

# Paleoambientes holocenos del valle de Tafí (Noroeste Argentino) a partir de registros morfosedimentarios y geoarqueológicos

J. L. Peña Monné<sup>(1)</sup> y M.M. SampietroVattuone<sup>(2)</sup>

(1) Dpto. de Geografía y Ordenación del territorio. Universidad de Zaragoza y IUCA. 50009 Zaragoza (España).  
jlpena@unizar.es

(2) Laboratorio de Geoarqueología. Universidad Nacional de Tucumán y CONICET. 4000 San Miguel de Tucumán (Argentina).  
sampietro@tucbbs.com.ar

## RESUMEN

El valle de Tafí es una pequeña cuenca intermontana de las Sierras Pampeanas del Noroeste Argentino. Los estudios geomorfológicos efectuados han permitido reconocer la existencia de registros morfosedimentarios del Holoceno de gran interés para la reconstrucción paleoambiental regional. El estudio de las principales acumulaciones de laderas, terrazas fluviales y conos aluviales aportó numerosos registros geoarqueológicos, restos paleontológicos, cenizas volcánicas, así como dataciones <sup>14</sup>C y de termoluminiscencia, de interés para elaborar una secuencia paleoambiental. Estos datos, junto a antecedentes y la elaboración de cartografía geomorfológica permiten diferenciar 4 unidades morfosedimentarias. La etapa más antigua (H1) comprende el Holoceno inferior y medio (ca. 13000-ca. 4200 BP) subdividida en dos subunidades (H1a y H1b), de diferente signo ambiental, separadas por un evento volcánico (V0) datado en ca. 10000 BP. El final de H1b queda delimitado por otro aporte de tefras en ca. 4200 BP, cuando esta unidad comenzaba a quedar individualizada por una fase de incisión. La etapa H2 abarca desde ca. 4200 BP hasta ca. 630 BP alcanzando notable extensión en el valle. La presencia de ocupación humana durante este periodo (Culturas Tafí y Santa María) y las características de los sedimentos indican una gran influencia de la acción antrópica en su formación. Finalmente, dos unidades menores (H3 y H4) cubren los últimos siglos de la secuencia holocena, separadas por fases de incisión intermedias. Los datos del conjunto holoceno han sido puestos en relación con la evolución paleoclimática regional e integrados en los principales eventos de carácter global.

Palabras clave: Sierras Pampeanas, Geoarqueología, Holoceno, paleoambientes, cenizas volcánicas, acción antrópica.

## ***Holocene paleoenvironments from the Tafí Valley (northwest Argentina) through morpho-sedimentary and geoarchaeological record analyses***

### ABSTRACT

*The Tafí Valley is a small basin located in the northern sector of the Sierras Pampeanas in Northwest Argentina. The geomorphological studies made in the area showed the presence of very representative Holocene morpho-sedimentary records, which are useful for regional paleoenvironmental reconstruction. The study of the main slope accumulations, fluvial terraces, and alluvial fans provided several geoarchaeological records, paleontological remains, and volcanic ash layers as well as radiocarbon and thermoluminescence datings. We used all these data to construct a paleoenvironmental sequence. This sequence was also accompanied by some previously obtained data and detailed geomorphological cartography. Four morphosedimentary units were identified. The oldest unit (H1) comprises the Early and Middle Holocene (ca. 13000 - ca. 4200 BP). It could be divided into two sub-stages (H1a and H1b), with different environmental signs. They appear separated by a tephra layer (V0) dated ca. 10000 BP. The end of sub-stage H1b is limited by another ash layer (V1) dated ca. 4200 BP. By that time, an incision process had already started separating this sub-stage from the next one. Stage H2 spans from ca. 4200 BP to ca. 630 BP, and extends vastly throughout the*

valley. It was possible to identify several features of human settlements (Tafí and Santa María Cultures) corresponding to that period. The characteristics of the sediments indicate a strong anthropogenic influence during its formation. Finally, two minor units (H3 and H4) cover the last centuries of the Holocene sequence, separated by incision phases. The Holocene set was related to the regional and global paleoclimatic evolution.

**Keywords:** Sierras Pampeanas, geoarchaeology, Holocene, paleoenvironments, volcanic ash, anthropic activity.

## ABRIDGED ENGLISH VERSION

### Introduction and Methods

The Tafí Valley (Fig. 1), located in the northwest of Argentina, presents morpho-sedimentary records with wide resolution and continuity. These records make it possible to reconstruct the Holocene paleoenvironment with regional representativity (Sampietro-Vattuone and Peña-Monné, 2016). The goals of this study were (a) to develop a paleoenvironmental evolutionary model including natural factors (geomorphological and sedimentary events) as well as anthropogenic factors (changes in land use, demographic pressure, etc.); (b) to establish a relative and absolute chronology of the environmental changes; and (c) to contextualise our results with local, regional, and global paleoenvironmental data.

A geomorphological map of the different Holocene accumulations and other elements of interest was made using Google Earth (2013) images and aerial photographs taken in 1985. The software QGIS v.2.14.2 was used. In the field, several longitudinal and vertical profiles were observed. The chronology was established by C14 dating made at the Accelerator Mass Spectrometer Laboratory-University of Arizona. Calibrations were made with the software OxCal v.4.2 (2014) and the ShCal 13 curve. Two ceramic fragments were dated by thermoluminescence at the Laboratorio de Datación y Radioquímica de la Universidad Autónoma de Madrid (Spain). Several volcanic ash layers were used as correlation layers to relate all profiles and establish a relative chronology.

### Results and Discussion

The Tafí Valley is an elongated depression oriented from NNW to SSE. Its main river is the Tafí River, with its dense tributary network (Fig. 1). By the end of the Pleistocene, the secondary fluvial network formed deep valleys, inside which the Holocene evolution started. Throughout this long period of time, a progressive movement of sediments from the slopes through the water courses reached the alluvial fans that developed next to the main river. It functioned as a coupled system (Brunsdén, 1993). This link among different geomorphological units makes it possible to group them as morpho-sedimentary units where all the components are contemporaneous because they work together. Each unit represents an aggradational phase and its end is marked by a change to incision conditions. Four Holocene morpho-sedimentary units were identified (Figs. 2, 3), with the most extensive units being the oldest two (H1 and H2).

Morpho-sedimentary unit H1 is composed of two sub-units (H1a and H1b) separated by one layer of tephra (V0). Sub-unit H1a shows features indicating a wet phase with bioturbate muds, gastropods, and rodent bones (Fig. 4). In one case, at El Rincón, it was possible to find peat layers interbedded with these materials (Figs. 4a, 5a). Radiocarbon dating located this sub-unit between ca. 1000 and ca. 10000 BP (Garralla et al., 2001). This sub-unit is sealed by V0 volcanic ash layers, whose age is around 10000 BP, giving rise to the development of the H1b accumulation. The sediments of H1b are coarser (mainly sands) and related to a drier stage. Both sub-units are linked to cold and warm events with variable humidity at regional and global levels. Sub-unit H1b is sealed by another layer of tephra (V1). Its thickness varies from 2-8 m and is highly compact. It used to be present at the inner section of all streams (Fig. 4, 5c). In several fluvial terraces and in the alluvial fans of unit H1, the V1 the ash remained covered by the next accumulation stage (H2) (Figs. 5b, 6). These layers were dated in several parts of Northwest Argentina, and in the area of Zanjón 8 in our streams (Figs. 5d, 7c) we obtained an age of 4228-3927 cal BP (Sampietro Vattuone and Peña Monné, 2016). Accordingly, unit H1 is chronologically located between ca. 13000 and ca. 4200 BP.

After ca. 4200 BP, an incision stage started affecting the set of H1, reaching more than 15 m in depth in some valleys (Fig. 6). In this new framework, unit H2 began to accumulate. This new morpho-sedimentary unit reaches its most important development in the fluvial terraces and alluvial fans (Fig. 2). Profiles show that this unit overlies the previous one, especially in the middle section of the fluvial terraces and lower part of the alluvial fans (Fig. 7). An important paleoenvironmental feature is the development of a paleosol dated to 2480 ± 110 BP (2760-2188 cal BP) (Sampietro Vattuone, 1999). This paleosol was observed in several parts of the valley, corresponding to a stage of global environmental stabilization (Fig. 6). Therefore, the start of the accu-

mulation must be located between ca.4200 and ca. 2800 BP. The development of the Formative Period (Tafí Culture, between ca. 2500 and 900 BP) is related to the use of this soil. During that time, an extensive expansion of agricultural fields took place together with the expansion of pastoral production even in areas up to 3,000 m high and on slopes over 20% (Sampietro Vattuone, 2002). A high demographic pressure was developed during that period and residential areas are well preserved. There are abundant archaeological remains in the H2 accumulations. Some of them are in situ archaeological sites dated to  $178 \pm 112$  cal AD and to  $394 \pm 107$  cal AD by thermoluminescence (Figs. 7 b, c). The anthropogenic activity, together with regional arid stages, is proposed as the causes of the erosive processes giving rise to the formation of unit H2. The end of this stage was dated to 646-535 cal BP (1304-1415 cal AD) in La Puerta profile (Fig. 8).

After a new incision phase that affected H2, chronologically located after the 14th century, a new accumulation stage started. It corresponds to morpho-sedimentary unit H3, which is normally located in the inner sections of the previous one. Its sediment contains allochthonous fauna incorporated into the area after the Spaniards arrived (after 1535 AD). This unit probably belongs to the period corresponding to the Little Ice Age and it is coincident with one dry phase dated by Peña Monné et al. (2015) in the Santa María Valley, close to the Tafí Valley. It was also contemporaneous with a period of strong pastoral activity related to the provisioning of mules for mining exploitation in Potosí (Alto Perú). Finally, unit H4 is barely present and is characterised by debris flow events, with little development and extension (Fig. 3).

## Conclusions

The Tafí Valley offers one of the most complete Holocene morpho-sedimentary sequences in Northwest Argentina, covering the last 13000 years. The sequence is composed of aggradative morpho-sedimentary units forming a coupling system of slopes, fluvial terraces, and alluvial fans, separated by incision phases representative of abrupt dynamic ruptures. These sedimentary records resulted from high sensitivity to environmental changes (both natural and anthropogenically induced) characteristic of the landscape of this valley. The Holocene sequence is composed of four morpho-sedimentary units, which were characterised by their time spans and environmental meanings.

The first unit (H1) was interpreted as the result of changes in the geomorphological dynamics due to climatic fluctuations. These changes generated a considerable aggradative phase composed of two sub-units. This phase started with sediments typical of wetter climatic conditions (sub-unit H1a) and it spanned from ca. 13000 to 10000 BP. After the sedimentation of a volcanic ash layer (V0), around ca. 10000 BP, the sedimentation changed to a drier environment (sub-unit H1b) between ca. 10000 and ca. 4200 AP, when the V1 ash arrived and a new incision phase started. Therefore, sub-unit H1b covers part of the Early and the entire Middle Holocene. To date, no anthropogenic features have been found in unit H1.

The accumulation of morpho-sedimentary unit H2 started after the incision generated by climatic causes that followed the sedimentation of V1 ashes. The presence of an interbedded paleosol dated to ca. 2500 BP makes it possible to locate the initial phase of the unit between ca. 4200 BP and ca. 2500 BP. According to another radiocarbon dating, it spanned up to 646-535 cal BP including the Formative and Regional Development periods. The constant occurrence of archaeological remains in the profiles analysed is associated with anthropogenic activity. This activity amplified the erosion processes as the demographic pressure over landscape increased along with overexploitation. This situation was intensified by a gradually more arid environment from 2500 BP, and especially around 1000 BP, according to regional and local data.

Morpho-sedimentary units H3 and H4 are less relevant than the other ones. They resulted from a new incision stage occurring after H2 sedimentation finished (around 646-535 cal BP). Unit H3 was related to aggradative events due to the climatic fluctuations of the Little Ice Age and overexploitation periods during the 17th century. Unit H4 was the result of recent debris flow events occurring after the incision of H3.

## Introducción

El estudio del Holoceno es de gran interés paleoambiental por tratarse del periodo temporal cuyo proceso evolutivo culmina con la formación de los paisajes actuales. Para América del Sur esta trascendencia se ve aumentada por coincidir con el periodo en que se desarrolla la ocupación humana, por lo que el conocimiento de sus paleoambientes es esencial en los estu-

dios geoarqueológicos regionales. Diferentes ambientes continentales y climas cambiantes obligaron a adoptar formas de adaptación al medio y estrategias de supervivencia que sólo son comprensibles a partir de un mejor conocimiento de los contextos geográficos y paisajísticos del pasado mediante reconstrucciones paleoambientales.

En determinadas áreas, como los medios áridos y semiáridos, la cantidad de *proxys* relacionados tanto

con los cambios climáticos como con la intervención humana aumentan debido a la fragilidad de estos sistemas (Fuchs, 2007). En estos medios, una de las formas de respuesta más destacable ante los cambios ambientales corresponde al funcionamiento geomorfológico, mediante la alternancia de procesos agradativos y degradativos en diferentes contextos (Sampietro-Vattuone y Peña-Monné, 2016). La transmisión de procesos desde las laderas hacia los cursos fluviales de diverso orden y a los conos aluviales genera un funcionamiento acoplado y sincrónico (Harvey 2001, 2002), que en ocasiones se traslada incluso hasta ambientes costeros (Brückner, 1986) y en otras puede provocar la activación de formaciones dunarias (Peña-Monné *et al.*, 2015).

En Sudamérica, los trabajos basados en este tipo de *proxys* son muy escasos y básicamente centrados en las llanuras costeras y el desierto de Atacama (Chile) (Manners *et al.*, 2007; Gayo *et al.*, 2012, Keefer *et al.*, 2003). En el Noroeste Argentino la aplicación de estos estudios es más difícil ya que los registros sedimentarios dominantes corresponden a grandes abanicos aluviales formados por procesos fluviales y de flujos de detritos (*debris flow*) donde los registros holocenos tienen escasa continuidad temporal. En tales condiciones, las reconstrucciones de los procesos de evolución del paisaje son más complejas. Por ello, los estudios del Holoceno con este tipo de enfoque son escasos, destacando, entre otros, los de Tchilinguirian y Olivera (2005), Sampietro Vattuone (2002, 2010), Sampietro Vattuone y Neder (2011), Maldonado *et al.* (2012), Kulemeyer *et al.* (2013, 2015), Peña-Monné *et al.* (2015), Peña Monné y SampietroVattuone (2016).

Dentro del Noroeste Argentino, el valle de Tafí (Fig. 1) presenta registros morfosedimentarios con una resolución y continuidad tan amplia como para plantear una reconstrucción del Holoceno con representatividad regional (Sampietro-Vattuone y Peña-Monné, 2016). En este trabajo se presenta la situación actual del conocimiento de la evolución holocena de este valle y su conexión con áreas vecinas. Para ello se recopila la información dispersa existente en diferentes puntos del valle, realizadas con variados objetivos, así como la aportada más recientemente por los autores. La finalidad es desarrollar un modelo de evolución paleoambiental del área considerando tanto los factores naturales (eventos geomorfológicos y sedimentarios) como antrópicos (cambios en el uso del suelo, presión sobre el medio por crecimiento demográfico), así como establecer una cronología relativa y absoluta de estos cambios que permite una aproximación a los datos existentes a nivel regional, continental y global.

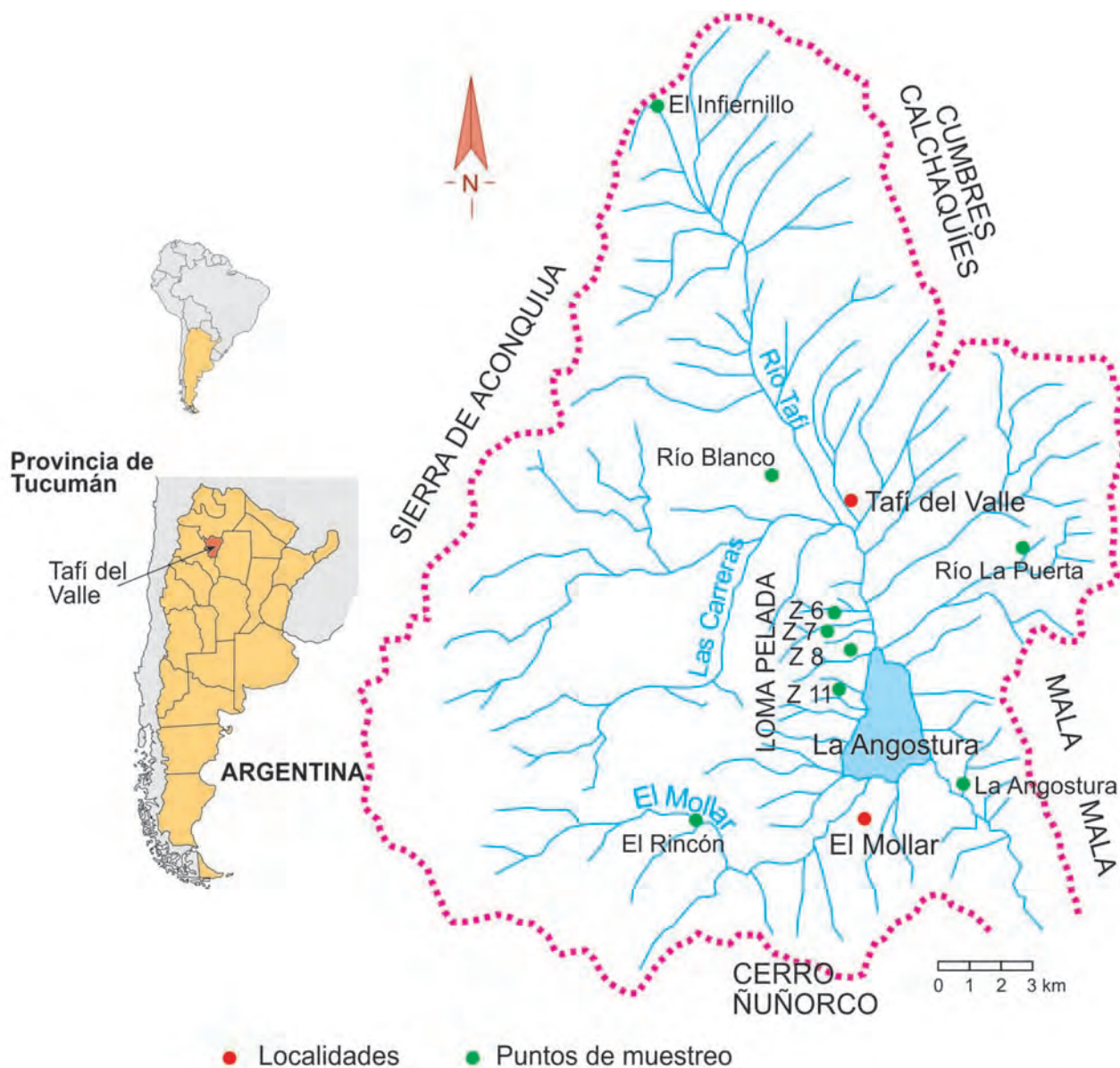
## El área de estudio

Las Sierras Pampeanas que se extienden por el Noroeste Argentino, constituyen una unidad montañosa compleja, dispuesta de forma meridiana, con varias depresiones tectónicas internas, una de las cuales es la depresión de Tafí del Valle. Esta cuenca tiene forma alargada de NNW a SSE, situándose su fondo entre 1800 y 2500 msnm. Sus márgenes montañosos están constituidos por las Cumbres Calchaquíes (4600 m) al Este, la Sierra de Aconquija (4600 m) al Oeste, y por Cerro Ñuñorco (3300 m) por el Sur. En su sector centro-meridional, el relieve de Loma Pelada (3000 m) divide la cuenca en dos depresiones limitadas por fallas, a las que se adapta el trazado de la red fluvial formada por el río Tafí y sus tributarios (Fig. 1). El río Tafí abandona la cuenca por el sur a través de un estrecho desfiladero (La Angostura) que atraviesa los relieves orientales para dirigirse hacia la llanura de Tucumán, donde se une al río Salí. El inicio de este estrechamiento fue aprovechado para la construcción del dique de La Angostura en 1977, cuya lámina de agua constituye actualmente el nivel de base interno de la cuenca.

El valle de Tafí es una cuenca de características semiáridas, que recibe entre 400 y 550 mm de precipitación media anual, según la orientación y altitud, concentrándose las lluvias principalmente en verano (87% entre noviembre y marzo, Sesma *et al.*, 1998) ocasionadas por la entrada en el valle de masas de aire húmedas desde el SE. La temperatura media anual es de 13,1°C y presenta una fuerte amplitud térmica anual. Con estas condiciones ambientales y la fuerte intervención antrópica, la vegetación principal se compone en la actualidad de pastizales, apareciendo bosquetes de quéñoa (*Polylepis australis*) y aliso (*Alnus acuminata*) en las laderas (Cabrera, 1976), variando según el sustrato rocoso y las características de los suelos.

La depresión de Tafí del Valle tiene origen tectónico y presenta reactivaciones neotectónicas cuaternarias (Gutiérrez y Mon, 2004). Geológicamente predominan las rocas metamórficas compuestas de esquistos bandeados, esquistos moscovíticos y biotíticos y pegmatitas, de edad Precámbrico-Cámbrico inferior (Ruiz Huidobro, 1972), junto con conjuntos de granito, granodioritas y tonalitas, que intruyen dichos materiales. En el sector SE, limitados por fallas, afloran sedimentos detríticos paleógenos, que González (1997) relaciona con la Fm Río Loro, de edad Paleoceno medio-superior (Soria, 1989), compuesta de pelitas, areniscas y conglomerados poco cohesionados. Por último, las acumulaciones cuaternarias ocupan una gran extensión en el fondo de la cuenca,





**Figura 1.** Mapa de ubicación y localidades mencionadas en el texto.  
**Figure 1.** Location map and localities mentioned in the text.

destacando de forma especial los depósitos de loess pleistocenos (Collantes, 2001). Éstos presentan espesores de más de 50 m (Kemp *et al.*, 2003, 2004) y han sido datados mediante magnetoestratigrafía en 1,15 millones de años (Schellenberger *et al.*, 2003) en sus niveles más antiguos. Estos sedimentos eólicos alcanzaron una gran extensión a nivel regional y han sido retrabajados por la dinámica fluvial y de laderas a lo largo del Cuaternario. Otros afloramientos detríticos pleistocenos han sido analizados por Sayago y Collantes (1991); Sayago *et al.* (1998); Collantes (2001, 2007). Sin embargo, es mucho más importante la extensión que ocupan las acumulaciones holocenas,

que han sido objeto de investigación recientemente por el equipo del Laboratorio de Geoarqueología de la Universidad Nacional de Tucumán (Argentina) y el Grupo de Investigación PALEOO de la Universidad de Zaragoza (España) (Sampietro Vattuone *et al.*, 2016; Peña Monné y Sampietro Vattuone, 2016; Sampietro-Vattuone y Peña-Monné, 2016).

**Metodología**

Se ha elaborado un mapa geomorfológico del valle de Tafi siguiendo los criterios propuestos por Peña

Monné (1997), que sirve como documento de base para conocer la distribución espacial de las diferentes acumulaciones holocenas y otros elementos de importancia geomorfológica. Este mapa se elaboró a partir de imágenes de Google Earth (2013) y los fotogramas aéreos del vuelo 1985 (II Brigada Aérea de Paraná), utilizando el software QGIS v.2.14.2. A partir de esta cartografía y de las campañas de campo realizadas entre 2013 y 2016 se recogieron los datos que han permitido establecer una secuencia evolutiva de la depresión de Tafí del Valle. Para ello se realizaron diferentes cortes transversales, perfiles longitudinales y numerosas columnas estratigráficas, de las que se incluyen algunas de las más significativas. En esta documentación se presentan las principales unidades estratigráficas y sedimentarias, así como los indicadores paleoambientales (paleosuelos, gasterópodos, huesos de roedores) y cronológicos más importantes (restos antrópicos, carbón).

La cronología se obtuvo mediante la datación por  $^{14}\text{C}$  de muestras de carbón obtenidas en los perfiles (Accelerator Mass Spectrometer Laboratory - University of Arizona). Se ha aplicado el software OxCal 4.2 (2014) para calibrar las dataciones y unificar los datos cronológicos, expresándose en años cal AC o AD, utilizando la curva de calibración correspondiente al Hemisferio Sur provista por el programa (ShCal 13). También se han datado dos fragmentos de cerámica intercalados en los depósitos, mediante termoluminiscencia (TL) en el Laboratorio de Datación y Radioquímica de la Universidad Autónoma de Madrid (España). La existencia de varios niveles de cenizas volcánicas intercaladas en las acumulaciones holocenas ha permitido su utilización como niveles guía para la correlación entre quebradas y como elementos para establecer una cronología relativa. Por otra parte, la información paleoambiental dispersa procedente de trabajos de diferentes autores ha proporcionado datos complementarios, basados principalmente en análisis polínicos, paleontológicos, geomorfológicos, así como otros indicadores cronológicos.

## Resultados y discusión

La historia cuaternaria pre-Holocena del valle de Tafí es muy poco conocida y se reduce a los datos ya indicados de las acumulaciones de loess y de algunas acumulaciones detríticas, además con resultados confusos e incluso contradictorios. Sin embargo, los resultados sobre la evolución holocena muestran la importancia de este periodo en la configuración del paisaje del valle (Fig. 2).

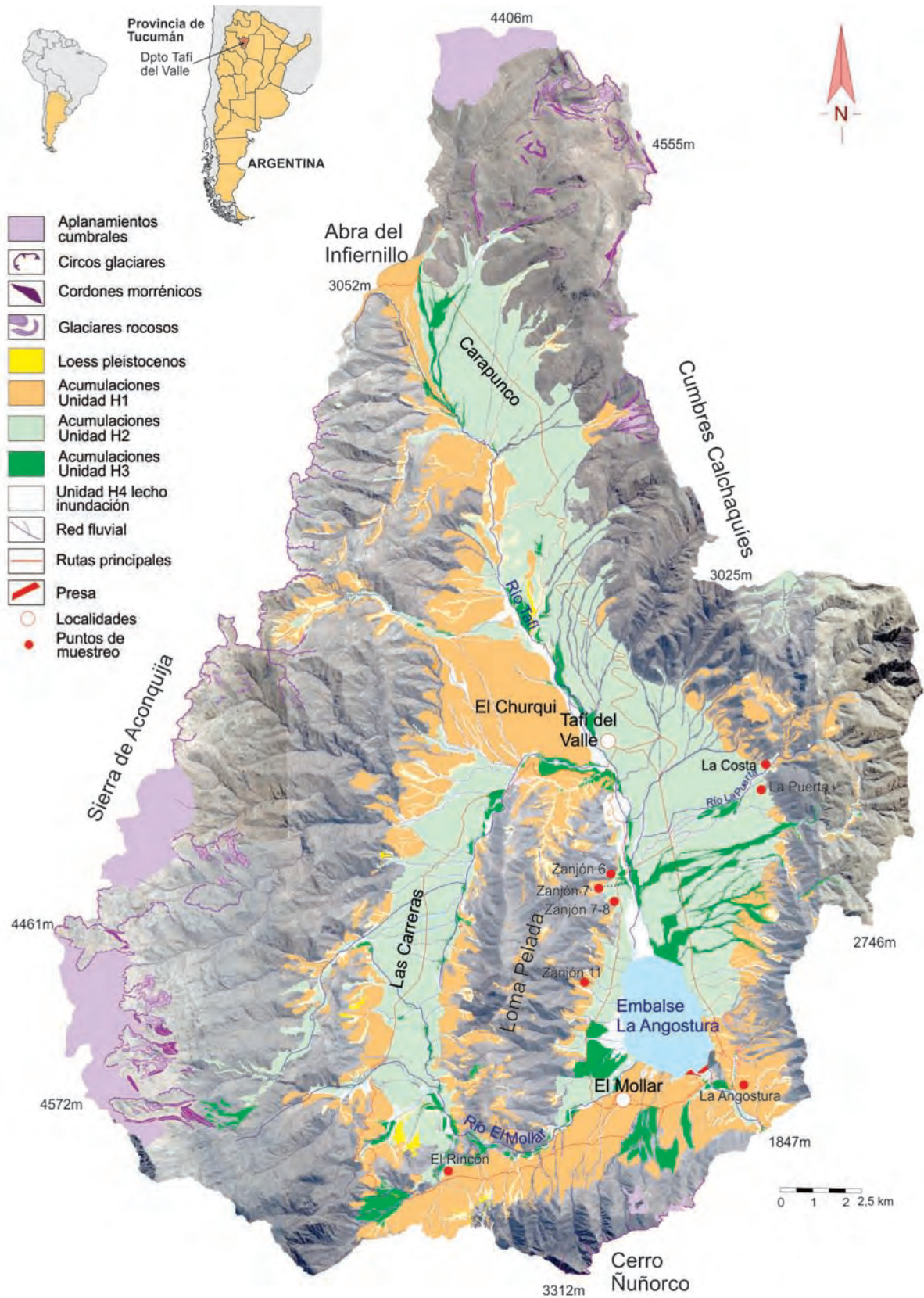
El inicio de la evolución holocena se produce en

un marco generalizado de incisión previa, que podemos considerar como del Pleistoceno final, dada la edad holocena de los primeros sedimentos que recibirán los valles. Aunque no hay datos concretos al respecto, seguramente la profunda incisión del curso principal (río Tafí) y de las quebradas cuyas cuencas se adentran en el marco montañoso sean consecuencia de una deformación tectónica finipleistocena que aumentaría los desniveles existentes. Este aumento de las pendientes de los cursos de agua tuvo que producirse tanto internamente en el valle como respecto a la llanura tucumana facilitando la formación de un profundo valle de salida del río Tafí a través de las sierras más meridionales (río Los Sosa) y de una importante masa de sedimentos hacia la llanura baja. Por otra parte, es importante considerar el marco geológico del valle en esos momentos, que constituye en definitiva el área fuente de sedimentos para las posteriores etapas. Como ya se ha indicado, el basamento litológico en el que se localizan las quebradas se compone de granitos y rocas metamórficas. Estas rocas muestran rasgos identificables de una intensa alteración producida bajo condiciones ambientales más húmedas que las actuales, que se evidencia por la presencia de morfologías típicas residuales en las partes altas de las laderas, como *tors*, *castle rocks* y bloques. Igualmente hay restos de acumulaciones de *grus* de alteración en algunos puntos, compuestas de una matriz de arena gruesa que incluye cantos y bloques subredondeados. Junto a este primer dispensador de sedimentos hay que considerar también las importantes acumulaciones de loess pleistocenos, que estarían estacionados ocupando una gran parte del valle.

Con este dispositivo inicial, a lo largo del Holoceno comenzó un progresivo traslado de sedimentos desde las laderas y a través de los cursos de agua hasta los abanicos aluviales que penetran hacia el río principal, funcionando como un "sistema acoplado" (*coupled system* de Brunson, 1993). Esta conexión entre diferentes ámbitos geomorfológicos permite agruparlos como "unidades morfosedimentarias", en las que los diferentes componentes son plenamente contemporáneos, al funcionar de forma conjunta. Cada una de estas unidades constituyen fases de agradación, cuyo final viene marcado por un cambio a condiciones de incisión que van a destruir parcialmente dicha agradación y asimismo va a ser el germen de una nueva unidad morfosedimentaria posterior perfectamente separable de la anterior.

El estudio de los registros sedimentarios ha permitido diferenciar 4 unidades morfosedimentarias holocenas, que han sido denominadas H1, H2, H3 y H4 (Figs. 2, 3). Las dos primeras son las de mayor



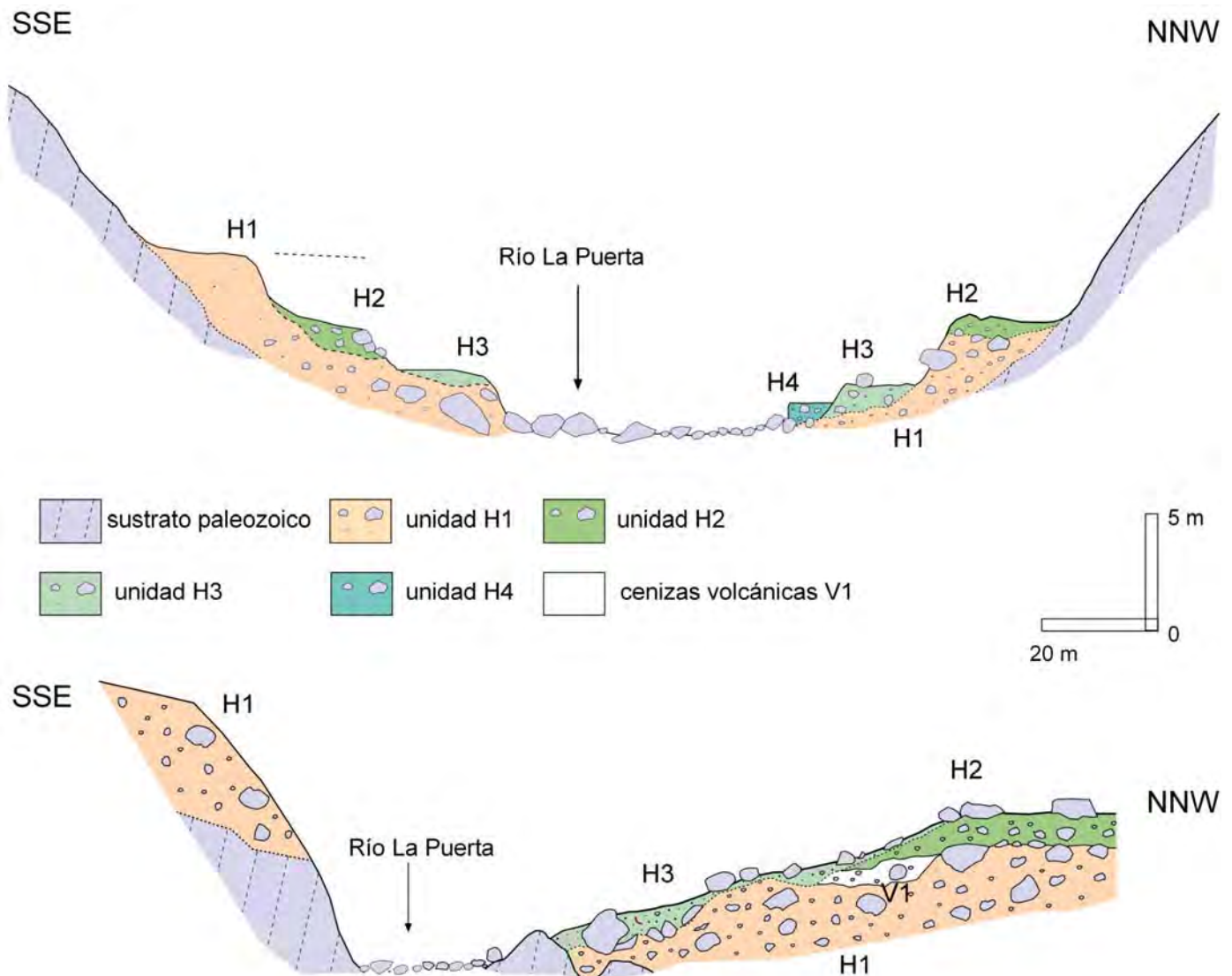


**Figura 2.** Mapa geomorfológico con las principales unidades morfosedimentarias.  
**Figure 2.** Geomorphological map with the main morpho-sedimentary units.

desarrollo temporal y espacial, por lo que las describiremos más detalladamente.

**Unidad morfosedimentaria H1.** Se compone de las acumulaciones de ladera, terrazas fluviales y conos aluviales más antiguas. Las laderas son las formas más visibles en la cartografía (Fig. 2), mientras que terrazas y conos al estar en su mayor parte cubiertas por la unidad posterior H2, apenas aparecen representadas en el mapa. Por ello, los perfiles proporcionados por la incisión de las quebradas son los que permiten conocer mejor las características de esta etapa. Las laderas pueden alcanzar más de 13 m

de espesor en muchos valles y están formadas por capas de arenas gruesas bien estratificadas y niveles finos por retrabajamiento del loess antiguo. Su topografía externa presenta una pendiente en torno a 18° que se va suavizando para enlazar con su correspondiente terraza. La acumulación de depósitos en terrazas y conos de la etapa H1 se caracterizan por espesores variables, que pueden llegar a los 10 m (Figs. 3, 4a, b), pudiendo diferenciarse dos unidades superpuestas: H1a y H1b. La primera subunidad está formada por gravas en su parte basal y capas de barros bioturbados



**Figura 3.** Cortes transversales en la zona apical del río La Puerta: (a) ubicación de las principales unidades morfosedimentarias presentes en el sector; (b) localización de las unidades morfosedimentarias y los depósitos de ceniza V1.

**Figure 3.** Transversal section of the apical sector of La Puerta River: (a) location of the main morpho-sedimentary units in the section; (b) location of the morpho-sedimentary units and V1 tephra layer.



fuertemente compactados, con abundantes gasterópodos y huesos de roedores, como se observa en los perfiles estratigráficos de las quebradas o zanjones de la vertiente oriental de Loma Pelada (Figs. 4b, c). Excepcionalmente, como en el caso de El Rincón, en el río del Mollar, en el SW del valle de Tafí, H1a puede estar formada por sedimentos arenosos que a techo intercalan capas de turba (hasta 6 niveles (T1 a T6)) (Figs. 4a y 5a). Por el tipo de depósito y las características polínicas (Garralla *et al.*, 2001) se interpreta esta fase como de características húmedas. La edad aportada por estas turbas mediante dataciones <sup>14</sup>C por Fink (2001, en Hermanns *et al.*, 2006) de  $10870 \pm 290$  BP (13325-11846 cal BP) y de  $10350 \pm 80$  BP (12424-11775 cal BP) (Garralla, 2002) hasta  $9980 \pm 60$  BP (11695-11223 cal BP) (Garralla *et al.*, 2001), así como las dataciones de 10250-9650 cal BP (Ortiz y Jayat, 2007) de huesos de roedores incluidos en este mismo nivel en el sector de La Banda (cerca de Tafí del Valle), colocan al conjunto H1a entre *ca.* 13325 y 9650 cal BP, es decir en finales del Pleistoceno-Holoceno Inferior.

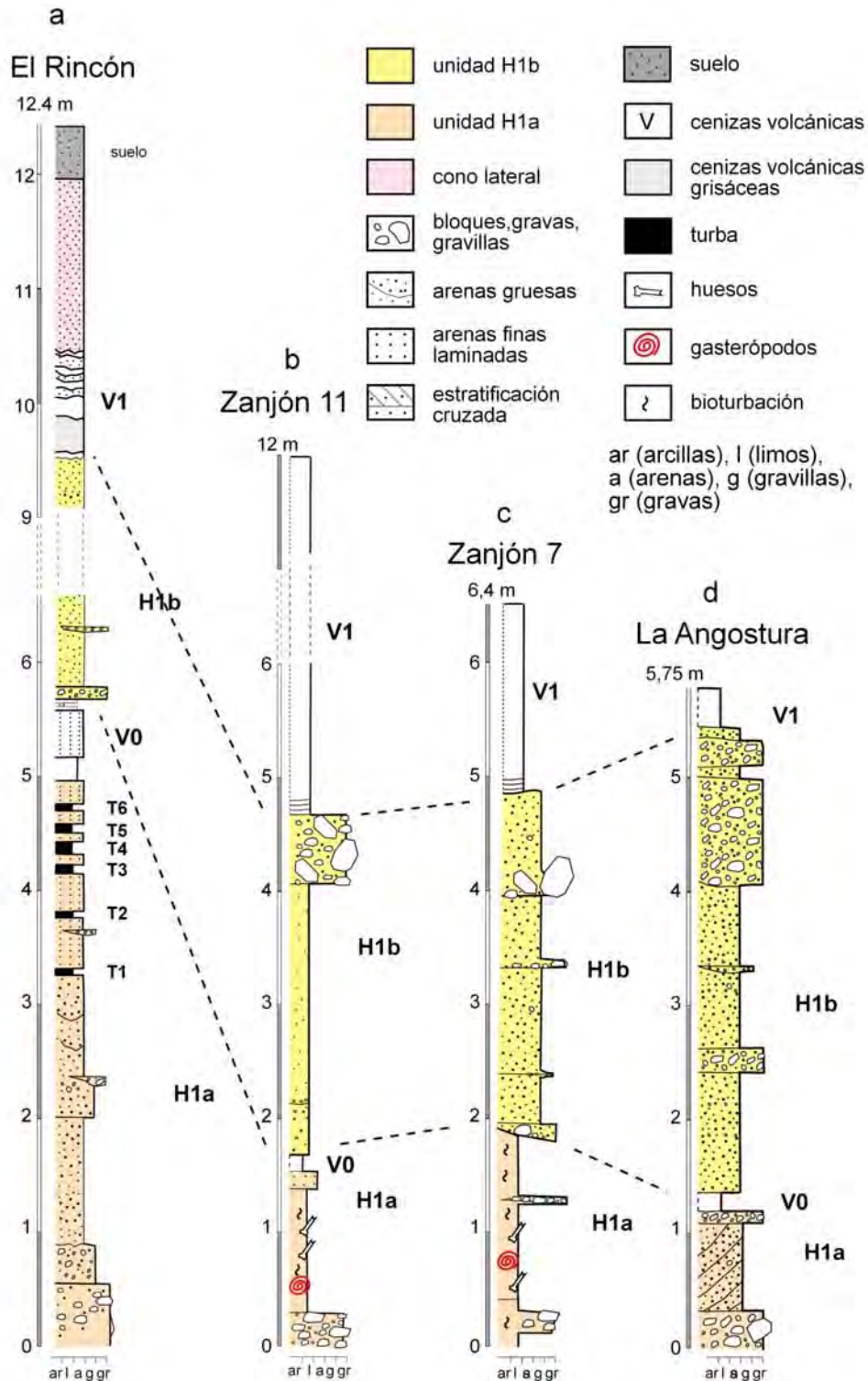
Los datos paleoambientales a nivel regional para este periodo (Finiglacial-Preboreal) están basados en fluctuaciones de las masas de hielo de los Andes tropicales a pesar de que su interpretación como indicadores paleoambientales puede plantear problemas a causa de los diversos factores que influyen en su balance de masas (Jomelli *et al.*, 2009). También se exponen datos procedentes de glaciares del sector central de la Cordillera, más próximos a la zona de estudio, y de la zona patagónica y antártica. Aunque más marginalmente, también se aprovecha la información existente sobre el Atlántico Norte y Groenlandia como referencia, especialmente de aquellos eventos que tienen carácter global. Mientras en los Andes meridionales, Aniya (2013) señala al menos dos fases glaciares para este intervalo temporal (entre 11.2-10.9 y 10.2 ka y entre 9.9-9.6 ka y 9.5 ka), en la Península Antártica, Mulvaney *et al.* (2012) señala un periodo más cálido que el actual, y Kilian y Lamy (2012) la relacionan en los Andes tropicales (entre 11.5 y 8.5 ka) con una fase probablemente árida. En el Hemisferio Norte dentro de estas fechas se sitúan varios eventos fríos, como los 11.1 de Bond (Bond *et al.*, 1997) o los eventos 11.5-11.4 (Preboreal Oscillation) y anomalía 9.95 de Rasmussen *et al.* (2007) de la curva NGRIP. Así pues en términos generales para la etapa H1 no hay información regional o global que permita una buena correlación paleoambiental.

Es frecuente la presencia de una capa de cenizas volcánicas (fase V0) formando la separación entre H1a y H1b (Figs. 4a, b, d, 6), con espesores de 12-20

cm, a veces con niveles más arenosos intercalados alcanzando hasta 40 cm de grosor (Fig. 4a). Por su posición estas tefras tienen que ser de cronología posterior a *ca.* 10000 años BP, según las dataciones anteriormente mencionadas. Serían contemporáneas de las datadas por Hermanns *et al.* (2006) en la zona de Cafayate (valle de Santa María) en  $9555 \pm 90$  BP (11152-10573 cal BP). Así pues, la transición de H1a con H1b vendría marcada por este evento volcánico cuya edad está en *ca.* 10000 años.

La subunidad superior (H1b) está más generalizada en la mayoría de los perfiles del valle. Se compone de arena gruesa con intercalaciones de estrechos niveles de gravas, gravillas y algún bloque disperso (Figs. 4a-d). Además se aprecia una mayor llegada de sedimentos procedentes de la ladera que en H1a. Desde un punto de vista paleoambiental podría relacionarse con un ciclo más seco, con retroceso de la vegetación, que generó mayor movilidad de sedimentos en los cauces y laderas. Esta etapa finaliza con una nueva acumulación de cenizas volcánicas (V1), que aparecen a techo de la unidad morfosedimentaria H1 (Figs. 4a-d, 6). En algunos casos, las cenizas se adaptan a una topografía erosiva, lo que indica que ya había comenzado una fase de incisión sobre la unidad H1 en esos momentos. Su espesor es máximo en el interior de algunas quebradas (hasta 8 m de potencia) y disminuye hacia los conos aluviales, donde alcanzan 10-40 cm más habitualmente. Los primeros centímetros presentan laminaciones, pero el resto tiene estructura masiva y muy compacta. Estas cenizas han quedado formando escarpes bien destacados en la parte interior de muchas quebradas, pero en los conos quedaron fosilizadas por la acumulación de la unidad H2 (Figs. 7b, c). En el cono del Zanjón 8 se obtuvo una datación de un nivel de carbones justamente por debajo de las cenizas V1, en  $3763 \pm 36$  BP (4228-3927 cal BP) (Sampietro-Vattuone y Peña-Monné, 2016) (Figs. 5d, 7c). La fase V1 es equivalente cronológicamente a las cenizas datadas por May *et al.* (2011) entre 4960 y 3930 cal BP por correlación con otras del valle de Santa María (Buey Muerto y Alemania) (Hermanns y Schellenberger, 2008) y por Fernández Turiel *et al.* (2012, 2013) en el valle de Tafí que sitúan estas cenizas en *ca.* 4200 años. A partir de estudios geoquímicos de las mismas Báez *et al.* (2015) las relacionan con una erupción del volcán Cerro Blanco (provincia de Catamarca).

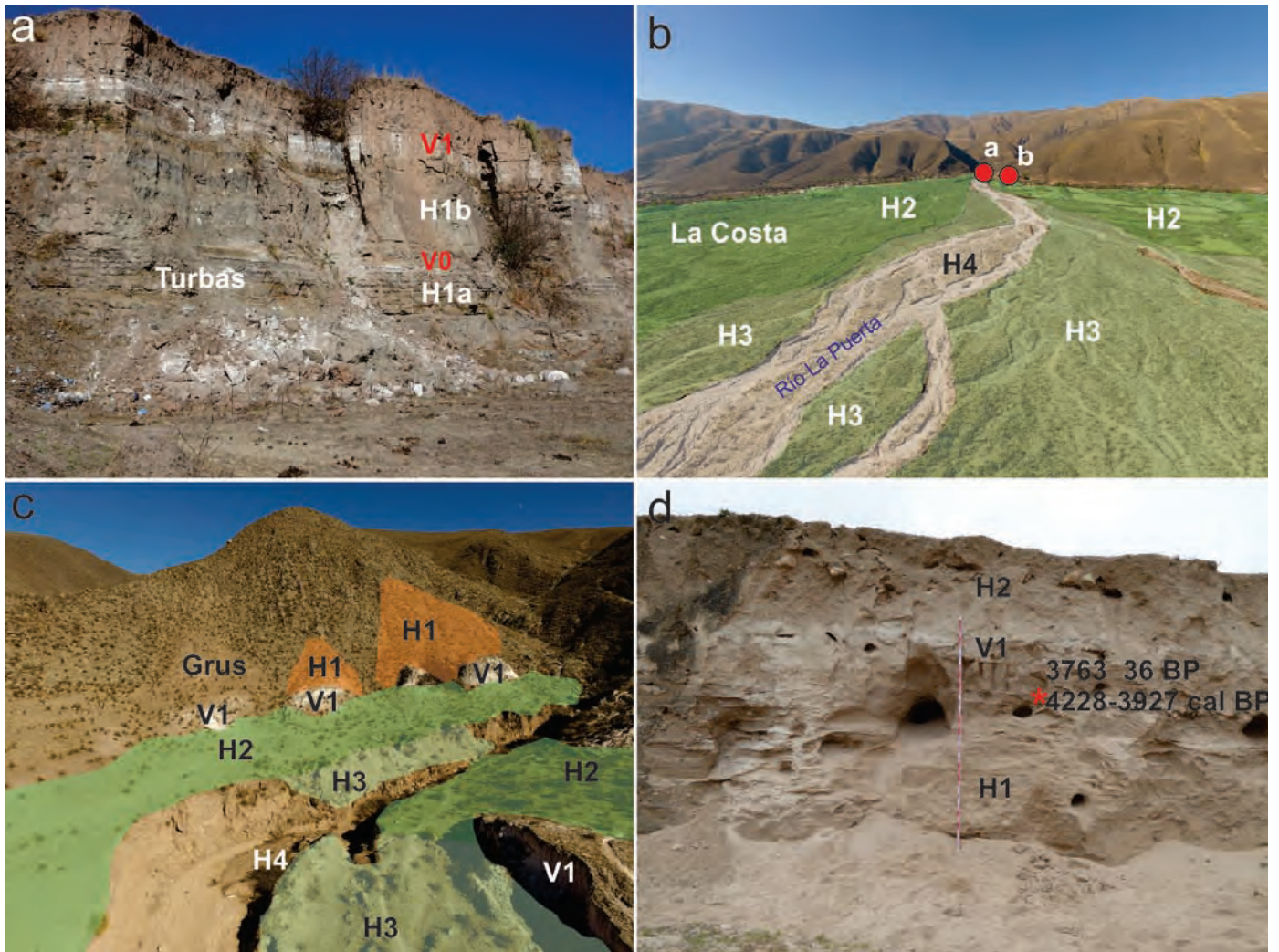
Por lo tanto, la subunidad H1b estaría situada cronológicamente entre *ca.* 10000 y *ca.* 4200 BP, representando por tanto parte del Holoceno inferior y todo el Holoceno medio. Walker *et al.* (2015) establecen los límites de este último periodo entre 8200 y 4200 BP, con la denominación de *Northgrippian Stage*. Los



**Figura 4.** Principales cortes estratigráficos de la unidad morfosedimentaria H1: (a) perfil de El Rincón con las subunidades H1a y H1b separadas por el nivel de cenizas V0, obsérvese las turbas interestratificadas en la unidad H1a; (b) perfil estratigráfico del Zanjón 11 mostrando las unidades H1a y H1b separadas por la tefra V0 y rematado con la tefra V1; (c) perfil estratigráfico del Zanjón 7 con una secuencia similar; y (d) perfil estratigráfico de La Angostura.

**Figure 4.** Main stratigraphic profiles of H1 morpho-sedimentary unit: (a) profile from El Rincón with H1a and H1b subunits separated by the V0 tephra layer, see the peat interbedded in the H1a subunit; (b) stratigraphic profile of Zanjón 11 showing H1a and H1b subunits separated by V0 tephra with V1 tephra in the upper section; (c) stratigraphic profile of Zanjón 7 with a similar sequence; and (d) stratigraphic profile of La Angostura.





**Figura 5.** (a) Perfil estratigráfico de El Rincón mostrando las capas de turba y las dos capas de cenizas volcánicas; (b) abanico aluvial del río La Puerta con los principales niveles resaltados (H2 a H4), a y b muestran la ubicación de los cortes transversales de la Fig. 3; (c) principales rasgos geomorfológicos del Zanjón 6; y (d) perfil estratigráfico del Zanjón 8 mostrando la ubicación de la datación.

**Figure 5.** (a) Profile from El Rincon showing peat layers and the two volcanic ash layers; (b) alluvial fan of La Puerta River with the main alluvial fan levels (H2 to H4), a and b are the location of the cross sections of Fig. 3; (c) main geomorphological features from Zanjón 6; and (d) stratigraphic profile of Zanjón 8 showing the dated layer location.

estudios de esta época para el Noroeste Argentino muestran tendencias poco definidas (Tchilingirian y Morales, 2013) aunque para el periodo entre 8000 y 3000 BP señalan condiciones más secas en los Andes Tropicales, y por tanto del Noroeste Argentino, aunque con zonas aisladas excepcionalmente más húmedas. Los procesos geomorfológicos causantes de las acumulaciones de la subunidad H1b encajan bien con la tendencia seca identificada por dichos autores.

Dentro del tramo temporal de H1b se localizan con carácter regional oscilaciones climáticas importantes. En una primera parte, Kilian y Lamy (2012) señalan una fase menos árida que la del Holoceno inferior entre 8.5 y 5.0 ka. Wanner *et al.* (2008, 2011) además

marcan un pico árido coincidiendo con el Maximum Thermal entre estos mismos eventos, confirmados por Barberena *et al.* (2017), que deducen para los desiertos sudamericanos indicios de aridez en ca. 8000-7600 BP y dos periodos secos en ca. 7600-7200 BP y ca. 6000-6400 BP. Sin embargo, el inicio del Neoglacial creará condiciones frías generalizadas. Así, Thompson *et al.* (2000, 2006), Jomelli *et al.* (2014), Solomina *et al.* (2015) señalan una fase importante de avances glaciares en los Andes tropicales en 5100-5000 BP, al igual que Aniya (2013) en Patagonia. También Espizúa (2005) sitúa el avance Neoglacial en los Andes mendocinos en ca. 5700 BP. De estas alterancias ambientales del Holoceno medio no hay

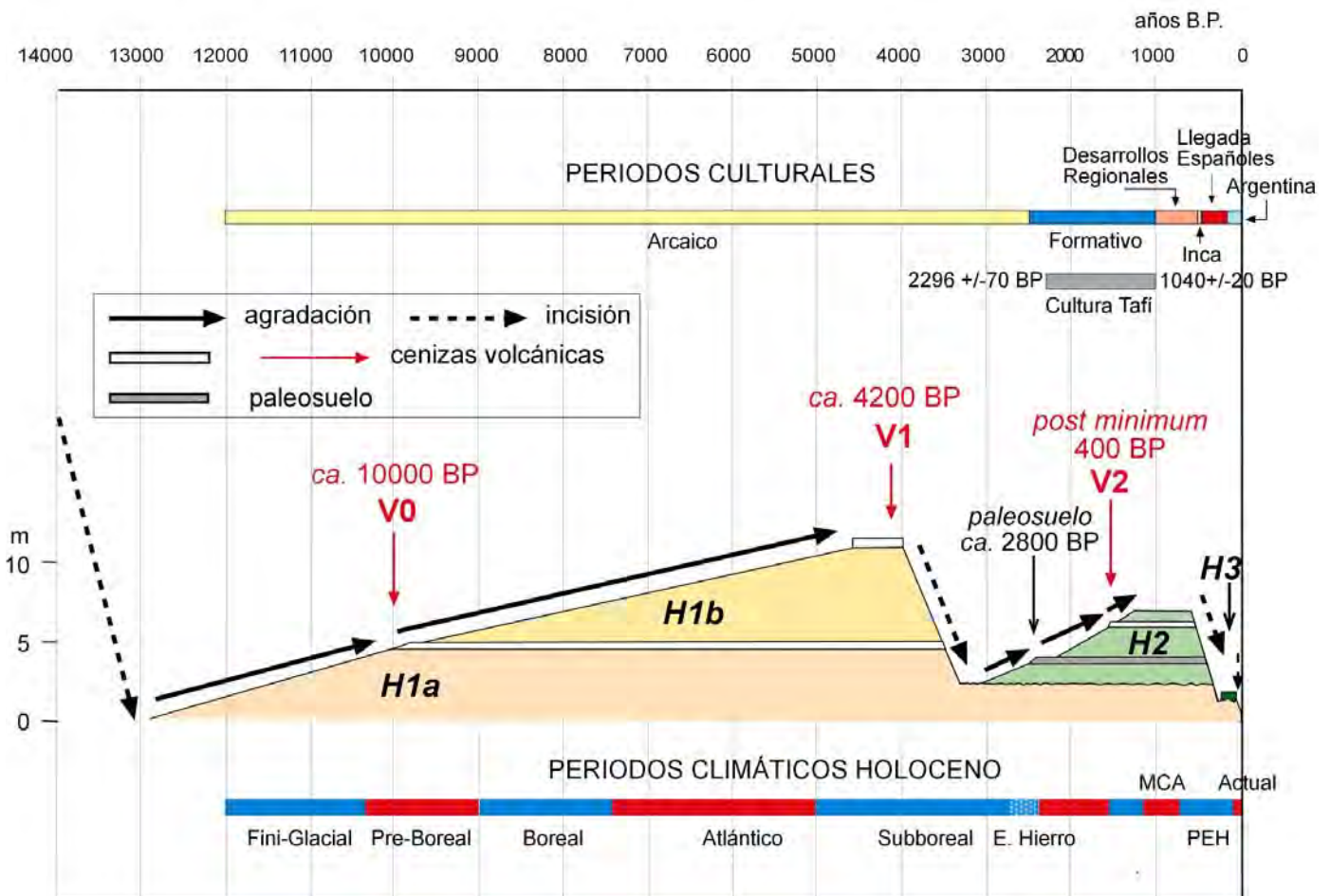


registros datados en el valle de Tafí, pero seguramente el mayor dinamismo geomorfológico puede estar relacionado con el Neoglacial, que tuvo que generar eventos de fusión importantes en las zonas altas de los relieve circundantes. La datación de Sayago *et al.* (1991) de un nivel turboso en el río Muñoz en  $5950 \pm 90$  BP (6957-6493 cal BP) podría estar relacionado en estas condiciones climáticas.

En la unidad morfosedimentaria H1 no se han encontrado elementos indicativos de ocupación humana del valle de Tafí, ya que hasta la fecha no hay evidencias previas al Periodo Formativo (ca. 500 AC-1000 AD) por lo que no hay rasgos que permitan inferir que la acción antrópica haya podido influir en el desarrollo de la etapa H1.

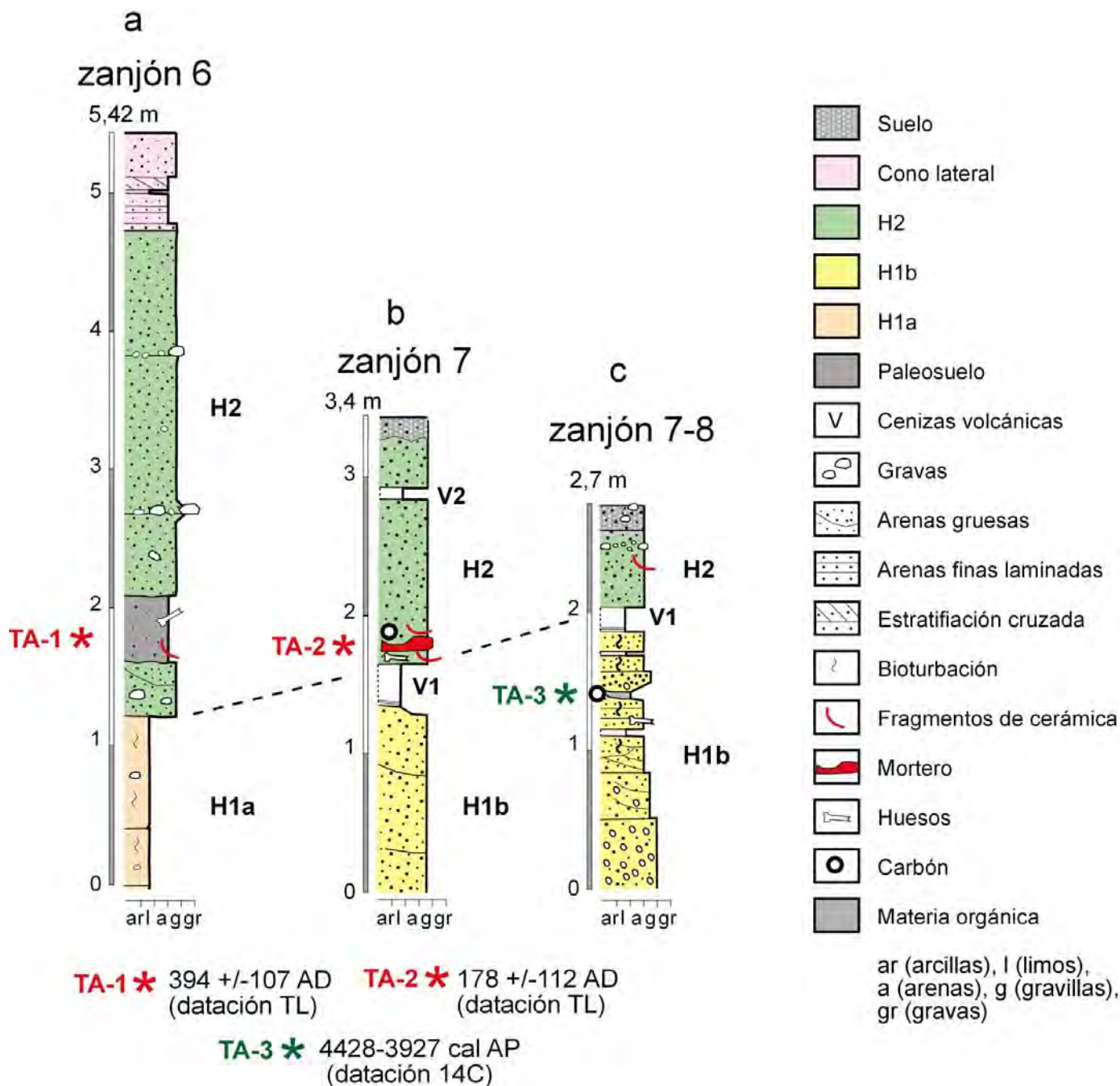
**Unidad morfosedimentaria H2.** Como ya hemos indicado, la incisión sobre la acumulación H1 ya esta-

ba iniciada poco antes de la caída de las cenizas V1, pero se reanudó sobre las mismas alcanzando hasta 15 m de profundidad, extendiéndose por todo el sistema de quebradas del valle cortando especialmente los fondos rellenos de H1 y posteriormente una parte de las laderas de la misma etapa. Este cambio dinámico en los valles, producido en ca. 4200 no tiene correlación con datos regionales, sin embargo puede conectarse con el evento Bond 4.3 (Bond *et al.*, 1997), con características frías en ambos hemisferios, ya que tuvo carácter global (Walker *et al.*, 2015). Para estas mismas fechas, Mayewski *et al.* (2004) apuntan la existencia de un *Cambio Climático Rápido* (RCC) entre 4200 y 3800 AP, que dará lugar al inicio del Holoceno superior (*Meghalayan Stage*, Walker *et al.*, 2015). Por otra parte, Marchant y Hooghiemstra (2004) ponen en evidencia la importancia de la inci-



**Figura 6.** Reconstrucción paleoambiental holocena del valle de Tafí con los principales procesos agradativos/degradativos de las diferentes etapas.

**Figure 6.** Holocene paleoenvironmental reconstruction of Tafí Valley with the main aggradational/degradational processes of the different stages.



**Figura 7.** Perfiles estratigráficos de la unidad morfosedimentaria H2: (a) perfil del Zanjón 6 con la unidad H1a en la base seguida por la unidad H2 con el paleosuelo interestratificado; (b) perfil del Zanjón 7 con dos niveles de cenizas volcánicas en la base y el techo de la unidad H2; y (c) perfil del Zanjón 8.

**Figure 7.** Stratigraphic profiles of H2 morpho-sedimentary unit: (a) profile from Zanjón 6 with H1a unit in the lower section followed by H2 with the interbedded paleosol; (b) profile from Zanjón 7 with two volcanic ash layers at the bottom and top of unit H2; and (c) profile from Zanjón 8.

sión en ríos de las zonas tropicales de África y América para el cuarto milenio BP, información que May *et al.* (2011) relacionan con la incisión del río Tafi en esas fechas debido a un cambio a condiciones más húmedas.

La etapa H2 se va a desarrollar como registro sedimentario tanto en el interior de la incisión en forma de terrazas fluviales encajadas como superpuesto a la acumulación H1 en los conos terminales (Figs. 5b, c). Por ello, las acumulaciones H2 ocupan una gran

extensión en la cartografía geomorfológica (Fig. 2). Como terraza alcanza espesores de hasta 4-6 m, colocándose de forma erosiva sobre H1, como en las quebradas de la vertiente oriental de Loma Pelada (Fig. 7a) pero como cono no sobrepasa 0,5-1,5 m de potencia sobre la acumulación H1 (Figs. 7b, c). Mientras las cenizas V1 quedan con gran espesor en el interior de las quebradas, resaltando por encima de la incisión (Figs. 4 b-d), en las terrazas y conos quedaron cubiertas formando en muchos casos la separación H1-H2 (Figs. 7b, c). Los sedimentos que componen esta unidad son similares a los de H1 ya que gran parte del material está retomado del mismo.

En la parte media de la quebrada o Zanjón 6 se localizó un paleosuelo (Figs. 3b, 7a) intercalado en la secuencia sedimentaria H2. Presenta abundante materia orgánica, color gris oscuro, con alta porosidad, estructura en bloques y fuerte bioturbación. Este paleosuelo ha sido identificado en otros puntos de valle de Tafí (Sampietro Vattuone, 2010; Roldán, 2014) donde ha sido datado en  $2480 \pm 110$  BP ( $2760-2188$  cal BP) (Sampietro Vattuone, 1999). Son suelos con un horizonte 2B con diferentes grados de pedogénesis y, en muchos casos, con los horizontes 2A erosionados. Esta fecha nos marca un límite cronológico en la unidad H2, que tiene que iniciarse entre *ca.* 4200 y *ca.* 2500. El paleosuelo marca un periodo de estabilidad climática regional con respecto a los registros anteriores. En ambientes subhúmedos y semiáridos de Europa (Van Geel *et al.*, 1996; Pérez-Lambán *et al.*, 2014) se han identificado suelos con similares características y edad, desarrollados en la situación ambiental más húmeda y fría de la Fase Fría de la Edad del Hierro, que coincide con el evento Bond 2.8 (Bond *et al.*, 1997). Wanner *et al.* (2011) también distinguen esta etapa fría entre 2.8-2.6 Ka BP, que se corresponde con el último periodo frío del Neoglacial, producido por un abrupto decrecimiento de la actividad solar (Van Geel *et al.*, 2000). Por otra parte, las curvas GISP2 (Alley, 2000) y NGRIP (Rasmussen *et al.*, 2007) también muestran un evidente periodo frío para esta época que igualmente ha sido registrado en forma de avances en los glaciares andinos argentinos (*ca.* 3000-2500 BP) (Espizúa, 2005; Aniya, 2013) y antárticos (Muvaney *et al.*, 2012).

Este suelo sirvió para la instalación de la cultura Tafí (Periodo Formativo) cuya cronología se sitúa entre *ca.* 2500 y 900 BP. Esta cultura tuvo una organización igualitaria, eran sedentarios y ocuparon ampliamente el territorio, basando su subsistencia en la producción agropastoril intensiva a juzgar por la densidad de terrazas agrícolas y corrales conservados (Sampietro Vattuone, 2010; Roldán, 2014). Algunos de sus restos, como fragmentos de huesos de mamífe-

ros (probablemente camélidos) y fragmentos de cerámica (Fig 7b, c) aparecen dentro de las acumulaciones de la unidad H2, la mayor parte *in situ*. En el Zanjón 6 esta ocupación aparece incluida en el paleosuelo mencionado (Fig. 7a), uno de cuyos fragmentos cerámicos (TA-1) fue datado por TL dando la edad de  $1620 \pm 107$  BP, lo que supone una edad calibrada de  $394 \pm 107$  cal AD (Tabla 1). También en el Zanjón 7 de la Loma Pelada se localizaron dos morteros asociados con numerosos restos de cerámica remontables (Fig. 7b), uno de cuyos fragmentos (TA-2) se dató mediante TL en  $1836 \pm 112$  BP, correspondiente a la fecha calibrada de  $178 \pm 112$  cal AD (Tabla 1).

La Cultura Tafí generó una fuerte modificación del paisaje para su adaptación a la agricultura y las áreas de pastoreo en diferentes niveles altitudinales, lo que condujo a una gradual eliminación de la cobertura vegetal natural de las laderas. Había asentamientos permanentes hasta alturas de más de 3000 m y con pendientes de más del 20 % (Sampietro Vattuone, 2002), generando una intensa erosión por la escorrentía superficial y el lavado de sedimentos finos y materia orgánica de los suelos hacia las partes bajas de los valles para generar las acumulaciones de la unidad H2. La erosión generada en los suelos queda patente en los numerosos perfiles pedológicos descritos por Sampietro Vattuone (2010) y Roldán (2014) en el valle de Tafí, en los que la ausencia de horizontes 2A es constante en las tierras de laboreo agrícola. Estos procesos derivados de la acción humana son similares a los descritos en la región Mediterránea, aunque con diferente cronología, por Faust *et al.* (2004), Fuchs (2007), Zeilhofer *et al.* (2008), Constante y Peña-Monné (2009), Bellin *et al.* (2013) o Ackermann *et al.* (2014).

La discriminación entre mecanismos relacionados con los cambios en el clima o con la acción humana ha sido siempre muy discutida. Peña Monné *et al.* (2004) y Constante *et al.* (2011) establecen algunos criterios diferenciadores en la Depresión del Ebro (España) como la presencia de altas tasas de acumulación resultantes de una morfogénesis acelerada, el predominio de sedimentos finos en los depósitos, capas de carbón procedentes de incendios y la abundancia de restos arqueológicos y de unidades de asentamiento. Estos rasgos tienen gran similitud a los observados en el valle de Tafí. Por otra parte, desde el punto de vista climático, con posterioridad a la estabilización ambiental en la que se desarrolló el paleosuelo, las características de los sedimentos muestran un deterioro climático hacia condiciones más cálidas y secas, que culminan en la Anomalía Cálida Medieval (MCA) (Fig. 6). Estos escenarios ambientales ya fueron propuestos por Sampietro Vattuone (1999, 2002, 2010) para esta área, así como



Dataciones con Termoluminiscencia (TL)					
muestra	Referencia Laboratorio	Dosis equivalente(Gy)	Dosis anual (mGy/año)	años BP (2014)	años cal BC/AD
TA-1	MAD-6372	8.36	5.17	1620±107	394±107
TA-2	MAD-6373	7.82	4.35	1836±112	178±112

Dataciones con 14C AMS				
muestra	Referencia Laboratorio	Datación 14C BP	años cal BP (95.4 %)	años cal BC/AD
TA-3	AA105459	3763±36	4240-4068	2291-2119 BC
TA-4	AA105460	630±30	664-552	1287-1399 AD

**Tabla 1.** Dataciones con termoluminiscencia y Carbono 14 AMS.

**Table 1.** Dating by thermoluminescence and carbon-14 AMS.

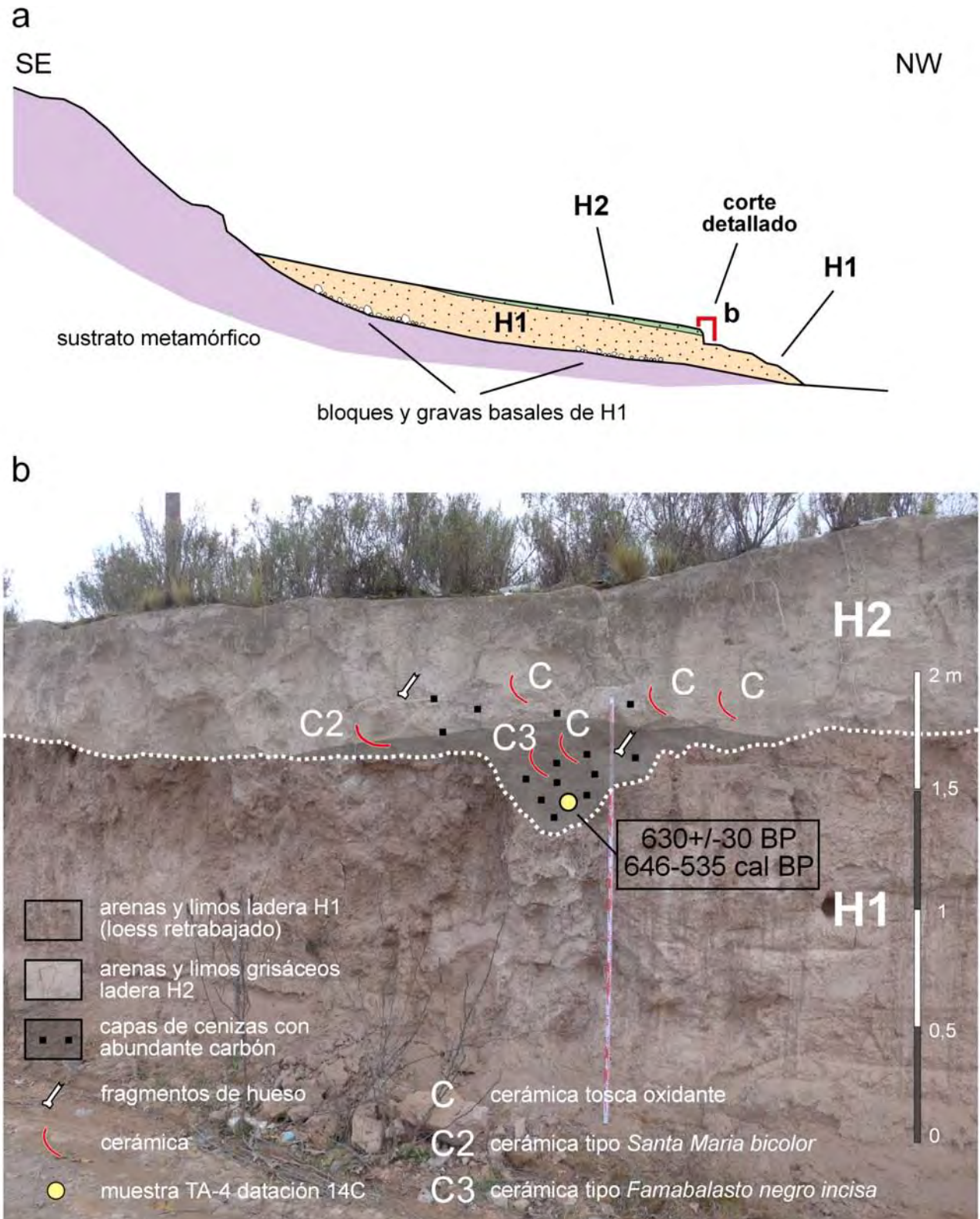
por Peña-Monné *et al.* (2015) para el valle de Santa María, como causantes de una de las etapas de activación de dunas de Cafayate datada en 1010 ± 80 AP. En los registros de eventos de mayor actividad del fenómeno El Niño (ENSO), Rein *et al.* (2005) incluyen el periodo entre *ca.* 300 y 1200 AD en una etapa de mayor número de eventos positivos en la costa peruana; si tenemos en cuenta que en las depresiones intermontanas del Noroeste Argentino, estos eventos adquieren signo contrario, correspondería en nuestra zona a una etapa árida (Garreaud *et al.*, 2003; Trauth *et al.*, 2003). A la vista de estos datos, posiblemente fue la combinación de estos ciclos climáticos secos junto con la excesiva actividad antrópica y la presión demográfica lo que facilitó los procesos de degradación ambiental que condujeron a la generación de la unidad H2.

Con posterioridad al colapso de la cultura Tafí, cuyos últimos datos se sitúan en 1040 ± 20 BP (957-811 cal BP) (Roldán *et al.*, 2016), las noticias sobre los asentamientos del Periodo de Desarrollos Regionales son escasos en el valle, apareciendo las primeras dataciones de asentamientos de la cultura Santa María en torno a 656 BP (Manasse, 2011). Y sobre el final de la formación de la unidad H2 únicamente conocemos un punto que aporta información al respecto, en el río La Puerta, al NE de Tafí del Valle. El perfil existente (Fig. 8) muestra una acumulación de la etapa H2 correspondiente a una ladera, con una canal conteniendo carbones, uno de los cuales (TA-4) se dató con 14C en 630 ± 30 BP (646-535 cal BP, 1304-1415 cal AD) (Tabla 1). Junto a los carbones aparecieron fragmentos de cerámica del Periodo de Desarrollos Regionales (*ca.* 1000-1490 AD) de los tipos *Famabalasto negro inciso* y *Santa María bicolor* (Fig. 8). Por lo cual, podemos considerar que el final de la acumulación de H2 se produciría al menos en torno a estas fechas.

También es importante constatar la presencia de una nueva capa de cenizas a techo de esta formación (V2) (Fig. 7b), que por su posición son posteriores a las fechas de las cerámicas TA-2 y TA-3, es decir post-siglo IV. De momento, no tenemos más datos acerca de la erupción que la generó, pero con toda seguridad es muy posterior a esas fechas como se ha observado en el cercano Valle de Santa María por Sampietro Vattuone *et al.* (en este volumen), ya que allí también aparecen incluidas en la unidad morfo-sedimentaria H3.

**Las Unidades morfo-sedimentarias H3 y H4.** Una nueva fase de incisión se instaló sobre la unidad H2, que podemos considerar continúa activa hasta la actualidad, aunque con interrupciones sedimentarias cortas en las que se formaron en su interior las unidades morfo-sedimentarias H3 y H4 (Fig. 6). Esta etapa de profundización fluvial sería posterior a la fecha más reciente del nivel 3 (630 ± 30 BP; 646-535 cal BP) (Tabla 1), y probablemente incluso posterior a las ocupaciones pre-hispánicas. Como se ha indicado también para la anterior fase de incisión, podría relacionarse con un estadio más húmedo que favoreciera la concentración del drenaje, acompañado por procesos de regularización de las laderas, limitando por ello la cantidad de sedimentos disponibles para su transporte en la cuenca. Sampietro-Vattuone y Peña-Monné (2016) partiendo de diferentes *proxys* la sitúan en alguna de las fases de la Pequeña Edad del Hielo, posiblemente el Mínimo Maunder de insolación (1645-1715).

La unidad morfo-sedimentaria H3 tiene menor representatividad espacial que las anteriores y en general aparece espacialmente confinada en las incisiones de las unidades anteriores, especialmente la H2 (Figs. 2, 3). Está constituida por 1-1,5 m de sedimentos similares a los descritos en H1 y H2. A falta de dataciones, podemos considerar, dado su



**Figura 8.** Perfil estratigráfico mostrando las acumulaciones de finales de la etapa H2: (a) perfil longitudinal de la ladera con las unidades H1 y H2 y (b) corte estratigráfico con fragmentos cerámicos, fragmentos de hueso y carbones datados depositados en el relleno de un canal.

**Figure 8.** Stratigraphic profile showing the accumulations of the end of the H2 stage: (a) longitudinal profile of the slope with H1 and H2 units, and (b) stratigraphic profile with archaeological potsherds, bone fragments, and dated charcoals deposited in the fill of a channel.

contenido de fauna alóctona, que representa el tiempo posterior a los inicios del período hispánico (1535 AD) y seguramente aún después del primer cuarto del siglo XVIII. En el valle de Santa María, Peña-Monné *et al.* (2015) registran una fase de activación dunar en torno a 1770-1780 AD que relacionan con un periodo de sobreexplotación ganadera en los valles preandinos para proveer las minas de Potosí (Robledo, 2007). Este período es contemporáneo con una fase algo más seca, que debió favorecer la reactivación de los procesos erosivos dando lugar a la acumulación H3. Este nivel también fue incidido posteriormente entre 1 y 2,5 m y en algunos puntos de su interior llegó a formarse la fase H4. Esta aparece restringida a lóbulos de meandros, pequeñas terrazas dentro de la incisión formadas principalmente por eventos de *debris flow* que crean un fondo de bloques en disposición caótica. En este último caso se dificulta localmente el flujo del agua lo que favorece la ampliación lateral del canal en esos puntos.

## Conclusiones

El valle de Tafí ofrece una de las secuencias morfosedimentarias holocenas más completas del Noroeste Argentino, que cubre los últimos 12000 años. La secuencia se compone de unidades morfosedimentarias agradativas con un funcionamiento acoplado de laderas, valles y conos aluviales, separadas por fases de incisión que generan bruscas rupturas dinámicas. Estos registros sedimentarios son consecuencia de la fuerte sensibilidad del paisaje del valle a los cambios climáticos y la actividad humana. La secuencia holocena se compone de 4 unidades morfosedimentarias, que hemos caracterizado por su duración temporal y su significado paleoambiental.

La primera unidad morfosedimentaria (H1) se ha interpretado como resultado de cambios en la dinámica geomorfológica debido a fluctuaciones climáticas, generando una importante fase agradativa, compuesta por dos etapas. Comenzó con sedimentos característicos de condiciones climáticas húmedas (subunidad H1a), que abarcan la primera parte del Holoceno inferior (*ca.* 13000-10000 BP). Tras un evento de cenizas volcánicas (V0), situado cronológicamente en *ca.* 10000 BP, la sedimentación pasó a características más propias de ambientes áridos (subunidad H1b) que hay que situar entre *ca.* 10000 y *ca.* 4200 AP, fecha ésta última marcada por una nueva llegada de cenizas volcánicas (V1) y el inicio de una dinámica de incisión. Así pues, esta segunda fase H1b abarcaría parte del Holoceno inferior y todo el Holoceno medio. Hasta la fecha, en el conjunto H1 no

se han encontrado elementos indicadores de actividad antrópica en todo el valle de Tafí.

La unidad morfosedimentaria H2 se inicia tras la incisión desencadenada por causas climáticas con posterioridad a las cenizas V1. La presencia de un paleosuelo intercalado, cuya cronología está en *ca.* 2500 BP permite afirmar además que se iniciaría esta fase acumulativa entre *ca.* 4200 BP y *ca.* 2500 BP y abarcaría al menos hasta 646-535 cal BP cubriendo tanto el Periodo Formativo (Cultura Tafi) como el de Desarrollos Regionales (Cultura Santa María). La presencia constante de restos arqueológicos en los perfiles analizados, tanto *in situ* como transportados por la dinámica de laderas y cursos fluviales parece relacionar la actividad antrópica como la causa del desencadenamiento gradual de altas tasas erosivas al aumentar la presión demográfica y la sobreexplotación del valle, aunque todo ello en un ambiente más seco a partir de 2500 BP y especialmente en torno a *ca.* 1000 AD, según los datos existentes a nivel regional y local.

Las unidades morfosedimentarias H3 y H4 son de menor importancia y extensión. Se conformaron tras una nueva fase de incisión posterior al final de las acumulaciones H2 (646-535 cal BP). La unidad H3 se ha puesto en relación con eventos agradativos debidos a fluctuaciones climáticas durante la Pequeña Edad del Hielo y con momentos de sobreexplotación ganadera del siglo XVIII. Finalmente la unidad H4 es el resultado de una posterior incisión seguida de eventos locales de *debris flow* de época reciente.

## Agradecimientos

CONICET Proyecto Cooperación Internacional R996 profesores invitados. Programa Ibercaja-CAI Estancias Investigación CH12/15. Proyecto MINECO HAR2015-65620-P. Proyecto PIUNT G629. Trabajo realizado en el ámbito del Grupo de Investigación Paleoambientes del Cuaternario (PALEOQ) del Gobierno de Aragón y Fondo Europeo de Desarrollo Regional.

## Referencias

Ackermann, O., Greenbaum, N., Bruins, H., Porat, N., Bar-Matthews, M., Almogi-Labin, A., Schilman, B., Ayalon, A., Horwit, L.K., Weiss, E. and Maeir, A.M. 2014. Palaeoenvironment and anthropogenic activity in the southeastern Mediterranean since the mid-Holocene: The case of Tell es-Safi/Gath, Israel. *Quaternary International*, 328-329, 226-243.



- Alley, R.B. 2000. The Younger Dryas cold interval as viewed from central Greenland. *Quaternary Science Review*, 19, 213-226.
- Aniya, M. 2013. Holocene glaciations of Hielo Patagónico (Patagonia Icefield), South America: a brief review. *Geochemical Journal*, 47, 97-105.
- Báez, W., Arnosio, M., Chiodi, A., Ortíz-Yañes, A., Viramonte, J.G., Bustos, E., Giordano, G. and López, J.F. 2015. Estratigrafía y evolución del Complejo Volcánico Cerro Blanco, Puna Austral, Argentina. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 32 (1), 29-49.
- Barberena, R., Méndez, C. and de Porras, M.E. 2017. Zooming out from archaeological discontinuities: The meaning of mid-Holocene temporal troughs in South American deserts. *Journal of Anthropological Archaeology*, 46, 68-81
- Bellin, N., Vanacker, V. and De Baets, S. 2013. Anthropogenic and climatic impact on Holocene sediment dynamics in SE Spain: A review. *Quaternary International*, 308-309, 112-129.
- Bond, G., Showers, W., Cheseby, M., Lotti, R., Almasi, P., deMenocal, P., Priore, P., Cullen, H., Hajdas, I. and Bonani, G. 1997. A pervasive millennial-scale cycle in north Atlantic Holocene and glacial climates. *Science*, 278, 1257-1266.
- Brückner, H. 1986. Man's impact on the evolution of the physical environment in the Mediterranean region in historical times. *GeoJournal*, 13 (1), 7-17.
- Brunsdon, D. 1993. The persistence of landforms. *Z. Geomorphologie*, 93, 14-28.
- Cabrera, A.L., 1976. *Enciclopedia Argentina de agricultura y jardinería*. Editorial ACME. Buenos Aires, 238 pp.
- Collantes, M.M. 2001. *Paleogeomorfología y Geología del Cuaternario de la cuenca del río Tafí, Depto. Tafí del Valle, Prov. de Tucumán, Argentina*. Tesis doctoral inédita. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta. Argentina, 230 pp.
- Collantes, M. M. 2007. Evolución morfogenética y paleoambiental del valle de Tafí durante el Pleistoceno tardío y Holoceno. In: Arenas, P., Manasse, B. and Noli, E. (eds.), *Paisajes y procesos sociales en Tafí del Valle. Tucumán. Argentina*. Magna Publicaciones, 261-288.
- Constante, A. and Peña-Monné, J.L. 2009. Human-induced erosion and sedimentation during the Holocene in the Central Ebro Depression, NE Spain. Murcia, Spain. In: Romero, A., Belmonte, F., Alonso, F. and López-Bermúdez, F. (eds.), *Advances in Studies on Desertification*. Universidad de Murcia, 207-210.
- Constante, A., Peña-Monné, J.L., Muñoz, A. and Picazo, J.V. 2011. Climate and anthropogenic factors affecting alluvial fan development during the late Holocene in the central Ebro Valley, northeast Spain. *The Holocene*, 21, 275-286.
- Espizúa, L.E. 2005. Holocene glacier chronology of Valenzuela Valley, Mendoza Andes, Argentina. *The Holocene*, 15 (7), 1079-1085.
- Faust, D., Zielhofer, C., Escudero, R.B. and del Olmo, F.D. 2004. High-resolution fluvial record of late Holocene geomorphic change in northern Tunisia: climate or human impact? *Quaternary Science Reviews*, 23, 1757-1775.
- Fernández-Turiel, J.L., Saavedra, J., Pérez-Torrado, F.J., Rodríguez-González, A., Alias, G. and Rodríguez-Fernández, D. 2012. Los depósitos de ceniza volcánica del Pleistoceno superior-Holoceno de la región de Tafí del Valle-Cafayate, Noroeste de Argentina. *Geo-Temas*, 13, CD 07-279P, 3pp.
- Fernández-Turiel, J.L., Saavedra, J., Pérez-Torrado, F.J., Rodríguez-González, A., Carracedo, J.C., Osterrieth, M., Carrizo, J.I. and Esteban, G. 2013. The largest Holocene eruption of the Central Andes found, *AGU Fall Meeting*, San Francisco, USA.
- Fuchs, M. 2007. An assessment of human versus climatic impacts on Holocene soil erosion in NE Peloponnese, Greece. *Quaternary Research*, 67, 349-356.
- Gayo, E.M., Latorre, C., Santoro, C.M., Maldonado, A. and De Pol-Holz, R. 2012. Hydroclimate variability in the low-elevation Atacama Desert over the last 2500 yr. *Climate of the Past*, 8, 287-306.
- Garralla, S. 2002. Palinología del perfil El Molle, Holoceno del Valle de Tafí, Provincia de Tucumán. *VIII Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía*, Argentina 1-3.
- Garralla, S., Muruaga, C. and Herbst, R. 2001. Lago El Rincón, Holoceno del departamento de Tafí del Valle, provincia de Tucumán (Argentina): palinología y facies sedimentarias. *Publicación especial-Asociación paleontológica Argentina*, 91 - 99.
- Garreaud, R.D., Vuille, M. and Clement, F. 2003. The climate of the Altiplano: observed current conditions and mechanisms of past changes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 194, 5-22.
- González, O.E. 1997. Geología de La Angostura, valle de Tafí, Tucumán. *XIV Congreso Geológico Argentino*, 1, 283-286.
- Gutierrez, A.A. and Mon, R. 2004. Megageomorfología del valle de Tafí-Aconquija, Tucumán. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59(2), 303-311.
- Harvey, A.M. 2001. Coupling between hillslopes and channels in upland fluvial systems: implications for landscape sensitivity, illustrated from the Howgill Fells, northwest England. *Catena*, 42, 225-250.
- Harvey, A.M. 2002. Effective timescales of coupling within fluvial systems. *Geomorphology*, 44, 175-201.
- Hermanns, R.L., Niedermann, S., Villanueva García, A. and Schellenberger, A. 2006. Rock avalanching in the NW Argentine Andes as result of complex interactions of lithologic, structural and topographic boundary conditions, climate change and active tectonics. In: Evans, S.G., Scarascia-Mugnozza, G., Strom, A. and Hermanns, R.L. (eds.), *Massive rock slope failure: new models for hazard assessment*, NATO Science Series, Kluwer, pp. 539-569.
- Hermanns, R.L. and Schellenberger, A. 2008. Quaternary tephrochronology helps define conditioning factors and triggering mechanisms of rock avalanches in NW Argentina. *Quaternary International*, 178, 261-275.
- Jomelli, V., Favier, V., Brunstein, D., Hoffman, G., and

- Francou, B. 2009. Fluctuations of glaciers in the tropical Andes over the last millennium and palaeoclimatic implications: a review. *Palaeogeographu, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 281, 269-282.
- Jomelli, V., Favier, V., Vuille, M., Braucher, R., Martin, L., Blard, P.-H., Colose, C., Brunstein, D., He, F., Khodri, M., Bourles, D., Leanni, L., Rinterknecht, V., Grancher, D., Francou, B., Ceballos, J.L., Francesca, H., Liu, Z. and Otto-Bliesner, B. 2014. A major advance of tropical Andean glaciers during the Antarctic Cold Reversal. *Nature*, 513 (7517), 224-228.
- Keefer, D.K., Moseley, M.E. and deFrance, S.D. 2003. 38 000-year record of floods and debris flows in the Ilo region of southern Peru and its relation to El Niño events and great earthquakes. *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 194(1-3), 41-77.
- Kemp, R.A., Toms, P.S., Sayago, J.M., Derbyshire, E., King, M. and Wagner, L. 2003. Micromorphology and OSL dating of the basal part of the loess-paleosol sequence at La Mesada in Tucumán province, Northwest Argentina. *Quaternary International*, 106-107, 111-117.
- Kemp, R.A., King, M., Toms, P., Derbyshire, E., Sayago, J.M. and Collantes, M.M. 2004. Pedosedimentary development of part of a Late Quaternary loess-paleosol sequence in northwest Argentina. *Journal of Quaternary Science*, 19, 567-576.
- Kilian, R. and Lamy, F. 2012. A review of Glacial and Holocene paleoclimate records from southernmost Patagonia (49-55°S). *Quaternary Science Reviews*, 53, 1-23.
- Kulemeyer, J.J., Lupo, L., Madozzo, M.C., Cruz, A., Cuenya, P., Maloberti, M., Cortés, G. and Korstanje, A. 2013. Desarrollo del paisaje holoceno en la cuenca de El Bolsón: gente y ambiente en procesos de cambio y estabilidad. *Diálogo Andino*, 41, 25-44.
- Kulemeyer, J.J., Cortés, R. and Lupo, L. 2015. Cambios del paisaje durante el Formativo en la región andina del NOA y Chaco. In: Korstanje, M.A., Lazzari, M., Basile, M., Bugliani, F., Lema, V., Pereyra Domingorena, L. and Quesada, M. (eds.) *Crónicas Materiales Precolombinas. Arqueología de los primeros poblados del Noroeste Argentino*, Sociedad Argentina de Antropología, pp. 465-484.
- Maldonado, M.G., Cordoní, A., Neder, L. and Sampietro Vattuone, M.M. 2012. Uso del espacio geomorfológico y paleoambiente durante el período agroalfarero prehispánico (Vertiente oriental de la Sierra de Quilmes). *V Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología*, Córdoba, Argentina 318-321.
- Maldonado, M.G., SampietroVattuone, M.M., Blasi, A.M., Roldán, J., Draganits, E. and Cordoní, A.J. 2016. Patrones de ocupación regional prehispánicos (ca. 100-1535 ad) en la vertiente oriental de la sierra de Quilmes (Noroeste Argentino). In: SampietroVattuone, M.M. and Peña Monné, J.L. (eds.), *Geoarqueología de los Valles Calchaquíes*. Laboratorio de Geoarqueología, 121-144.
- Manasse, B. 2011. *Arqueología en el Borde Andino del Noroeste Argentino: Sociedades del Último Milenio en el Valle de Tafí, Prov. de Tucumán – República Argentina*. Tesis Doctoral Inédita. Facultad de Ciencias Naturales - Universidad Nacional de la Plata. Argentina. 356 pp.
- Manners, R.B., Magilligan, F.J. and Goldstein, P.S. 2007. Floodplain development, El Niño, and cultural consequences in a hyperarid Andean environment. *Annals of the Association of American Geographers*, 97(2), 229-249.
- Marchand, D.R., and Hooghiemstra, H. 2004. Rapid environmental change in African and South American tropics around 4,000 years before present: A review. *Earth-Science Reviews*, 66, 217-260.
- May, J.H., Zech, R., Schellenberger, A., Kull, C. and Veit, H. 2011. Quaternary environmental and climate changes in the Central Andes. In: Salfity, J.A. and Marquillas, R.A. (eds.), *Cenozoic Geology of the Central Andes of Argentina*, SCS Publications, pp. 247-263.
- Mayewski, P.A., Rohling, E.E., Stager, J.C., Karlén, W., Maasch, K.A., Meeker, L.D., Meyerson, E.A., Gasse, F., Kreveld, S.V., Holmgren, K., Lee-Thorp, J., Rosqvist, G., Rack, F., Staubwasser, M., Schneider, R.R. and Steig, E.J. 2004. Holocene climate variability. *Quaternary Research*, 62 (3), 243-255.
- Muvaney, R., Abram, N.J., Hindmarsh, R.C.A., Aeeowsmith, C., Fleet, L., Triest, J., Sime, L.C., Alemany, O. and Foord, S. 2012. Recent Antarctic Peninsula warming relative to Holocene climate and ice-sheet history. *Nature Letter Research*, 489, (7414), 141-144.
- Ortiz, P.E. and Jayat, J.P. 2007. Sigmodontinos (Rodentia: Cricetidae) del límite Pleistoceno-Holoceno en el valle de Tafí (Tucumán, Argentina): Taxonomía, tafonomía y significación paleoambiental. *Ameghiniana*, 44(4), 641-660.
- Peña Monné, J. L. 1997. *Cartografía geomorfológica básica y aplicada*. Geofoma Ediciones, España, pp. 227.
- Peña-Monné, J.L., Julián, A., Chueca, J., Echeverría, M.T. and Ángeles, G.R. 2004. Etapas de evolución holocena en el valle del río Huerva: Geomorfología y Geoarqueología. In: Peña-Monné, J.L., Longares, L.A. and Sánchez-Fabre, M. (eds.) *Geografía Física de Aragón. Aspectos generales y temáticos*. Universidad de Zaragoza e Institución Fernando el Católico, Zaragoza, pp. 289-302.
- Peña Monné, J.L. and SampietroVattuone, M.M. 2016. La secuencia paleoambiental holocena de la vertiente oriental de Loma Pelada (Valle de Tafí, Noroeste Argentino): cambios climáticos y acción humana). In: SampietroVattuone, M.M. and Peña Monné, J.L. (eds.), *Geoarqueología de los Valles Calchaquíes*. Laboratorio de Geoarqueología, 23-64.
- Peña-Monné, J.L., Sancho-Marcén, C., Sampietro-Vattuone, M.M., Rivelli, F., Rhodes, E.J., Osacar-Soriano, M.C., Rubio-Fernández, V. and García-Giménez, R. 2015. Environmental change over the last millennium recorded in the Cafayate Dune field (NW Argentina). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 438, 352-363.
- Pérez-Lambán, F., Peña-Monné, J.L., Fanlo, J., Picazo, J.V., Badia, D., Rubio, V., García-Jiménez, R. and Sampietro-Vattuone, M.M. 2014. Paleoenvironmental and geoarchaeological reconstruction from late Holocene slope

- records (Lower Huerva Valley, Ebro Basin, NE Spain). *Quaternary Research*, 81, 1-14.
- Rasmussen, S.O., Vinther, B.M., Clausen, H.B. and Andersen, K.K. 2007. Early Holocene climate oscillations recorded in three Greenland ice cores. *Quaternary Science Reviews*, 26 (15–16), 1907-1914.
- Rein, B., Luckge, A., Reinhardt, L., Sirocko, F., Wolf, A. and Dullo, W.C. 2005. El Niño variability of Peru during the last 20,000 years. *Paleoceanography*, 20, PA4003.
- Robledo, N.B. 2007. El potrero de Tafí y su inserción en el circuito mercantil (siglos XVII y XVIII). In: Arenas, P., Manasse, B. and Noli E. (eds.), *Paisajes y procesos sociales en Tafí del Valle*, Tucumán, Argentina, 199 – 214.
- Roldán, J. 2014. *Agricultura y geoquímica de suelos prehispánicos en valles Calchaquíes. Tucumán. Argentina*. Tesis Doctoral, Repositorio Documental Universidad Nacional de Tucumán, Argentina, 09/11/16, <http://www.repositorio.unt.edu.ar/handle/11327/131>.
- Roldán, J., Maldonado, M.G., Urquiza, S., Vattuone, M.A. and Sampietro Vattuone, M.M. 2016. Suelos antrópicos vs. naturales: La Costa 2 (Valle de Tafí-Tucumán). *Arqueología*, 22, 127-148.
- Ruiz Huidobro, O. J. 1972. *Descripción Geológica de la hoja 11e, Santa María, Provincias de Catamarca y Tucumán*. Dirección Nacional de Minería, Boletín 134, Buenos Aires, 28 pp.
- Sampietro Vattuone, M.M. 1999. Propuesta para un modelo climático del Formativo en el valle de Tafí. *XIII Congreso Nacional de Arqueología*, 30-31.
- SampietroVattuone, M.M. 2002. *Contribución al conocimiento geoarqueológico del Valle de Tafí, Tucumán (Argentina)*. Tesis Doctoral. Repositorio Documental Universidad Nacional de Tucumán. Argentina, 22/02/2016, <http://www.repositorio.unt.edu.ar/handle/11327/128>.
- Sampietro Vattuone, M.M. 2010. *Espacio, ambiente y los inicios de la agricultura indígena en el noroeste argentino: Un enfoque geoarqueológico*. Editorial JAS, España, 210 pp.
- Sampietro Vattuone, M.M. and Neder, L. 2011. Quaternary Landscape Evolution and Human Occupation in Northwest Argentina. *Geological Society of London*, 352, 37-47.
- Sampietro-Vattuone, M.M. and Peña-Monné, J.L. 2016. Geomorphological dynamic changes during the Holocene through ephemeral stream analyses from Northwest Argentina. *Catena*, 147, 663-677.
- SampietroVattuone, M.M., Peña Monné, J.L., Báez, W., Ortíz, P. and Aguirre, M.G. 2016. Unidades morfosedimentarias holocenas en la quebrada de La Angostura (Valle de Tafí, Noroeste Argentino). In: SampietroVattuone, M.M. and Peña Monné, J.L. (eds.), *Geoarqueología de los Valles Calchaquíes*. Laboratorio de Geoarqueología, 3-22.
- Sayago, J.M. and Collantes, M.M. 1991. Evolución paleogeomorfológica del valle de Tafí (Tucumán, Argentina) durante el Cuaternario Superior. *Bamberger Geographische Schriften* 11, 109-24.
- Sayago, J.M., Collantes, M.M. and Arcuri, C. 1991. El glaciarrismo Finpleistoceno-Holoceno y su relación con los depósitos clásticos pedemontanos en la región montañosa de Tucumán (Argentina). *Bamberger Geographische Schriften* 11, 155-168.
- Sayago, J.M., Powell, J., Collantes, M.M. and Neder, L. 1998. El Cuaternario. In: Gianfrancisco, M., Puchulu, M.E., Durango de Cabrera, J. and Aceñolaza G.F. (eds.) *Geología de Tucumán. Publicación Especial Colegio Graduados Ciencias Geológicas de Tucumán*, Argentina, 111-128.
- Schellenberger, A., Heller, F. and Veit, H. 2003. Magnetostratigraphy and magnetic susceptibility of the Las Carreras loess-paleosol sequence in Valle de Tafí, Tucumán, NW-Argentina. *Quaternary International* 106–107, 159-167.
- Sesma, P.J., Guido, E.Y. and Puchulu, M.E. 1998. Clima de la provincia de Tucumán. In: Gianfrancisco, M., Puchulu, M.E., Durango de Cabrera, J. and Aceñolaza G.F. (eds.) *Geología de Tucumán*. Publicación Especial Colegio Graduados Ciencias Geológicas de Tucumán, Argentina 41-46.
- Solomina, O., Bradley, R.S., Hodgson, D.A., Ivy-Ochs, S., Jomelli, V., Mackintosh, A.N., Nesje, A., Owen, L.A., Wanner, H., Wiles, G.C. and Young, N.E. 2015. Holocene glacier fluctuations. *Quaternary Science*, 111, 9-34.
- Soria, M.F. 1989. El primer Notoungulata de la Formación Río Loro (Paleoceno medio), provincia de Tucumán, República Argentina. *Ameghiniana*, 26(3-4), 145-151.
- Tchilinguirian, P. and Morales, M.R. 2013. Mid-Holocene paleoenvironments in Northwestern Argentina: main patterns and discrepancies. *Quaternary International*, 307, 14-23.
- Tchilinguirian, P. and Olivera, D. 2005. Evolución paleoambiental e implicancias geoarqueológicas en Laguna Colorada, Puna Catamarqueña, Argentina. XVI Congreso Geológico Nacional, 4, 261-268.
- Thompson, L.G., Mosley-Thompson, E., Brecher, H., Davis, M., Leon, B., Les, D., Lin, P.N., Mashiotta, T. And Mountain, K., 2006. Abrupt tropical climate change: past and present. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 103, 10536-10543.
- Thompson, L.G., Mosley-Thompson, E. and Henderson, K.A. 2000. Ice-core palaeoclimate records in tropical South America since the Last Glacial Maximum. *Journal of Quaternary Science*, 15(4), 377-394.
- Trauth, M.H., Bookhagen, B., Müller, A.B. and Strecker, M.R. 2003. Late Pleistocene climatic change and erosion in the Santa Maria Basin, NW Argentina. *Journal of Sedimentary Research*, 73, 82-90.
- Van Geel, B., Buurman, J. and Waterbolk, H. 1996. Archaeological and palaeoecological indications of an abrupt climate change in the Netherlands, and evidence for climatological teleconnections around 2650 BP. *Journal of Quaternary Science*, 11(6), 451–460.
- Walker, M.J.C., Berkelhammer, M., Björck, S., Cheng, H., Cwynar, L.C., Fisher, D.L., Gkinis, V., Long, A.J., Lowe, J.J., Newnham, R.M., Rasmussen, S.O. and Weiss, H. 2015. Formal subdivision of the Holocene Series/Epoch: Three Proposals by a Working Group of INTIMATE (Integration of Ice-core, Marine and terrestrial records)



- Members and the Suncommission on Quaternary Stratigraphy, 42 pp.
- Wanner, H., Beer, J., Bütikofer, J., Crowley, T.J., Cubasch, U., Flückiger, J., Goosse, H., Grosjean, M., Joos, F., Kaplan, J.O., Küttel, M., Müller, S., Prentice, I.C., Solomina, O., Stocker, T.F., Tarasov, P., Wagner, M. and Widmann, M. 2008. Mid- to late Holocene climate change: an overview. *Quaternary Science Review*, 27, 1791-1828.
- Wanner, H., Solomina, O., Grosjean, M. and Ritz, S.P. 2011. Structure and origin of Holocene cold events. *Quaternary Science Reviews*, 30, 3109-3123.
- Zielhofer, C., Faust, D. and Linstadter, J. 2008. Late Pleistocene and Holocene alluvial archives in the Southwestern Mediterranean: changes in fluvial dynamics and past human response. *Quaternary International*, 181, 39-84.

Recibido: junio 2017

Revisado: diciembre 2017

Aceptado: febrero 2018

Publicado: diciembre 2018

