

ESTRATIGRAFÍA Y GEOCRONOLOGÍA DE LOS DEPÓSITOS DEL PLEISTOCENO TARDÍO/Holoceno DE LA CUENCA DEL ARROYO LA ESTACADA, DEPARTAMENTOS DE TUNUYÁN Y TUPUNGATO (VALLE DE UCO), MENDOZA

Marcelo ZÁRATE y Adriana MEHL

CONICET, Departamento de Ciencias Naturales. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de la Pampa Av. Uruguay 151, Santa Rosa, La Pampa. E-Emails: mzarate@exactas.unlpam.edu.ar, adrianamehl@gmail.com

RESUMEN

La cuenca del arroyo La Estacada, tributario del río Tunuyán, está situada en el piedemonte andino distal (Departamentos de Tupungato y Tunuyán, Mendoza). En este ámbito se realizaron estudios que abarcaron aspectos estratigráficos, sedimentológicos, geomorfológicos y geocronológicos (dataciones radiocarbónicas y luminiscencia óptica estimulada) de los depósitos del Pleistoceno tardío-Holoceno. Los resultados señalan que los depósitos componen tres unidades geomorfológicas (planicie de agradación regional, terraza de relleno y planicie de inundación actual) que representan sendos ciclos de agradación. La planicie agradacional está integrada por una sucesión sedimentaria predominantemente areno-limosa, con niveles de tefras y de gravas, cuya edad es mayor a 48.000 años AP y se extiende hasta alrededor de los 3.000 años ¹⁴C AP. La terraza de relleno está compuesta por una sucesión granodecreciente, que abarca un intervalo iniciado antes de los 5.500 ¹⁴C AP hasta los 400-500 años ¹⁴C AP. Con posterioridad a estas últimas fechas, comenzaría la formación de la planicie de inundación actual, caracterizada por el apilamiento de bancos horizontales de arena. El levantamiento de perfiles estratigráficos, la litología de los depósitos y su expresión geomorfológica, así como las edades numéricas obtenidas, señalan que los límites estratigráficos, atribuidos originalmente a las Formaciones La Estacada y el Zampal, transgreden lateralmente los paquetes sedimentarios asignados a cada unidad. Considerando la litología y las relaciones estratigráficas observadas se propone agrupar los depósitos de ambas unidades, así como los de la planicie de inundación actual, en una sola unidad litoestratigráfica con rango de formación y de nombre Formación El Zampal.

Palabras clave: *Pleistoceno, Holoceno, Estratigrafía, Piedemonte, Mendoza.*

ABSTRACT: *Stratigraphy and geochronology of the Late Pleistocene-Holocene of the Arroyo La Estacada Basin, Departments of Tunuyán and Tupungato (Uco Valley), Mendoza.* Arroyo La Estacada is a tributary of Rio Tunuyán situated in the distal Andean piedmont of Mendoza, Argentina. Stratigraphic, sedimentological and geomorphological analysis along with numerical dating by ¹⁴C and optical stimulated luminescence were performed on the late Pleistocene-Holocene deposits. Three geomorphological units (regional aggradational plain, fill terrace and the present floodplain) have been identified. The regional aggradational plain is made up of a sedimentary succession dominantly composed of sandy-silty deposits; the sediment accumulation started prior to 48,000 years BP and continued until circa 3,000 ¹⁴C years AP. The fill terrace is composed of a fining upward sequence encompassing a time interval older than 5,500 ¹⁴C BP and extending until 400-500 ¹⁴C years BP. The present floodplain, made up of sand beds, was formed after 400-500 ¹⁴C years BP. Based on the results obtained, the stratigraphic boundaries originally attributed to La Estacada Formation and El Zampal Formation are laterally transgressive in relation to the sedimentary beds included in each of these lithostratigraphic units. Considering both their lithology and stratigraphic relationships we propose to group these deposits into a single lithostratigraphic unit named El Zampal Formation.

Keywords: *Pleistocene, Holocene, Stratigraphy, Piedmont, Mendoza*

INTRODUCCIÓN

El sector del piedemonte andino distal comprendido aproximadamente entre la localidad de Tupungato al norte y las localidades de Tunuyán-San Carlos al este y sur respectivamente, es uno de los oasis de cultivo de la provincia de Mendoza. Esta área, conocida como Valle de Uco,

se extiende a lo largo de unos 45 km en sentido meridiano desde el paraje estación Zapata hasta la localidad de San Carlos; la anchura es de aproximadamente 40 km, comprendida desde el faldeo de la Cordillera Frontal al oeste hasta las huayquerías de San Carlos al este (Fig.1). El conocimiento geológico general de los depósitos cuaternarios aflorantes, tanto

en esta área como en el resto del piedemonte andino que se extiende entre los ríos Mendoza y Diamante, es el resultado de los trabajos de Polanski (1963). El autor sentó las bases estratigráficas y propuso un esquema aún vigente, que ha sido referencia obligada para las investigaciones geológicas realizadas posteriormente en el ámbito de la región de Cuyo.

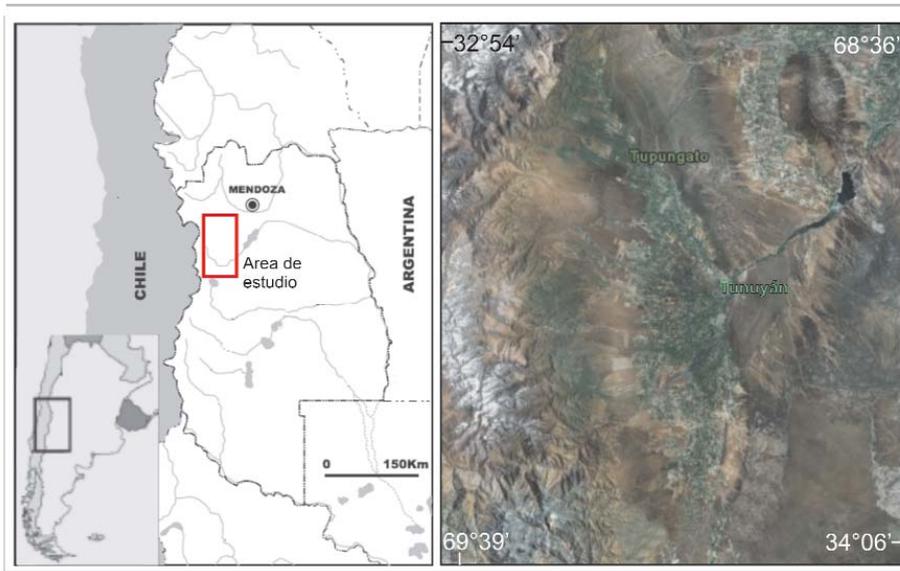


Figura 1: Mapa de ubicación del área de estudio e imagen satelital del Valle de Uco, emplazado en el sector central del piedemonte andino distal de Mendoza.

Luego de la labor pionera de Jorge Polanski, no se realizaron otras investigaciones en el Valle de Uco que intentaran actualizar el conocimiento de la historia geológica del Cuaternario tardío. Por tal motivo, a fines de la década de 1990 se iniciaron investigaciones en dicho sector con la finalidad de analizar la potencialidad de los registros aluviales como archivos paleoclimáticos y paleoambientales del Pleistoceno tardío-Holoceno. Los resultados preliminares aportaron información que demostró la significación de estas sucesiones sedimentarias para reconstruir las condiciones de los últimos 30.000 años (Zárate y Paez 2002). Por su parte, los levantamientos estratigráficos efectuados con dicho propósito permitieron estudiar en detalle las características de algunas de las unidades estratigráficas definidas por Polanski (1963). Al respecto, se dieron a conocer aspectos geomorfológicos y litológicos de los sedimentos, así como las primeras edades numéricas obtenidas (Zárate 2002).

El objetivo de la presente contribución es analizar la estratigrafía y geocronología de la sucesión sedimentaria del Pleistoceno tardío-Holoceno aflorante en la cuenca del arroyo La Estacada (Fig. 2). Con tal finalidad se sintetizan los aspectos principales de las unidades litoestratigráficas (Formación La Estacada, For-

mación El Zampal) según la propuesta de Polanski (1963) y se detallan las características litológicas, estratigráficas y geomorfológicas recabadas en este estudio. Finalmente, sobre la base de los resultados obtenidos, se discute el esquema estratigráfico vigente y se propone una redefinición estratigráfica de las unidades establecidas.

MARCO GEOLÓGICO - ESTRUCTURAL DEL ÁREA DEL VALLE DE UCO

El Valle de Uco es la manifestación superficial del graben de Tunuyán (Fig. 3), descrito inicialmente como una depresión limitada por fallas normales (Polanski, 1964b en Kozłowski *et al.* 1993) cuya superficie es de unos 2.150 km². Estructuralmente, el área es parte de un extenso valle ubicado entre la Cordillera Frontal y el bloque de San Rafael, conocido como depresión de Los Huarpes. La extensión meridional máxima es de unos 110 km y la anchura máxima no excede los 30 km (Polanski 1963, pág. 278). Regionalmente, el graben (Depresión de Los Huarpes-graben de Tunuyán) es incluido en el ambiente de llanuras o planicies agradacionales pedemontanas de la provincia de Mendoza (González Díaz y Fauqué 1993).

Esta depresión tectónica aloja unos 1.800 metros de sedimentos cenozoicos, cuya profundidad disminuye progresivamente hacia el sur y el este. La edad de formación del graben fue estimada de acuerdo con la edad de las formaciones afectadas por las fallas que limitan la estructura. En toda el área el graben está delimitado por los afloramientos de la Formación La Invernada (Pleistoceno inferior según Polanski 1963). Su edad es posterior a la deposición de la asociación piroclástica pumicea, representada por clastos redepositados en la Formación el Totoral. Según Polanski (1963) esta última unidad forma el relleno del fondo del graben y es una facies correlacionable lateralmente con la Formación Las Tunas. Los afloramientos de la asociación piroclástica pumicea son discontinuos y sus exposiciones más septentrionales, según el autor, se ubican en las márgenes del río Tunuyán. Posteriormente, sin embargo, Guerstein (1993) menciona que los depósitos no se observan más allá de la localidad de Pareditas. En un principio la asociación piroclástica pumicea se asignó al Pleistoceno superior entre los niveles de agradación II (Formación La Invernada) y III (Formación Las Tunas) (Polanski 1963). Luego, Stern *et al.* (1984) dieron a conocer edades numéricas de 450.000 AP (obtenidas por el método de trazas de fisión sobre circones). De este modo, la asociación piroclástica pumicea se ubicaría en el Pleistoceno medio. Según Polanski (1963), el graben de Tunuyán está formado por dos unidades geomorfológicas, la bajada (*Bajada joven al graben de Tunuyán*) en su borde occidental y la planicie loésica hacia el este. La primera tiene unos 100 km de extensión meridional y su anchura varía de acuerdo con el caudal de los distintos ríos que nacen en la Cordillera Frontal. Estos forman abanicos aluviales coalescentes de diferentes dimensiones. La superficie tope de la bajada está conformada por la Formación Las Tunas, afectada por procesos erosivos cíclicos que produjeron tres terrazas principales. Se hunde en el fondo del graben de Tunuyán debajo de la pla-

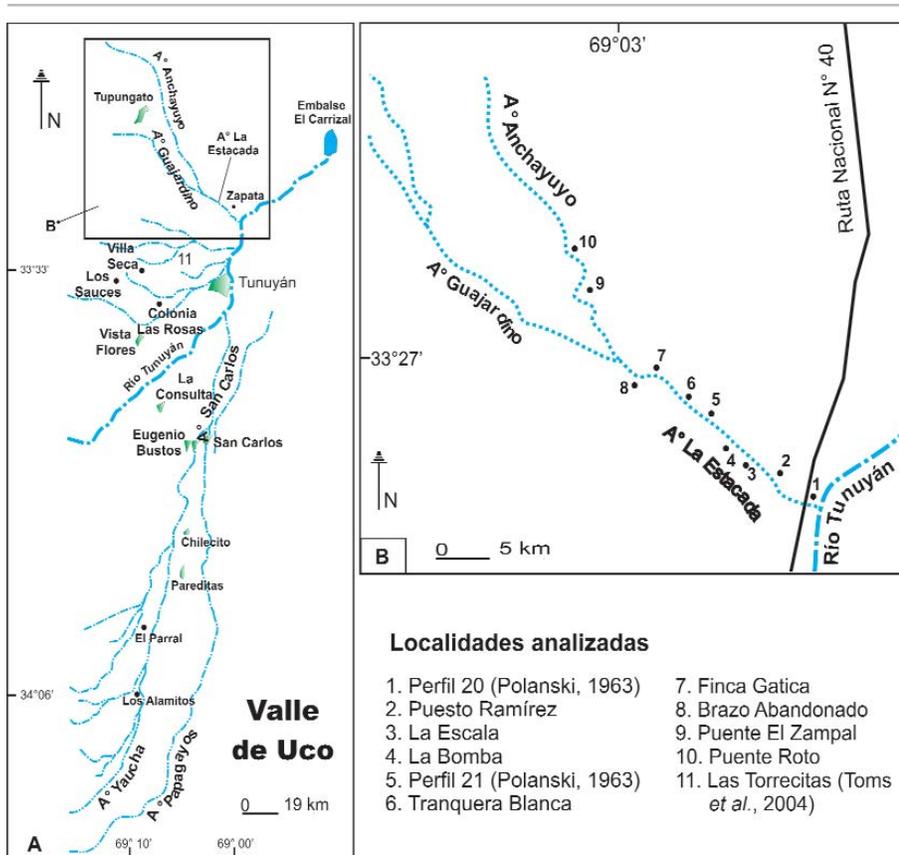


Figura 2: Red de drenaje del Valle de Uco y localidades analizadas en la cuenca del arroyo La Estacada.

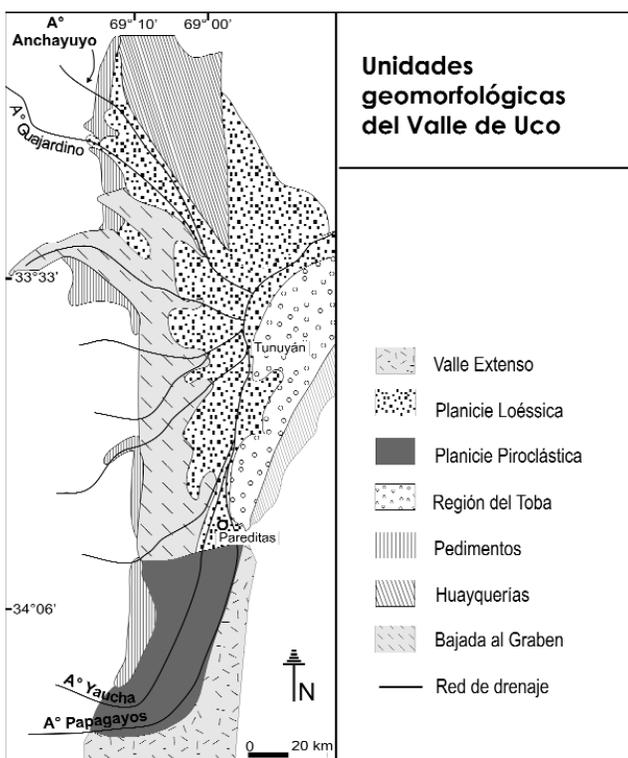


Figura 3: Mapa de unidades geomorfológicas en el Valle de Uco, según Polanski (1963).

nicie loésica. Allí la Formación El Totoral, componente distal de la bajada, se correlaciona lateralmente con la Formación Las Tunas (Fig. 4).

La planicie loésica ocupa el fondo del graben y está constituida predominantemente por limos arenosos y arenas finas a muy finas que corresponden a los depósitos objeto del presente estudio. La profundidad de los depósitos que conforman la planicie disminuye hacia los bordes del graben. Polanski (1963) la consideró como una planicie construccional muy joven, de edad postglacial. El relieve es relativamente llano en superficie; desciende aproximadamente desde los 1.000 metros s.n.m. en los alrededores de Tupungato hasta los 800 metros s.n.m. en las cercanías del río Tunuyán. Está surcada por valles muy estrechos de cursos tributarios del río Tunuyán.

ANTECEDENTES ESTRATIGRAFICOS DE LOS DEPÓSITOS DEL PLEISTOCENO TARDÍO-HOLOCENO

En el piedemonte mendocino comprendido entre los ríos Mendoza y Diamante, Polanski (1963) definió un total de 18 unidades estratigráficas. Cinco de estas unidades corresponderían según el autor a sendos ciclos de agradación. Los depósitos del Pleistoceno tardío-Holoceno objeto del presente estudio están agrupados en las Formaciones La Estacada y El Zampal que son parte integrante del IV ciclo de agradación ubicado, según Polanski, (1963), en "el Pleistoceno superior-Postglacial (Holoceno)" (Cuadro 1). Las barrancas del arroyo La Estacada, desde su desembocadura en el río Tunuyán hasta unos 4 km aguas arriba, constituyen la zona donde Polanski (1963) definió las Formaciones La Estacada y El Zampal. Allí se sitúan los perfiles estratigráficos que el autor considera representativos para ilustrar las características de ambas unidades litoestratigráficas. De acuerdo con sus observaciones y descripciones, las dos entidades están estratigrá-

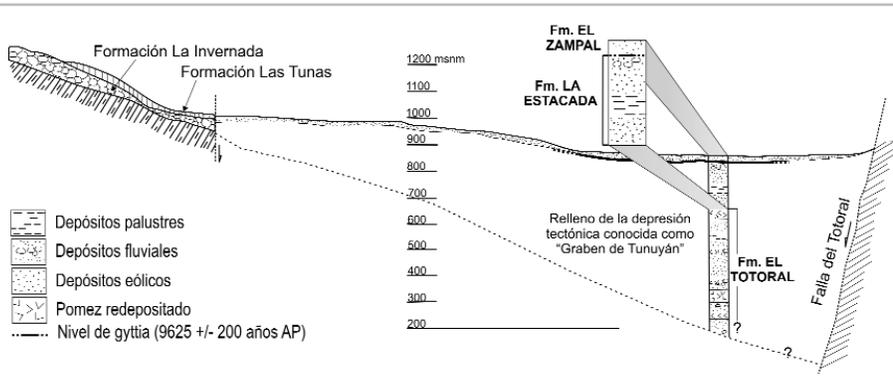


Figura 4: Perfil longitudinal de la depresión de Tunuyán, tomado de Polanski (1963).

CUADRO 1: Esquema estratigráfico del Cuaternario de la zona de Tupungato-Tunuyán extractado de Polanski (1963). Incluye sólo las áreas que denomina "pedemonte y graben". Se ha respetado la denominación y terminología empleada por el autor.

| Pedemonte | Graben de Tunuyán | Ciclos de agradación | Edad asignada | Correlación con el hemisferio norte |
|---------------------------------------|---|-------------------------|---|--------------------------------------|
| | Turbales Asociación Volcánica postglacial | | 1400 ± 130 ¹⁴ C | Postglacial (Holoceno) |
| | Fm. El Zampal | | | |
| | Fm. La Estacada | IV ciclo de agradación | 9625 ± 200 ¹⁴ C Pleistoceno superior | Wisconsin= Wurm II |
| Fm. Las Tunas | Fm. Las Tunas / Fm.El Totoral | III ciclo de agradación | Pleistoceno superior | Wisconsin= Wurm s.I. Interstadial |
| Asociación Piroclástica Pumícea | | | | Jowan = Wurm I |
| Interglacial Illinoian=Riss | | II ciclo de agradación | Pleistoceno superior | Interglacial Sangamon |
| Asociación Volcánica Paleopleistocena | Faltan evidencias | | Pleistoceno medio | |
| Fm. Los Mesones | | I ciclo de agradación | Pleistoceno inferior | Sangamon |
| | | | | Yarmouth=Mindel-Riss |

ficamente superpuestas en las secciones expuestas.

La Formación La Estacada está constituida, según la definición, por sedimentos preferentemente fluviales. El perfil tipo de la unidad está expuesto en la barranca septentrional del arroyo homónimo, afluente del Tunuyán, unos 100 metros aguas abajo del puente carretero de la ruta provincial 40. Actualmente, la construcción de una presa y la vegetación arbórea introducida posteriormente, impiden el acceso y la visibilidad de este perfil. En esta sección, el techo está marcado por el contacto entre un banco de sedimentos fluviales estratificados (uni-

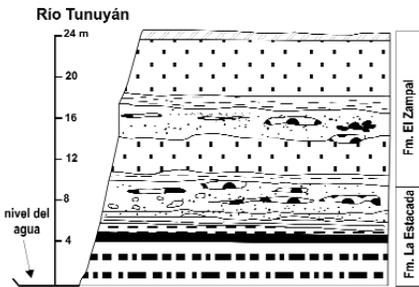
dad sedimentaria cuspidal de la Formación La Estacada) y en términos de Polanski (1963), un *banco de limo parecido a loess* (unidad sedimentaria basal de la Formación El Zampal) (Fig. 5). Entre otros aspectos destacables, Polanski (1963) menciona la existencia de un banco de *gyttia* en el que se efectuó una datación radiocarbónica (9.625 ± 200 ¹⁴C). Según el autor, este banco de *gyttia* corresponde al relleno de un recodo del antiguo cauce y no aflora en otros sectores del arroyo. El techo de la Formación La Estacada está marcado por una discordancia erosiva o un nivel de tefra: "...aguas arriba y abajo hay cortes de la formación sin banco de

gyttia y sedimentos fluviales acompañantes, estando ellos sustituidos por una discordancia erosiva o una tefra de ceniza volcánica blanca" (Polanski 1963, pág. 233).

La base de la Formación La Estacada no está expuesta. Según Polanski (1963), las perforaciones existentes en su momento no aportaron datos exactos para la precisa separación entre la Formación La Estacada y la infrayacente Formación El Totoral. Aparentemente, de acuerdo con el autor, existe una lenta transición entre ambas entidades. Polanski (1963) definió la Formación El Totoral, sobre la base de datos de perforaciones; la más profunda, ubicada a poca distancia al NNE de Tunuyán, sugiere una potencia máxima superior a los 600 m (Polanski 1963). La Formación El Totoral, según menciona, representaría un relleno aluvial y probablemente también eólico de una depresión estructural profunda. Con respecto a la edad señala: "...Las relaciones laterales con la Formación Las Tunas son probablemente de engranaje lateral...". "...la edad relativa de la Formación El Totoral, perfectamente determinable, es menor que la de la Asociación Piroclástica Pumícea y mayor que la de la Formación La Estacada que yace en su techo..." (Polanski 1963, pág. 214). De acuerdo con el autor la base de la Formación El Totoral es además contemporánea con los sedimentos de la Formación El Chillante localizados en el borde oriental del graben de Tunuyán y sobrepuestos a los sedimentos terciarios de las pendientes occidentales de las huayquerías de San Carlos. Polanski (1963) señala que las Formaciones El Totoral y El Chillante habrían comenzado a depositarse con anterioridad al definitivo descenso del graben. Los niveles con "*granulado pumíceo resedimentado*" indican según este autor que la Formación El Chillante también es de menor edad que la asociación piroclástica pumícea.

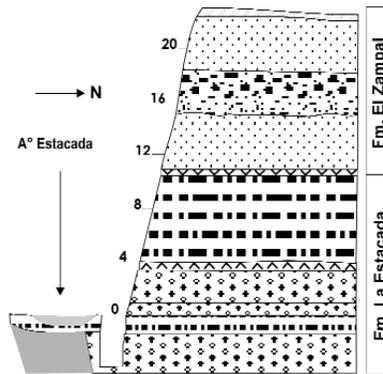
La edad relativa de la Formación La Estacada está definida por su intercalación entre las Formaciones El Totoral y El Zampal (Polanski 1963). A partir de la datación radiocarbónica de la *gyttia*, el autor ubica la Formación La Estacada en el

Perfil N° 20: La Estacada



- . Limo parecido al loess. En la base hay arena.
- . Banco negro de gyttia arcilloso-limoso, con nódulos de yeso y algunos lentes de arena fina.
- . Láminas de arcilla versosa y de gyttia, con nódulos de yeso. En la base limo arenoso y arena fina grisácea.
- . Banco de sedimentos fluviales estratificados, con bruscos cambios granulométricos laterales. En la base lenguas de arena limosa.
- . Limo parecido al loess, levemente estratificado y sin carbonatos
- . Limo parecido al loess, amarillento, con CaCO₃, sin estratificación visible.
- . Limo parecido al loess, algo verdoso, finamente laminado.
- . Horizonte A y B del suelo actual

Perfil N° 21: El Zampal



- . Grava gruesa y rodados fluviales.
- . Limo arcilloso, calcáreo de color rojizo.
- . Tefra de ceniza volcánica blanca.
- . Tefra de ceniza volcánica gris.
- . Limo parecido al loess.
- . Limo parecido al loess, gris amarillento.
- . Arena fluvial estratificada, con nódulos iluviales de CaCO₃, infiltrado de la capa subyacente.
- . Horizonte A y B del suelo actual

Figura 5: Perfiles estratigráficos 20 y 21, levantados por Polanski (1963) en la cuenca del arroyo La Estacada.

Pleistoceno superior. La unidad abarcaría un intervalo comprendido durante la glaciación Wisconsin=Wurm II, que Polanski sitúa en el lapso posterior al interstadial Wisconsin hasta comienzos del Holoceno (cuadro 1).

Por su parte, la Formación El Zampal fue definida por Polanski (1963) como una unidad preferentemente eólica, interrumpida por un ciclo de erosión y deposición fluvial. El perfil representativo está ubicado a unos 3,5 km aguas arriba del puente de la ruta 40 (Polanski, 1963). La Formación El Zampal, según el autor, está constituida por tres miembros: limo parecido al loess superior (sedimento eólico), banco de sedimentos fluviales y limo parecido al loess inferior (sedimento eólico); al conjunto le atribuye una potencia de unos 10-11 metros.

Polanski (1963) marca la persistencia de las características de la Formación El Zampal aún fuera del área tipo, las reconoce en Ugarteche sobre el cauce del arroyo El Carrizal y también en el ambiente del arroyo Yaucha en el ámbito del Valle Extenso, con fuerte influencia de materiales piroclásticos re trabajados en los sedimentos. Destaca también que casi

siempre el paquete de limo inferior descansa sobre un nivel de gyttia.

En lo que respecta a sus relaciones estratigráficas y edad, el autor señala: "...se asienta sobre la formación La Estacada o cualquiera otra formación de mayor edad y su techo lo constituye el suelo actual"... Según el autor "...la determinación de la edad absoluta de la gyttia de la Formación La Estacada en 9.625 ± 200 años, permite sin dar lugar a dudas la sincronización de la Formación El Zampal con la época postglacial..." (Polanski 1963, pág. 243).

RESULTADOS

Características geomorfológicas de la cuenca del arroyo Estacada

El arroyo La Estacada exhibe diseño meandroso y es de régimen permanente, alimentado por aguas de manantiales; los episodios de crecientes están vinculados con precipitaciones. El valle se caracteriza por ser relativamente estrecho y profundo, con el aspecto de cañadón en algunos tramos. Así, la anchura varía entre 50 y 100 m hasta un máximo de 250 m; la profundidad oscila entre 25 y 30 me-

tros. Las márgenes consisten en barrancas verticales con afloramientos continuos a lo largo de varios kilómetros, característica que permite efectuar el análisis estratigráfico lateralmente.

En la cuenca del arroyo La Estacada, Polanski (1963) señala la existencia de dos unidades geomorfológicas correspondientes a la planicie loésica y la planicie de inundación actual. Sin embargo, los estudios realizados en esta área señalan que los depósitos reunidos por ese autor en las Formaciones La Estacada y El Zampal, componen tres unidades geomorfológicas principales (planicie de agradación regional, terraza de relleno y planicie de inundación actual) que representan sendos ciclos de agradación (Fig. 6).

La unidad geomorfológica de mayor extensión areal y antigüedad relativa corresponde a la planicie de agradación regional (*planicie loésica* en el sentido de Polanski 1963); constituye la superficie general cultivada de la zona de Tunuyán y Tupungato en la que el arroyo La Estacada, ha excavado su valle (Figs. 6a y 6b). Los perfiles 21 y 22 del trabajo de Polanski (1963), representativos de las Formaciones El Zampal y La Estacada, ilustran básicamente la composición de las barrancas recortadas por el arroyo en la planicie agradacional regional. La terraza de relleno (*fill terrace* en el sentido de Bull 1991) y la planicie de inundación actual (Fig. 6) son geoformas de dimensiones reducidas restringidas al valle del arroyo La Estacada.

La terraza de relleno se extiende continuamente a lo largo de unos 8 km desde la confluencia de los arroyos Guajardino y Anchayuyo que dan origen al arroyo La Estacada, hasta la desembocadura del mismo en el río Tunuyán. La superficie de la terraza de relleno presenta una diferencia altimétrica de unos 6 metros con respecto a la planicie de agradación, con una anchura máxima no superior a los 100 metros. La acción erosiva del curso actual ha recortado barrancas de hasta 18 metros de altura en las que están expuestos los depósitos que la componen, en forma continua, a lo largo de varios

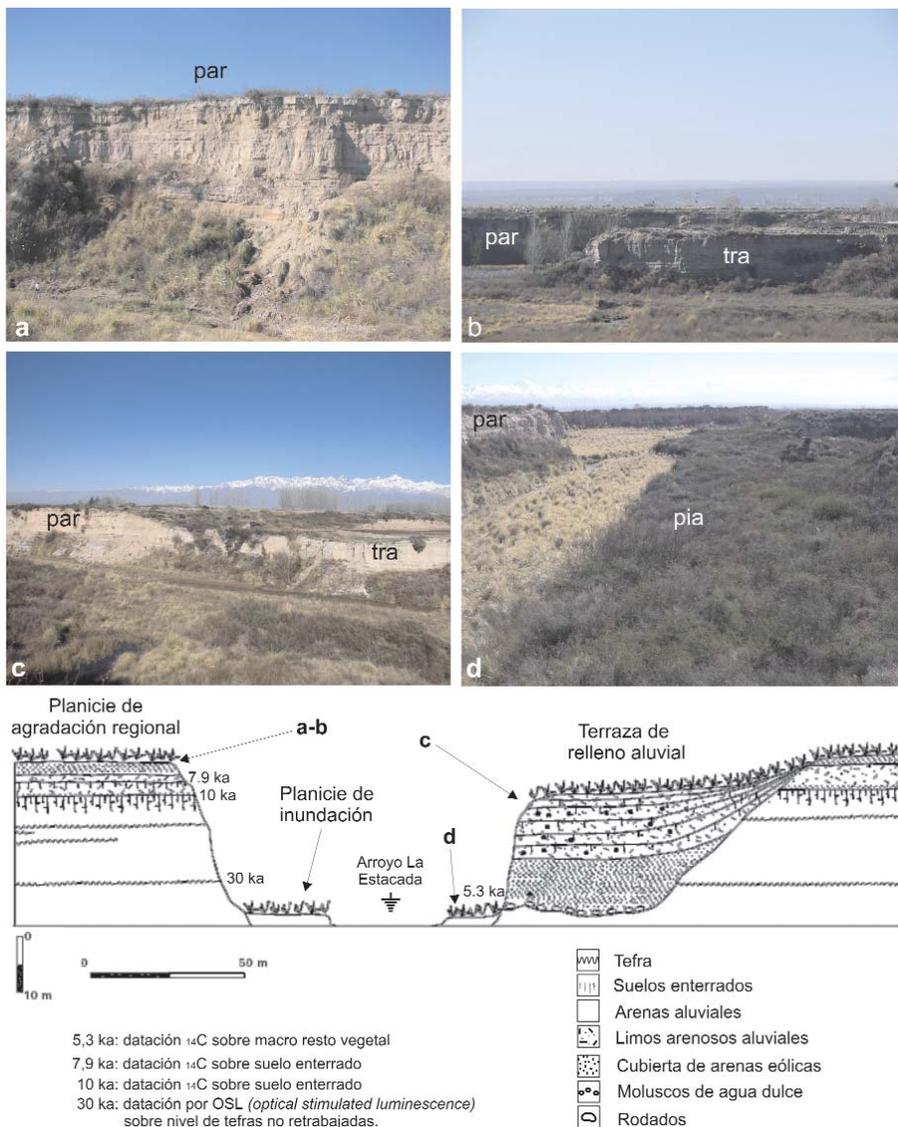


Figura 6: Esquema de un corte transversal a los cursos fluviales (Zárate, 2002). a) Puente El Zampal, arroyo Anchayuyo: perfil estratigráfico de la planicie de agradación regional (**par**); b) Vista hacia el sures-te (desde Finca Gatica, arroyo La Estacada) de la planicie de agradación regional (**par**) y de la terraza de relleno aluvial (**tra**) cultivadas, en el fondo se aprecian las Huayquerías de San Carlos; c) Brazo Abandonado, arroyo La Estacada: contacto de la terraza de relleno aluvial (**tra**) con los depósitos de la planicie de agradación regional (**par**); d) Puesto Ramírez, arroyo La Estacada: planicie de inundación actual (**pia**).

kilómetros. Generalmente están preservados en una sola de las márgenes, por lo tanto, en un corte transversal a la dirección del curso, determinan un valle de perfil asimétrico (Fig. 6c). En algunos sitios, sin embargo, la terraza exhibe continuidad en ambas márgenes y se observa el contacto geomorfológico lateral con la planicie de agradación (secciones de Puesto Ramírez, La Escala, La Bomba). Así también, en las secciones Puente El Zampal y Puente Roto, entre otras, la te-

rraza de relleno apoya sobre afloramientos relictuales de la planicie de agradación los que durante el proceso de excavación han quedado preservados como espolones o pedestales en antiguas curvas o meandros del arroyo.

La planicie de inundación actual se eleva alrededor de 1,5 metros por encima del canal de descarga del arroyo La Estacada. El curso, de diseño sinuoso, exhibe actualmente abandono y nueva generación de brazos de meandros. General-

mente, donde éstos son activos la margen externa (convexa) del meandro se ubica hacia la pared de las barrancas, debido a la marcada profundidad y estrechez del valle fluvial que restringe la migración lateral del curso. En el sector interno se observa la depositación de sedimentos areno limosos y gravas. Los brazos de meandro abandonados se encuentran ya sea totalmente colmatados por sedimentos y cubiertos por una densa vegetación arbustiva o bien son parcialmente activos. En el último caso, constituyen cuerpos de agua estancada, tipo *ox-bow lake*, con desarrollo de vegetación palustre, alimentados principalmente por manantiales y eventualmente desbordes del canal (Fig. 7b). La sedimentación en la planicie de inundación se caracteriza por el apilamiento de bancos horizontales de arena (potencia: 40 cm). Rematan en sedimentos limosos (potencia: 40 cm) y una delgada capa de arcillas (potencia: 1 cm) decantados al cesar la tracción del manto de agua que invade la planicie durante las crecidas (Fig. 7a). La superficie actual de la planicie se encuentra colonizada por vegetación predominantemente herbácea (cortaderas) en el sector próximo al canal y de tipo arbustiva en sectores más distales (Fig. 6d).

Perfiles estratigráficos

La descripción y análisis de los perfiles estratigráficos se ha efectuado en función de las unidades geomorfológicas identificadas. Se levantaron en detalle un total de ocho secciones estratigráficas de las que en este trabajo se presentan las más representativas (Fig. 2).

Las sucesiones sedimentarias de la planicie agradacional se caracterizan por presentar un arreglo litofacial muy semejante a lo largo de todas las exposiciones analizadas. Las características litológicas permiten diferenciar dos secciones. La sección inferior, sin base expuesta y de aspecto muy homogéneo, está integrada por bancos de arena fina a muy fina, compactas, de escaso espesor, aspecto macizo; sólo en algunos perfiles exhibe



Figura 7: a) Puesto Ramírez: bancos de arena y limo de la planicie de inundación actual en el arroyo La Estacada, espesor aprox. 2 metros. b) Puente El Zampal: brazo de meandro abandonado, con desarrollo de vegetación palustre.

estratificación entrecruzada. Aparecen varios niveles de tefras interestratificados, así como bancos muy finos (hasta 2 cm de potencia) de limos arenosos castaño oscuros; en dos sitios (La Tranquera Blanca y aguas abajo del puente El Zampal), afloran lentes de gravas polimícticas. Los niveles suprayacentes están representados por arenas muy finas limosas a limos arenosos, de unos 2-3 metros de espesor, macizas, relativamente friables, con marcas muy comunes de canales radicales; los nódulos calcáreos son muy comunes. La sección inferior remata en un nivel tabular, castaño muy oscuro a oscuro con rasgos pedogenéticos; este nivel es interpretado como un paleosuelo.

La base de la sección superior de la sucesión sedimentaria de la planicie de agradación, se inicia con bancos de limos y arenas finas limosas, interestratificados con niveles limosos diatomáceos, turbosos, con macrorestos vegetales. Estos depósitos sepultan al paleosuelo con el que remata la sección inferior. La sucesión continúa hacia arriba con bancos de arena fina interestratificada con limos que

incluyen suelos aluviales enterrados. La planicie de agradación, remata en un banco calcáreo de unos 0,50 m de potencia, cubierto por un delgado manto de arenas muy finas, muy friables y macizas que constituyen el material parental del suelo actual cultivado.

La cronología de los depósitos que integran la planicie de agradación se ha inferido a partir de dataciones radiocarbónicas de sedimentos con materia orgánica y moluscos, así como edades obtenidas por luminiscencia óptica estimulada (*optical stimulated luminescence*). En este último caso se dataron los depósitos aluviales situados inmediatamente por encima y por debajo de niveles de tefras aflorantes en una sección estratigráfica del arroyo Las Torrecitas, situado 6 km al oeste de la cuenca de la Estacada. Estos niveles de tefras se correlacionaron sobre la base de su signatura geoquímica con otros niveles aflorantes en los arroyos La Estacada (perfil la Bomba, Brazo Abandonado) y Anchayuyo (perfiles Puente el Zampal y Puente Roto). En Puente Roto también se empleó luminiscencia óptica estimula-

da para datar los depósitos sedimentarios situados por encima y por debajo del nivel de tefra analizado.

En el perfil del arroyo Las Torrecitas (Fig. 2), la sucesión sedimentaria expuesta está compuesta por arenas finas algo limosas, dispuestas en bancos macizos o con estratificación horizontal débil y entrecruzada. Los resultados de luminiscencia óptica estimulada señalan la existencia de 6 erupciones volcánicas ocurridas en el lapso comprendido entre 24000 años AP, edad de la tefra estratigráficamente más superior, y de alrededor de 48000 años AP para la tefra más inferior, ubicadas respectivamente a 2,7 metros y a unos 17,5 metros de la superficie de la sección (Toms *et al.* 2004). Por debajo del nivel de tefra inferior continúan unos 10 metros de arenas finas hasta el piso del canal actual, parcialmente cubiertas por derrumbes, sin observarse la base de la sección. De acuerdo con su composición geoquímica, la tefra de alrededor de 30.000 años AP está también representada en los perfiles de La Bomba, Brazo Abandonado y Puente El Zampal. Este nivel de tefra sería el que señala Polanski (1963) en su perfil 21 (descrita como tefra blanca) y que marcaría el límite entre las Formaciones La Estacada y el Zampal (Fig. 5). Otra de las tefras correlacionable por su composición geoquímica y edades de luminiscencia óptica estimulada es la de *circa* de 24000 años AP que aflora en el perfil de Puente Roto, en las márgenes del arroyo Anchayuyo (Toms *et al.* 2004). Las dataciones radiocarbónicas obtenidas son consistentes con las de luminiscencia óptica estimulada. En el paleosuelo con el que remata la sección inferior de la pla-

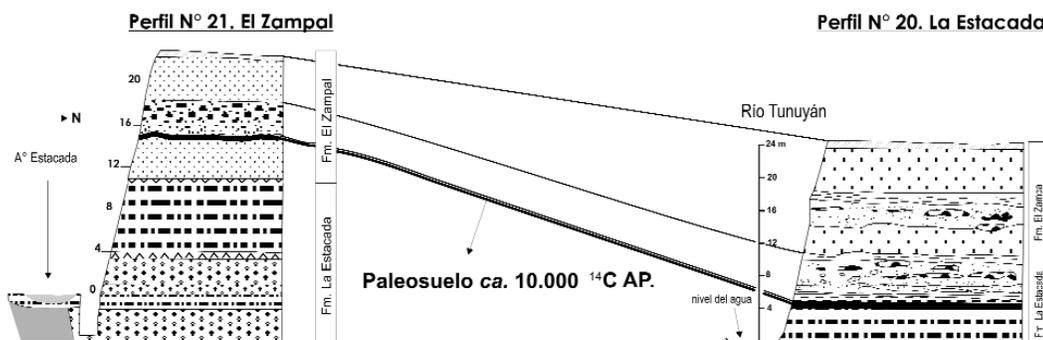


Figura 8: Correlación de los perfiles 20 y 21 de Polanski (1963) de acuerdo con los resultados obtenidos en el presente trabajo. Ver referencias en Figura 5.

nicie de agradación, las edades varían entre 9.000 y 10.000 años ^{14}C AP. (cuadro 2, Fig. 6). El levantamiento estratigráfico de perfiles y las dataciones efectuadas han permitido establecer la continuidad lateral del nivel de paleosuelo a lo largo de unos 13 km. En las secciones expuestas en las inmediaciones del puente sobre la ruta 40 (Perfil Puente La Estacada) es correlacionable con el banco de *gyttia* señalado por Polanski (1963) que, por lo tanto, se reinterpreta como un suelo aluvial enterrado (Fig. 8). La discrepancia entre las observaciones efectuadas por este autor y las que se han realizado en esta investigación, probablemente estriben en la visibilidad muy variable que exhibe el nivel de paleosuelo. La misma se reduce en aquellos sectores donde se ubica a alturas considerables de las barrancas y tiene contenidos bajos de materia orgánica. Esto último determina cambios de coloración menos evidentes, que junto con el enmascaramiento superficial por exposición subaérea dificultan su identificación. Las edades radiocarbónicas de la sección superior de la planicie de agradación, se obtuvieron a partir de dataciones de sedimentos con materia orgánica de suelos

enterrados y conchillas de caracoles dulceacuícolas; abarcando un intervalo del Holoceno temprano a Holoceno mediotardío comprendido entre los 8.000-7.000 años ^{14}C y 3.000 años ^{14}C AP (cuadro 2).

La sucesión sedimentaria de la terraza de relleno es granodecreciente; los perfiles (Puesto Ramírez, La Escala, La Bomba) se inician con niveles de gravas que pasan hacia a arriba a depósitos de arenas gruesas oxidadas, progresivamente más finas y con abundantes trazas de raíces: Continúan niveles areno limosos y limosos sobre los que se desarrollan suelos aluviales enterrados (Puesto Ramírez y Brazo Abandonado). Son frecuentes los niveles turbosos con abundante contenido de restos vegetales carbonizados, así como estratos o láminas, castaño muy oscuros a negros, de acumulación de materia orgánica. Hacia el techo de la terraza de relleno se desarrollan dos niveles de suelos enterrados (Puesto Ramírez), cuyas características macroscópicas tales como agregación del material, colores, rasgos de oxidación, sugieren el desarrollo en un ambiente saturado de agua con abundante vegetación de tipo palustre. La suce-

sión remata con una cubierta de arenas finas friables y muy sueltas que conforman el material parental del suelo actual. Las dataciones radiocarbónicas, tanto convencionales como con acelerador de partículas (AMS), efectuadas en macrorestos vegetales, moluscos de agua dulce, carbón y sedimento con materia orgánica de suelos enterrados, permiten calibrar la cronología de la terraza de relleno (cuadro 2). Las edades obtenidas señalan que la terraza registra un intervalo de sedimentación que comprende parte del Holoceno medio y del Holoceno tardío. El proceso de agradación estaba en franco desarrollo hacia los 5.500 ^{14}C AP (edad de los macrorestos vegetales recuperados de la sección inferior), y se extendió hasta los 400-500 años ^{14}C AP que son las dataciones más recientes obtenidos para los depósitos aluviales cuspidales de la sucesión sedimentaria.

La sucesión sedimentaria de la planicie de inundación actual se caracteriza por el apilamiento de bancos horizontales de arena. De acuerdo con las edades radiocarbónicas de la terraza de relleno, el comienzo de la formación de la planicie de inundación actual es posterior a los 400-500 años AP.

CUADRO 2: Edades radiocarbónicas AMS y convencionales.

| Unidad geomorfológica | Localidad | Edades radiocarbónicas obtenidas | | | |
|---------------------------------|--------------------|----------------------------------|----------------|-----------|-------------|
| | | Número de muestra | Materia datado | dC13 0/00 | Edad años |
| Terraza de relleno | La Escala | NSRL-12651 | carbón | -24.4 | 435 ± 25 |
| | | NSRL-12652 | MOS | -15.8 | 540 ± 25 |
| | | NSRL 12653 | MOS | -23.1 | 3570 ± 20 |
| | | NSRL-12654 | MOS | -22.8 | 3860 ± 40 |
| | | NSRL-12655 (*) | M | -23.4 | 5270 ± 65 |
| | Puesto Ramírez | AA61401 | molusco | -4.61 | 731 ± 41 |
| | | LP-1742 (1) | MOS | -23.8 | 1420 ± 60 |
| | | NSRL-12642 | M | -25 ± 2 | 3880 ± 30 |
| | | NSRL 12650 | MOS | -24.4 | 2500 ± 40 |
| | | NSRL- 12648 | carbón | -25.2 | 3750 ± 45 |
| Brazo Abandonado | NSRL-12647 | carbón | -23.0 | 3780 ± 45 | |
| | NSRL-12644 | MOS | -15.0 | 2990 ± 30 | |
| | Beta 135581(*) (1) | MOS | -25.0 | 7890 ± 50 | |
| Planicie de agradación regional | Puente El Zampal | Beta-135579(*) (1) | MOS | -25.0 | 9610 ± 60 |
| | | Beta 154137(*) (1) | MOS | -21.0 | 17.110 ± 70 |
| | | NSRL-12645 (*) | Molusco | -6.4 | 7450 ± 40 |
| | Puente Roto | Beta 154136 (*) | MOS | -18.3 | 10.090 ± 50 |

(1) obtenidas en la terraza de relleno y la planicie de agradación regional. (*) publicadas en Zárate, M. (2002); MOS materia orgánica en sedimento (suelos enterrados), se dataron los 2 cm superiores de los suelos enterrados; M: Macroforesto vegetal.

DISCUSIÓN DEL ESQUEMA ESTRATIGRAFICO VIGENTE

Litología y relaciones estratigráficas de las unidades litoestratigráficas

El levantamiento de perfiles estratigráficos, la litología de los depósitos y su expresión geomorfológica, así como las edades numéricas obtenidas, permiten discutir y ajustar la estratigrafía y geocronología del esquema litoestratigráfico propuesto por Polanski (1963).

En primer término, no se observa una diferencia litológica sustancial que amerite la división del paquete sedimentario en dos entidades con rango formacional. Por el contrario, estos depósitos se caracterizan por su homogeneidad litológica, dominada por paquetes de arenas finas y

limos macizos o en bancos estratificados. De esta manera, la diferenciación estratigráfica sobre la base del criterio litológico resulta de muy difícil aplicación ya que las dos unidades exhiben litologías muy semejantes. La heterogeneidad a la que alude Polanski (1963) está vinculada con la variabilidad de los ambientes de sedimentación, reflejada en cambios faciales presentes en ambas entidades. Al mismo tiempo, uno de los criterios empleados por el autor ha sido la dominancia de depósitos fluviales en la Fm La Estacada y la de eólicos en El Zampal. Sin embargo, tanto una como otra unidad incluyen depósitos eólicos y fluviales en proporción similar. En este sentido, el Código Argentino de Estratigrafía (Comité Argentino de Estratigrafía, 1992) establece que la definición de unidades litoestratigráficas debe ser independiente de la interpretación genética, por lo tanto la diferenciación de las entidades sobre la base del origen inferido (dominantemente fluvial para La Estacada y predominantemente eólica para El Zampal) sería incorrecta. El análisis llevado a cabo en este estudio demostró que el banco de gyttia que Polanski (1963) sitúa en la Formación La Estacada no está restringido al perfil cercano a la ruta 40, como menciona el autor. Por el contrario, de acuerdo con el levantamiento estratigráfico efectuado y las edades radiocarbónicas obtenidas, este nivel es continuo a lo largo de unos 13 km. El nivel, reinterpretado como un suelo aluvial enterrado (paleosuelo) por sus rasgos morfológicos, representa un nivel estratigráfico de significación ya que no sólo constituye un nivel guía en la cuenca, sino que también marca el límite cronoestratigráfico Pleistoceno-Holoceno. Considerando el paleosuelo como nivel estratigráfico guía, los bancos sedimentarios que define y describe Polanski (1983) exhiben el comportamiento que se indica a continuación (Fig. 8):

a) El "banco de limo parecido al loess inferior" definido como miembro inferior de la Formación El Zampal (perfil 21 de Polanski 1963), infrayace al paleosuelo que se ha desarrollado a expensas de es-

tos limos.

b) El banco de tefra de ceniza volcánica blanca, marca según Polanski (1963), el límite entre las Formaciones La Estacada y El Zampal en el perfil 21. Sin embargo, estratigráficamente esta tefra está situada unos 5 metros por debajo del techo del paleosuelo.

c) Según la interpretación estratigráfica de Polanski (1963), en el perfil 21 de su trabajo (3,5 km aguas arriba del puente sobre la ruta 40) el banco de arena fluvial estratificada, que el autor identifica como banco de sedimentos fluviales representa el miembro medio de la Formación El Zampal. Sin embargo, en el sector del perfil 20 (agua abajo, puente sobre la ruta 40) este banco está situado estratigráficamente inmediatamente por encima del paleosuelo (*gyttia* en el sentido de Polanski 1963) y se correlaciona con lo que el autor interpreta como la sección superior de la Formación La Estacada (Fig. 8).

En consecuencia, los límites estratigráficos atribuidos a las Formaciones La Estacada y el Zampal transgreden lateralmente los paquetes sedimentarios asignados a cada unidad. Así, cuando se analiza la continuidad lateral de un intervalo estratigráfico que en determinada localidad es incluido en una de las dos unidades, en otra exposición puede formar parte ya sea de la entidad suprayacente o de la infrayacente.

Propuesta estratigráfica

Considerando la litología y las relaciones estratigráficas observadas, se propone agrupar los depósitos de las Formaciones La Estacada, El Zampal y los que componen la planicie de inundación actual en una sola unidad litoestratigráfica con rango de formación y de nombre Formación El Zampal. En realidad, esta propuesta es una derivación del comentario de Polanski (1963) cuando define a la Formación La Estacada, quien deja planteado el problema de su diferenciación con respecto a la suprayacente Formación El Zampal: "...Me doy cuenta que los fundamentos de la formación. La Estacada po-

drían ser objetados. Es cierto que La Estacada podría incluirse como un miembro basal de la formación El Zampal, pero en la situación actual del problema prefiero temporariamente separar este conjunto muy heterogéneo de El Zampal.... Todo esto me conduce a considerar este complejo de sedimentos preferentemente fluviales como una formación, tanto más que la posterior incorporación de estos sedimentos al Zampal será más fácil que el desdoblamiento de una unidad estratigráfica..." (Polanski 1963, págs. 233-234). El término Formación El Zampal es el que más se ha empleado en las correlaciones realizadas en la región de Cuyo (González Díaz 1972, Rodríguez y Barton 1993, entre otros). Sin embargo, con el mismo se hace referencia generalmente a las facies eólicas de granulometrías limo-arenosas (loess) que integran la unidad, basado en la interpretación de Polanski (1963) que considera a la entidad predominantemente formada por depósitos eólicos.

El conjunto litológico así redefinido representa estratigráficamente lo que el autor incluye en el IV ciclo de agradación (Formaciones La Estacada y El Zampal) y el epiciclo de agradación postglacial (cuadro 1) representado por la planicie de inundación actual. Se caracteriza por estar compuesto predominantemente por arenas finas a muy finas con estratificación en bancos finos, macizos; incluye niveles de gravas, limos arenosos y bancos de limos arcillosos con intercalaciones de niveles turbosos que exhiben estratificación horizontal fina. Se intercalan varios niveles de suelos enterrados. Los máximos espesores expuestos no superan los 30 metros.

La Formación El Zampal integra la planicie de agradación regional que Polanski denominó planicie loésica. Las facies eólicas cuspidales de la unidad constituyen una cubierta mantiforme que transgrede los límites de la planicie agradacional y sepulta parcialmente la superficie de unidades estratigráficas de mayor antigüedad relativa aflorantes en las vecindades (Formación Las Tunas, depósitos miocenos).

La base de la Formación El Zampal no

está expuesta. Apoyaría a través de un pasaje transicional sobre la infrayacente Formación El Totoral. El techo de la Formación es la superficie actual.

En lo que respecta a la ubicación geocronológica de la unidad, las edades numéricas obtenidas señalan que la acumulación de los depósitos, al menos los expuestos, comenzó con anterioridad a los 48.000 años AP (sección arroyo Las Torrecitas). Considerando los espesores sedimentarios aflorantes por debajo de esta máxima edad obtenida, es factible proponer como hipótesis de trabajo que el proceso de agradación se haya iniciado probablemente varios miles de años antes de aquella fecha e inclusive antes del último interglacial (circa 120.000 años AP). En consecuencia, la Formación El Zampal documentaría no sólo el Holoceno, sino una parte considerable del Pleistoceno tardío.

CONSIDERACIONES FINALES

El criterio litológico para definir unidades litoestratigráficas presenta dificultades y limitaciones en el análisis de estas sucesiones sedimentarias dada la homogeneidad composicional, la variabilidad facial determinada por la existencia de distintos ambientes de sedimentación y las características del paisaje. Estas condiciones plantean problemas de mapeo, correlación y análisis estratigráfico. En el caso estudiado, la Formación El Zampal es de utilidad como herramienta para el análisis a escala regional y para intervalos cronológicos amplios. Complementariamente y con la finalidad de reconstruir la historia geológica de lapsos como el del Pleistoceno tardío-Holoceno es factible emplear el criterio geomorfológico como herramienta de trabajo para la sistematización y análisis de las sucesiones sedimentarias. Así, las unidades geomorfológicas diferenciadas (planicie agradacional, terraza de relleno, planicie de inundación actual) sirven como entidades prácticas que permiten examinar las relaciones espacio-temporales de los cuerpos sedi-

mentarios. Representan ya sea unidades morfoestructurales (Lowe y Walter 1998) o uno de los casos contemplados para la definición de unidades aloestratigráficas (American Comisión on Stratigraphic Nomenclatura 1983), ambas de uso frecuente en la geología del Cuaternario.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado con fondos del proyecto 07-00000-01391.ANPCYT, así como del PIP-2904 -2000. Los autores desean expresar su agradecimiento al señor Hernán Ponce y por su intermedio a la Municipalidad de Tunuyán, por el apoyo logístico brindado durante la realización del trabajo. Así también, se desea destacar la colaboración del técnico José Hernández del IANIGLA en las primeras tareas de campo realizadas. Se agradecen los comentarios y sugerencias de los revisores (Dra. Alfonsina Tripaldi, Dra. María Julia Orgeira) que ayudaron a mejorar el trabajo.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- American Commission Stratigraphic Nomenclature 1983. Code of Stratigraphic Nomenclature. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 67(5): 841-875.
- Bull, W. 1991. Geomorphic responses to climatic changes. Oxford University Press, 326 p., Oxford.
- Comité Argentino de Estratigrafía 1992. Código Argentino de Estratigrafía. Asociación Geológica Argentina, Serie B, Didáctica y Complementaria 20: 1-64, Buenos Aires.
- González Díaz, E.F. 1972. Descripción geológica de la hoja 27d, San Rafael, provincia de Mendoza. Ministerio de Industria y Minería-Servicio Nacional Minero Geológico, Boletín 132, 127 p., Buenos Aires.
- González Díaz, E.F. y Fauqué, L.E. 1993. Geomorfología. En Ramos, V.A. (ed.) Geología y Recursos Naturales de Mendoza. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Relatorio 1 (17): 217-234, Buenos Aires.
- Guerstein, P.G. 1993. Origen y significado de la Asociación Piroclástica Pumicea. Pleistoceno

de la provincia de Mendoza entre los 33°30' y 34°40' L.S. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, (inédito), 253 p., La Plata.

- Kozłowski, E.E. Manceda, R. y Ramos, V.A. 1993. Estructura. En Ramos, V.A. (ed.) Geología y Recursos Naturales de Mendoza. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Relatorio 1(17): 235-256, Buenos Aires.
- Lowe, J.J. y Walter, M.J.C. 1998. Reconstructing Quaternary Environments. Longman, 446 p., London.
- Polanski, J. 1963. Estratigrafía, neotectónica y geomorfología del Pleistoceno pedemontano entre los ríos Diamante y Mendoza. Revista de la Asociación Geológica Argentina 17(3-4): 127-349, Buenos Aires.
- Rodríguez, E. y Barton, M. 1993. El Cuaternario de la llanura. En: Ramos, V. A. (Ed.): Geología y Recursos Naturales de Mendoza. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Relatorio 1 (14): 173-194, Buenos Aires.
- Stern, C.R., Amini, H., Charrier, R. Godoy, E., Herve, F. y Varela, J. 1984. Petrochemistry and age of rhyolitic pyroclastic flows which occur along the drainage valleys of the Río Maipo and Río Cachapoal (Chile) and the Río Yaucha and Río Papagayos (Argentina). Revista Geológica de Chile 23: 39-52.
- Toms, P.S., King, M., Zárate, M., Kemp, R. y Foit Jr, N. 2004. Geochemical characterisation, correlation and dating of tephra in alluvial sequences of western Argentina. Quaternary Research 62: 60-75.
- Zárate, M.A. y Páez, M.M. 2002. Los paleoambientes del Pleistoceno tardío-Holoceno en la cuenca del arroyo La Estacada, Mendoza, En Trombotta, D, Villalba, R. (eds.) 30 años de investigación básica y aplicada en ciencias ambientales, Instituto Argentino de Nivología (IANIGLA), Glaciología y Ciencias Ambientales: 117-121, Mendoza.
- Zárate, M.A. 2002. Geología y Estratigrafía del Pleistoceno tardío-Holoceno en el piedemonte de Tunuyán-Tupungato, Mendoza, Argentina. 15° Congreso Geológico Argentino (El Calafate), Actas 2: 615-620.

Recibido: 12 de octubre, 2007

Aceptado: 30 de julio, 2008