



UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS AMBIENTALES DEL SUR DEL OASIS DEL TULUM, ANDES CENTRALES DE ARGENTINA

*ENVIRONMENTAL GEOMORPHOLOGIC UNITS OF THE TULUM
OASIS SOUTHERN SECTOR, CENTRAL ANDES OF ARGENTINA*

GRACIELA M. SUVIRE¹ Y P. I. LUNA ²

¹ CONICET. Instituto de Geología. Gabinete Geología ambiental.

FCEFN Universidad Nacional de San Juan. graciela_suvires@yahoo.com.ar.

²Instituto de Geología. Gabinete Geología ambiental.

FCEFN. Universidad Nacional de San Juan. lunapatriciaines@hotmail.com

RESUMEN

En la región central de los Andes, coincidente con el sector oeste y centro de Argentina, se realizó el presente análisis y clasificación geomorfológica de unidades cuaternarias. La historia geológica del Cuaternario en el tramo del valle del río San Juan corresponde a una compleja interrelación entre tectonismo y procesos sedimentarios aluvio-fluviales. El área de estudio ubicada en el sector sur de la Depresión tectónica de Tulum entre dos Provincias Geológicas: la Precordillera Oriental, al oeste, y las Sierras Pampeanas Occidentales, al este. Las actividades humanas con el avance hacia el sur de la frontera agrícola, exigen

un conocimiento geocientífico exhaustivo para un uso de la tierra racional y un desarrollo sostenido. El estudio geomorfológico realizado mediante fotointerpretación e imágenes satelitales y los diferentes apoyos de campo, permitieron la diferenciación de 25 unidades geomorfológicas de diferentes jerarquías: 6 Grandes Paisajes (GP) o principales unidades morfogenéticas con 12 Paisajes (P) de acuerdo a sus posiciones en la topografía local y 7 Subpaisajes (SP) en función principalmente del uso actual de las tierras. Estos ambientes construccionales fueron agrupados en cuatro unidades cuaternarias (Q1, Q2, Q3 y Q4), siguiendo criterios genéticos de los

depósitos correlativos de cada geoforma. Corresponden a Q1: depósitos coluvio-aluviales de piedemonte, Q2: depósitos de planicie aluvial abandonada (ca. 36.0 ka–10.0 ka), Q3: depósitos eólicos (ca. 3.5 ka - 1400 a AP) y Q4: depósitos fluviales actuales. Estos cuatro ambientes geológicos cuaternarios presentan distintos procesos morfodinámicos y amenazas para el uso de la tierra.

Palabras claves: Cuaternario, árido, Valle del río San Juan, uso de la tierra

SUMMARY

A geomorphologic analysis applied to the knowledge of the regional Quaternary geology was carried out in an arid region of Central Western Argentina. The study area lies between Eastern Precordillera and Western Pampean ranges System. The need for a better knowledge of the territorial units is required for a sustainable development of the new agricultural farms in the southern part of the central valley of the San Juan river. The geomorphologic study combine field works with processing and interpretation of air stereo photographs and satellite images. The different landforms were arranged in 6 Great Landscape units (GP), twelve

landscape units (P) and 7 sublandscape units (SP). The GP units are based on the morphogenesis, while the P units are based on altitude, topographic and location basin. The SP have minor extension relief features defined mainly by the land use. The twenty-five territorial units mapped are arranged in successive steplike levels, which facility a relative chronology. These Quaternary environmental units were collected in only four units: Q1, made up by colluvio-alluvial deposits, Q2, abandoned alluvial plain deposits (ca. 36,000 yr BP – 10,000 yr BP); Q3, aeolian sediments (3,500 yr BP – 1,400 yr BP) and Q4 present day fluvial deposits. These four geological quaternary environments were analyzed and applied them to land use and regional development.

Key words: Quaternary, arid region, San Juan river valley, land use planning

INTRODUCCIÓN

El territorio de la provincia de San Juan tiene una superficie de 92.000 km², 2/3 de la misma está ocupada por cordones montañosos pertenecientes a las provincias geológicas de Cordillera Principal, Cordillera Frontal, Precordillera y Sierras Pampeanas, de oeste a este. Estos

sistemas se encuentran separados entre sí por depresiones tectónicas longitudinales (“valles”) rellenas con potentes depósitos sedimentarios cuaternarios asociados a aportes locales pero principalmente a los diferentes episodios proglaciales pleistocénicos que se sucedieron en los Andes Centrales. En estas regiones áridas, los valles son irrigados por dos ríos de alimentación nival y glacial (San Juan y Jáchal), situación que favorece el desarrollo de poblaciones concentradas y actividades asociadas en oasis. La actual expansión del oasis hacia el sur de la depresión del Tulum, alrededores del cerro Valdivia, requiere de rigurosos estudios geocientíficos, para lo cual la geomorfología se constituye en una valiosa herramienta que permite mostrar las diferencias de las unidades territoriales y sus probables usos.

El objetivo del presente trabajo es identificar, clasificar y cartografiar las unidades geomorfológicas cuaternarias que integran el sector sur del valle del río San Juan en la Depresión del Tulum, al este de la Precordillera Andina, y su agrupación en unidades crono-estratigráficas cuaternarias con sus procesos morfodinámicos a los fines de contribuir a los lineamientos territoriales regionales.

El área de estudio se ubica en la intersección de las coordenadas 31° 50´ S y 68° 30´ O (Figura 1 a y b) en una región caracterizada por dos amenazas ambientales: la alta sismicidad y la extrema aridez.

La ausencia de una cubierta de vegetación favorece el empleo de técnicas como la fotointerpretación y el relevamiento de campo. En Argentina, la mayoría de los asentamientos humanos están ubicados sobre depósitos eólicos (loess de la Pampa Húmeda), fluviales (Mesopotamia) y glacifluviales (Cuyo), de edad cuaternaria. Debido a ello el interés en la cartografía de la geología del Cuaternario está comenzando a tomar más fuerza por su demanda en los planes de desarrollo sustentable y en la Geología Ambiental. En estas vastas regiones, la metodología para cartografiar el Cuaternario se sustenta principalmente en el análisis geomorfológico, sedimentológico y pedológico. Las metodologías de análisis y clasificación sistemática geomorfológica son conocidas a través de la Escuela de Tricart (1965), James (1950), Wurschmidt (1974), Haase (1976), Laut *et al.* (1977), Van Zuidam (1977) y Sayago (1982), entre otras, en las que el relieve es considerado como un elemento prioritario y esencial para la caracterización de los restantes elementos, particularmente los suelos y la vegetación.

MATERIAL Y MÉTODO

Se empleó la fotointerpretación y el procesamiento digital e interpretación de imágenes satelitales, con apoyos de campo. Se empleó el método del análisis geomorfológico combinado con un sistema de jerarquización de unidades ambientales en Gran Paisaje, Paisaje y Subpaisaje (Sistemas estratificados del ITC) (Botero, 1984). Se emplearon cuatro fotografías aéreas a escalas: 1:25.000 y 1:10.000, de los años 1973, 1984 y 2005, y las imágenes satelitales ASTER, para producir los mapas temáticos de geomorfología y de geología del Cuaternario, a escalas 1:10.000. Se completaron numerosas planillas de campo, conteniendo datos morfométricos y morfodinámicos (valores numéricos de superficies, pendientes, alturas, grado, profundidad y ancho de rasgos de erosión, alturas de barrancos y escarpes topográficos), datos morfogenéticos (tipos de procesos), características de los depósitos (origen, litología, selección, granulometría o textura), y el uso de la tierra si existía (Figura 3). El mapa final de unidades cuaternarias se obtuvo de la agrupación morfogenética en 4 unidades (Q1, Q2, Q3 y Q4). El relevamiento de los diferentes tipos de procesos morfodinámicos se plasmó sobre

la Figura 5. Los trabajos de campo se realizaron en toda la zona ubicada al sur del río San Juan, no obstante, en el sector localizado entre el cerro Valdivia, al oeste, y el cauce actual del río San Juan, al este (área ubicada en Fig. 1b), el apoyo fue más detallado ya que la región posee una mayor diversidad de unidades morfogenéticas y una mayor prioridad en los planes de ordenamiento territorial. Se obtuvo un mapa de unidades morfogenéticas locales (Figura 3) con 6 Grandes Paisajes o unidades geomorfológicas regionales, 12 Paisajes y 7 unidades de Subpaisajes. Los Grandes Paisajes fueron reconocidos de acuerdo a criterios puramente morfogenéticos (aluvial, eólico, fluvial, coluvial), mientras que los Paisajes en función de la ubicación de la geofoma en relación a la cuenca (proximal, distal) o a características de altura (bajo, altos) como asimismo a la morfodinámica (fijo, semifijo, móvil, actual, abandonado). Las unidades de Subpaisajes caracterizan a unidades geomorfológicas constructivas (abanicos, depósitos eólicos) y erosionales (glacis), o bien con uso antrópico o por otras características necesarias de tener en cuenta para la determinación posterior del uso potencial de las tierras (presencia de paleocauces).

CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

El valle del río San Juan en el Tulum alcanza un ancho O-E que varía entre 5 y 50 km y una longitud N-S de aproximadamente 100 km, entre cotas que descienden de 650 m en la parte proximal hasta los 500 m en el nivel de base. Éste se abre en dirección este y sur mediante un gran abanico y una extensa planicie aluvial hasta alcanzar el nivel de base local en el grupo de lagunas (Figura 2H).

El valle del Tulum se ubica en una Depresión Tectónica (Rocca, 1969; Zambrano, 1986) que se extiende entre dos Provincias geológicas y morfoestructurales diferentes, la Precordillera Oriental, al oeste, y las Sierras Pampeanas representadas por la sierra Pie de Palo en la región. Esta última pertenece al sistema de Sierras Pampeanas Occidentales. La Depresión preandina está rellena con sedimentos cuaternarios aluviales y fluviales que, en ciertos lugares, sobrepasan los 600 m de espesor, apoyados sobre un basamento impermeable terciario y/o paleozoico (Rocca, 1969; Zambrano, 1986; Lloret & Suvires, 2006). Las variaciones de espesores del relleno cuaternario en cortas distancias y

la existencia de fallas en el interior del valle de Tulum están sugeridas por los perfiles asimétricos de los cerrillos de Barboza, Valdivia y Salinas (Zambrano & Suvires, 2008). Estos cerrillos muestran pendientes abruptas al oeste y suaves al este (Comínguez & Ramos 1991; Costa *et al.*, 2000).

El relieve del territorio sanjuanino presenta dos grandes diferencias, por un lado aquellos elevados y montañosos que sobrepasan los 750 m hasta alcanzar alturas superiores a los 5.000 m, que están constituidos por afloramientos de rocas anteriores al Cuaternario y, por otro, los relieves bajos de las depresiones y piedemontes que bordean a los montañosos, integrados por espesos depósitos de relleno sedimentarios del Cuaternario. Tanto los relieves montañosos como las depresiones se elevaron hasta casi sus alturas actuales en el límite Terciario-Cuaternario, siendo la edad de sus afloramientos montañosos precuaternaria y cuaternaria para los depósitos que rellenan las depresiones (Figura 1b). Los procesos geotectónicos andinos en la región continúan formando y acentuando las desnivelaciones de los relieves, elevando las montañas y hundiendo las depresiones. En este

estudio se aporta la Figura 5 con cuatro unidades cuaternarias, las que se obtienen a partir del análisis

morfogenético y morfocronológico (Calmels, 2000) (Figura 3).



Figura 1a. Ubicación del área de estudio, (b) Diferenciación entre relieves montañosos y depresiones; afloramientos rocosos precuaternarios y depósitos de relleno sedimentarios terrígenos cuaternarios

Figure 1a. Situation of the area under study, (b) Differences between mountain and depressions reliefs units, pre-Quaternary outcrops and Quaternary sedimentary fill deposits

RASGOS CLIMÁTICOS

La mayoría de las unidades geomorfológicas relevadas presentan evidencias de la influencia

climática zonal. El área de estudio es un desierto de sombra de montaña (Suvires, 2005), denominado el

pequeño Sahara argentino (Le Houerou, 1999) o desierto verdadero (Le Houerou et al., 2006) ubicado a sotavento de la Cordillera de los Andes, hacia el oeste y centro de la República Argentina. Pertenece a la Diagonal Árida Sudamericana, que se extiende desde el norte de Perú hasta el Estrecho de Magallanes (De Martonne, 1935). Los procesos actuales en la geomorfología se ven condicionados por el clima de la región y por la actividad tectónica andina. El clima es árido y seco (Poblete y Minetti, 1989) (BW de Köppen), con precipitaciones anuales inferiores a los 100 mm, siendo el invierno la estación seca. La temperatura media anual es de aproximadamente 18° C. Los vientos predominantes son del sur y sureste, frescos y con algo de humedad, aunque también se presentan vientos provenientes del norte y oeste, extremadamente secos, con velocidades superiores a 80 km/h, denominados Zonda. Las precipitaciones representan en promedio el 5% del volumen evaporado en un año. La vegetación corresponde a la provincia Fitogeográfica del Monte y la participación de la vegetación en la protección del suelo es pequeña, situación que favorece el desarrollo de procesos de erosión y de desertización.

UNIDADES MORFOGENÉTICAS REGIONALES (FIGURA 2)

Los espesos rellenos y grandes granulometrías de los depósitos

aluvionales de estas cuencas extraandinas evidencian condiciones geológicas paleoambientales existentes durante el Cuaternario, por lo que Clapperton (1993), Milana (1994) Lloret & Suvires (2006) relacionan las mismas con los estadios de derretimiento de glaciares que cubrían las estribaciones y piedemontes de la Cordillera de los Andes, durante gran parte del Cuaternario Temprano-Medio. El Plan de Agua Subterránea (PAS) (1960-1970) permitió conocer las características del subsuelo de la región y la existencia de un acuífero libre alojado en los depósitos del abanico aluvial del río San Juan, y un acuífero confinado en los depósitos de la planicie aluvial abandonada del río San Juan (Rocca, 1969). Hacia el oeste de la depresión del río San Juan se ubican los piedemontes de los cordones de la sierra Chica de Zonda (Figura 2c) y de la sierra de Villicum (Figura 2j). El piedemonte de la sierra Chica de Zonda está constituido por rodados de calizas, cuarzo y dolomías. Mientras que el del cerro Valdivia lo está por bloques, rodados y gravas de metamorfitas. En ambos existen asomos de sedimentitas terrígenas rosadas del Neógeno.

La Figura 2 muestra, en la parte central del valle del río San Juan, dos grandes unidades geomorfológicas: la (I) que nace

desde la quebrada de Zonda y que constituye el extenso abanico aluvial del río San Juan identificado por Rocca (1969) y citado posteriormente por Zambrano (1985) y Suvires (2004), integrado por rodados de rocas ígneas, sedimentitas, vulcanitas, en una matriz arenosa y la (D) que se extiende y explaya al finalizar el abanico hacia el sur, este, y norte, formando la amplia planicie aluvial abandonada del río San Juan, integrada por depósitos finos de lentes de arcillas, limos, arenas finas y sales. Ambas unidades geomorfológicas depositadas por el río están abandonadas, pero disectadas y recorridas por el cauce actual del río San Juan y su llanura de inundación. Hacia el norte y sur de esta depresión, los depósitos de la planicie (D) están cubiertos por sedimentos eólicos que se elevan formando dunas (E). Los vientos provenientes del sur y sureste acumulan la arena por ellos transportada cuando se encuentran con barreras topográficas o con altos estructurales, como es el caso de los Grandes campos de dunas (sand seas) al sur de la sierra Pie de Palo. Dos niveles de base regionales existen en la región, uno hacia el norte

denominado Campo El Jumeal (G), que es un barreal relleno por sedimentos finos de arcillas, limos y sales, bordeado por dunas, que se extiende en el depocentro entre las sierras Pie de Palo y de Villicum; y el otro hacia el sur (H), en el límite entre las provincias de San Juan y de Mendoza, que corresponde al Grupo de Lagunas del Rosario, Hechuna, la Balsita y de Guanacache, son sectores bajos y deprimidos donde drenan sus aguas los ríos San Juan y Mendoza.

Sobresalen del relieve llano de la parte central de la planicie aluvial dos montañas interiores: el cerro Barboza (776 msm) hacia el centro y el cerro Valdivia (830 msm) (A y B), hacia el este. Ambos son bloques estructurales, elevados, integrados por metamorfitas del Precámbrico-Paleozoico Inferior y que juntamente con la sierra Pie de Palo pertenecen al Sistema de Sierras Pampeanas Occidentales. Estos son los afloramientos más occidentales del sistema montañoso pampeano que se adentra hacia el este en el territorio central argentino. La unidad (K) corresponde al piedemonte occidental de la sierra Pie de Palo.

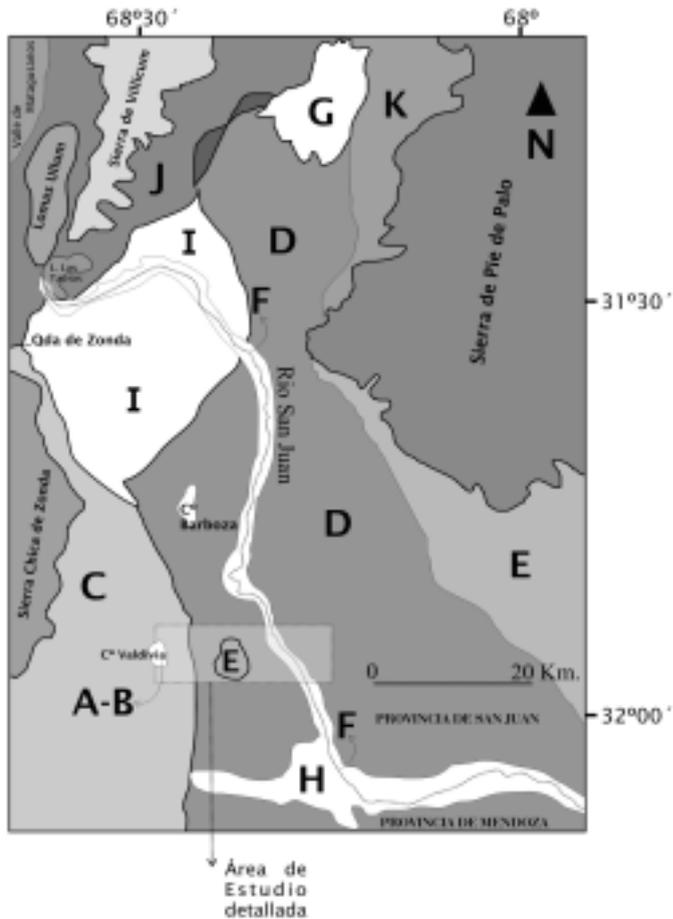


Figura 2. Unidades morfo-genéticas regionales de la Depresión del Tulum. A-B: Cerro Valdivia y piedemonte; C: piedemonte de la Sierra Chica de Zonda; D: planicie aluvial abandonada del río San Juan; E: dunas; F: cauce actual y llanura de inundación del río San Juan; G: depósito de playa: barreal *El Jumeal*; H: Lagunas del Rosario-Hechuna-La Balsita; I: abanico aluvial del río San Juan; J: piedemonte sierra Villicum; K: piedemonte sierra Pie de Palo

Figure 2. Regional Morphogenetic units of The Tulum Depresión. A-B: Valdivia Hill and own piedmont; C: piedmont of Chica de Zonda range; D: ancient alluvial plain of San Juan river; E: dunes; F: stream and floodplain of San Juan river; G: playa lake deposit: barreal *El Jumeal*; H: Rosario-Hechuna-La Balsita Lakes system; I: alluvial fan of San Juan river; J: Villicum range piedmont; K: Pie de Palo range piedmont

UNIDADES MORFOGENÉTICAS LOCALES DE LOS ALREDEDORES DEL CERRO VALDIVIA

En el área rectangular delimitada en la Figura 2, ubicada entre el cerro Valdivia por el oeste y el cauce actual del río San Juan al

este, se realizó el relevamiento de las unidades geomorfológicas y de sus depósitos correlativos, lográndose el mapa de la Figura 3. Las unidades son: A - Montaña de interior del Cerro Valdivia, B - Piedemonte oriental del Cerro Valdivia, C- Piedemonte de la Sierra

Chica de Zonda, D- Planicie aluvial abandonada del río San Juan, E- Dunas y F- Fluvial actual del río San Juan (incluido la llanura de inundación actual y nivel de terraza).

El segundo y tercer niveles de unidades geomorfológicas corresponden a los Paisajes y Subpaisajes, identificados en la Tabla 1 y la Figura 3.

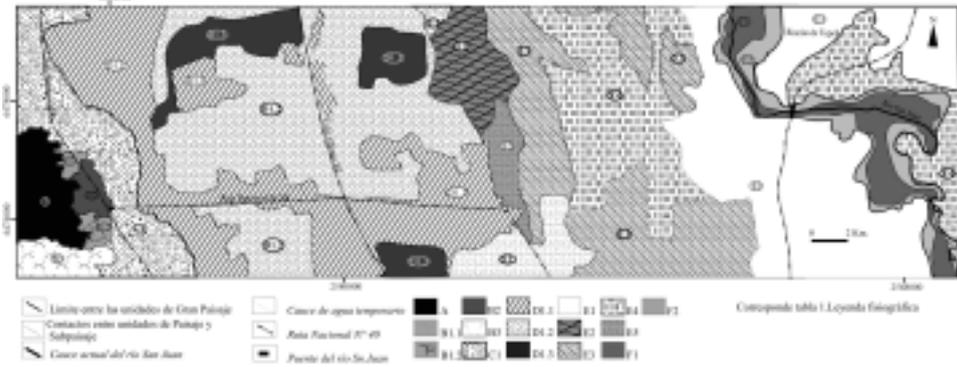


Figura 3. Unidades morfogénicas locales (entre el cerro Valdivia y el río San Juan)
 Figure 3. Local morphogenetics units (between Valdivia Hill and San Juan river)

Tabla 1. Referencias de la Figura 3: unidades morfogénicas locales
 Table 1. Figure 3 references: local morphogenetic units

Símbolo	Gran Paisaje	Paisaje	Sub paisaje	Datos morfométricos
A	Montaña interior cerro Valdivia			Pendiente (P): +25% 836 m
B	Piedemonte oriental del cerro Valdivia	B1 Proximal B2 Medio distal B3 Indiferenciado	B1.1 Abanicos aluviales B1.2 Niveles de glacés	(P):1 a 5 % (P): 0,5 a 3 % 590 m 560 m
C	Piedemonte de la sierra Chica de Zonda	C1 Distal en transición a la planicie aluvial		565 m
D	Planicie aluvial abandonada del río San Juan	D1 Distal	D1.1 Con Paleocauces. D1.2 Con depósitos de arenas eólicas. D1.3 Con uso de la tierra.	(P):1 a 1.5 % 550-555 m
E	Dunas	E1 Semifijos. E2 Bajos. E3 Altos. E4 Cubierta arenosa discontinua. E5 Con paleocauces.		558 m
F	Fluvial actual del río San Juan	F1 Cauce y llanura de inundación F2 Terraza abandonada		(P):0,5 a 1.5 % 550 m

La unidad A, montaña interior del Cerro Valdivia (Figura 4 a) es un bloque de afloramiento metamórfico NE-SO, que tiene 4,5 km. de longitud, 700 m de ancho y 830

m de altura. Está formado predominantemente por cuarcitas, micaesquistos, esquistos micáceos granatíferos, anfibolitas y filones de cuarzo y feldespato de edad

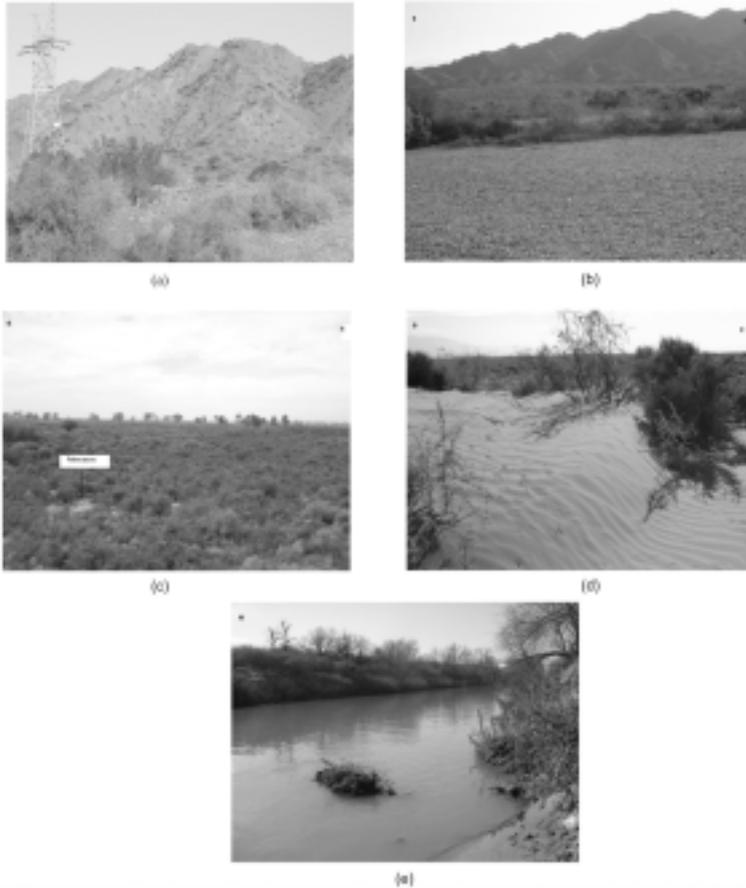


Figura 4a. Vista hacia el oeste del Gran paisaje (GP) A: montaña interior Cerro Valdivia, y subpaisaje B1: Piedemonte Proximal, 4b. En primer plano Piedemonte de la sierra Chica de Zonda (C) y hacia el fondo (A) estribaciones montañosas nororientales del cerro Valdivia, 4c. GP de la Planicie aluvial abandonada del río San Juan (D) y del SP paleocauces en la planicie (D1.1), 4d. GP de la unidad E: dunas y del SP: E2 dunas bajas, 4e. GP de la Llanura de inundación y niveles de terraza del actual río San Juan (F) y Paisaje F2 cauce actual del río San Juan

Figure 4a. Regional view to the west: Great Landscape (GP) A: interior mountain of Valdivia Hill, and sub-landscape B1: proximal Piedmont, . 4b. First Plan: piedmont of Chica de Zonda range (C), and second plan (A) nor-eastern part of mountain rocky of Valdivia Hill, 4c. GP San Juan river abandoned alluvial plain (D) and SP palaeochannel inside alluvial plain (D1.1), 4d. GP of dunes (unit E) and SP low dunes E2., 4e. GP of floodplain and terraces levels of San Juan actual river (F). F2 actual channel of San Juan river landscape

neopaleozoica. Hacia el sur del cerro afloran sedimentitas del Paleozoico Superior (Baldis *et al.*, 1990). La diferencia de altura entre su cumbre y el centro de la depresión es de 260 m. Hacia el este afloran sedimentitas rosadas del Terciario (Luna, 2006).

La unidad ambiental B, piedemonte oriental del cerro Valdivia (Figura 4a), tiene una pendiente más suave y mayor longitud que el occidental, debido a causas tectónicas. El oriental tiene 300 m de desarrollo oeste-este, y se extiende hasta los 590 m, sitio donde se desarrolla la planicie aluvial abandonada del río San Juan. Contiene tres Paisajes: B1: proximal, B2: medio-distal y B3: suroriental. El proximal (B1) está constituido por pequeños abanicos aluviales (B1.1) y por niveles de Glacís (B1.2) (relieves plano inclinados formados por cubiertas detríticas cuaternarias que sobreyacen a una discordancia erosiva elaborada sobre sedimentitas rosadas del Terciario). Tanto en B2 como en B3 no se diferenciaron unidades menores de relieve. El B2 está integrado por fragmentos y clastos subredondeados de metamorfitas con mezcla de arenas finas. El B3, ubicado hacia el sur del cerro, tiene rodados de metamorfitas con participación de calizas.

En los alrededores del cerro Valdivia habría existido un ambiente palustre-lacustre. Este ambiente estuvo presente entre ca. 32 ka AP hasta ca. 12 ka AP (Gambier, 1991). Coincide en este mapeo con el Piedemonte de la sierra Chica de Zonda, unidad de paisaje C1 (Distal en transición a la planicie aluvial).

El gran relieve C, piedemonte de sierra Chica de Zonda (Figura 4 b): es generado por los diferentes arroyos que descienden de los afloramientos calcáreos cambro-ordovícicos de la sierra Chica de Zonda. Esta última corresponde a la provincia geológica de Precordillera Oriental en los Andes Centrales. El límite entre los piedemontes del cerro Valdivia y de la sierra Chica de Zonda, en parte interdigitados, es posible reconocerlo gracias a las diferencias litológicas de sus cuencas, para el primero rodados y arenas con abundante mica y fragmentos de metamorfitas mientras que en el segundo predominan los rodados de caliza y arenas carbonáticas. La parte distal del piedemonte y ya en transición a la planicie aluvial D, corresponde al paisaje C1.

El gran paisaje D, planicie aluvial abandonada del río San Juan (Figura 4c), corresponde a la porción distal de la antigua planicie formada por el río San Juan con una suave pendiente en dirección NNO-SSE. La altimetría de N a S pasa de los 585 a 560 m mientras que de O a E se extiende entre los 580 m, sitio donde limita con el piedemonte del cerro Valdivia, hasta su mínima cota en los 545 m, en el nivel de base de erosión actual, el cauce del río San Juan. Esta planicie aluvial está integrada por una sucesión vertical de capas lenticulares interdigitadas de arena, limos, arcilla y sales. Estos depósitos atestiguan una génesis combinada entre sedimentos del río y arenas eólicas, motivos por los cuales autores como Zambrano (1987) la reconocen como una planicie mixta, fluvio-eólica. El Paisaje D1 corresponde al sector distal y sur de esta vasta planicie aluvial. Dentro de ésta se distinguen tres unidades de menor tamaño y pertenecen a: D1.1. subpaisaje con numerosos paleocauces del río San Juan; D1.2 sector de la planicie conteniendo depósitos de arenas eólicas y D1.3 sector de la planicie con uso de la tierra.

El Gran Paisaje E, dunas: (Figura 4d) son depósitos de arena, con alturas que sobrepasan los 4 m, de tamaño variable entre fina a media (Vallecillos & Suvires, 2006), trans-

portadas por vientos provenientes del sur y desde las planicies aluviales del río Mendoza. Un poco más hacia el norte de este sitio las arenas son muy finas y a veces son limos. Esta secuencia psamítica-eólica sobreyace y se diferencia notablemente de los depósitos inferiores limo, areno y arcillosos de la planicie aluvial. Dentro de este Gran Paisaje se registraron diferencias en cuanto a la altura y estabilidad o movilidad de las dunas y mantos arenosos, determinando la presencia de cinco unidades de Paisajes: las dunas semifijas (E1), dunas bajas (E2), dunas altas (E3), cubiertas arenosas discontinuas (E4) y el último paisaje correspondiente a dunas con paleocauces del río San Juan (E5).

Aproximadamente a 30 km hacia el oeste de estas dunas, e inmediatamente hacia el sur de la sierra Pie de Palo, se extiende un extenso campo de arenas eólicas con más de 2.400 km² de superficie, conocido como Los Médanos Grandes (unidad E en Figura 2). Tripaldi (2002) reconoce en los sectores sur, sudeste y occidental de estos Médanos Grandes una historia de formación compleja, donde la existencia de dunas con diferente morfología y orientación indicaría que durante su evolución se produjeron varios períodos de crecimiento ante diferentes direcciones de vientos.

El inicio del campo eólico según Iriondo & Krohling (1996) podría haberse originado durante el Estadio Isotópico 4, que se extendió entre los 77.000 y 60.000 años AP. Durante el mismo se produjo un avance generalizado de los glaciares en la Cordillera y debido a ello se instalaron en la región condiciones climáticas áridas, con vientos fuertes del sudoeste, originados por el Anticiclón del Pacífico Sur. Estos autores señalan la formación del mar de arena Pampeano, que cubrió gran parte de las actuales provincias del centro de Argentina (San Luis, Córdoba, Santa Fe, la Pampa y Buenos Aires). Posteriormente, luego de un mejoramiento climático durante el Estadio Isotópico 3, se establecieron entre los 36.000 y 15.000 años AP, nuevamente condiciones climáticas áridas, que coinciden con el Último Máximo Glacial (Estadio Isotópico 2). Luego la tercera etapa de crecimiento del campo de Médanos Grandes podría haberse producido durante el período árido del Holoceno superior, entre los 3.500 y 1.400 AP (Iriondo & Krohling, 1996), bajo un patrón de vientos similar al actual (sur sudeste). Nosotros consideramos, sobre la base de características geológicas regionales, que las dunas de la región se habrían depositado tam-

bién en este último período árido, es decir entre los 3.500 a 1400 a AP, con reactivaciones discontinuas hasta la actualidad.

El Gran Paisaje F: corresponde al ambiente Fluvial actual del río San Juan e incluye las unidades del lecho del cauce, la llanura de inundación o cauce mayor (F1) y nivel de terraza abandonada (F2: el río San Juan es un curso de agua permanente de alimentación nivo-glacial y su caudal en el Tulum es regulado por la Presa - Embalse de Ullum. Recibe en su trayecto (Rincón de Tupelí) drenes y desagües de fincas agrícolas. El río en partes presenta un diseño meandroso y en otro más rectilíneo, este último controlado por fallas E-O que atraviesan la depresión (Figura 5t). Este río ha cambiado de ubicación varias veces a lo largo del Cuaternario medio-tardío, dejando como evidencias numerosos paleocauces. Se destaca en su recorrido una amplia llanura de inundación (F1) en sectores con cultivos, que sufre riesgos de avulsión coincidente con épocas estivales. Dentro de ella pueden individualizarse grandes meandros y barras abandonadas. Localmente se individualizan además del cauce, un nivel regional de terraza con un talud de terraza de 300 cm (F2).

PROCESOS MORFODINAMICOS

La totalidad de las unidades ambientales de la Figura 3 se sintetizaron en tan sólo cuatro unidades geológicas cuaternarias en base a consideraciones estrictamente morfogenéticas. A esta información cuaternaria se le adicionó la morfodinámica a través del registro de los procesos con el objetivo de establecer algunos lineamientos generales para el uso territorial. Las cuatro unidades son: Q1 (depósitos coluviales y aluviales provenientes tanto de los asomos metamórficos precámbricos del cerro Valdivia como de los carbonáticos paleozoicos de la Precordillera Oriental Andina, en este caso la sierra Chica de Zonda); Q2 (depósitos de la planicie aluvial abandonada de la cuenca del río San Juan); Q3 (depósitos psamíticos eólicos de las Dunas), y Q4 (depósitos de cauce actual del río, la llanura de inundación y la terraza del río San Juan). La unidad Q3 sobreyace a la Q2 y la Q3 es recortada e incidida en varios luga-

res por la unidad Q4. Esta yacencia y encajamiento de geoformas y depósitos, permitió darles una posición cronológica relativa, siendo la más antigua la Q1, decreciendo en edad (Q2, Q3) hasta llegar a Q4, la más moderna. Los procesos registrados en el campo de la unidad Q1 corresponden principalmente a rasgos de erosión fluvial lateral o socavamiento y vertical, provocados por las bajadas de agua de aluviones estivales de los arroyos temporarios que descienden desde la sierra Chica de Zonda hacia la planicie aluvial. La unidad Q2 en cambio, ubicada en un relieve plano a casi plano, posee procesos de salinización y de deflación eólica. La unidad Q3 se caracteriza por procesos de acumulación eólica, mientras que la Q4 presenta procesos de anegamiento y desbordes del río San Juan y con control tectónico expresados en los cambios bruscos de la dirección del escurrimiento hacia el sur del río (Figura 5).

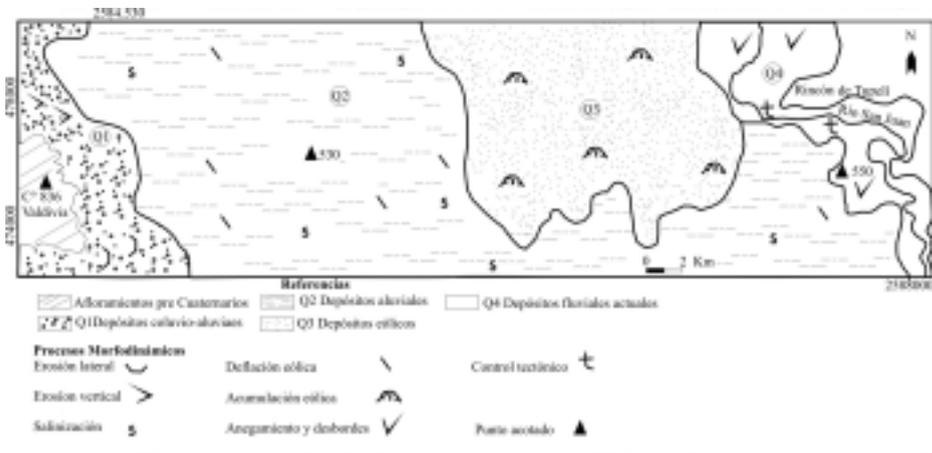


Figura 5. Procesos morfodinámicos en las Unidades Geológicas cuaternarias
Figure 5. Morphodynamic processes into Quaternary geological units

CONCLUSIONES

Las unidades geomorfológicas cuaternarias y sus depósitos correlativos provienen de cuatro agentes y aportes diferentes: la primera del oeste, de los afloramientos metamórficos del basamento cristalino de edad Precámbrico-Paleozoico inferior (esquistos, gneisses, filitas micáceas) del cerro Valdivia; la segunda, del oeste proveniente de la erosión y transporte de las calizas, dolomías y pedernal de los afloramientos de las sierras Chica de Zonda; la tercera proveniente del norte y noroeste correspondiente a la cuenca del río

San Juan con sus nacientes en los Andes Centrales y aportes de la Precordillera de San Juan, con rodados de rocas ígneas y sedimentarias, y finalmente la cuarta que corresponde a los sedimentos arenosos transportados por paleovientos del S-SO y por vientos actuales del S-SE. El nivel cartográfico y jerárquico de Gran Paisaje, correspondiente a las unidades (montaña interior del cerro Valdivia, Piedemonte oriental del cerro Valdivia, Piedemonte oriental de la Sierra Chica de Zonda, Planicie aluvial del río San Juan, Dunas y Fluvial del río San Juan),

se utilizó para la agrupación y síntesis en las cuatro unidades geológicas cuaternarias, dispuestas en: Q1, Q2, Q3 y Q4, en un orden decreciente de edad. Éstas, por correlaciones geológicas y geomorfológicas, se agrupan en: Q1: depósitos coluvio-aluviales; Q2: depósitos de planicie aluvial abandonados (36 ka a ca. 10 ka), Q3: depósitos eólicos (3, ka a ca. 1400 y AP) (Iriondo & Krohling, 1996) y Q4: depósitos fluviales actuales. El relevamiento de los procesos morfodinámicos en cada una de las unidades ambientales cuaternarias (Qi) permite brindar algunos lineamientos sobre las diferentes aptitudes de las mismas para el uso territorial. De este modo, y en orden de menor a mayor favorabilidad hacia el uso, las unidades son: Q3, Q4, Q1 y Q2. La unidad Q3 posee limitaciones debido a la acción de los vientos, principalmente a la depositación. La Q4, presenta amenazas por avulsión del río en la llanura de inundación y por el control estructural en la dirección del río a la altura del Rincón de Tupelí, por una falla de dirección casi E-O. La Q1, en las áreas marginales a los cauces de los arroyos, es afectada por la bajada de fuertes y esporádicas corrientes detríticas aluvionales estivales, mientras que los espacios interarroyos o interfluvios son poten-

cialmente útiles pero con precauciones. La Q2, es una unidad con mayor superficie y menor pendiente, y sus limitaciones están dadas por los procesos de salinización superficial y de deflación eólica, los cuales pueden ser controlados y manejados con la aplicación de nuevas tecnologías, debido a ello se considera esta unidad como la más apta para la expansión de las fronteras agrícolas y asentamientos rurales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los árbitros intervinientes cuyas valiosas sugerencias contribuyeron a mejorar el original.

BIBLIOGRAFÍA

- BALDIS, B., R. MARTÍNEZ, C. VILLEGAS, M.E. PEREYRA & A. PEREZ, 1990. Estructura provincialismo geológico y unidades tectonoestratigráficas. Relatorio de Geología y de Recursos Naturales de la provincia de San Juan. *XI Congreso Geológico Argentino* I: 186-208, San Juan. Argentina.
- BOTERO P., J., 1984. *Guía para el análisis fisiográfico*. Centro Interamericano de Fotointerpretación (CIAF). Unidad de suelo. Bogotá. Colombia I: 1-40.

- CALMELS, A.P., 2000. *Manual de Relevamiento Geomorfológico de Escalas Grandes I*: 1-187, Universidad Nacional de La Pampa. Santa Rosa, La Pampa, Argentina.
- CLAPPERTON, C.M., 1993. *Quaternary Geology and Geomorphology of South America*, Elsevier, Pp: 1-86 Amsterdam.
- COMINGUEZ, A.H. & V.A. RAMOS, 1991. La estructura profunda entre Precordillera y sierras Pampeanas de la Argentina: Evidencias de la sísmica de reflexión profunda. *Revista geológica de Chile* 18(1): 3-14.
- COSTA, C.H., C.E. GARDINI, H. DIEDERIX & J.M. CORTÉS, 2000. The Andean Orogenic Front at sierra Las Peñas - Las Higueras, Mendoza, Argentina. *Journal South American Earth Sciences* 13: 287-292.
- DE MARTONNE, E., 1935. Problèmes des régions arides sul-américaines. *Ann. de Géog.* 44:1-27.
- HAASE, G., 1976. The chorical structure of the natural landscape. *XXIII Cong. International Geographie*, Moscou.
- JAMES, P., 1950. Programa para un relevamiento geográfico de América. *Publicación del Instituto de Geografía de la Universidad de Buenos Aires*, 98 Pp.
- GAMBIER, M., 1991. Cerro Valdivia. Los más antiguos cazadores y su paleomedio en el Valle del Río San Juan. *Instituto de Investigaciones Arqueológicas y Museo. Facultad de Filosofía, Humanidades y Artes. Universidad Nacional de San Juan*: 1-68.
- IRIONDO, M. & D.M. KRÖHLING, 1996. Los sedimentos eólicos del noreste de la llanura pampeana (Cuaternario Superior). *XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos*, IV: 27-48. Buenos Aires.
- LAUT, P., P. HEYLIGER, G. KEIG, E. LOFFLER, C. MARGULES & R. SCOTT, 1977. *Environments of South Australia Handbook.*, S.C.I.R.O.
- LE HOUEROU, H.N., 1999. *Estudio e Investigaciones ecológicas de las zonas áridas y semiáridas de Argentina*. IADIZA. CRICYT. Mendoza, Informe visita: 1-228.
- LE HOUEROU, H.N., E. MARTÍNEZ CARRETERO, J.C. GUEVARA, A.B. BERRA, O.R. ESTÉVEZ & C.R. STASI, 2006. The true desert of the central-west Argentina. Bioclimatology, geomorphology and vegetation. *Multequina* 15:1-15.

- LLORET, G. & G.M. SUVIRE, 2006. Ground Water Basin of the Tulum valley, San Juan, Argentina: a morphohydrogeologic analysis of its central sector. *Journal of South American Earth Sciences* 21(3): 267-275.
- LUNA, P., 2006. *Relación suelo-paisaje-vegetación a lo largo de una catena ubicada en el sector sur del Tulum*. Pp: 1-95. Tesis de Licenciatura. FCFN.UNSJ
- MILANA, J.P., 1994. Secuencias aluviales asociadas a variaciones hidrológicas. Consideraciones teóricas y ejemplos. *Revista Asociación Argentina de Sedimentología I* (2): 103-124.
- POBLETE, G. & J. MINETTI, 1989. Mesoclimas de San Juan. 1ra parte. *Inf. Técnico N 11*. Centro de Investigaciones de San Juan (CISAJ). San Juan. P: 23-67. SAN JUAN.
- RAGONA, D., G ANSELMO, P. GONZÁLEZ & G. VUJOVICH, 1995. *Mapa geológico de la provincia de San Juan, República Argentina*. Escala 1: 500.000. Secretaría de Minería dirección Nacional del Servicio Geológico.
- ROCCA, J, 1969. *Geología de los valles de Tulum, Ullum y Zonda, Prov. de San Juan. Argentina*. Plan Agua Subterránea. PAS: 1-132.
- SAYAGO, J.M., 1982. Las unidades geomorfológicas como base para la evaluación integrada del paisaje natural. *Revista Geológica Lilloana XVI* (1): 169-180. Tucumán, Argentina.
- SUVIRES, G. M., 2005. Distribución de los suelos en función del relieve y de la neotectónica en la región sureste de la provincia de San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 59 (3): 376-384. Buenos Aires.
- TRICART, J., 1965. *Principies et méthodes de la geomorphologie..* Ed. Mason.
- TRIPALDI, A., 2002: Sedimentología y evolución del campo de dunas de Médanos Grande (provincia de San Juan, Argentina). *Revista Asociación Argentina de Sedimentología* 9 (1): 65-82.
- VAN ZUIDAM, R., 1977. *Terrain analysis and classification using aerial photographs*. ITC text book. Enschede. 65 Pp.
- Vallecillos, G. y G. M. Suvires, 2006. Depósitos eólicos cuaternarios al SO del Cerro Barboza, Valle del Tulum, Provincia de San Juan. *Actas del III Congreso de Cuaternario y Geomorfología. Córdoba, Argentina*.
- WURSCHMIDT, E., 1974. La escala y las delimitaciones areales. *GAEA* 16: 15-55.

- ZAMBRANO, J.J., 1985. Actualización de la Geología del subsuelo del valle de Tulum. CRAS: Centro Regional de Agua subterránea. San Juan. Argentina. 86 Pp.
- ZAMBRANO, J.J. & G.M. SUVIRE, 2008. Actualización en el límite entre sierras Pampeanas occidentales y Precordillera Oriental, en la provincia de San Juan. *Rev. Asoc. Geol. Argent.* 63 (1):110-116.

Recibido: 6/2008

Aceptado: 11/2008