



## EFFECTOS ANTRÓPICOS DE USO DE SUELOS DURANTE EL FORMATIVO EN EL VALLE DE TAFÍ (TUCUMÁN- ARGENTINA)

### *PEDOLOGIC EFFECTS OF CULTIVATION OF FIELDS DURING THE FORMATIVE PERIOD TAFÍ VALLEY (TUCUMÁN-ARGENTINA)*

*Jimena Roldán<sup>1</sup>, María Marta Sampietro Vattuone<sup>1</sup>,  
Liliana del Valle Neder<sup>2</sup> y Marta Amelia Vattuone<sup>3</sup>*

Las escasas evidencias sobre la economía de subsistencia de la cultura Tafi (siglos I al IX d.C.) condujeron a la utilización de métodos provenientes de las ciencias geológicas, de limitada aplicación en el campo de la arqueología andina. Con el fin de determinar indicadores geoquímicos generados por el uso agrario sostenido de los suelos, se realizaron estudios químicos y pedológicos en paleosuelos prehispánicos (habitacionales y agrícolas) en el sitio Formativo El Tolar ubicado en el valle de Tafi (Tucumán-Argentina). Los resultados obtenidos muestran que dicho paleosuelo, contemporáneo a la ocupación del sitio, presenta diferencias claras entre los suelos sometidos a actividades agrícolas y aquellos propios de estructuras residenciales. Los análisis efectuados en los primeros señalan suelos bien desarrollados para la producción agrícola. Las concentraciones edáficas de fósforo orgánico y cobre indican la probabilidad del uso de fertilizantes.

**Palabras claves:** geoarqueología, agricultura prehispánica, pedología, química de suelos, período Formativo, cultura Tafi.

*The scarcity of evidence about the subsistence economy of Tafi culture (I to IX century A.D.) indicated geochemical analyses, derived from pedological and geological science, which had previously seen little use in the archaeology of the Southern Andes. To identify geochemical signatures resulting from cultivation of Formative fields, at the site of El Tolar in the Tafi valley (Tucumán-Argentina), comparative chemical and pedological analyses were made of the agricultural and residential soils. The results show that agrarian and residential soils, from the same periods of use, differed markedly. Paleosols from the agricultural fields were well developed. High levels of organic phosphorous and iron probably reflect the deliberate application of fertilizers.*

**Key words:** Geoarchaeology, Prehispanic agriculture, pedology, soil chemistry, Formative Period, Tafi culture.

El desarrollo sociocultural de la población prehispánica formativa Tafi estuvo íntimamente relacionado con la explotación de los recursos naturales aprovechables de su medio ambiente. A partir de un sistema económico agrícola-ganadero, esta sociedad incorpora características tales como mayor grado de sedentarismo y la utilización de tecnologías particulares.

Sus asentamientos en el valle de Tafi se caracterizan por una prolongada continuidad temporal. Esta ocupación se vio interrumpida a fines del siglo IX d.C. Una de las hipótesis planteadas como

motivo de su colapso el agotamiento de los suelos sometidos a actividad agrícola, provocando una crisis alimenticia que obligó a este pueblo a abandonar el citado valle (Sampietro Vattuone 1994). Sin embargo, los resultados obtenidos en este trabajo demuestran que los suelos se presentan en óptimas condiciones para el cultivo.

En términos generales, para estudiar estos sistemas económicos es necesario el buen registro material de las actividades desarrolladas. En el caso de la agricultura, las herramientas utilizadas, como así también sus estructuras, son excelentes

<sup>1</sup> CONICET. INGENA. Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo. Universidad Nacional de Tucumán, Argentina. jimena\_rolدان@yahoo.com; sampietro@tucbbs.com.ar

<sup>2</sup> CIUNT. INGENA. Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo. Universidad Nacional de Tucumán, Argentina. linede@csnat.unt.edu.ar

<sup>3</sup> CONICET. Instituto de Estudios Vegetales. Facultad de Bioquímica, Química y Farmacia. Universidad Nacional de Tucumán, Argentina. sampietro@tucbbs.com.ar

indicadores. A pesar de ello, en la actualidad se han incorporado métodos y técnicas de análisis más directos, provenientes de otras disciplinas, que permiten conocer la dinámica de la actividad agrícola. Por ejemplo, el manejo y explotación de los suelos a partir de la incorporación de abono orgánico para el mantenimiento y la construcción de sistemas de andenería para mejorar las condiciones del terreno y aprovechar al máximo sus recursos.

Se parte de un enfoque distinto al considerar al suelo como un artefacto arqueológico y no como la matriz en la cual un objeto fue hallado (Sampietro Vattuone 2007). Para determinar el tipo de actividad realizado en distintos contextos dentro de un mismo sitio arqueológico se estudian las diferencias de composición y desarrollo entre suelos agrícolas y residenciales.

Por lo tanto, basándonos en lo antedicho, el objetivo de este trabajo es determinar los indicadores geoquímicos producidos por el uso agrario sostenido de los suelos, durante el Formativo, en el sitio arqueológico El Tolar (valle de Tafí-Tucumán-Argentina).

La importancia de este trabajo radica en el enfoque y la metodología empleada. El mismo constituye una de las primeras aproximaciones sistemáticas (en el campo de la arqueología Argentina) orientadas a determinar las alteraciones introducidas por el hombre en suelos Prehispánicos por efecto de las prácticas agrícolas.

### Área de Estudio

El presente estudio se desarrolló en un sitio arqueológico del valle de Tafí (Tucumán-Argentina). Este valle está ubicado entre los  $26^{\circ} 45'$  y  $26^{\circ} 58'$  de latitud sur y  $65^{\circ} 39'$  y  $65^{\circ} 48'$  de longitud oeste. Es una cuenca tectónica alargada en dirección norte-sur, cuya superficie total es de  $450 \text{ km}^2$ , donde  $150 \text{ km}^2$  corresponden al fondo de valle, que se ubica entre los 1.800 y 2.500 msnm, con una pendiente media de dirección N-S que alcanza el 18,8% (Bolsi et al. 1992). Dentro del citado valle se tomó como área de muestreo el sitio arqueológico El Tolar, situado entre los  $26^{\circ} 48' 21''$  y  $26^{\circ} 52' 14''$  de latitud sur y  $65^{\circ} 42' 8''$  y  $65^{\circ} 46' 53''$  de longitud oeste (Figura 1), se encuentra

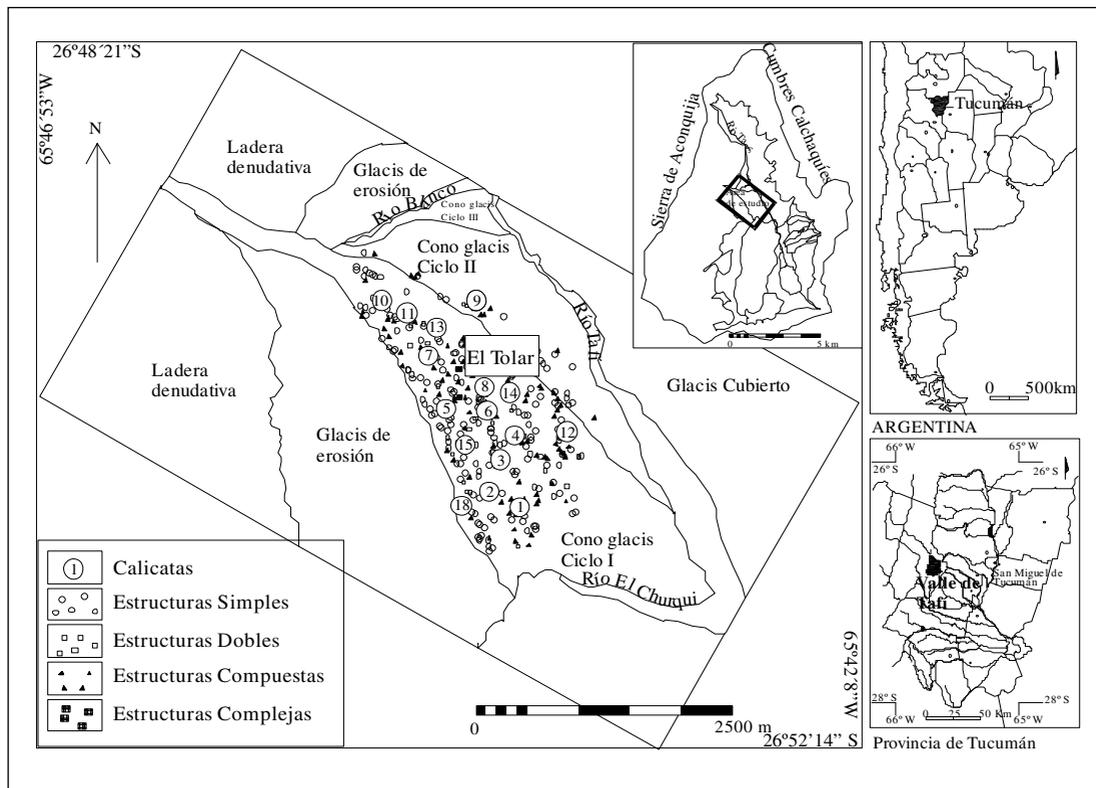


Figura 1. Mapa de ubicación del sitio arqueológico El Tolar.  
Map locating El Tolar archaeological site.

al occidente del valle, en el piedemonte de las Sierras del Aconquija (Sampietro y Sayago 1998).

Geomorfológicamente, se trata de un cono glacis cuya evolución se inicia en el Pleistoceno Tardío con la depositación de sedimentos loésicos alternantes con intervalos de desarrollo pedogenético en períodos más húmedos y más cálidos (Sayago et al. 2001). En su desarrollo morfogenético se distinguen tres ciclos depositacionales cenoglomerádicos, diferenciados por su distribución espacial y características morfogenéticas, siendo el primero el que cubre gran parte del área marcando el clímax de las condiciones periglaciares que le dieron origen (Sampietro y Sayago 1998). La clara presencia de un paleosuelo, coincidente con el nivel de ocupación formativo, denota el período de estabilidad en el que se encontraba la geoforma al momento de la ocupación (Sampietro Vattuone 2002).

### Antecedentes

#### La cultura Tafí

Los menhires y recintos de piedra, pertenecientes al registro arqueológico de la población prehispánica Tafí, son conocidos desde los primeros trabajos de investigación llevados a cabo en el NOA (Ambrosetti 1897; Bennett et al. 1948; Lafone Quevedo 1902). Recién en el año 1960 se realizaron trabajos de excavación intensivos en el valle que permitieron precisar con propiedad la cultura Tafí (González y Núñez Regueiro 1960).

El registro arqueológico obtenido a través de los años permitió definir a la citada cultura a partir de su escultórica lítica (menhires y máscaras de piedra), patrón de asentamiento (estructuras circulares de piedra aisladas o adosadas a un patio central, en un número variable, que ocasionalmente formaban conjuntos más complejos y estructuras agrícolas que comprendían canchones o andenes de cultivo) y centro ceremonial (montículo asociado a menhires en el sitio Casas Viejas, El Mollar) (Berberían et al. 1988; Sampietro Vattuone 1994, 2002; Tartusi y Núñez Regueiro 1993).

La cultura Tafí abarca un espacio temporal importante, los fechados radiocarbónicos obtenidos hasta el momento la ubican entre el siglo I y IX d.C. (Berberían et al. 1988; González y Núñez Regueiro 1960; González 1965; Sampietro Vattuone 1999). Al ser éste un lapso temporal prolongado se produjeron modificaciones que se manifiestan a nivel tecnológico

y económico. Esto llevó a la consideración de dos momentos en el desarrollo de esta cultura denominados Tafí I o La Angostura (siglos I al IV d.C.) y Tafí II o Carapunco (siglos VII al X d.C.) (Núñez Regueiro y García Azcárate 1996).

El sedentarismo, característico de esta sociedad formativa, no le quitó la dinámica de movilidad intra e interregional propia de los grupos formativos del NOA. Ésta se manifiesta en las "influencias" recibidas de otras regiones andinas, como ser el altiplano boliviano (Tartusi y Núñez Regueiro 1993) y el norte de Chile (Domínguez Bella y Sampietro Vattuone 2002). También se hallaron rasgos propios de la cultura Tafí desde la Quebrada del Portugués hasta la llanura tucumana (Heredía 1975; Núñez Regueiro y García Azcárate 1996); en El Infiernillo al norte del valle asociado a restos de la cultura formativa Ciénaga (Caria et al. 2006; Oliszewski 2007); en el valle de La Ciénega asociados a restos de la cultura Candelaria (Bernasconi de García y Baraza de Fonts 1985, Cremonte 1996), y en el valle de Medina (Krapovickas 1968).

#### Paleoambiente y recursos vegetales

La diversidad ambiental que presenta el NOA permite inferir cual fue el potencial manejo del espacio y recursos que las poblaciones formativas efectuaron. Si bien en cada región hubo variantes climáticas y cada grupo humano tendió a tomar decisiones adaptativas diferentes frente a iguales condiciones, lo cierto es que las primeras poblaciones agrícolas-ganaderas aparecen tanto en la puna meridional argentina (3.000-2.500 cal. a.p.) (Olivera et al. 2004) como en el valle de Tafí (2.300-1.100 cal. a.p.) (Berberían et al. 1988, González y Núñez Regueiro 1960) en un momento en el cual las condiciones climáticas tendían a ser más cálidas y húmedas (Olivera et al. 2004; Sampietro Vattuone 1999; Tchilinguirian y Olivera 2000).

A estas condiciones le sucedió un período de extrema sequedad (aproximadamente hace 1.000 años), manifiesto por cambios en el registro polínico (Garralla 1999) y en la evolución paleopedológica (Sampietro Vattuone 1994, 2002; Sampietro y Sayago 1998; Sayago et al. 2001) en el caso de Tafí (1.000-800 cal. a.p.) contemporáneo al abandono de los sitios.

Hacia la misma época, en la puna se incorporaron nuevos criterios tecnológicos agrícolas mediante el riego artificial en terrenos de mayor

pendiente (Olivera et al. 2004; Tchlinguirian y Olivera 2000).

Un aspecto importante de la economía de subsistencia de estas sociedades formativas era el manejo del recurso vegetal, ya fuera domesticado o silvestre. En el área valliserrana se registra el cultivo de zapallo (tierras bajas), maíz, poroto y maní (altitudes medias) y probablemente pseudocereales y tubérculos microtéricos (altitudes elevadas), siendo el maíz el cultivo de mayor importancia para este período (Oliszewski 2004, 2007).

En el valle de Tafí se encontraron restos de chañar (*Geoffroea decorticans*), algarrobo negro y blanco (*Prosopis nigra* y *P. alba*), poroto (*Phaseolus vulgaris*) y maíz (*Zea mays*). Plantas silvestres, producto de la recolección, junto a plantas cultivadas (Carrizo et al. 1997).

### Sitio arqueológico El Tolar

Los primeros trabajos sistemáticos en el sitio El Tolar fueron realizados por Sampietro Vattuone a principio de la década de 1990. En los mismos se identificó un patrón de asentamiento agrícola, con estructuras residenciales distribuidas entre campos de cultivo aterrazados y un sistema de riego que permite el manejo sistemático del agua para toda la geoforma (Sampietro Vattuone 1994; Sampietro y Sayago 1998). La excavación parcial de una unidad residencial, sumada al patrón de asentamiento descrito y la datación radiocarbónica obtenida ( $1.560 \pm 35$  a.p.), permitieron asociarlo a la cultura Tafí (Sampietro Vattuone 2002; Sampietro y Vattuone 2005).

La ocupación de El Tolar se vio favorecida por la oferta hídrica proveniente de un río de carácter permanente (río Blanco) y un relieve relativamente suave (entre 8 y 13%, exposición SE) (Sampietro y Sayago 1998). Estos factores influyeron en la selección de la primitiva ocupación. Sin embargo, la extensión de la geoforma y probablemente el carácter espasmódico del aporte fluvial, exigieron la construcción de una vasta red de estructuras destinada tanto a la captación del escurrimiento superficial como a su control y derivación, además de construcciones orientadas a la atenuación de los procesos erosivos y estabilización de la pendiente del terreno (Sampietro Vattuone 2002).

Sin dejar de reconocer la influencia dominante de factores antrópicos (presión demográfica y disponibilidad alimenticia), no debería descartarse

como factor condicionante del abandono del sitio, la disminución de los caudales hídricos disponibles, así como modificaciones de tipo paleoclimáticas, registradas en los momentos póstumos de la ocupación (Sampietro Vattuone 2002).

En el área bajo estudio, la secuencia pedológica tipo aparece integrada por tres ciclos edáficos superpuestos. El segundo nivel edáfico, que habría constituido la superficie de ocupación prehispánica, está representado por un paleosuelo bien desarrollado, con horizontes iluviales relativamente potentes, microconcreciones de carbonatos concentradas cerca de los muros de contención de los andenes (denotando irrigación) y barnices con la misma tendencia de distribución. Ambos casos (microconcreciones de carbonato y barnices) demuestran que los muros de los andenes jugaron un rol importante en la retención de la humedad del suelo. La ausencia de los horizontes superficiales en paleosuelos fue interpretada como el resultado de la acción de procesos erosivos naturales (erosión hídrica y/o eólica) acelerados por acción antrópica, en la transición hacia el suelo actual (Sampietro y Sayago 1998; Sampietro Vattuone 2002).

Determinaciones pedogeoquímicas practicadas con anterioridad permitieron realizar un primer abordaje al estado de los suelos en el sitio. Se estableció que el fósforo inorgánico se encontraba agotado en los horizontes que componen el paleosuelo en zonas agrícolas, no sucediendo lo mismo en los perfiles intrahabitacionales (Sampietro Vattuone 2001, 2002).

### Métodos y Técnicas

En la consecución del objetivo propuesto (determinar los indicadores geoquímicos producidos por el uso agrario sostenido de los suelos) se realizaron excavaciones y sondeos arqueológicos en unidades habitacionales y agrícolas de distintos sectores, dentro del área de estudio, siguiendo un criterio geomorfológico y arqueológico.

Se tomó la unidad geomorfológica como área de muestreo debido a que representa una unidad ambiental básica, adecuada para discriminar cualidades y categorías de paisaje; posee génesis y evolución temporal común a toda su superficie y homogeneidad espacial dada por la recurrencia de elementos morfogénicos endógenos (Sayago y Collantes 1991). Esto permite la extrapolación de la información paleopedológica, paleoclimática,

litoestratigráfica y geocronológica obtenida y facilita una visión dinámica e integrada de la evolución paleoecológica, a partir de los esquemas evolutivos de la unidad (Sampietro Vattuone 2001).

Se excavaron ocho pozos de sondeo, dos dentro de estructuras residenciales (perfiles 5 y 7), cinco dentro de andenes de cultivo (perfiles 1 al 4 y 6) y un perfil testigo, representativo de la secuencia pedológica natural de la geoforma (perfil 8). Se utilizó el método de decapado horizontal, en niveles artificiales, teniendo en cuenta la información obtenida de los niveles naturales. En ellos, se describieron características edáficas, siguiendo las normas de reconocimiento de suelo propuestas por Etchevehere (1976). Posteriormente se tomaron muestras del sector central de cada horizonte para completar los análisis en laboratorio.

En las 32 muestras obtenidas se determinaron: el peso específico real (PER), por el método del picnómetro; peso específico aparente (PEA), por el método del terrón parafinado; porosidad a partir de PER y PEA; pH, por el método potenciométrico; textura, por el método de Bouyoucos y el carbono y materia orgánica, por el método de Walkey y Black (Cuenya y Puchulu 2000).

Entre los elementos analizados químicamente se determinaron macronutrientes, como el fósforo y calcio disponibles y micronutrientes: hierro, manganeso y cobre disponibles dado su valor diagnóstico y por tratarse de elementos activos en los procesos geoquímicos y bioarqueológicos (Buckman y Brady 1977).

Con el objeto de tener un indicador de actividad humana y sus características, se determinó el fósforo orgánico, dada su capacidad para asociarse rápidamente con otros elementos del suelo y mantenerse estable por largos períodos de tiempo (Terry et al. 2000).

El fósforo disponible fue determinado a partir del método de azul de molibdeno. Para fósforo total se aplicó este mismo método, previa digestión de la muestra con ácido sulfúrico. El fósforo orgánico fue estimado por diferencia entre ambos (Roldán et al. 2005).

El calcio se determinó por el método complejométrico utilizando EDTA Na<sub>2</sub> y murexida (Roldán et al. 2005). Los micronutrientes, hierro, cobre y manganeso, no sólo son el sustento y reguladores de determinadas funciones orgánicas de las plantas, sino que también ayudan en la adecuación de estos al medio. Estos micronutrientes han

adquirido importancia por su habilidad para formar complejos, desarrollando compuestos de síntesis denominados quelatos, los cuales se consideran en estado asimilable (Bohn et al. 1993).

El hierro disponible fue determinado extractándolo con acetato amónico-ácido acético y por reducción con clorohidrato de hidroxilamina, posteriormente se leyó la absorbancia en espectrofotómetro a 508 milimicrones de longitud de onda. El cobre disponible se determinó utilizando el mismo extractante que para hierro. Luego de tratarlo con EDTA Na<sub>2</sub> y citrato amónico fue titulado con rojo cresol y solución de amoníaco. Para separar la fase orgánica y eliminarla, se añadieron dietilditiocarbamato sódico y tetracloruro de carbonato. Luego se leyó a 440 milimicrones de longitud de onda. Finalmente, el manganeso fue tratado con acetato amónico neutro y luego de oxidar la materia orgánica con peróxido de hidrógeno y eliminar este último, se leyó la absorbancia con espectrofotómetro a 540 milimicrones de longitud de onda (Roldán et al. 2005).

## Resultados

Las descripciones pedológicas realizadas permitieron establecer que en la zona apical del cono glacis los suelos actuales muestran escaso espesor, encontrándose el paleosuelo de 13 a 19 cm de profundidad. En la zona media del cono el espesor del suelo actual es mayor y los paleosuelos se ubican a unos 20 o 40 cm debajo de la superficie.

En los cinco perfiles descritos en estructuras agrarias (perfiles 1 a 4 y 6) se encuentra erosionado el horizonte 2A, mientras que en los perfiles de las estructuras habitacionales (5 y 7) este horizonte está presente, aunque profundamente alterado por la actividad antrópica dado que funcionó como piso de ocupación (Sampietro y Sayago 1998; Sampietro Vattuone 2002; Sampietro y Vattuone 2005) (Tabla 1).

Los valores de peso específico real (PER) informan sobre los minerales que contiene el suelo y su valor patrón se ha estimado entre 2,6-2,75 para suelos que no presentan exceso de materia orgánica o metales pesados (Cuenya y Puchulu 2000).

En los horizontes superficiales de los paleosuelos los valores de PER son bajos en relación con el rango óptimo estimado (2,6-2,75) en la mayoría de los perfiles, oscilando entre 1,92 (alto contenido de materia orgánica) y 2,49. En los andenes de cultivo oscilan entre el 2,38 y 2,49, no mostrando

Tabla 1. Resultados obtenidos de los análisis físicos y químicos de los suelos.  
*Results obtained from physical and chemical analyses of the soils.*

Muestra	Prof. cm	PER	PEA	Porosidad %	pH	Textura	Materia orgánica %	Calcio ppm	Fósforo disponible ppm	Fósforo orgánico ppm	Hierro ppm	Manganeso ppm	Cobre ppm
Perfil 1	A	0-13	1,91	37,6	5,07	Franco arenoso	9,41	448896	161	7,353	48,75	14,75	9
	2B	13-25	2,49	36,9	5,35	Franco arenoso	4,8	360720	186	14,744	15,54	8,52	23
	2BC	25-50	2,44	38,5	6,29	Franco arenoso	4,46	761520	167	4,588	11,18	0,49	0,7
Perfil 2	A	0-19	2,62	41,9	5,74	Franco arenoso	7,34	601200	149	10,497	22,55	1,94	2,8
	2B	19-29	2,41	24	6,39	Franco arenoso	4,53	513024	149	7,186	11,18	1,11	0,3
	2BC	29-48	2,44	2,2	6,66	Franco arenoso	1,81	577152	211	6,051	10,12	2,65	200
Perfil 3	2C	48-70	2,44	34,4	7,13	Franco arenoso	1,25	384768	254	2,486	11	1,85	1
	A	0-18	2,1	42,3	5,81	Franco arenoso	6,18	480960	136	20,869	20,91	4,33	28
	2AB	18-40	2,4	43,7	6,13	Franco arenoso	4,6	577152	130	19,456	11,44	4,06	17
Perfil 4	2B	40-56	2,39	38,4	6,48	Franco arenoso	2,74	577152	174	3,770	7,26	3,4	28
	2C	56-70	2,58	22,8	6,87	Franco arenoso	1,43	408816	223	11,557	7,2	2,75	41
	A	0-16	2,20	29,5	5,78	Franco arenoso	5,63	448896	87	4,743	10,76	3,12	9,7
Perfil 5	2AB	16-28	2,38	42,4	6,19	Franco arenoso	4,6	577152	124	21,471	11,48	2,89	63
	2BC	28-42	2,42	37,1	6,67	Franco arcillo arenoso	3,01	641280	130	13,733	9,9	2,67	37
	3B	42-55+	2,48	39,1	6,9	Franco arcillo arenoso	1,24	513024	100	7,800	8,77	4,25	0
Perfil 6	A	0-5	2,09	33	5,68	Franco arcillo arenoso	6,8	721440	180	17,019	21	6,2	0
	AC	5-17	2,36	41,9	5,4	Franco arcillo arenoso	4,74	496992	100	16,610	16,06	5,86	0
	2A	17-27	2,36	46,6	6,22	Arcillo arenoso	4,46	769536	68	16,678	9,24	2,4	0
Perfil 7	A	0-21	1,87	33,1	5,56	Arcilloso	5,39	420840	143	26,108	28,12	7,46	0
	BC	21-40	2,44	36,8	6,44	Arcillo arenoso	2,53	577152	62	19,511	0,02	1,23	0
	2AB	40-59	2,45	44,4	6,73	Arcillo arenoso	1,81	681360	62	23,926	3,33	0,76	29
Perfil 8	2B	59-90	2,59	43,6	7,11	Arcillo arenoso	0,84	448896	124	16,622	2,31	0,39	2
	A	0-9	1,5	41,3	5,4	Franco arenoso	7,96	897792	192	16,101	16,8	2,73	0
	AC	9-20	2,22	38,2	6,41	Franco arenoso	3,05	705408	174	17,906	4,41	2,63	54
Perfil 9	2A	20-35	1,92	36,4	7,48	Franco arenoso	1,43	897792	242	15,990	2,31	1,19	0
	2B	35-95	2,49	43,3	7,61	Franco arenoso	1,05	641280	178	4,991	1,35	0,67	0
	3B	95-1,3+	2,52	35,7	6,86	Franco arenoso	0,74	817632	198	15,556	2,36	0,67	0
Perfil 10	A	0-10	1,71	18,1	5,63	Franco arenoso	7,41	897792	161	3,410	50,43	8,9	0
	AB	10-20	2,29	32,3	6,46	Franco arenoso	3,98	897792	112	17,087	13,44	1,85	23
	B	20-60	2,43	37,4	6,94	Franco arenoso	1,74	817632	167	3,590	4,18	1,23	9,8
Perfil 11	BC	60-75	2,46	39,8	7	Franco arenoso	1,18	681360	105	5,227	2,36	0,64	0
	2AB	75-90+	2,54	40,9	7,01	Franco arenoso	0,84	613224	130	20,237	2,36	0,81	0

variaciones significativas a nivel del paleosuelo y en general aumentando levemente con la profundidad. El valor obtenido en el perfil testigo es 2,54 (2AB). El valor más bajo fue determinado en el piso ocupacional de una estructura residencial (1,92 en el perfil 7) (Tabla 1).

El peso específico aparente (PEA) en los perfiles descriptos refleja el límite entre el suelo actual y el paleosuelo. Los valores tienden a ser bajos en el primer horizonte del suelo enterrado respecto de los valores del último horizonte del suelo suprayacente, para luego aumentar en profundidad (Tabla 1).

La porosidad refleja con claridad la relación existente entre los valores de PER y PEA en los diferentes horizontes. En este caso, los resultados obtenidos muestran suelos con porosidad escasa (30-40%) a regular (40-50%). Lo ideal serían porcentajes de porosidad mayores a 50%, propios de suelos ricos en coloides que generan un ordenamiento de partículas con muchos espacios libres (Cuenya y Puchulu 2000) (Tabla 1).

Los valores de pH del paleosuelo oscilan entre 5,07 y 7,61, la acidez disminuye con la profundidad tendiendo a la neutralidad, esto hacía que los suelos prehispánicos fueran aptos para el cultivo proporcionando la máxima disponibilidad de nutrientes y bajando al mínimo los niveles de toxicidad, de acuerdo a lo indicado por Buckman y Brady (1977). No se observan discontinuidades en los valores de pH entre suelo y paleosuelo (Tabla 1).

El pH y la textura son indicadores que provocan cambios importantes en el comportamiento de los elementos y compuestos formadores del suelo y en la morfología del mismo (Crowther 1997). Es por ello que, en los perfiles analizados, al mantenerse constantes y dentro de valores que oscilan, en el caso del pH (5,07 y 7,61) y la textura (arcillo arenosa y franco arenosa) no parecen haber afectado la biodisponibilidad de macro y micronutrientes.

Los porcentajes de materia orgánica y carbono disminuyen con la profundidad, no sufren cambios significativos en el límite suelo/paleosuelo, o entre los perfiles agrícolas y habitacionales. Sin embargo, en los perfiles de la zona apical del cono los porcentajes de materia orgánica en los primeros horizontes del paleosuelo varían entre 4,53% y 4,8%, evidenciando extremada riqueza de dicho componente, mientras que en los horizontes equivalentes de los perfiles de la parte media de la geoforma, los valores oscilan entre 0,84% y 1,81%

resultando cantidades moderadas a moderadamente pobres (Tabla 1).

Las concentraciones de calcio disponible son mayores en los perfiles de las estructuras habitacionales (769.536 ppm promediado) que en los perfiles de los andenes de cultivo (542.416 ppm promediado), mientras que en el perfil testigo el valor obtenido (613.224 ppm) se encuentra dentro del rango establecido en este trabajo para los perfiles agrícolas. La mayor concentración de este elemento se registra en los horizontes iluviales de todos los perfiles agrícolas y habitacionales (2AB, 2B, 2BC) (Tabla 1).

En general, la dinámica en la concentración de fósforo orgánico y disponible a lo largo de los perfiles analizados se encuentra en relación con la fuente de procedencia de cada elemento. El fósforo orgánico proviene, en su mayor parte, de los restos orgánicos depositados en la superficie del suelo, mientras que el disponible tiene su origen en el material parental (Schlezinger y Howes 2000). En la superficie de los paleosuelos agrícolas el fósforo disponible se encuentra en valores que oscilan entre 62 y 186 ppm, en general la concentración de este elemento tiende a aumentar con la profundidad. En los perfiles habitacionales los valores de este elemento oscilan entre 68 y 242 ppm, siendo éste último valor correspondiente al perfil 7 (Tabla 1).

El rango de concentraciones de fósforo orgánico en la superficie del paleosuelo de las estructuras habitacionales varía entre 16.678 y 15.990 ppm, mientras que en la superficie de los paleosuelos agrícolas va de 23.926 a 7.186 ppm, disminuyendo con la profundidad, siendo muy marcada la diferencia entre los horizontes superficiales del paleosuelo agrícola y los horizontes subyacentes (Tabla 1).

El hierro, manganeso y cobre disponibles se encuentran en pequeñas cantidades en todos los perfiles estudiados, característica óptima para los suelos cultivados, de acuerdo a Buckman y Brady (1977). Para los suelos prehispánicos, los valores de hierro oscilan entre 15,54 y 1,35 ppm, los de manganeso entre 8,52 y 0,39 ppm y los de cobre entre 63 y 0 ppm, con un valor anómalo de 200 ppm que se obtuvo en el perfil 2 (2BC). En general, el hierro y el manganeso disminuyen con la profundidad, no mostrando cambios significativos a nivel del paleosuelo. Sin embargo, ambos elementos presentan mayor concentración en los perfiles de la zona apical del cono (Fe 10,5 ppm y Mn 2,9 ppm promediados) que aquellos ubicados

en la zona media del mismo (Fe 2,3 ppm y Mn 0,8 ppm promediados). El cobre está prácticamente ausente en los perfiles habitacionales y presente en pequeñas cantidades en los andenes de cultivo (Tabla 1).

Los perfiles 2, 3 y 4, ubicados a diferentes distancias del muro de contención de un mismo andén de cultivo (Figura 2), presentan características diferenciales entre sí, condicionadas por su ubicación dentro del andén. Descartando las similitudes que comparten todos los perfiles estudiados, pueden observarse diferencias entre el perfil 2 (perfil más cercano al muro de contención) y los perfiles 3 y 4. El perfil 2 muestra valores de fósforo orgánico que se mantienen uniformes en los horizontes iluviales (2B y 2BC), valores de manganeso y cobre que aumentan significativamente en el horizonte 2BC, al igual que el valor de PEA (mayor grado de compactación) y una estructura caracterizada por prismas que rompen en bloques pequeños (Tabla 1; Figura 3).

### Discusión

A partir de lo antedicho pudo determinarse que el fósforo disponible no se encuentra agotado como se supuso en trabajos anteriores (Sampietro Vattuone 2002). Por el contrario, está presente en todos los horizontes de los perfiles descriptos en andenes de cultivo, con valores que oscilan

globalmente entre 62 ppm y 254 ppm (Tabla 1). Comparativamente, en los horizontes paleoedáficos de las estructuras habitacionales, los valores de fósforo disponible cubren el mismo rango que en los perfiles de paleosuelos sometidos a actividad agrícola, ocurriendo lo mismo en el perfil testigo. La concentración de este elemento aumenta con la profundidad, dinámica lógica si consideramos que su origen está en el sustrato y es altamente móvil en sentido vertical debido a procesos iluviales (Schlezing y Howes 2000).

Por otro lado, en suelos sometidos a cultivo la concentración de este elemento tiende a disminuir rápidamente si no son tratados en forma regular con abonos orgánicos (Terry et al. 2000). De acuerdo a lo antes expuesto, podría establecerse que el aporte de materia orgánica en la zona agrícola fue intencional (fertilizantes), mientras que en la residencial pudo ser producto del desecho de restos orgánicos agregados involuntariamente.

El fósforo orgánico se encontró en altas concentraciones en los horizontes superficiales de los suelos sometidos a cultivo durante el período prehispánico (Tabla 1). En los perfiles descriptos dentro de las estructuras residenciales la concentración del mismo es algo más baja.

La pérdida del horizonte 2A en los perfiles relacionados a la actividad agrícola, y por lo tanto la pérdida con ellos del fósforo, fue producto de la acción sinérgica de actividad humana (laboreo del

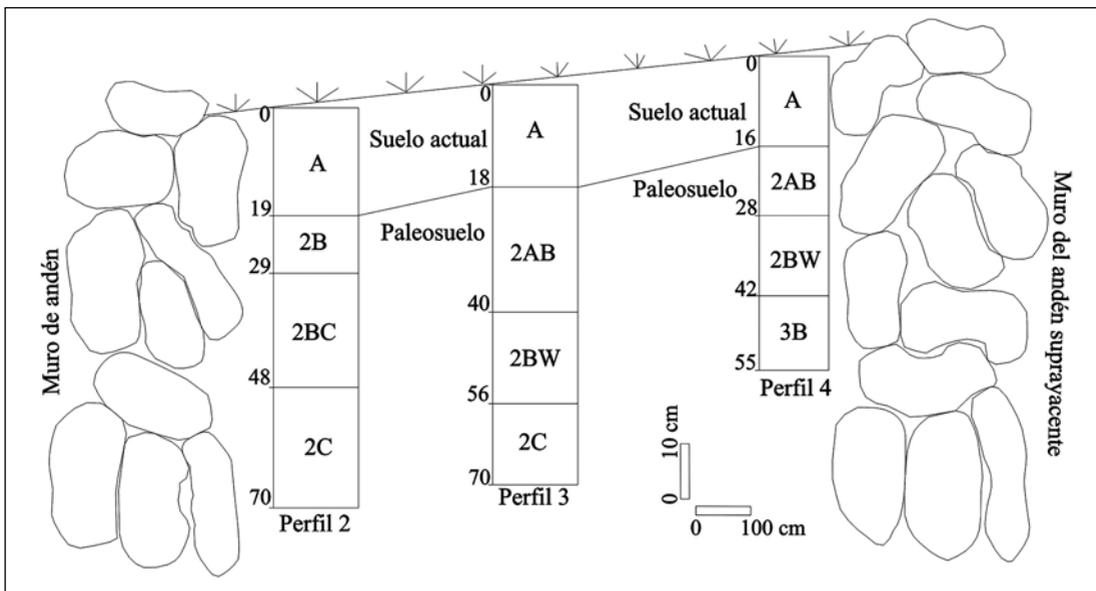


Figura 2. Corte de perfil del andén de cultivo donde se excavaron los perfiles 2, 3 y 4. *Agricultural terrace profile, where profiles 2, 3 and 4 were excavated.*

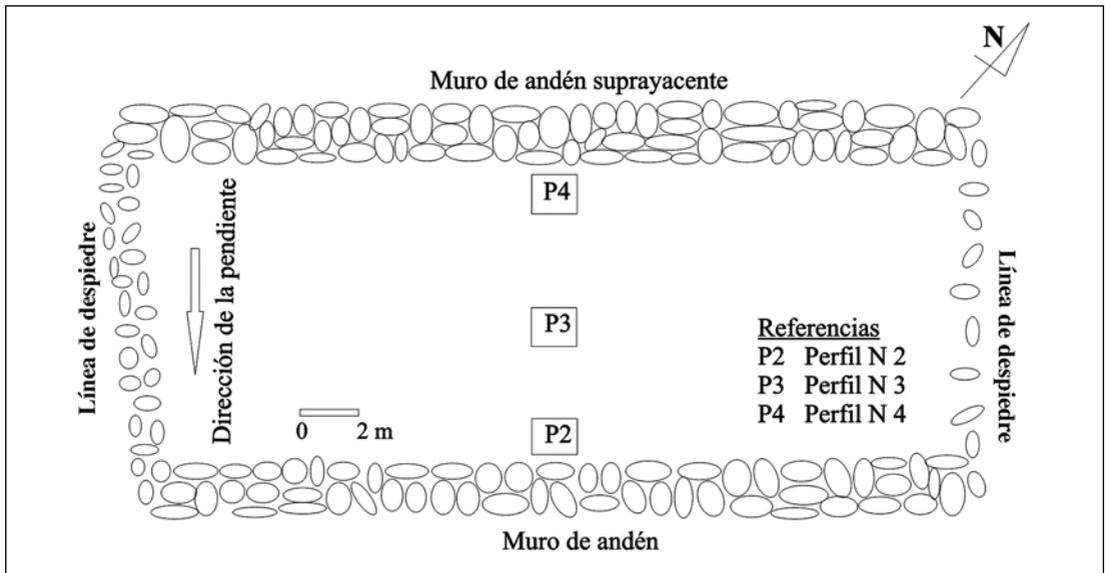


Figura 3. Andén de cultivo visto en planta donde se excavaron los perfiles 2, 3 y 4.  
Plan view of agricultural terrace where profiles 2, 3 and 4 were excavated.

suelo) y de agentes naturales (erosión eólica e hídrica) ocurridos antes de que el paleosuelo fuese enterrado. Las altas concentraciones de fósforo orgánico en los horizontes iluviales de estos perfiles responderían, en gran medida, a la incorporación antrópica de fertilizantes. Un comportamiento similar de este elemento, en suelos bajo actividad agrícola con aporte externo de restos orgánicos, fue registrado en sitios como, Piedras Negras en Guatemala (Terry et al. 2000) y Cape Cod en Estados Unidos (Schleizinger y Howes 2000).

La materia orgánica ofrece un comportamiento diferencial al del último elemento mencionado, presentando mayor concentración en los paleosuelos de la zona apical (4,59% promedio) que en la zona media (1,36% promedio) del cono. Stevenson (1982) determina que el incremento en la aireación del suelo por laboreo y ruptura de los agregados expone a la materia orgánica a condiciones aeróbicas que siguen al cultivo, estimulando la actividad microbiana y acelerando su descomposición. Por otra parte, la actividad microbiana puede ser estimulada por mayor frecuencia en ciclos seco/húmedo que se dan en suelos irrigados, hechos ya sugeridos por Sampietro Vattuone (2002).

Si se compara la cantidad de materia orgánica del horizonte superficial del suelo actual se observa que el rango establecido para perfiles de zonas alta y media del cono son equivalentes, por lo tanto esta variación no corresponde a condiciones

microclimáticas propias de la geoforma sino a características del uso prehispánico.

Al descomponerse la materia orgánica libera nitrógeno, carbono y fósforo orgánico entre otros elementos. Ante condiciones adecuadas de humedad, el carbono y nitrógeno quedan rápidamente disponibles para las plantas (Buckman y Brady 1977), mientras que el fósforo orgánico liberado no es asimilable, por el contrario, es altamente estable en el perfil y constituye un buen indicador de actividad antrópica, ya que su descomposición para formar compuestos asimilables es muy lenta (Bohn et al. 1993).

La actividad humana enriquece al suelo en otros elementos químicos (Ca, Cu, Fe, Mn, etc.) como resultado de la acumulación de desechos orgánicos e inorgánicos (Entwistle et al. 2000).

El calcio se presenta más concentrado en las estructuras habitacionales, probablemente debido a las diversas actividades realizadas en cada sector. La concentración de este elemento estaría relacionada con los espacios utilizados para el procesamiento y consumo de alimentos como así también a las áreas con evidencia de restos óseos (Sampietro y Vattuone 2005).

Por último, los micronutrientes (cobalto, hierro y manganeso) se encontraron en pequeñas cantidades, es decir, no tóxicas, y disponibles como nutrientes para las plantas en los perfiles de suelos agrícolas. El hierro y manganeso, junto con la materia

orgánica, se encuentran más concentrados en los perfiles de la zona apical del cono (Fe 10,5 ppm y Mn 2,9 ppm promedio) que en los de la zona media del mismo (Fe 2,3 ppm y Mn 0,7 ppm promedio), probablemente por las mismas razones.

Los cationes micronutrientes (Fe, Mn y Cu) son mucho más solubles y asimilables en condiciones ácidas (Buckman y Brady 1977). La interacción de la acidez del suelo y la aireación que determina la asimilación de micronutrientes es de gran importancia práctica. Los suelos muy ácidos y pobremente drenados contienen con frecuencia cantidades tóxicas de hierro y manganeso (Buckman y Brady 1977).

La presencia de cobre en los perfiles de andenes y su ausencia en los habitacionales, la elevada concentración de fósforo orgánico en los horizontes superficiales prehispánicos y la existencia de concentraciones apreciables de fósforo disponible en los perfiles agrícolas denotan, nuevamente, la posibilidad de que se haya utilizado fertilizante orgánico para el mantenimiento de los suelos sometidos a actividad agrícola (Tabla 1).

En un andén, la presencia del muro de contención favorece la concentración de nutrientes que tienden a moverse por los procesos de infiltración y escurrimiento subsuperficial. En el caso analizado, sobre el promedio de los valores del paleosuelo, cuanto más cerca del muro de contención mayor es la concentración de fósforo disponible y menor las concentraciones de fósforo orgánico, calcio y materia orgánica (Tabla 1; Figuras 2 y 3).

### Conclusiones

En la totalidad de los perfiles estudiados se observan discontinuidades pedológicas evidenciadas por compactación, oscurecimiento del suelo, concentración de fosfatos, alternancia en los valores de cobre, diferencias estructurales y en el contenido de materia orgánica, que indican la presencia de un paleosuelo bien definido con rastros de actividad antrópica en sus características morfológicas y químicas.

En los mismos, la secuencia de oscilaciones medioambientales es evidente en el suelo/paleosuelo tal como fue definido con anterioridad (Sampietro Vattuone 1994, 2002; Sampietro y Sayago 1998; Sayago et al. 2001).

Las características pedológicas generales de estos perfiles: un suelo actual poco desarrollado,

un paleosuelo bien definido, horizontes superficiales erosionados en los paleosuelos agrícolas y presentes en los habitacionales y la presencia de un tercer paleosuelo (sin rastros de actividad antrópica) en algunos perfiles están en concordancia con los estudios realizados en el mismo sitio por Sampietro y Sayago (1998) y Sampietro Vattuone (2002).

El paleosuelo muestra características morfológicas y químicas óptimas para el buen desarrollo de las plantas en las zonas de los andenes, gracias a un pH ligeramente ácido, un PER y un PEA que poseen valores que se encuentran dentro de rangos aceptables, buena estructura, textura y calidad de la materia orgánica, valores de calcio no muy elevados y concentraciones de micronutrientes (Fe, Mn y Cu) no tóxicas para las plantas. La excepción está dada por los porcentajes de porosidad que tienden a ser escasos a regulares, situación poco beneficiosa.

Es posible que la utilización de agua de riego en el área de cultivo y la construcción de superficies planas (andenes de cultivo) aumentara el desarrollo pedológico de los horizontes 2B, aunque hasta el momento no se poseen evidencias concluyentes en este sentido.

El buen desarrollo de las plantas cultivadas se dio como resultado del óptimo rendimiento de los elementos formadores del suelo. Debido a que el suelo pierde minerales por la actividad agrícola, el hombre utilizó fertilizantes orgánicos para reponer lo perdido y de esa forma asegurar la continuidad de los cultivos.

A diferencia de los lugares donde se cree que se originó la agricultura bajo condiciones climáticas adversas (Lagiglia 2001), los grupos Taffí parecen haber aprovechado el mejoramiento climático regional para comenzar a cultivar en el valle homónimo. Esto es evidente en la relación existente entre el paleosuelo y el momento de ocupación del sitio El Tolar (Sampietro y Sayago 1998; Sampietro Vattuone 2002), período en el cual el clima manifiesta un mejoramiento notable, haciéndose más cálido y húmedo (2.300-1.100 cal. a.p.) (Berberían et al. 1988, González y Núñez Regueiro 1960). En este punto, la integración que existe entre el paisaje (características de los suelos, relieve, recursos naturales) y los recursos culturales (tecnología aplicada a la sistematización del agua y del suelo) es más que evidente.

La utilización de nuevas herramientas metodológicas permitió la obtención de un cúmulo de información al cual no teníamos acceso hasta el

momento. Estos datos nos brindan la posibilidad de ampliar nuestro entendimiento sobre el desarrollo socioeconómico de grupos humanos cuya historia sólo quedó registrada en los restos que dejaron.

*Agradecimientos:* a la geóloga María Elena Puchulu (Cátedra de Pedología. Fac. de Cs. Naturales e IML. UNT) y al personal del INGEMA (Facultad

de Ciencias Naturales e IML. UNT) por su apoyo intelectual en la realización de los análisis de laboratorio. A Luis M. Monti, Julián Gómez Augier y Herman Cruz por el aporte de conocimiento y la ayuda en campo brindada. A los evaluadores de este manuscrito por sus opiniones y comentarios. Los medios económicos fueron solventados por CONICET, CIUNT y ANPCyT.

## Referencias Citadas

- Ambrosetti, J.B.  
1897 Los monumentos megalíticos del valle de Tafí (Tucumán). *Boletín del Instituto Geográfico Argentino* 18:1-3.
- Bennett, W.C., E. Bleiler y F. Sommer  
1948 Northwest Argentine archaeology. *Yale Publications in Anthropology* 38. New Haven.
- Berberián, E.E., A.E. Nielsen, E. Argüello de Dorsch, B. Bixio, L.A. Spalletti, J.A. Salazar y E.L. Pillado  
1988 *Sistemas de Asentamiento Prehispánicos del Valle de Tafí*. Comechingonia, Córdoba.
- Bernasconi de García, M.T. y A.N. Baraza de Fonts  
1985 Estudios arqueológicos del valle de la Ciénaga (departamento Tafí, provincia de Tucumán). *Anales de Arqueología y Etnología* 36-37:117-138.
- Bohn, H.L., B. Macneal y G.A. O'Connor  
1993 *Química del Suelo*. Grupo Noriega, México.
- Bolsi, A.S.C., M. Madariaga y A.E. Batista  
1992 Sociedad y naturaleza en el borde andino: el caso de Tafí del Valle. *Estudios Geográficos* 53:383-417.
- Buckman, H.O. y N.C. Brady  
1977 *Naturaleza y Propiedades de los Suelos*. Montaner y Simon, Barcelona.
- Caria, M.A., J.G. Martínez y N. Oliszewski  
2006 Geomorfología y arqueología de la quebrada del río de los Corrales (Infiernillo-Tafí del Valle-Tucumán-Argentina). *III Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología* Tomo I, pp. 145-154. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba.
- Carrizo, J., S.F. Cano y M.M. Soler Nixdorff  
1997 Recursos vegetales comestibles en el valle de Tafí durante el período Formativo: análisis arqueobotánico del sitio Casas Viejas- EL Mollar (S Tuc Tav 2). *XII Congreso Nacional de Arqueología Argentina* Tomo I, pp. 65-69. Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires.
- Cremonte, M.B.  
1996 *Investigaciones arqueológicas en la quebrada de la Ciénaga (Dto. Tafí Tucumán)*. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires.
- Crowther, J.  
1997 Soil phosphate surveys: Critical approaches to sampling, analysis and interpretation. *Archaeological Prospection* 4:93-102.
- Cuenya, P. y M.E. Puchulu  
2000 Cuadernillo: Guía de trabajos prácticos. Manuscrito en posesión del autor.
- Domínguez Bella, S. y M.M. Sampietro Vattuone  
2002 Collar vedas from the Tafí culture, Tucumán (Argentina) (I millennium AD). Raw materials characterization and provenance. *33 International Symposium on Archaeometry*, pp. 38. Universidad de Vrije, Amsterdam.
- Entwistle, J.A., R.A. Dodgshon y P.W. Abrahams  
2000 An investigation of former land-use activity through the physical and chemical analysis of soils from the Isle of Lewis, Outer Hebrides. *Archaeological Prospection* 7:171-188.
- Etchevehere, P.  
1976 *Normas de Reconocimiento de Suelos*. Segunda edición, Secretaría de Estado de Agricultura y Ganadería de la Nación, Buenos Aires.
- Garralla, S.  
1999 Análisis polínico de una secuencia sedimentaria en el Abra de El Infiernillo, Tucumán, Argentina. *Primer Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología*, pp. 11. Universidad Nacional de La Pampa, La Pampa.
- González, A.R. y V.A. Núñez Regueiro  
1960 Preliminary report on archaeological research in Tafí del valle, N.W. Argentina. *Akten del 34 Internationalen Americanisten Kongresses* Vol. 34, pp. 485-496.
- González, A.R.  
1965 Nuevas fechas de la cronología arqueológica argentina obtenidas por el método de radiocarbón (V). *Revista del Instituto de Antropología* 2-3:289-297.
- Heredia, O.R.  
1975 Investigaciones arqueológicas en el sector meridional de las selvas occidentales. *Revista del Instituto de Antropología* 5:73-132.
- Krapovickas, P.  
1968 Arqueología de Alto Medina, provincia de Tucumán, República Argentina. *Rehue* 1:89-124.
- Lafone Quevedo, S.A.  
1902 Viaje a los menhires en Intihuatana de Tafí y Santa María en octubre de 1898. *Revista del Museo de La Plata* 11:121-128.
- Lagiglia, H.  
2001 Los orígenes de la agricultura en la Argentina. En *Historia Argentina Prehispánica*, editado por E.E. Berberián y A.E. Nielsen, pp. 41-81. Ediciones Brujas, Córdoba.
- Núñez Regueiro, V.A. y J. García Azcárate  
1996 Investigaciones arqueológicas en el Mollar, dpto. Tafí del Valle, pcia. de Tucumán. *Actas y Memorias XI Congreso Nacional de Arqueología Argentina* Tomo 13,

- pp. 87-97. Museo Nacional de Historia Natural de San Rafael, Mendoza.
- Oliszewski, N.  
2004 Estado actual de las investigaciones arqueobotánicas en sociedades agroalfareras del área valliserrana del noroeste argentino (0-600 d. C.). *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología* XXIX:211-227.
- 2007 El recurso maíz en sitios arqueológicos del noroeste argentino: el caso de la Quebrada de los Corrales, El Infiernillo, Tucumán. *Treballs d'Etnoarqueologia*, en prensa.
- Olivera, D.E., P. Tchilinguirian y L. Grana  
2004 Paleoambiente y arqueología en la puna meridional argentina: archivos ambientales, escalas de análisis y registro arqueológico. *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología* XXIX:229-247.
- Roldán, J., M.M. Sampietro Vattuone y M.A. Vattuone  
2005 Técnicas analíticas para el estudio de los suelos de sitios agrícolas prehispánicos. *Primer Congreso Argentino de Arqueometría*, pp. 60-69. Universidad Nacional de Rosario, Santa Fe.
- Sampietro, M.M. y J.M. Sayago  
1998 Aproximación geoarqueológica al conocimiento del sitio arqueológico "Río Blanco". Valle de Tafí. Tucumán (Argentina). *Cuadernos del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano* 17:257-274.
- Sampietro Vattuone, M.M.  
1994 *Uso del espacio y manejo prehispánico de suelo y agua en el cono del río Blanco. Tafí del valle*. Tesis de grado, Facultad de Ciencias Naturales e I. M. L., Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán.
- 1999 Propuesta para un modelo climático del Formativo en el valle de Tafí. *XIII Congreso Nacional de Arqueología*, pp. 30-31. Brujas, Córdoba.
- 2001 Geoambientes y sitios arqueológicos formativos en el valle de Tafí (Noroeste-República Argentina). *Cuadernos del Instituto de Antropología y Pensamiento Latinoamericano* 19:599-611.
- 2002 *Contribución al Conocimiento Geoarqueológico del Valle de Tafí Tucumán (Argentina)*. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Naturales e I. M. L., Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán.
- 2007 El suelo como objeto de reflexión para la reconstrucción del contexto arqueológico. *IV Reunión Internacional de Teoría Arqueológica en Suramérica*. Catamarca.
- Sampietro M.M. y M.A. Vattuone  
2005 Reconstruction of activity areas at a Formative household in Northwest Argentina. *Geoarchaeology: An International Journal* 20:337-354.
- Sayago, J.M. y M.M. Collantes  
1991 Evolución paleogeomorfológica del valle de Tafí (Tucumán, Argentina) durante el Cuaternario Superior. *Bamberger Geographische Schriften* 11:109-124.
- Sayago, J.M., M.M. Sampietro y M.A. Caria  
2001 Los efectos de la anomalía climática medieval sobre las culturas del Formativo y su relación con los futuros cambios climáticos en el noroeste argentino. Ponencia presentada en la *III Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio y I Reunión de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio del Área del MERCOSUR*, Resúmenes p. 8. Mar del Plata.
- Schlezniger, D.R. y B.L. Howes  
2000 Organic phosphorus and elemental ratios as indicators of prehistory human occupation. *Journal of Archaeological Science* 27:479-492.
- Stevenson, F.J.  
1982 Humus chemistry: Genesis, composition, reactions. *John Willey Ex Sons Inc* 443.
- Tartusi, M.R.A. y V.A. Núñez Regueiro  
1993 Los centros ceremoniales del NOA. *Publicaciones del Instituto de Arqueología* 5:1-48.
- Tchilinguirian, P. y D.E. Olivera  
2000 Aportes edáficos para el estudio de campos agrícolas arqueológicos Bajo del Coypar, provincia de Catamarca. *Cuaternario y Ciencias Ambientales* 4:51-55.
- Terry, R.E., P.J. Hardin, S.D. Houston, S.D. Nelson, M.J. Jackson, J. Carr y J. Parnell  
2000 Quantitative phosphorus measurement: A field test procedure for archaeological site analysis at Piedras Negras, Guatemala. *Geoarchaeology: An International Journal* 15:151-166.