dominar la producción en esta zona, a partir de las décadas de 1930 y 1940, en vistas de abastecer al mercado de las ciudades del NOA (Díaz *et al.* 2012), hoy en día esta producción ha disminuido en gran medida, manteniéndose el cultivo de especies andina, como maíz (*Zea mays*), papa (*Solanum tuberosum*), oca (*Oxalis tuberosa*), ulluco (*Ullucus tuberosus*) y quínoa (*Chenopodium quinoa*).

La producción de estos últimos bienes se vio alentada recientemente por el relevancia de los platos de marca "tradicional" y "orgánica" dentro del auge de la cocina *gourmet*, consumidos mayoritariamente por turistas y viajeros que visitan la quebrada, sobre todo tras su declaración como Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO en 2003 (UNESCO 2002). El uso de pesticidas naturales y abono animal, proveniente mayoritariamente de chivos (*C. a. hircus*), es el elemento que distingue a la producción de la zona. Sin embargo, su sustentabilidad en el tiempo ha sido recientemente cuestionada, pues cada vez es más frecuente el uso de agrotóxicos con la consecuente degradación de los suelos (Rodríguez 2009). Con respecto a la agricultura doméstica y su relación con la alimentación, debemos destacar que en la Quebrada de Humahuaca se mantienen vigentes las prácticas tradicionales de cultivos, donde los saberes y conocimientos locales juegan un papel importante. Asimismo, continúan las formas tradicionales de intercambio o venta en los mercados locales de los excedentes de la producción. Por ejemplo, tal como hemos detectado en nuestro trabajo, los habitantes de esta zona intercambian semillas entre sí y alimentos de producción propia por *charqui* (carne deshidratada) o sal con sus parientes y amigos que pastorean en la Puna.

### Metodología empleada en las observaciones de las prácticas actuales

A raíz de la información expuesta, se propuso realizar un trabajo que pudiera cumplir con los objetivos concernientes a la reconstrucción de ecologías isotópicas en contextos agrícolas. Como se ha expuesto en el trabajo de una de las autoras (Killian Galván y Salminci 2014), resulta pertinente aclarar que si se recurre al estudio de los actuales habitantes de la microrregión, no es porque se hayan demostrado lazos entre lo histórico y lo actual. Pues es evidente que existe una gran variabilidad en las estrategias productivas incluso en grupos que comparten el mismo ambiente. Es decir, no se apunta en este tipo de trabajos a establecer una analogía directa, sino a evaluar los resultados materiales de prácticas concretas.

Bajo esta perspectiva, se trabajó con productores locales a partir de la observación participante, la cual fue realizada en hogares y espacios de cultivos de pequeños productores de alimentos. A su vez se realizaron entrevistas en profundidad a diferentes integrantes de

las familias a partir de guías temáticas previamente elaboradas. Asimismo, se muestrearon cuatro campos de cultivo a distintas alturas y con diferentes tipos de sistemas de riego y uso de abono, todos ellos pertenecientes a familias que utilizan la agricultura como complementaria en su dieta general, dado que poseen acceso a bienes de consumo industrializados.

### Síntesis de la información proporcionada por los productores rurales

#### Tilcara

Las observaciones, entrevistas y muestreo de sedimentos y vegetales comestibles se realizaron en predios pertenecientes a la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Buenos Aires. Por un lado, en el Jardín Botánico de Altura y Quintas y por otro, en el campo perteneciente a la Residencia Universitaria. Se indagó acerca del ciclo agrícola, riego, el tipo de abono, el uso de pesticidas, el destino de la producción y las especies cultivadas.

En el caso del Jardín Botánico la información relevada revela que se optimizan todos los recursos: se recrea un sistema de andenes de cultivo a pequeña escala, disponiendo de cuatro pisos de aproximadamente 20 x 4 m; se remueve la tierra en invierno para eliminar plagas con las heladas (aunque utilizan pesticidas en las plantas de maíz, cuando estas alcanzan un alto de aproximadamente 50 cm) y; en lo que respecta al riego, dependen de un sistema de turnos entre vecinos, lo cual implica no tener siempre disponible el recurso, sin embargo también se abastece con una manguera y se puede regar con agua potable. Con respecto al abono no se necesita recurrir a productos sintéticos dado que se utiliza guano de oveja (*O. aries*) que debe comprarse (lo denominan "la camionada"). Por temporada se obtiene alrededor de 80 marlos de maíz, los cuales son de diferentes razas: "colores" (que lo consideran grande), "pisincho" y "garrapata". Las semillas vienen de La Quiaca. También siembran quínoa y *kiwicha* (*Amaranthus caudatus*) aunque en menor medida.

El relato del cuidador del campo de la Residencia Universitaria guarda similitud con el anterior. Sin embargo, en este caso se trata de un predio de similares dimensiones. La principal diferencia reside en la naturaleza del abono, pues se utiliza guano de chivo, el cual debe comprarse al menos una vez cada dos años. No se utilizan "remedios" para atacar las plagas de gusano que afectan al maíz, dado que casi no hay y en el caso de presentarse, usan pocos insecticidas. Por otro lado, el cuidador aclara que este campo no requiere de descanso, de hecho hace 50 años, según su relato, sigue produciéndose maíz sin interrupciones. Por ejemplo, el entrevistado nos comentó que una forma de descansar la tierra sería plantando alfalfa ("alfa"), incluso señaló que en esta zona crece más alto el maíz que la "alfa", aunque actualmente solo se

cultiva este cereal. Nos ofreció para el muestreo dos tipos: "diente de caballo" (de color blanco, proveniente según su relato de Perú y que se compra en Bolivia) y "amarillo" (o "criollo"). Cuenta que siembran la "raza peruana", a pesar que es difícil utilizar luego las semillas, porque si tuvieran que utilizar las locales tendrían poco rendimiento, ya que son marlos muy pequeños.

### **Huichairas, Quebrada de Humahuaca**

Los relatos en Huichairas son sensiblemente diferentes a los que encontramos en Tilcara. En este pueblo es frecuente el uso de tractor, pero también caballos -*E. f. caballus*- ("para que los animales no se cansen"). En lo que respecta al acceso al agua, en general, no manifestaron tener problemas en la provisión de agua (que es en sus palabras "pura"). Por el contrario, los problemas del agua se relacionan con las crecidas del río, pues durante el año 2011 una de ellas llegó a destruir viviendas. Algunos vecinos admiten que utilizan pesticidas químicos, sobre todo en la actualidad que "hay más plagas por el clima". Suelen recurrir a los mismos cuando la plaga ya está instalada, lo cual nos indica que no se trataría de una práctica preventiva de manera estandarizada, sino que se emplea cuando no queda más remedio debido al riesgo de perder la cosecha.

La hacienda donde realizamos el muestreo para la zona de Huichairas es trabajada por una unidad doméstica compuesta por cuatro personas de tres generaciones consecutivas. Se trata de dos cuadros, cada uno de ellos con una extensión de 20 x 8 m. Comienzan a sembrar maíz y habas (*Vicia faba*) a fines de septiembre o comienzos de octubre ("con la luna alta") mientras que en noviembre es el turno de la papa. Previamente aran con caballos y en paralelo recolectan guano, el cual comercializan en el pueblo.

El abono utilizado en este campo es de chivo y el mismo proviene de su propio corral. En cuanto al riego, utilizan el agua que baja de la cordillera, con lo cual no tienen déficit hídrico ni ningún tipo de restricciones, incluso pueden regar todos los días. Sobre el uso de insecticidas, nos aclararon que no necesitan utilizar el "remedio" para los gusanos, como sí lo hacen otros vecinos.

Con respecto a los cultivos, los entrevistados enfatizaron el uso de semillas propias y ante la necesidad de recambiar prefieren las de la zona de Humahuaca, por la similitud ambiental. Aunque también destacaron el uso en algunas preparaciones del maíz "abajero" (proveniente de los valles bajos de Jujuy, con altitudes por debajo de los 1000 msnm), consumen el que plantan (razas "amarillo" y el "blanco"), además de papas y habas. En primer lugar porque estos cultivos son más rendidores en cotas más altas (por encima de los 2400 msnm), según el relato de los entrevistados. Segundo, porque suelen sembrar lo que satisface sus gustos personales. Lo utilizan para hacer harina, *mote* (maíz hervido) y "picante" (especie de

guiso con verduras, pollo o llama) o simplemente como choclos. Por el contrario, los entrevistados informan que dejaron de trabajar el "pisingallo" (raza Pisingallo) porque ya no tienen semillas. Suelen utilizar las semillas "más descansadas", es decir las del año anterior porque son "más lindas". Con respecto a los ejemplares de papa, cultivan las variedades "collajera" y "runa" y sus semillas provienen de Yavi (Puna de Jujuy), pues si se utilizan aquellas provenientes de la misma altura afirman que no se obtienen buenos resultados. Pueden obtener hasta 10 bolsas de 50 kg por cosecha.

### **Juella, Quebrada de Humahuaca**

A partir de las entrevistas a los pobladores, se desprende que existen diferencias geográficas que favorecen el cultivo en esta quebrada, principalmente debido a que es más cerrada y se encuentra menos expuesta a los vientos. Se abastecen del río Juella y también utilizan un sistema de turnos para el regadío que puede ser semanal o cada 15 días. Con respecto a los fertilizantes utilizados, los pobladores consultados coinciden en el uso de guano de los propios corrales, aunque la mayor parte de los productores deben comprar "la camionada" (que proviene de las haciendas de los cerros), el cual puede colocarse cada dos y cuatro años para dar lugar al ciclo de recuperación de la tierra. Una vecina comentó que la bosta tiene un tratamiento previo, el cual consiste en colocar el guano en un pozo tapado y recién se utiliza al año siguiente. De este modo, se neutraliza el accionar de plagas. Para la optimización de los sembrados también se acude a la rotación de campos con alfalfa. Las semillas de maíz son traídas de los pueblos más cercanos, como Maimará y Huacalera, aunque otros vecinos refieren adquirirlas también en Humahuaca, a veces en Bolivia, aunque también usan las locales. Por otra parte, las papas provienen de Bolivia y las habas de Humahuaca, las cuales son adquiridas mediante la compra o el intercambio.

El muestreo de vegetales y sedimentos se realizó sobre un campo perteneciente a un vecino que vivió casi toda su vida en Buenos Aires y hace dos años volvió a su pueblo de origen. El relato es muy similar al resto de los testimonios que se registraron en esta zona. El agua que utilizan para regar el campo proviene del "agua del cerro" y de importancia para este aspecto es que ganaron terreno para el cultivo gracias a las defensas de piedra en el Río Juella. Estas son más efectivas que la simple acumulación de tierra. Otra práctica destacable es que acumulan arena, "la que utilizan para los adobes" que viene de la naciente del río. A esta la mezclan con el abono y luego lo depositan en los campos de cultivo, pues considera que así mejora la tierra.

Sobre el abono, el entrevistado aclaró que se utiliza guano de cabra -*C. a. hircus*- (o en todo caso de llama -*L. glama*- si hubiera) porque produce "menos bichos". Esto debido a que es más duro, las moscas van menos y no depositan sus larvas. El abono de pollo, que también suelen usar,

viene de Jujuy (San Antonio), pero lo considera menos conveniente pues asegura que desde que se trae ese tipo de abono hay más insectos. Con respecto al uso de insecticidas, recurre a uno casero. Este se compone de ajo, abono de chivo y *molle* (probablemente *Schinus molle*, al que caracterizó como "planta fuerte"). Tienen una vasta producción de durazno y, en cuanto al maíz, siembra el "abajero" (según el entrevistado, procedente de Perú y Bolivia, no de los valles jujeños).

## Aspectos metodológicos

### Caracterización química de los suelos agrícolas

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) y nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), siguiendo las metodologías descritas por Samla (2004). Estas variables fueron seleccionadas ya que resultan fundamentales para una primera aproximación sobre la fertilidad de los suelos, siendo particularmente útiles para explicar diferencias isotópicas en las plantas cultivadas bajo condiciones diferentes.

La evaluación del pH de los suelos resulta una herramienta útil para evaluar la disponibilidad de nutrientes para las plantas y por lo tanto, de la fertilidad. Es una escala que indica la concentración de iones de hidrógeno, yendo desde ácido, cuando la concentración es alta (1), hasta básico, cuando esta es baja (14). El pH afecta la disponibilidad de los nutrientes, porque, por un lado, pues los precipita de manera diferencial e impide la eventual absorción de algunos de ellos. Por ejemplo, en suelos alcalinos, a partir del valor 8 disminuye la absorción de nitrógeno. Por otro lado, condiciona su absorción por parte de las raíces; por consiguiente, no todas las especies vegetales pueden desarrollarse de la misma forma en similares condiciones de pH. Esto se ejemplifica si comparamos las condiciones aptas de crecimiento del maíz y la papa, con un rango óptimo de pH entre 5.5 - 7.5 y 4.8 - 6.5, respectivamente.

Por su parte, la medición de la conductividad eléctrica (C.E.) nos permite evaluar la disponibilidad de nutrientes en los suelos. Esto es posible 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 indicador de 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 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. La C.E. se expresa en dS/m (deciSiemens por metro).

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, físicas y biológicas del suelo y, por ende, con su fertilidad. Las propiedades químicas más afectadas son la capacidad de intercambio y de adsorción de iones nutritivos, la producción de nitrógeno (nitratos), fosfatos y sulfatos y elementos menores. Algunas de las propiedades físicas relacionadas con la materia orgánica son el color, la estructura, la adsorción, retención y permeabilidad del agua. Al mismo tiempo, la dinámica de la biomasa edáfica se ve afectada por el nivel y calidad del mencionado componente orgánico (Marban y Ratto 2005).

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  $\text{CO}_2$ . La nitrificación es el proceso en el cual el amonio es oxidado, obteniéndose como producto final el nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), lo cual, gracias a su solubilidad, es la fuente de nitrógeno más importante de las plantas y por lo tanto, un aspecto fundamental en la ecología isotópica. De hecho, hay una dependencia total de la descomposición de restos orgánicos en la cantidad de nitrógeno disponible en los suelos (Marban y Ratto 2005).

### 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 ( $\text{CO}_2$ ) 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 que aquella relación isotópica de carbono presente en la atmósfera (Ambrose 1993). A su vez, existen tres patrones fotosintéticos:  $\text{C}_3$  (especies arbóreas, arbustos),  $\text{C}_4$  (maíz, algunos amarantos, caña de azúcar y sorgo) y las crasuláceas de metabolismo ácido (cactus y orquídeas, con valores que pueden hallarse tanto en la distribución de  $\text{C}_3$  como  $\text{C}_4$ ) (Fernández y Panarello 1999-2001). Entre las variables ambientales que pueden generar variación en valores  $\delta^{13}\text{C}$  en vegetales modernos se han señalado altitud, nivel de precipitaciones y  $\text{CO}_2$  en la atmósfera. Es importante aclarar que se ha registrado una menor variación intraespecífica en las plantas con patrón fotosintético  $\text{C}_4$  con respecto de las plantas  $\text{C}_3$  (Codron *et al.* 2005).

Por otra parte, el nitrógeno posee dos isótopos estables:  $^{14}\text{N}$  y  $^{15}\text{N}$ . La reserva de nitrógeno en la atmósfera tiene una composición isotópica respecto al  $^{14}\text{N}$  de 99,637% y un restante 0,363% de  $^{15}\text{N}$ ; esta relación

entre el isótopos más pesado y el más liviano se utiliza como estándar atmosférico (Peterson y Fry 1987). La transferencia del nitrógeno inorgánico de la atmósfera (N<sub>2</sub>) a la esfera biológica, entonces, 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 2004). Dicho proceso posee escaso fraccionamiento, lo cual hace que estas plantas tengan valores similares al de la atmósfera (0‰) (Schoeninger y De Niro 1984). No obstante, las consecuencias de este proceso aún se encuentran en discusión, como marcan Marshall et al. (2007). El resto de las plantas, denominadas comúnmente “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). Ahora bien 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). Pues se le atribuye un mayor contenido de nitrato y amonio en los suelos salinos los cuales son característicos de los ambientes áridos (Pate 1994). 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 <sup>15</sup>N debido a la pérdida preferencial de <sup>14</sup>N en amonio volátil gaseoso. El efecto se produce cuando en la síntesis de aminoácidos vegetales interviene el nitrato convertido 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.

**Técnicas analíticas**

Para llevar a cabo el estudio químico sobre suelos, se recolectaron muestras de cuatro campos de cultivo (Residencia Universitaria de Tilcara, Juella, Huichairas y

Jardín Botánico de Tilcara). Se tomaron cinco extracciones de suelo por campo, considerando cuatro cuadrantes y una toma central, con el fin de obtener un muestreo homogéneo, dado que los nutrientes pueden encontrarse dispuestos de manera diferente por razones de declive. A su vez, las extracciones se realizaron 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, las muestras se dejaron secar al aire libre hasta su transporte al laboratorio.

Los ejemplares vegetales presentados en este trabajo fueron recolectados durante el mes de septiembre de 2012. Las partes anatómicas consideradas para el análisis fueron aquellas comestibles (grano, fruto, tubérculo). Fueron pre-tratados y analizados en el Instituto de Geología Isotópica y Geocronología (INGEIS/ CONICET-UBA). Para realizar las determinaciones isotópicas de <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C y <sup>15</sup>N/<sup>14</sup>N, los especímenes fueron lavados en ultrasonido, secados en horno a 60° C durante 24hs y molidos hasta reducirlos a fragmentos de 1mm. 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 Thermo Scientific Delta V Advantage de flujo continuo para la determinación de relaciones isotópicas utilizando una interfaz ConFlo IV. El error analítico es 0,2 ‰ para δ<sup>13</sup>C y δ<sup>15</sup>N.

**Resultados**

**Ensayos químicos sobre suelos de huertas actuales**

A partir de los muestreos realizados, como se puede observar en la Tabla 1, los suelos agrícolas presentan diferencias, incluso aunque se hallen a distancias menores a los cinco km y a altitudes similares. Las huertas con las mejores condiciones, en cuanto a disponibilidad de nutrientes, son aquellas que presentan en combinación una óptima provisión de agua y el abono animal sin aditivos minerales extra, como es el caso de la arena. Con respecto a las mediciones de pH, todas las huertas se encuentran en el rango adecuado para el desarrollo agrícola. Sin embargo, los campos de Juella se encuentran en el límite, considerando el rango de 6.5 - 7.5.

C. L.	Huerta	Altitud msnm	Riego	Tipo de fertilizante	Pesticidas	pH 1:2.5 H <sub>2</sub> O	C.E. (e.s.) dS/m	C.W. Black g/kg	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/kg	Observaciones
45461	Tilcara, Residencia	2433	Se riega poco	estiércol de chivo	si, en maíz, pero poco	7	1.03	12.72	68.1	el campo no requiere descanso
45462	Juella	2609	Sin restricciones	estiércol de cabra y arena	si, casero	7.2	2.3	5.11	45.3	parte del cultivo en terreno ganado al río
45464	Huichairas	2843	Todos los días	estiércol de chivo, mucha cantidad	No	6.7	1.03	23.37	92.6	terreno en declive
45465	Tilcara. J. Botánico	2430	C/15 días; suplementan con agua potable	estiércol de oveja	si, en maíz, pero poco	7	1.37	22.77	111	Andenes

Tabla 1. Ensayos químicos de suelos de huertas y prácticas agrícolas actuales

Table 1. Soil chemical testing of family farms and current agricultural practices

		Procedencia	Altitud	Especie	Nombre común	n	AIE	Parte anatómica	δ <sup>13</sup> C	δ <sup>15</sup> N
Montes de sierras y bolsones	Quebrada de Humahuaca	Tilcara	Área Urbana	Residencia Universitaria	maíz "diente de caballo" (Perú) y "amarillo" (Criollo)	1	30256	grano	-11.5	5.5
						2	30698	grano	-12.4	4.0
						3	30699	grano	-12.0	4.8
						4	30700	grano	-11.7	4.4
						5	30701	grano	-11.6	4.3
						6	30702	grano	-11.3	6.5
						7	30703	grano	-11.6	4.5
						8	30704	grano	-11.8	6.2
						9	30705	grano	-11.3	3.2
						10	30258	grano	-11.6	5.9
						11	30706	grano	-11.9	5.2
						12	30707	grano	-11.7	6.8
						13	30255	grano	-26.8	6.4
						14	30266	grano	-12	8.2
	15	30259	fruto	-12.3	6.2					
	16	30265	fruto	-12.8	5.7					
	17	30257	fruto	-16.3	1.9					
	18	30262	fruto	-15.5	2.4					
	19	30260	grano	-11.8	6.0					
	20	30708	grano	-12.1	5.0					
	21	30709	grano	-11.7	1.8					
	22	30710	grano	-11.7	3.8					
	23	30711	grano	-11.9	3.9					
	24	30712	grano	-11.8	3.0					
	25	30713	grano	-11.8	6.9					
	26	30714	grano	-12.4	3.6					
	27	30715	grano	-11.9	1.6					
	28	30716	grano	-12.2	3.6					
	29	30717	grano	-11.6	3.3					
	30	30263	grano	-12.0	4.8					
	31	30719	grano	-11.7	4.0					
	32	30720	grano	-11.7	6.0					
	33	30721	grano	-12.8	5.1					
	34	30722	grano	-12.3	5.0					
	35	30264	tubérculo	-26.1	6.4					
	36	30723	tubérculo	-25.8	7.7					
	37	30724	tubérculo	-25.6	8.4					
	38	30725	tubérculo	-27.0	8.4					
	39	30726	tubérculo	-25.2	8.1					

Tabla 2. Valores δ<sup>13</sup>C y δ<sup>15</sup>N en vegetales de consumo humano y su procedencia.

Table 2. δ<sup>13</sup>C and δ<sup>15</sup>N values in plants for human consumption and its origin.

Con respecto a la conductividad eléctrica, si bien en todos los casos se encuentran condiciones aceptables, el caso de Juella, nuevamente, al presentar un valor mayor a 2 podrían llegar a tener problemas con el rendimiento de algunos cultivos en el largo plazo. Esto es debido al alto contenido de amonio, el cual resulta perjudicial

para la planta.

Con respecto al indicador que se utiliza en este trabajo para estimar la cantidad de materia orgánica en los suelos, carbono orgánico total (C%), si bien en todos los casos se cuenta una buena disponibilidad, el

caso de Juella es nuevamente la excepción, donde el abono, como se ha señalado, se mezcla con la arena, probablemente no arcillosa, que baja del río. Cabe destacar que el cultivador que realiza esta acción lleva solo dos temporadas realizando tareas de campo y que los familiares que tradicionalmente realizaban el trabajo fallecieron recientemente. Es muy probable que, a diferencia de la creencia del cultivador, que considera estar enriqueciendo los campos con los minerales “que bajan del cerro”, se esté rellenando los campos con sedimentos menos fértiles y menor cantidad de nutrientes disponibles.

Por último, en lo que corresponde a la disponibilidad de nitratos (NO<sub>3</sub>), los nutrientes de los que dispone la planta estarían bien provistos en todos los casos, salvo, una vez más, el campo de Juella. En este caso las bacterias tendrían limitantes para el proceso de mineralización (el carbono es la fuente de alimento de las bacterias y es lo que mineralizan). Es decir que en este caso el productor debería empezar a implementar un plan para mejorar el suelo, manteniendo una cubierta vegetal constante, por ejemplo, plantando leguminosas o alfalfa.

**Análisis isotópico de vegetales comestibles**

En lo que respecta al análisis isotópico, en la Tabla 2 se presentan los resultados para la totalidad de los recursos considerados aquí. En total se han generado 39 pares de valores de δ<sup>13</sup>C y δ<sup>15</sup>N. Los ítems recolectados se corresponden con lo cultivado en cada huerta y lo que los cultivadores tenían disponible a esa altura del año. El maíz es el único cultígeno que hallamos en todas las localidades, por lo tanto, podremos analizar su variabilidad intraespecífica en relación a las variables químicas escogidas para el análisis de suelos.

		δ <sup>13</sup> C		δ <sup>15</sup> N		
Residencia	9	-11.7	0.4	9	4.8	1.1
Jardín Botánico	3	-11.7	0.2	3	6	0.8
Juella	11	-11.9	0.2	11	3.7	1.5
Huichairas	5	-12.1	0.5	5	5	0.7
Total	28	-11.8	0.3	28	4.6	1.4

Tabla 3. Síntesis de estadística descriptiva de los valores isotópicos de *Zea mays* (maíz) discriminados por procedencia.

Table 3. Summary of descriptive statistics of the isotopic values from *Zea mays* (maize) discriminated by origin.

La variabilidad intraespecífica, tanto en maíz (n = 28; δ<sup>13</sup>C -11,8 ±0,3‰ y δ<sup>15</sup>N 4,6 ±1,4‰) como en los ejemplares de tuna (n = 4; δ<sup>13</sup>C -14,2 ±1,9‰ y δ<sup>15</sup>N 4,0 ±2,2‰), siempre es mayor en los valores δ<sup>15</sup>N, particularmente en este último recurso. Los valores hallados en las papas (n = 5; δ<sup>13</sup>C -25,9 ±0,7‰ y δ<sup>15</sup>N 7,8 ±0,8‰) son, en promedio, los más enriquecidos en la relación de δ<sup>15</sup>N. Asimismo, los únicos ejemplares de quínoa y amaranto analizados también poseen valores δ<sup>15</sup>N enriquecidos (δ<sup>13</sup>C -26,8‰, δ<sup>15</sup>N 6,4‰ y δ<sup>13</sup>C -12‰, δ<sup>15</sup>N 8,2‰, respectivamente). Por lo tanto, no hemos hallado una diferencia entre los valores de tuna y aquellos que crecen con mayor control humano (por ejemplo, con abono sistemático). Las plantas de tuna se encuentran siempre próximas a estos campos de cultivo (no dentro de ellos), con lo cual, puede tratarse de suelos también con una alta alteración antrópica.

En la Tabla 3, se realiza una síntesis de la información isotópica de los ejemplares de maíz. Como puede observarse, la mayor variabilidad en los valores de δ<sup>15</sup>N lo aportan los ejemplares del caso de Juella. Precisamente

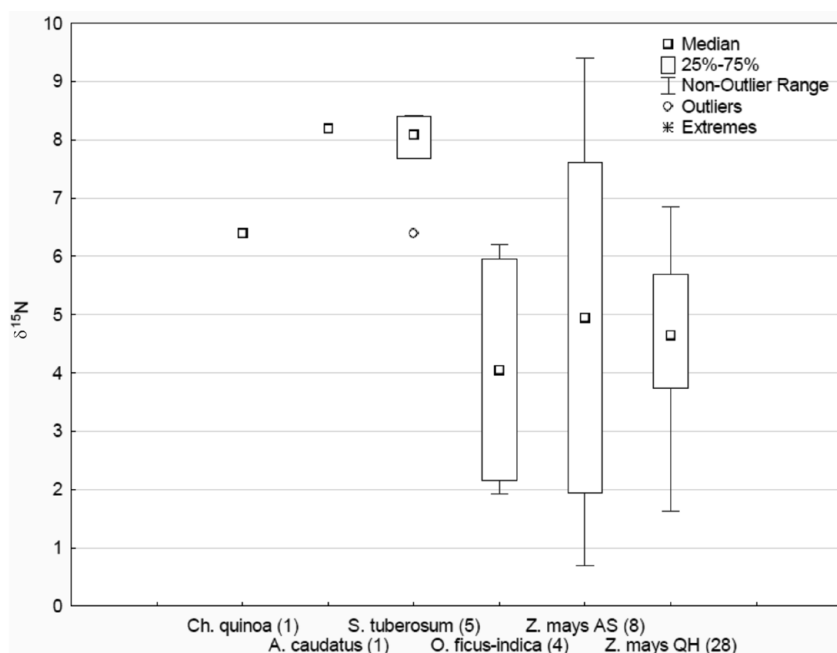


Figura 2. Box plots con distribución de valores δ<sup>15</sup>N en recursos vegetales de consumo humano. QH= Quebrada de Humahuaca. Se incluyen valores de *Zea mays* publicados en Killian Galván y Salminci (2014) para el área de Antofagasta de la Sierra (AS; Catamarca, Argentina).

Figure 2. Distribution of δ<sup>15</sup>N values in plant resources for human consumption. QH= Quebrada de Humahuaca. *Zea mays* values published in Killian Galvan and Salminci (2014) for the area of Antofagasta de la Sierra (AS; Catamarca, Argentina) are included.



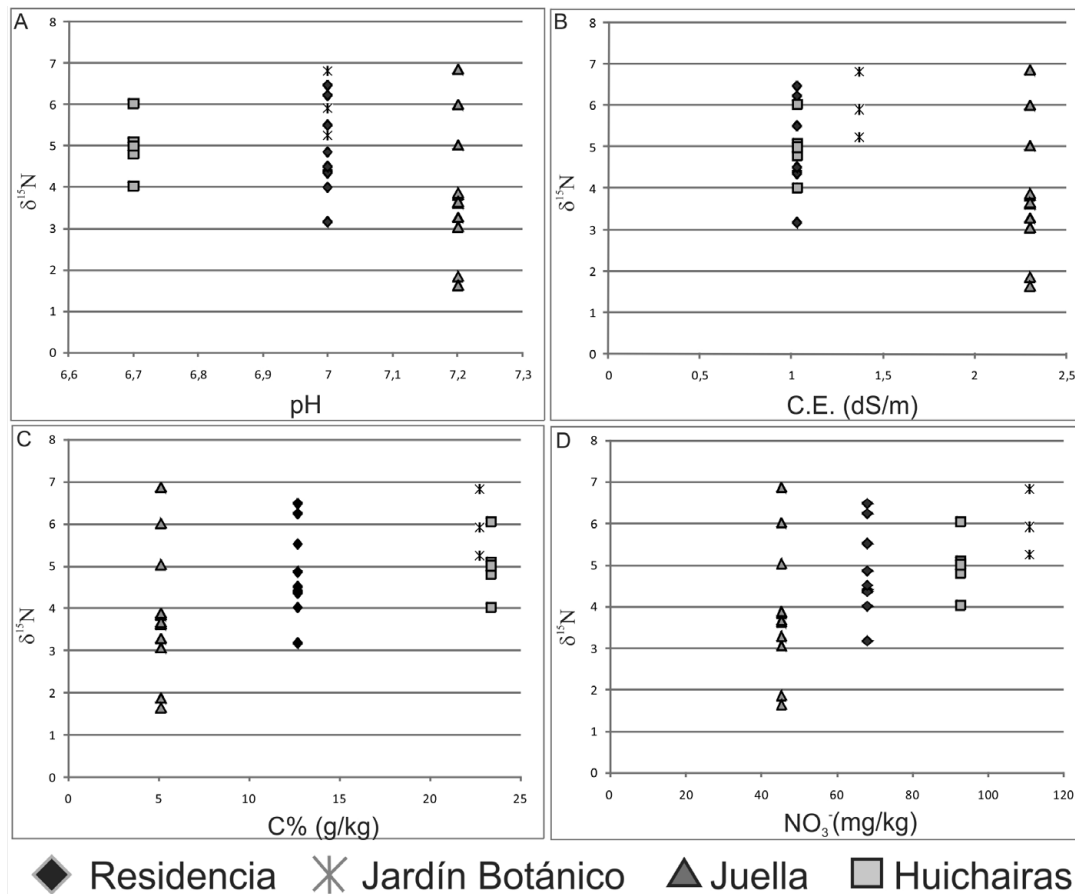


Figura 3. Análisis químicos en suelos y resultados en valores  $\delta^{15}\text{N}$  en *Zea mays* (maíz).

Figure 3. Chemical analysis in soil and *Zea mays* (maize)  $\delta^{15}\text{N}$  values.

porque presentan valores empobrecidos respecto al resto del conjunto.

Como podemos observar en los gráficos de la Figura 3, no es posible establecer si alguna de las variables propuestas para el análisis influyen en mayor medida que el resto en los valores isotópicos del nitrógeno. Las correlaciones son bajas en todos los casos ( $R^2 = 0,2$ ; pH), ( $R^2 = 0,3$ ; C. E.), ( $R^2 = 0,3$ ;  $\text{NO}_3^-$ ) y ( $R^2 = 0,3$ ; C Total). Sin embargo, sí podemos proponer como una hipótesis a contrastar en el futuro que la mayor variabilidad isotópica hallada en el caso de Juella es resultado del menor desarrollo de los suelos donde se emplazan los cultivos. Como ya se ha mencionado, variables ambientales como el tipo de suelo, la asimilación del nitrógeno y la disponibilidad de este elemento en sí, influyen en la composición isotópica de las plantas (Cordón *et al.* 2005). Probablemente este escenario se explique por las carencias nutricionales mencionadas.

### Discusión

Como ya se ha mencionado, la importancia de generar datos locales en la reconstrucción de ecologías isotópicas en los estudios paleodietarios humanos

reside en evitar sesgos que dificulten una correcta interpretación de la información obtenida en el registro analizado. A su vez, cuando este estudio se realiza a partir del análisis de la fracción orgánica de los tejidos, el mismo presenta dificultades en la estimación del componente vegetal en contraposición a otro tipo de recursos, como pueden ser las proteínas de origen animal. Con lo cual, se debe tener la mayor cantidad de recaudos posibles a la hora de construir modelos interpretativos. En este sentido, cuando nuestro interés se centra en el estudio de la dieta de sociedades agrícolas, estos recaudos deben ser mayores, pues podemos subestimar una fuente de recursos de notable importancia en la economía de esas sociedades. En el caso de Quebrada de Humahuaca, se ha postulado una combinación de estrategias productivas, la producción cerealera y de otros cultígenos y el pastoralismo, las cuales pudieron aportar en igual modo o no a la dieta de los antiguos pobladores (Nielsen 2001). Por lo tanto, si en los estudios isotópicos utilizamos a los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  como vía para inferir la importancia del consumo de carne, se deben generar valores locales que permitan establecer si la señal isotópica de los vegetales puede ser igual o más positiva que la hallada entre los animales disponibles para el consumo (en este caso, camélidos,

en mayor medida). He aquí la justificación para los estudios controlados de reconstrucción agroecológica como los aquí propuestos, donde de hecho, los valores en vegetales fueron sustancialmente altos.

Entonces, a partir de los resultados expuestos podemos afirmar que, al menos en el caso del maíz, existe una relación, aunque no estadísticamente significativa, entre el tratamiento que se le dio a los suelos de las huertas y los valores isotópicos del  $^{15}\text{N}$ . No parece ser el caso del  $^{13}\text{C}$  en donde, la variabilidad ha sido menor. Esto ocurre tanto en los ejemplares de plantas  $\text{C}_4$  como también en los que poseen un patrón fotosintético  $\text{C}_3$  (*Solanum tuberosum*). Por otro lado, las plantas CAM (*Opuntia ficus-indica*) han mostrado una mayor variabilidad en los valores  $\delta^{15}\text{N}$ .

Es importante remarcar que la variabilidad en  $^{15}\text{N}$  que hallamos en este estudio es similar a las que se observó en la experiencia realizada por una de nosotras en Antofagasta de la Sierra, Prov. de Catamarca, eco-región de Puna (Killian Galván y Salminci 2014). En este caso, los ejemplares de maíz analizados presentaron valores  $\delta^{15}\text{N}$  entre +9,4 ‰ y +0,7 ‰ (Figura 2). En ese trabajo se planteó la necesidad de realizar estudios químicos de suelo como los aquí propuestos como una vía para explicar la variabilidad hallada también en ejemplares de maíz, pues presuponíamos que existía una relación entre la amplia variabilidad hallada entre estos ejemplares y las características del suelo. Suponíamos además que la altitud y por lo tanto la temperatura, podría influenciar a los valores.

Dados los resultados obtenidos en la presente investigación, podemos afirmar que en entornos áridos y semiáridos, como la Puna y la Quebrada de Humahuaca respectivamente, la importancia de las variables ambientales en la definición de las tendencias isotópicas no resulta importante, al menos en el caso de plantas cultivadas como el maíz. No obstante, cobra mayor importancia la composición química de los suelos, por ejemplo, a partir de la disponibilidad de nutrientes para el cultivo, obteniéndose un rango de valores isotópicos amplio cuando la calidad del suelo es menor. Entendemos que el hallazgo de esta amplitud de valores en el caso del nitrógeno permite discutir los valores  $\delta^{15}\text{N}$  notoriamente enriquecidos en individuos hallados en contextos arqueológicos de Quebrada de Humahuaca (por ejemplo en Gheggi y Williams 2013 se presentan individuos con valores aproximados a 12‰), pudiendo atribuir tal enriquecimiento no sólo al consumo de proteína animal, sino a un conjunto de recursos que pudieron presentar globalmente valores más positivos.

### Palabras finales

Los resultados obtenidos nos permitieron caracterizar la

señal isotópica de algunos cultivos prehispánicos, lo cual permitirá avanzar en la reconstrucción de agroecologías y haciendo más certeros los modelos interpretativos paleodietarios. En este sentido, remarcamos la importancia de la realización de estudios controlados que permitan mostrar el grado de influencia de suelos con escasos nutrientes en la señal isotópica, sobre todo en el caso de los valores isotópicos del nitrógeno. Pues, podemos afirmar que gracias a la necesidad de nutrir los suelos con abundante abono, también son esperables valores enriquecidos en  $\delta^{15}\text{N}$  en los vegetales consumidos. De este modo, de llegar a presentarse valores altos entre los individuos humanos que ocuparon la Quebrada de Humahuaca durante el pasado prehispánico, estos no solo podrían ser explicados por un elevado consumo de carne. No obstante, este es un trabajo de carácter exploratorio que se apoya en un número reducido de casos, siendo necesario ampliar este tipo de trabajos para comprender más acabadamente los patrones que parecen surgir del análisis.

Resulta oportuno aclarar que la información generada también tendrá una instancia de devolución a los productores que participaron de las entrevistas, pues en muchos casos no conocen las condiciones de los suelos sobre los que están cultivando, siendo este estudio también, una vía de entrada para la recomendación de tácticas para la optimización de la producción. De este modo, la antropología y la arqueología, a la vez que revalorizan las prácticas tradicionales de producción a escala familiar, pueden proponerse como nexos con las comunidades locales para mejorar e incrementar sus resultados.

Ciudad de Buenos Aires, 30 de octubre de 2015

### Agradecimientos

Agradecemos a los vecinos de Juella, Tilcara y Huichairas por haber colaborado desinteresadamente en esta investigación. Asimismo, a Estela Ducós y Nazareno Piperizza (Laboratorio de Isótopos Estables, INGEIS). Por último, agradecemos los comentarios y sugerencias de tres evaluadores anónimos. Esta investigación se realizó en el marco de las Becas Internas I y II de CONICET de la primera autora.

### Bibliografía

Ambrose, S. H. 1993. Isotopic analysis of paleodiets: Methodological and interpretive considerations. En: M. K. Sandford (ed.), *Investigations of ancient human tissue. Chemical analysis in anthropology*, pp. 59-130. Pennsylvania, Gordon and Breach Science Publishers.

Amundson, R., A.T. Austin, E.A.G. Schuur, K. Yoo, V. Matzek, C. Kendall, A. Uebersax, D. Brenner and W.T.

- Baisden 2003. Global patterns of the isotopic composition of soil and plant nitrogen. *Global biogeochemical cycles*, 17(1): 1031
- Araus J.L., A. Febrero, R. Buxó, M.D. Camalich, D. Martín, F. Molina, M.O. Rodríguez-Ariza y I. Romagosa. 1997. Changes in carbon isotope discrimination in grain cereals from different regions of the western Mediterranean Basin during the past seven millennia. Palaeoenvironmental evidence of a differential change in aridity during the late Holocene. *Global Change Biology* 3, 2: 107–118.
- Bateman, A. S. y S. D. Nelly. 2007. Fertilizer nitrogen isotope signatures. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 43(3), 237-247.
- Bogaard, A., T. H. E. Heaton, P. Poulton y I. Merbach. 2007. The impact of manuring on nitrogen isotope ratios in cereals: archaeological implications for reconstruction of diet and crop management practices. *Journal of Archaeological Science*, 34, 3: 335-343.
- Choi, W., S. Lee, H. Ro, K. Kim y S. Yoo. 2002. Natural  $^{15}\text{N}$  abundances of maize and soil amended with urea and composted pig manure. *Plant and Soil* 245: 223–232.
- Codron, J., D. Codron, J. Lee-Thorp, M. Sponheimer, W. J. Bond, D. de Ruiter, y G. Grant 2005. Taxonomic, anatomical, and spatio-temporal variations in the stable carbon and nitrogen isotopic compositions of plants from an African savanna. *Journal of Archaeological Science*. 32 (12): 1757-1772.
- Craig, H. 1957. "The natural distribution of radiocarbon and the exchange time of carbon dioxide between atmosphere and sea". *Tellus* 9 (1): 1-17.
- De Niro M. J. y C. A. Hastorf. 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. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 49:97-115.
- Díaz, D., S. Guerrero, S. Naumann, y G. Sammartino 2012. Alimentación en la quebrada de Humahuaca: continuidad y discontinuidades desde el poblamiento hasta nuestros días. Un aporte desde la antropología alimentaria. En: *Las manos en la masa: arqueologías, antropologías e historias de la alimentación en Suramérica*, M. P. Babot, M. Marschoff, y F. Pazzarelli, Eds., pp. 163–184, Facultad de Filosofía y Humanidades, Universidad Nacional de Córdoba, Museo de Antropología UNC, Instituto Superior de Estudios Sociales UNT, Córdoba.
- Fernández, J. y H. O. Panarello 1999-2001. Isótopos del carbono en la dieta de herbívoros y carnívoros de los andes jujeños. *Xama* 12-14: 71-85.
- Gheggi, M. S. y V. I. Williams. 2013. New Data on Food Consumption in Pre-Hispanic Populations from Northwest Argentina (ca. 1000–1550 AD): The Contribution of Carbon and Nitrogen Isotopic Composition of Human Bones. *Journal of Anthropology*, 2013.
- Hartman, G. 2011. Are elevated  $\delta^{15}\text{N}$  values in herbivores in hot and arid environments caused by diet or animal physiology? *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. *Oecologia* 74, 2: 236-246
- Killian Galván, V. A., y P. Salminci. 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). *Comechingonia*, 18(1), 51-72.
- Kriszan, M., W. Amelung, J. Schellberg, T. Gebbing y W. Kühbauch. 2009. Long-term changes of the  $\delta^{15}\text{N}$  natural abundance of plants and soil in a temperate grassland. *Plant and soil*, 325(1-2), 157-169.
- Marbán L. y S. E. Ratto. 2005. *Tecnologías en análisis de suelos*. Ed. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Primera edición, 215 p. ISBN 987-21419-1-6.
- Nielsen, A. E. 2001. Evolución social en Quebrada de Humahuaca (AD 700-1536). *Historia Argentina Prehispánica*, Tomo I. En E. Berberian y A. E. Nielsen (Ed.), pp. 171-264. Ed. Brujas, Córdoba.
- Pate, F. D. 1994. Bone Chemistry and Paleodiet. *Journal of Archaeological Method and Theory* 1: 161-209.
- Peterson, B.J. and B. Fry. 1987. "Stable Isotopes in Ecosystem Studies." *Annual Review of Ecology and Systematics*. Vol. 18: 253-320.
- Pidwirny, M. 2006. "The Nitrogen Cycle". *Fundamentals of Physical Geography*, 2nd Edition. Date Viewed. <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/9s.html>
- Rodríguez, J. 2009. Descripción de los sistemas económico-productivos actuales de la Quebrada de Humahuaca. <Http://www.cauqueva.org.ar>.
- Samla, 2004. Sistema de Apoyo Metodológico a los Laboratorios de Análisis de Suelos, Agua, Vegetales y Enmiendas Orgánicas. Primera edición, SAGPyA, Dirección de Agricultura. CD-Rom. ISBN 987-918440-8.
- Schoeninger, M. J., y M. J. De Niro. 1984. Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from marine and terrestrial animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48(4), 625-639.

Suess, H. E., 1955 Radiocarbon Concentration in Modern Wood. *e*, 122: 415-6.

UNESCO. 2002. Quebrada de Humahuaca. A cultural

itinerary of 10.000 years. Proposal for the registration to the list of World Heritage of the UNESCO. Jujuy, Argentina.