

## ACTIVIDAD GEOMORFOLÓGICA Y COLONIZACIÓN VEGETAL EN DEPÓSITOS DE ABANICOS ALUVIALES DEL DESIERTO DEL MONTE CENTRAL DE ARGENTINA

D. FLORES<sup>1,2\*</sup>, G. SUVIRES<sup>1,2,3</sup>, R. OCAÑA<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones de la Geósfera y la Biosfera (CIGEOBIO), CONICET, Av. Ignacio de la Roza y Meglioli. J5400, San Juan, Argentina

<sup>2</sup> Gabinete de Geología Ambiental, Dpto. de Geología y Biología, Universidad Nacional de San Juan, Av. Ignacio de la Roza y Meglioli. J5400, San Juan, Argentina

<sup>3</sup> Instituto de Geología, Universidad Nacional de San Juan, Av. Ignacio de la Roza y Meglioli, J5400, San Juan, Argentina.

**RESUMEN.** Se realizó un análisis geomorfodinámico del piedemonte occidental de la sierra Chica de Zonda, en la Precordillera Oriental de Argentina. La metodología utilizada fue una combinación de herramientas tradicionales, como la interpretación de fotografías aéreas y el análisis de imágenes satelitales, y un análisis exhaustivo de depósitos y de la vegetación mediante trabajo en campo. El objetivo de este estudio es identificar y clasificar los depósitos de abanicos aluviales de piedemonte teniendo en cuenta la acción de procesos morfodinámicos y establecer su efecto sobre las comunidades de vegetación nativa. Los resultados permitieron identificar dos grandes unidades morfodinámicas en los abanicos aluviales: a) depósitos activos actuales y b) depósitos inactivos antiguos. La cobertura de la vegetación asociada a estos depósitos muestra una diferencia significativa ( $p=0.034$ ), la diversidad y riqueza de especies varían de acuerdo con los procesos que actúan en los sectores de abanicos aluviales. Durante el período Cuaternario, en esta área se produjeron algunos cambios en los procesos dinámicos, lo que provocó el desarrollo de al menos dos ciclos de depósito de los flujos de carga con una relación diferente entre sólidos y líquidos. En la actualidad, estos diferentes depósitos de abanicos aluviales están sujetos a diversos procesos dinámicos que influyen en las características de la colonización y la distribución de las plantas nativas. La vegetación se distribuye en relación con el tipo de depósito en el que crece, sin embargo, también depende de la dinámica de los procesos que tienen lugar en las unidades geomorfológicas. La identificación y análisis de los procesos geomorfológicos son importantes para determinar la cobertura y la distribución de la vegetación en abanicos aluviales de zonas áridas.

### ***Geomorphological activity and plant colonization in alluvial fan deposits on Central Monte desert of Argentina***

**ABSTRACT.** A geomorphodynamic analysis was developed in a piedmont of Sierra Chica de Zonda Range in the Precordillera Oriental of Argentina using a combination of traditional methods including photointerpretation of aerial photos, analysis of satellite images and analysis of geomorphological processes and vegetation parameters in the field. The aim was to identify and characterize alluvial fan deposits with different morphodynamic processes, and to establish a relationship between processes and native vegetation properties. The geomorphological surveys and field observations enabled the identification and classification of two large morphodynamic units: a) current functional and active deposits and b) ancient non-functional and inactive deposits. The vegetation coverage associated to these deposits showed a significant difference ( $p=0.034$ ); species diversity and richness varied according to the processes operating in the alluvial fan sectors. During the Quaternary period several changes occurred in the dynamic processes in this area, which caused the development of at least two cycles of load flow deposit

*with a different relationship between solids and fluids. Currently, these different alluvial fan deposits are subject to diverse dynamic processes, which influence the characteristics of the colonization and the distribution of native plants. The vegetation is distributed in relation to the type of deposit over which it grows; however, it also depends on the dynamics of the processes taking place in geomorphological units. Both the identification and analysis of geomorphological processes are important for determining vegetation cover and distribution over alluvial fans in arid areas.*

**Palabras clave:** Morfodinámica, Sierra Chica de Zonda, cobertura, vegetación, geomorfología, piedemonte, abanicos aluviales

**Keywords:** Morphodynamics, Sierra Chica de Zonda, vegetation cover, geomorphology, piedmont, alluvial fans

Recibido: Marzo, 11, 2016

Aceptado: Junio, 23, 2016

\*Correspondencia: Daniel Flores, Centro de Investigaciones de la Geósfera y la Biósfera (CIGEOBIO), CONICET, Av. Ignacio de la Roza y Meglioli. J5400, San Juan, Argentina. E-mail: dflores@unsj-cuim.edu.ar

## 1. Introducción

Los abanicos aluviales han sido tradicionalmente asumidos como el arquetipo del ambiente de piedemonte y, por lo tanto, sus depósitos largamente citados en la literatura geológica como las acumulaciones clásicas y casi excluyentes, en áreas de frentes de montañas (Blair y McPherson, 1994; Talling *et al.*, 1995; Bertran *et al.*, 1997; Bilkra y Némec, 1998; Howard *et al.*, 2007; Suriano y Limarino, 2009). Comúnmente, estas geoformas se desarrollan al frente de los macizos montañosos, y pueden ser caracterizadas por el tamaño de sus depósitos, la composición de los clastos, las tasas de sedimentación y el transporte de sedimentos (Colombo, 1992; Saito y Oguchi 2005; Curry y Morris 2004; Ballantyne, 2002; Collinson, 2009).

Muchos estudios han demostrado cómo la morfología de los abanicos aluviales refleja interacciones entre tres importantes factores (Bull 1977; Blair y McPherson 1994; Harvey 1997, 2002): i) aquellos que influyen en el contexto del abanico aluvial (tectónica, topografía, espacio de acomodamiento); ii) aquellos que influyen en el transporte de agua en el abanico; y iii) los procesos que operan en el abanico (geología, relieve, clima) (Harvey *et al.*, 2005).

En la actualidad, los procesos geomorfológicos cambian la morfología de los abanicos aluviales, en los que se pueden diferenciar sectores teniendo como base la acción e intensidad de los procesos y también la vegetación que responde a estos cambios. La magnitud, corriente de flujo, la variabilidad de formas del terreno del aluvión y la vegetación están estrechamente relacionados entre sí y, de esta manera, son componentes fundamentales de los sistemas biofísicos de piedemontes de zonas áridas (Flores y Suvires, 2012; Flores *et al.*, 2015a).

El valle de Zonda, en la provincia de San Juan, es un excelente lugar para estudiar abanicos aluviales debido a que la topografía y las condiciones climáticas son óptimas para el desarrollo de estas geoformas (Suvires, 2013). En esta región, los ambientes sedimentarios son propensos a las estrategias de colonización de la vegetación debido a la presencia de estructuras sedimentarias modernas y antiguas que limitan entre sí (Flores *et al.*, 2015b).

En esta región hay dos tipos diferentes de abanicos aluviales. Por un lado, el mega abanico aluvial de Ullum-Zonda, que se encuentra dentro de una zona de escasas precipitaciones (100 mm/año), alimentado por el deshielo de los glaciares. Este gran abanico aluvial es importante como archivo fluvial y acuífero de eventos de deglaciación que posiblemente se corresponden con el Pleniglacial Medio (ca 65 a 24 ka) (Suvires, 2014). Por otro lado, hay abanicos aluviales pequeños en los piedemontes en el valle de Zonda (Flores *et al.*, 2015b). Estos abanicos aluviales se componen sobre todo de sedimentos transportados por las corrientes que descienden desde los afloramientos rocosos inmediatos y que circulan por canales o cauces efímeros. Tales canales colectan material sedimentario procedente de las

cuenas intramontañas, provocando cambios en la morfología del canal y en la velocidad del flujo (Rachocki, 1981).

El piedemonte occidental de la sierra Chica de Zonda forma parte de la provincia Fitogeográfica del Monte, ampliamente extendida en el territorio occidental de Argentina. Se caracteriza por su riqueza y diversidad florística, relacionadas con factores tales como la geomorfología y la hidrología regional (Cabrera, 1994). Dalmaso (2010) señala que, además de los factores mencionados anteriormente, las especies tienen procesos de autoecología (órganos de reserva de agua, modificaciones de las hojas en espinas, tallos fotosintetizadores, reducción de la superficie foliar, entre otros) que les permiten desarrollarse y sobrevivir en condiciones secas, con temperaturas extremas.

Con base en lo anterior, el objetivo de este estudio es identificar y clasificar los depósitos de abanicos aluviales de piedemonte teniendo en cuenta la acción de procesos morfodinámicos y establecer su efecto en las comunidades de vegetación nativa que sostienen.

## 2. Materiales y métodos

En este trabajo se analiza un piedemonte que constituye el flanco occidental de la sierra Chica de Zonda, al sur del río San Juan en el valle de Zonda. Paralelamente fueron también estudiados los sectores intrapiedemontanos correspondientes a abanicos aluviales seccionados y sus correspondientes lóbulos. El área analizada corresponde a uno de los sistemas tectónicos más importantes de la Precordillera Argentina, en el que se encuentra la falla regional Villicum – Zonda (Fig. 1).

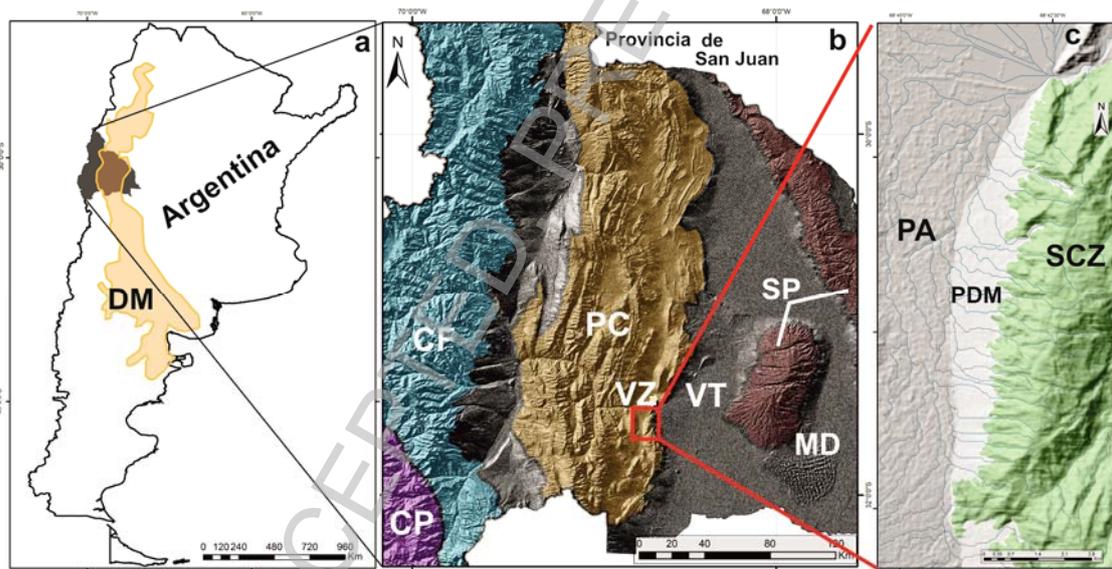


Figura 1. Ubicación del área de estudio; a) DM: provincia Fitogeográfica del Monte en Argentina; b) Principales unidades morfoestructurales de San Juan: CP: Cordillera Principal, CF: Cordillera Frontal, PC: Precordillera, VZ: Valle de Zonda, VT: Valle del Tulúm, SP: Sierras Pampeanas, MD: Médanos Grandes de Caucete; c) SCZ: Vertiente oriental de la sierra Chica de Zonda, PDM: Piedemonte, PA: Planicie aluvial río Seco de la Ciénaga.

### 2.1. Área de estudio

El área de estudio, desde el punto de vista regional, se encuentra dentro de la zona árida occidental de Argentina que forma parte de la “diagonal árida de América del Sur” (de Martonne, 1935), dentro de la Provincia Fitogeográfica del Monte (Morello, 1958) y se clasifica como una zona hiper árida (Le Houérou *et al.*, 2006); en consecuencia, la región registra una baja precipitación, marcada amplitud térmica anual y escasa cobertura de vegetación (Suvires, 2014; Flores *et al.*, 2015b). Localmente, la zona de trabajo se encuentra en un sector del piedemonte occidental de la sierra Chica de Zonda en la Precordillera Oriental en San Juan, entre 760 y 970 m s.n.m., en la intersección de los paralelos 68°42'47'' O y 68°44'41''O con los meridianos 31° 40' 9'' S y 31°33'40''S (Fig. 1). La

temperatura máxima anual es de 42°C y la mínima es de 8°C (Morello, 1958; Cabrera, 1974). Las precipitaciones se producen en el verano (diciembre a marzo), con valores que van de 80 a 100 mm anuales en forma de fuertes lluvias de corta duración (Poblete y Minetti, 1989). Las direcciones de viento dominantes son SE y SSE.

## 2.2. Análisis geomorfológico

Este trabajo integra dos aspectos de la metodología de análisis geomorfológico; en primer lugar, el análisis de datos de teledetección proporcionados por Google Earth e imágenes Landsat TM, fotografías aéreas pancromáticas con una escala de 1:20.000 (IGM, 1994) y el uso de mapas regionales. En segundo lugar, la interpretación local de los patrones y procesos geomorfológicos, realizando un exhaustivo trabajo de campo siguiendo los criterios para la clasificación de formas de relieve de las zonas áridas proporcionadas por Gutiérrez (2001) y el sistema de clasificación Enschede's ITC (Verstappen y Van Zuidam, 1968; Van Zuidam, 1976, 1977). El análisis se caracteriza por detallar los depósitos desde un punto de vista morfogénico, morfométrico y morfocronológico, además de tener en cuenta aspectos estructurales, así como la evaluación de la geología, litología y procesos geomorfológicos. Los procesos geomorfológicos activos no son observables normalmente en el campo (Lucía Vela *et al.*, 2008), pero sí las formas resultantes. Por eso, la caracterización de los procesos activos consistió en una descripción de las formas geomorfológicas que muestran evidencias de actividad.

## 2.3. Análisis de la vegetación

Con el fin de caracterizar florísticamente el piedemonte occidental de la sierra Chica de Zonda se establecieron líneas de recuento de especies (transecto) a lo largo de las unidades geomorfológicas. Estas líneas o unidades de muestreo (UM) se ubicaron en el piedemonte, teniendo en cuenta que el muestreo reflejase el comportamiento de las variables estudiadas en relación con la complejidad del paisaje previamente determinado por el análisis geomorfológico.

Se estimó el porcentaje de la cobertura total por especie vegetal en cada UM así como la proporción de fragmentos rocosos y la matriz interfragmental (sedimento que se encuentra entre los fragmentos). Para ello, en el eje central de cada transecto se dispuso una cinta métrica a lo largo de la cual cada 50 cm se registró la presencia de plantas verdes (vivas) o secas (mantillo), mediante el toque de alguno de estos ítems sobre una vara vertical de 1 cm de diámetro. La longitud de los transectos se calculó de forma tal que a lo largo de la misma se contactase por lo menos con el 80% de la totalidad de las especies presentes en la comunidad. Las especies no tocadas y registradas con censos de vegetación cualitativos en el área, fueron consideradas presentes y se les asignó un valor arbitrario de cobertura (0.1%) (Passera *et al.*, 1983). Los estudios de campo se llevaron a cabo durante la primavera-verano, coincidiendo con el período de lluvias principal de la zona.

La clasificación e identificación de las especies de plantas se realizó siguiendo la utilizada por el catálogo de plantas vasculares de Argentina (Instituto de Botánica Darwinion, 2015).

## 2.4. Análisis de los datos

Para analizar los datos de las especies de plantas, éstas fueron clasificadas en grupos funcionales de la forma siguiente: arbóreas, arbustivas, cactáceas y herbáceas para cada una de las unidades geomorfológicas. Se aplicó la prueba de normalidad Shapiro-Wilks a los datos obtenidos de las diferentes muestras. Posteriormente, se realizó un análisis de varianza utilizando la prueba de Kruskal Wallis para identificar diferencias significativas. Además, se calculó el índice de diversidad de Shannon-Wiener y la riqueza de especies (Moreno, 2001).

### 3. Resultados

#### 3.1. Unidades geomorfológicas

Las unidades geomorfológicas identificadas en el piedemonte corresponden a abanicos aluviales y sectores por donde drenan las corrientes de los arroyos efímeros. En general, los abanicos aluviales estudiados están compuestos por depósitos de gravas, limos, arcillas y arena eólica distribuidos por todo el piedemonte. La longitud de los abanicos es diferente entre los sectores norte y centro-sur (0.8 y 1.32 km promedio, respectivamente). Esto es producido por el efecto estructural del sistema de fallas regional Villicum-Zonda (V-Z) (Fig. 2). Generalmente, estos abanicos aluviales corresponden a diferentes ciclos de acumulación relacionados con cambios en la intensidad de los procesos hídricos en la región y con la actividad neotectónica local.

Los procesos hidrológicos actuales en el piedemonte poseen algunas características particulares, como la elevada carga de sedimentos que desciende a través de los canales activos y su derrame sobre otros depósitos ubicados debajo del punto de intersección (IP) (Fig. 3c).

En este piedemonte, el desarrollo de agradación de sedimentos tiene lugar en sitios donde hay una ruptura de la pendiente. Esto ocurre aproximadamente hacia 870 metros de altitud. El cambio de la pendiente se acentúa por el sistema de falla Villicum-Zonda (V-Z), que experimenta la actividad tectónica compresiva con superficie de alto ángulo de fallamiento inverso y un plano que se inclina hacia el este.

Las unidades geomorfológicas regionales A y B (Fig. 2) están compuestas de material de relleno que se origina en la cuenca de la sierra Chica de Zonda (Precordillera Oriental), mientras que el material de las unidades C y D proviene de la cuenca de Precordillera Central. La unidad A corresponde a la zona montañosa, integrada en su totalidad por piedra caliza y dolomita interestratificada del Paleozoico (Bordonaro, 1980). Las cuencas de la vertiente occidental de la sierra Chica son estrechas y empinadas y se ubican entre 990 y 1900 m s.n.m. En su cabecera, la cuenca retrocede hacia el este debido a la acción de los procesos de captura por flanco (Suvires, 2013).

La unidad B corresponde a las estribaciones de la sierra, ubicada al sur de la ciudad Zonda. Se desarrolla entre 790 y 990 m s.n.m., y se compone de varios depósitos aluviales detríticos del Cuaternario tardío. Algunos depósitos de abanicos aluviales se distinguen por su forma lobulada; se encuentran en la porción proximal. Estos depósitos están interrumpidos por canales actuales llenos de carga sedimentaria en tránsito (B6). Están constituidos por fragmentos de calizas, dolomitas y gravas empastadas en una matriz de clastos. En los abanicos aluviales de piedemonte hay niveles de depósitos que han quedado elevados y abandonados, y que son modificados por los procesos de formación del suelo.

En ciertos puntos, el desborde de las cargas sedimentarias está dispuesto por encima de los depósitos B1 ubicados en la parte distal del piedemonte. Algunos tipos de mecanismos son responsables del transporte y depósito de sedimentos en los canales aluviales, tales como *debris flows* de alta densidad. La unidad B5 corresponde a depósitos erosionados y retrabajados de los abanicos aluviales en su sector distal. En las unidades B1 se desarrolla un nivel de terraza producto de la erosión lateral que forma la unidad B2. Cerca del *knickpoint* se localiza un depósito de abanico aluvial relicto (B3) sobre los estratos de piedra caliza. Es posible considerar que este tipo de relieve mixto, como el que presenta este piedemonte, sea una mezcla de relieves con dinámica fluvial actual y zonas de acumulación sedimentaria elevadas.

La unidad B4 corresponde a los conos talud. Geomorfológicamente se definen como depósitos con forma de cono generados al pie de un escarpe, formados mayormente por sedimentos gruesos, inmaduros y pobremente estratificados, liberados desde la pared rocosa por efecto de la meteorización (Thornbury 1969; Strahler 1970; Strahler y Strahler, 1987). Su composición está dominada por fragmentos de roca caliza angular, oscura y gris, que están en contacto con la base del frente de la montaña.

La unidad geomorfológica C es la planicie aluvial del río Seco de la Ciénaga, compuesta por cantos rodados de origen sedimentario y volcánico. Este cauce temporal colecta agua y sedimentos provenientes de las cuencas ubicadas al sur del valle de Zonda, la sierra Negra hacia el oeste y la sierra Chica de Zonda, al este. La unidad C1 corresponde a las diferentes porciones de terrazas fluviales

relictas, remanentes y antiguas, que se encuentran elevadas por encima de la unidad C, y en algunos sectores, sobre la unidad B. Están compuestas por gravas ígneas y sedimentarias de la Formación Mogna (Plio-Pleistoceno). Finalmente, D es una superficie cultivada de olivos, con sistema de riego artificial y suelo removido. E es el sector de suelo desnudo, el cual, en un futuro cercano, se convertirá en D (Figs. 2 y 3a).

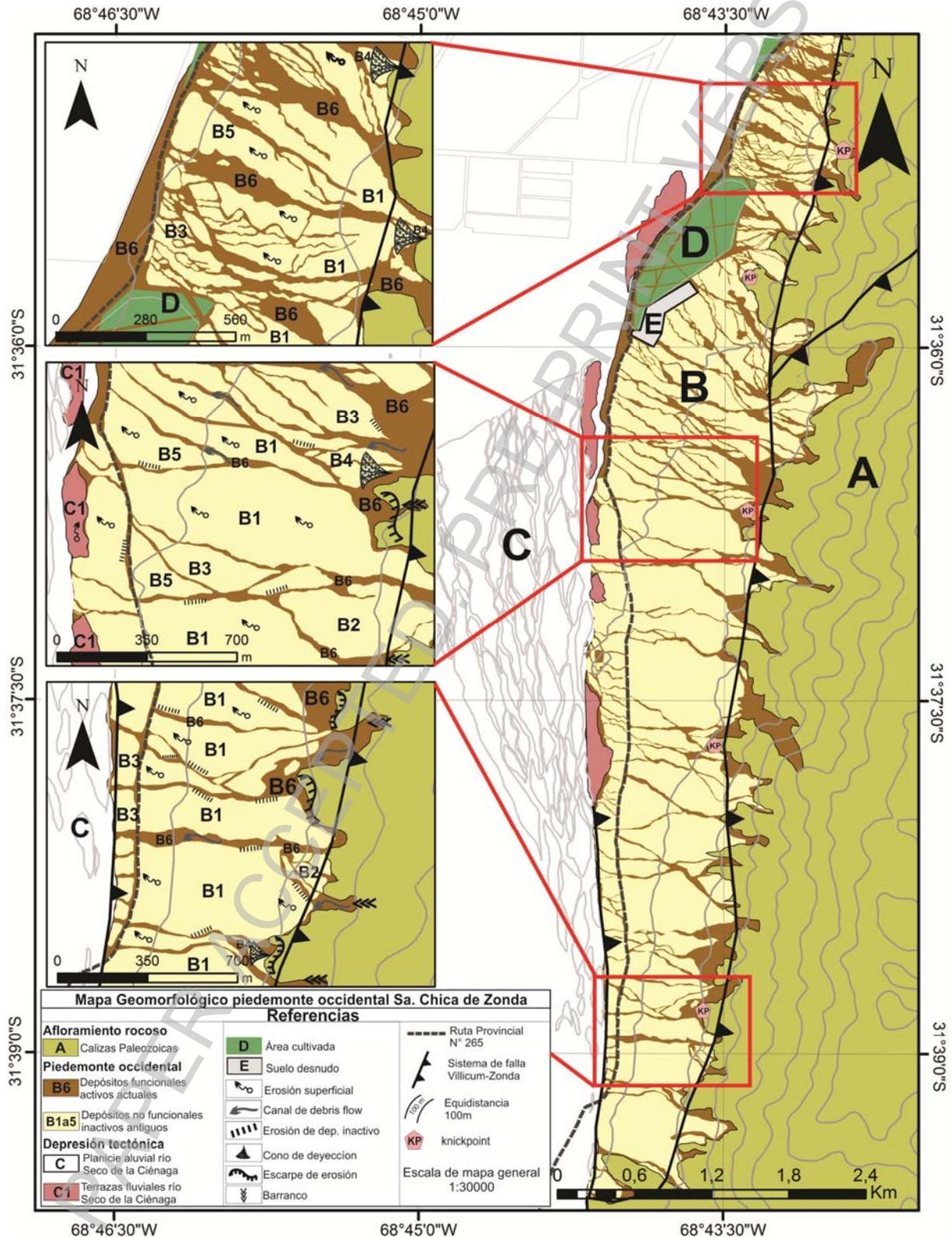


Figura 2. Unidades geomorfológicas de abanicos aluviales del piedemonte occidental de la sierra Chica de Zonda.

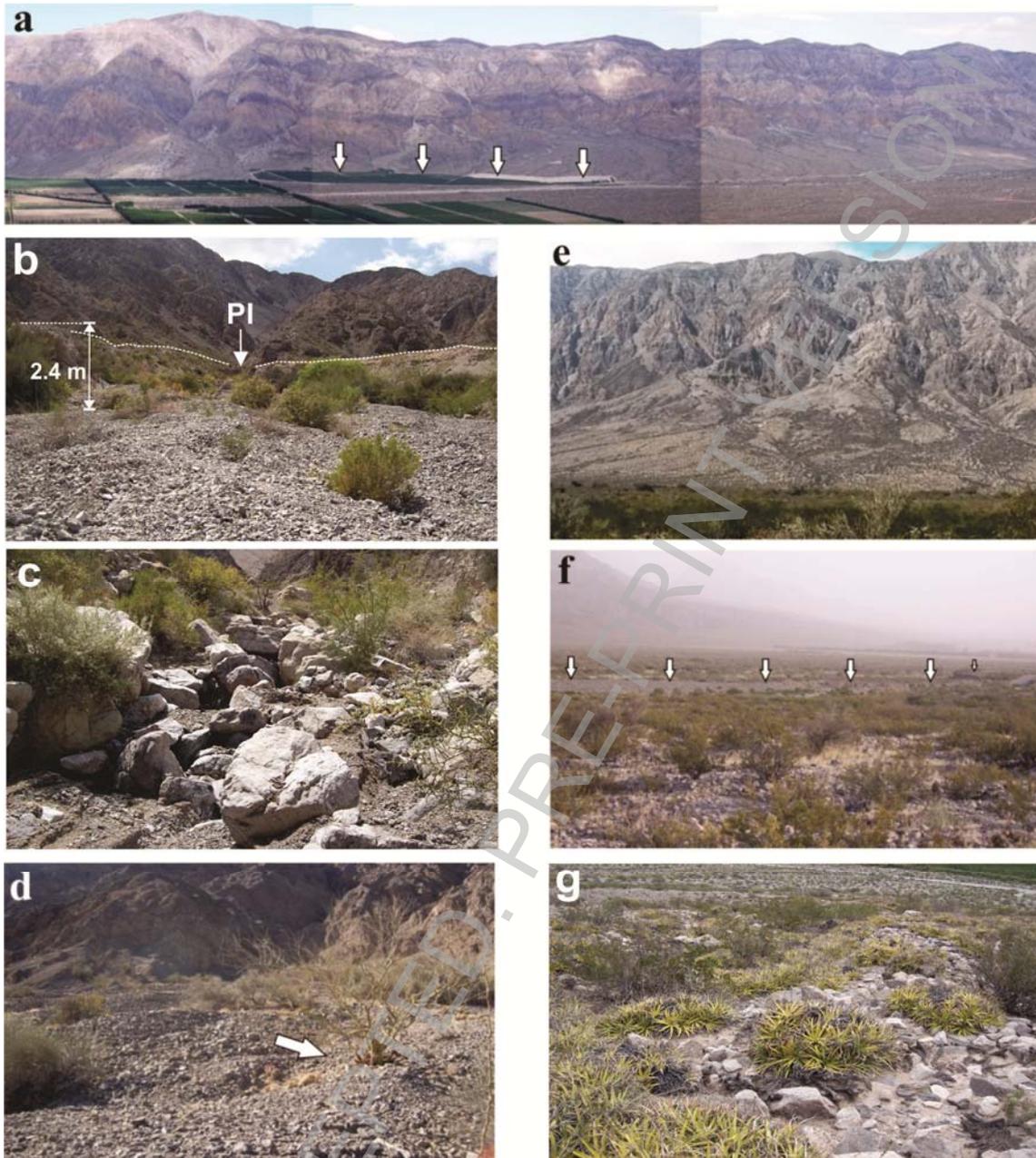


Figura 3. a) Vista panorámica del piedemonte occidental de Sierra Chica. Las flechas indican el cultivo y las áreas de suelo desnudo; b) piedemonte medio-distal. IP = punto de intersección; c) diferentes episodios de la acumulación de sedimentos en un depósito activo actual; d) un ejemplar de *Cercidium praecox* (brea) con un cactus en su base, situación común en depósitos funcionales; e) diferentes depósitos de piedemonte, la tonalidad amarillenta corresponde a depósitos inactivos antiguos, el color representa la presencia de hierbas anuales, la foto está tomada en invierno, los canales activos en cambio, se ven en verde debido a la vegetación perenne; f) Vista hacia el oeste de la parte distal del piedemonte, las flechas indican las terrazas fluviales relictas elevadas sobre el río Seco de la Ciénaga; g) depósitos inactivos antiguos con poblaciones de *Deuterocohnia longipetala*.

### 3.2. Clasificación morfodinámica de los depósitos

En este trabajo el término “activo” se refiere a los sectores de piedemonte con evidencia de acción hídrica actual. Estos sectores coinciden con los depósitos aluviales correspondientes a los canales efímeros y modernos (B6) que desembocan en la unidad C. Los depósitos “inactivos” se refieren a aquellos sectores elevados de abanicos aluviales (B1, B2, B3, B5), en los que se ven reducidos los procesos geomorfológicos o tienen una ausencia relativa. Aquí, los procesos morfogenéticos están favorecidos por la estabilidad de los depósitos. Teniendo en cuenta el análisis de los procesos geomorfológicos presentes en las diferentes unidades, los depósitos de abanicos aluviales se agruparon y se clasificaron como: a) depósitos activos actuales, y b) depósitos inactivos antiguos (Figs. 3d-g).

La figura 3b ilustra el punto de intersección (PI), donde la descarga de sedimentos desborda a los canales activos. Dentro de estos canales se observa vegetación arbustiva de baja altura que ha resistido a diversos episodios de flujo que bajan desde el afloramiento rocoso o bien han crecido sobre los sedimentos. La vegetación herbácea se ubica en los depósitos inactivos, formando pequeñas poblaciones junto con las cactáceas (Fig. 3g). En algunos sectores, la diferencia de altura entre la base de los depósitos activos y la base de los depósitos inactivos supera los 2 m (Fig. 3b). Las flujos de derrubios (*debris flows*) resultantes pueden ser matriz-soportados y anormalmente con clastos grandes “flotantes” organizados de forma caótica, cohesivos o no cohesivos en función del contenido de sedimentos de grano fino (Fig. 3c).

### 3.3. Vegetación

La vegetación del piedemonte de la sierra Chica de Zonda es arbustiva, de baja altura, y está dominada por *Larrea cuneifolia* (jarilla) y *Bulnesia retama* (retamo), acompañada de especies como *Deuterocohnia longipetala* (chaguar) y *Tephrocactus aoracanthus* (cactus). Generalmente, está representada por 30 especies de plantas distribuidas en 14 familias, de las cuales las más representativas son: *Poaceae*, *Cactaceae*, *Fabaceae* y *Zygophyllaceae*. El análisis de la vegetación no se realizó en la unidad B4 debido a que este estudio está enfocado en abanicos aluviales.

Los estratos arbóreo, herbáceo y de suculentas (cactus) presentan diferencias significativas en su cobertura sobre depósitos activos e inactivos (Tabla 1), mientras que el estrato arbustivo no muestra diferencias ( $p = 0.07$ ). En general, el análisis de la cobertura total de la vegetación muestra diferencias significativas ( $p = 0.03$ ) entre los diferentes depósitos de abanicos aluviales (Fig. 4).

Además, la figura 4 muestra los resultados obtenidos en el análisis de la cobertura de las propiedades físicas (fragmentos de rocas, matriz intrafragmental) y bióticas, así como la de cobertura de la vegetación y de mantillo.

Se observan diferencias significativas en la cobertura de los fragmentos de rocas entre los depósitos de abanicos aluviales, no así en la cobertura de mantillo y matriz interfragmental.

En los depósitos de abanicos aluviales que se encuentran elevados y abandonados, la ausencia de procesos activos ha favorecido el desarrollo de herbáceas como *Deuterocohnia longipetala*, que forman grandes poblaciones que cubren extensas superficies. Como consecuencia, se obtiene un valor más bajo de diversidad ( $H'$ ) que en los depósitos activos (2.19 y 2.71, respectivamente) (Tabla 2). En estos últimos depósitos, los arbustos como *Cercidium precox* y *Bulnesia retama*, juntamente con la especie arbórea *Prosopis flexuosa*, están asociados a pequeñas especies de cactus y gramíneas, que normalmente crecen en su base (Fig. 3d). La riqueza de especies es particularmente mayor en los depósitos dinámicos activos y menor en los depósitos inactivos estables (26 y 19, respectivamente) (Tabla 2).

Tabla 1. Variación de los porcentajes de cobertura de los diferentes estratos de vegetación presentes en los distintos depósitos de abanicos aluviales. Las diferencias significativas se muestran en negrita y cursiva.

Estrato de vegetación	Proporción de cobertura media (%)		p
	Depósitos activos (B6)	Depósitos inactivos (B1, B2, B3, B5)	
Hierbas	9.38	34.12	<b><i>0.01</i></b>
Arbustos	33.75	43.92	0.07
Árboles	45.57	3.58	<b><i>0.01</i></b>
Suculentas	11.30	18.38	<b><i>0.04</i></b>

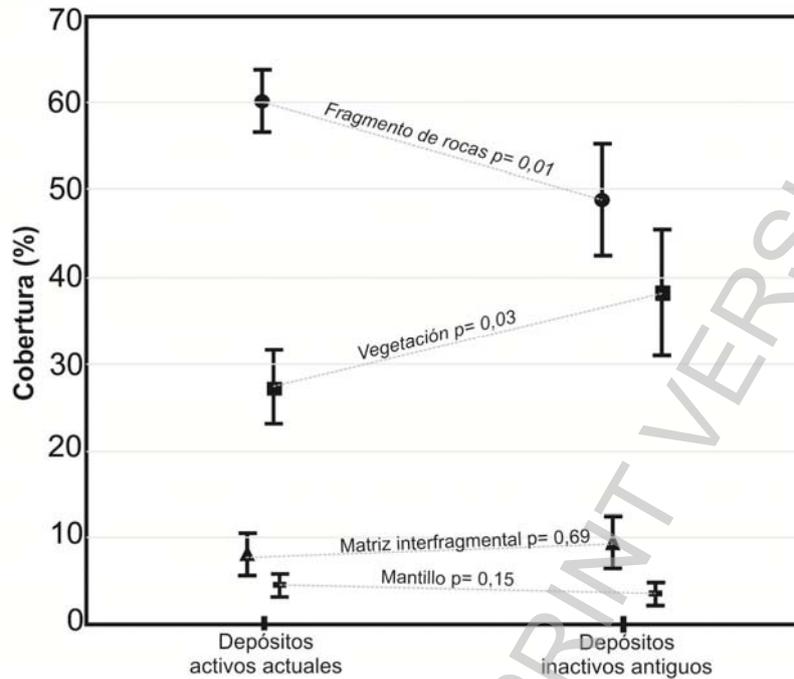


Figura 4. Variación en la cobertura de parámetros físicos y bióticos en diferentes sectores de abanicos aluviales. Las diferencias significativas se muestran en cursiva.

Tabla 2. Propiedades, clasificación y vegetación de los depósitos de abanicos aluviales del piedemonte occidental de la sierra Chica de Zonda. H': Índice de diversidad de Shannon-Wiener, C': Cobertura media (%), r': Riqueza de especies.

Depósitos de abanicos aluviales	Material parental	Procesos morfodinámicos	Edad (relativa)	Clasificación dinámica	Parámetros de vegetación			Especies dominantes
					r'	H'	C'	
B1	Cobertura de detritos cuaternarios y fragmentos de dolomitas y calizas	Pedogénesis	Antiguos	Depósitos inactivos	19	2.19	36.8	<i>Deuterocohnia longipetala</i>
B2		Pavimento del desierto						<i>Larrea cuneifolia</i>
B3		Barniz del desierto						<i>Aristida mendocina</i>
B5		Erosión superficial						<i>Tephrocactus aoracanthus</i>
		Acumulación de arena eólica						<i>Echinopsis leucanta</i>
B6		Erosión concentrada	Recientes o actuales	Depósitos activos	26	2.71	27.3	<i>Bulnesia retama</i>
		Erosión lateral de canales						<i>Larrea cuneifolia</i>
		Escorrentía						<i>Prosopis flexouosa</i>
		Debris flow						<i>Cercidium praecox</i>
								<i>Capparis atamisquea</i>

#### 4. Discusión

En la zona de estudio propuesta, los ambientes sedimentarios con depósitos actuales son particularmente susceptibles a las estrategias de colonización de la vegetación debido a su estructura, a las características superficiales y, principalmente, al movimiento del agua en relación con los entornos actuales y antiguos. Este entorno heterogéneo determina las condiciones ambientales de los alrededores para el tiempo de vida de la planta (Aguilar y Sala, 1997; Flores y Jurado, 2003), reflejado por las diferencias entre la diversidad, cobertura y riqueza de especies.

Según Ortega *et al.* (2010), la reconstrucción ambiental de una zona permite dilucidar los factores y procesos que producen las diferencias entre las tasas de colonización vegetal de un área determinada. En el piedemonte estudiado, se produjeron varias etapas de ciclos húmedos y secos durante el Cuaternario, favoreciendo la aparición de diferentes tipos de flujos que varían en contenido de agua y sólidos (Suvires, 2013). Estos flujos han creado depósitos sedimentarios de diferentes características y propiedades. Los lóbulos sedimentarios inactivos han sido depositados por corrientes acuosas de tracción, mientras que los lóbulos activos y modernos fueron depositados por coladas de rocas y escorrentías superficiales. Las altas cargas de detritos de los depósitos activos se movilizan aguas abajo durante las cortas e intensas lluvias de verano, donde la alta velocidad de flujo del fluido facilita la infiltración debido a una deposición repentina y rápida de la carga.

Está claro a partir de estos resultados que los depósitos activos actuales tienen la mayor biodiversidad y riqueza de especies, mientras que los sectores antiguos e inactivos tienen menor diversidad y riqueza pero mayor cobertura de la vegetación. Este resultado en la diversidad ( $H'$ ) manifiesta la existencia de procesos ecológicos como el “efecto nodriza” (Flores y Jurado, 2003; Armas y Pugnaire, 2005), cuya situación es común en los depósitos actuales debido a que la emergencia de las plántulas debajo del dosel de plantas de mayor porte reduce la probabilidad de ser arrastrado por el flujo de los residuos de elevaciones más altas.

Las especies dominantes en los depósitos activos son *Bulnesia retama* y *Larrea cunefolia*, mientras que en los depósitos inactivos *Deuterocohnia longipetala* y *Larrea cunefolia* son dominantes. El último género también se puede encontrar en el desierto situado en el sur de Nuevo México, donde *Larrea tridentata* se presenta principalmente en suelos de textura gruesa y su hábitat se ha expandido de manera significativa durante los últimos 150 años (Michaud *et al.*, 2013). De esta manera, factores como la topografía y la litología son responsables de la heterogeneidad de la vegetación, lo que coincide con estudios similares (Matteucci y Colma, 1982; Bisigato *et al.*, 2009; Flores y Suvires, 2012; Flores *et al.*, 2015a). Sin embargo, en esta zona de estudio, las diferencias entre los índices de vegetación no pueden atribuirse a la litología, ya que todos los materiales de los abanicos aluviales se forman a partir de fragmentos y clastos de caliza y dolomita.

Las diferencias definidas en las tasas de colonización de los abanicos aluviales del piedemonte indican la existencia de al menos dos ciclos de acumulación sedimentaria. Este evento se ve maximizado en los últimos mil años y hasta la actualidad con los cambios en las condiciones hidrodinámicas (Suvires, 2013).

#### 5. Conclusiones

Este estudio, realizado en un piedemonte ubicado en una región hiperárida, ha facilitado la observación de relaciones entre los parámetros físicos y bióticos a escala regional y local: la integración de los resultados entre la vegetación y los procesos morfodinámicos existentes entre las unidades geomorfológicas. A pesar de que la región se encuentra en un dominio de extrema aridez, los principales procesos dinámicos de erosión, el modelado de los depósitos y la geomorfología están, en su mayoría, relacionados con la hidrología superficial y los efectos de la actividad neotectónica. La modalidad de distribución y transporte de sedimentos en el área de la sierra crea diferentes condiciones ambientales que favorecen las diferencias en la distribución de las plantas nativas.

Las especies dominantes están separadas de acuerdo con la estabilidad o dinámica de los depósitos. Así, *Bulnesia retama* se encuentra en depósitos aluviales actuales y activos, mientras que *Deuterocohnia longipetala* se encuentra en depósitos de abanicos aluviales antiguos e inactivos.

Por último, se concluye que la vegetación presenta diferencias en relación a la actividad dinámica de los procesos que tienen lugar en las unidades geomorfológicas estudiadas. La figura 5 representa, en tres modelos (a, b y c), una breve reconstrucción paleoambiental a lo largo de la Era Cuaternaria. El modelo a) responde al Cuaternario temprano, donde el sistema de fallamiento Villicum-Zonda produce la separación notable de tres relieves: área montañosa, piedemonte y planicie aluvial del río Seco de la Ciénaga; b) corresponde al Cuaternario medio, en donde la erosión afecta el escarpe de falla regional y se produce erosión remontante desde los arroyos del piedemonte hacia el área de montaña. Se depositan materiales aluviales que avanzan hacia el centro de la depresión (planicie aluvial); c) hace referencia al Cuaternario tardío, el cual presenta un relieve de piedemonte compuesto por: 1: niveles bajos de depósitos activos y actuales; 2: niveles elevados de depósitos inactivos y antiguos; 3: depósitos relictos de terrazas fluviales relacionadas con el río Seco de la Ciénaga. La potencia de los depósitos del piedemonte tectónico, entre los modelos 2 y 3, aumenta en espesor de sedimentos y sincrónicamente retrocede hacia el área montañosa, facilitando la formación de niveles escalones dentro de este relieve. El círculo dibujado entre los tres modelos (a, b, c) señala que la vegetación cambia a lo largo del tiempo en directa relación con la actividad dinámica de los procesos que acontecen en la región. Estos procesos no sólo pueden ser climáticos sino que, como en este caso, la actividad neotectónica, al modificar pendientes y la dirección del drenaje, deja niveles abandonados donde los procesos actúan diferencialmente en relación con los niveles activos, provocando diferentes colonizaciones vegetales.

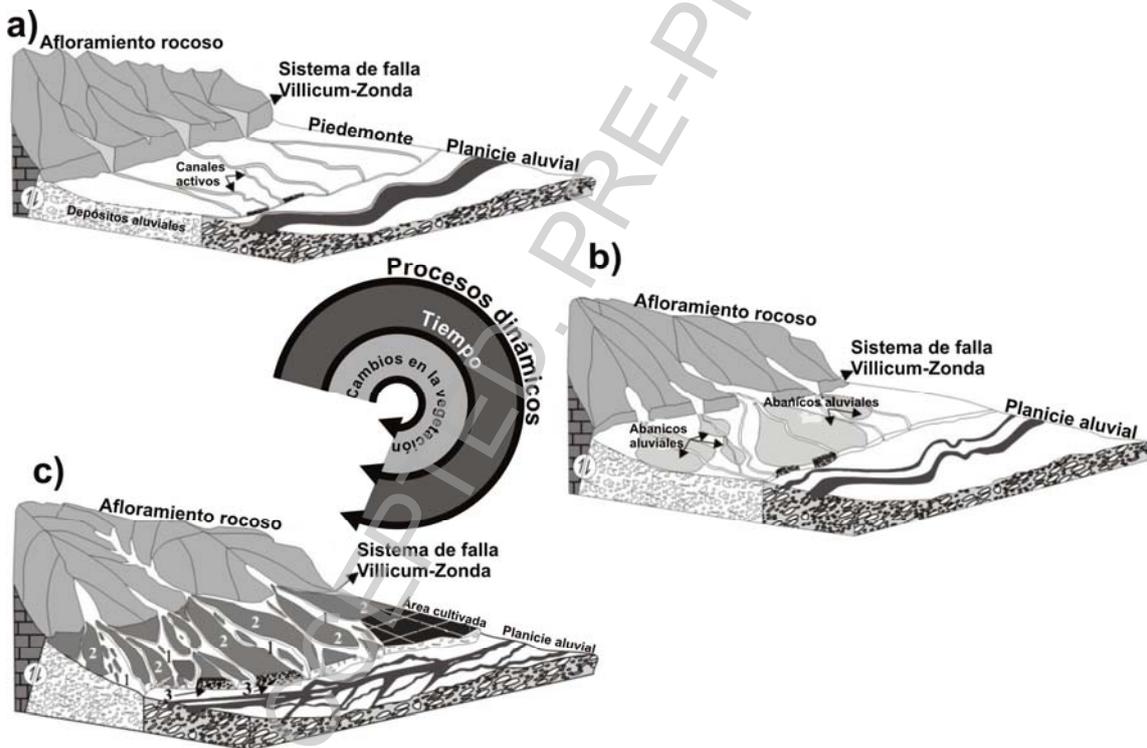


Figura 5. Modelos de evolución del relieve de piedemonte durante el Cuaternario. Se muestra una reconstrucción de los cambios que pueden haber ocurrido como consecuencia de la acción de los procesos dinámicos. a) Cuaternario temprano; b) Cuaternario medio; c) Cuaternario tardío; 1: Depósitos funcionales actuales; 2: Depósitos no funcionales antiguos; 3: Terrazas fluviales relictas.

## Agradecimientos

Los autores quieren agradecer al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET, Argentina) y a la Universidad Nacional de San Juan por el soporte financiero mediante los proyectos PIP 045-2010/CONICET y P 21/ E 887 UNSJ – CICITCA.

## Referencias

- Aguiar, M.R., Sala, O.E. 1997. Seed distribution constrains the dynamics of the Patagonian steppe. *Ecology* 78 (1), 93-100.
- Armas, C., Pugnaire, F.I. 2005. Plant interactions govern population dynamics in a semi-arid plant community. *Journal of Ecology* 93 (5), 978-989. DOI: 10.1111/j.1365-2745.2005.01033.x.
- Ballantyne, C.K. 2002. Paraglacial geomorphology. *Quaternary Science Reviews* 21, 1935-2017.
- Bertran, P., Héту, B., Texier J., Van Steijn, H. 1997. Fabric characteristics of subaerial slope deposits. *Sedimentology* 44, 1-6. DOI: 10.1111/j.1365-3091.1997.tb00421.x.
- Bilkra L.H., Nemeč, W. 1998. Postglacial colluvium in western Norway: depositional process, facies and paleoclimatic record. *Sedimentology* 45, 909-959. DOI: 10.1046/j.1365-3091.1998.00200.x.
- Bisigato, A.J., Villagra, P.E, Ares, J.O, Rossi, B.E. 2009. Vegetation heterogeneity in Monte Desert ecosystems: A multi-scale approach linking patterns and processes. *Journal of Arid Environments* 73, 182-191. DOI:10.1016/j.jaridenv.2008.09.001.
- Blair, T.C, McPherson, J.G. 1994. Alluvial fans and their natural distinction from rivers based on morphology, hydraulic processes, sedimentary processes and facies assemblages. *Journal of Sedimentary Petrology* 64 (3), 450-489. DOI: 10.1306/D4267DDE-2B26-11D7-8648000102C1865D.
- Bordonaro, O. 1980. El Cámbrico en la quebrada de Zonda, provincia de San Juan. *Revista Asociación Geológica Argentina*, 35 (1), 26-40.
- Bull, W.B. 1977. The alluvial fans environment. *Progress in Physical Geography* 1 (2), 222-270. DOI: 10.1177/030913337700100202.
- Cabrera, A.L. 1994. Regiones Fitogeográficas Argentinas. *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería*. Tomo II. Editorial ACME, Buenos Aires, 85 p.
- Collinson, J.D. 2009. Alluvial sediments on sedimentary environments. En H.G. Reading (Ed.), *Processes, facies and stratigraphy*, Blackwell, pp. 37-82.
- Colombo, F. 1992. Abanicos Aluviales. En: A. Arche (Ed.), *Sedimentología*, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, vol. I, pp. 143-218.
- Curry A.M., Morris, C.J. 2004. Lateglacial and Holocene talus slope development and rock-wall retreat on Mynydd Du, UK. *Geomorphology* 58, 85-106. DOI: 10.1016/S0169-555X(03)00226-5.
- Dalmaso, A.D. 2010. Revegetación de áreas degradadas con especies nativas. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 45 (1-2), 149-171.
- De Martonne, E. 1935. Problèmes des régions arides sud-américaines. *Annales de Géographie* 44, 1-27.
- Flores, J., Jurado, E. 2003. Are nurse-protégé interactions more common among plants from arid environments? *Journal of Vegetation Science* 14 (6), 911-916. DOI: 10.1111/j.1654-1103.2003.tb02225.x.
- Flores, D.G, Suvires, G.M. 2012. Distribución y diversidad de hábitats en el humedal de la Reserva Natural Presidente Sarmiento, San Juan, Argentina. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 83, 194-200.
- Flores, D., Suvires, G., Dalmaso, A.D. 2015a. El análisis geomorfológico como base para el estudio de la vegetación nativa: Sierra Chica de Zonda, Precordillera Oriental de Argentina. *Cuadernos de Investigación Geográfica* 41 (2), 427-444. DOI: 10.18172/cig.2710.
- Flores, D., Suvires, G., Dalmaso, A.D. 2015b: Distribución de la vegetación nativa en ambientes geomorfológicos cuaternarios del Monte árido central de Argentina. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 86 (1), 72-79. DOI: 10.7550/rmb.40248.
- Gutiérrez, M. 2001. Geomorfología Climática. Editorial Omega, Barcelona, 664 p.
- Harvey, A.M. 1997. The role of alluvial fans in arid zone fluvial systems. In: D.S.G. Thomas (Ed.), *Arid Zone Geomorphology: Processes, Form and Change in Drylands*, John Wiley & Sons, Chichester, pp. 231-259.
- Harvey, A.M. 2002. The relationships between alluvial fans and fan channels within Mediterranean mountain fluvial systems. In: L.J. Bull, M.J. Kirkby (Eds.), *Dryland Rivers: Hydrology and Geomorphology of Semiarid Channels*, John Wiley & Sons, Chichester, pp. 205-226.
- Harvey, A.M., Mather, A.E., Stokes, M. 2005. Alluvial fans: geomorphology, sedimentology, dynamics-introduction. A review of alluvial-fan research. *Geological Society, London, Special Publications* 251 (1), 1-7.

- Howard, J.P., Cunningham, W.D., Davies, S.J. 2007. Competing processes of clastic deposition and compartmentalized inversion in actively evolving transpressional basin, western Mongolia. *Journal of the Geological Society* 163, 657-670. DOI: 10.1144/0016-764904-073.
- Instituto de Botánica Darwinion. 2015. Catálogo de plantas vasculares. Flora del Cono Sur. En <http://www2.darwin.edu.ar/Proyectos/FloraArgentina/fa.htm>. (Fecha de acceso: 12/11/2015).
- Le Houérou, H.N., Martínez Carretero, E., Guevara, J.C. 2006. The true Desert of the Central-West Argentina. *Muldequina* 15, 1-15.
- Lucía Vela, A., Vicente, F., Martín Moreno, C., Martín Duque, J.F., Sanz Santos, M.A., de Andrés, D., Bodoque del Pozo, J.M. 2008. Procesos geomorfológicos activos en cárcavas del borde del piedemonte norte de la Sierra de Guadarrama (Provincia de Segovia, España). *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, Sección Geológica 102 (1-4), 47-69.
- Matteucci, S.D., Colma, A. 1982. *Metodología para el estudio de la vegetación*. Ed. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Washington D.C, 168 p.
- Michaud, G.A, Mogner, H.C., Anderson, D.L. 2013. Geomorphic-vegetation relationships using a geopedological classification system, northern Chihuahuan Desert, USA. *Journal of Arid Environments* 90, 45-54. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2012.10.001.
- Morello, J. 1958. La provincia fitogeográfica del Monte. *Opera Lilloana* 2. Tucumán Argentina. Fundación Miguel Lillo. 155 pp.
- Moreno, C.E. 2001. *Métodos para medir la biodiversidad*. M&T-Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, 84 pp.
- Ortega, A., Flores, D., Suvires, G. 2010. Diagnóstico de comunidades vegetales con análisis geomorfológico en la región árida oriental de Tulum. *Revista Ciencia del Suelo* 28 (2), 233-241.
- Passera, C.B., Dalmasso, A.D., Borseto, O. 1983. Método de "Point Quadrat Modificado". *Actas del Taller de Arbustos Forrajeros*. Grupo Regional FAO-IADIZA, Mendoza, 7180 pp.
- Poblete, A.G., Minetti, J. 1989. Los mesoclimas de San Juan. Primera y Segunda parte. Informe Técnico N 11 del Centro de Investigación de San Juan. UNSJ 11, *Boletín* 4, 1-89.
- Rachocki, A. 1981. *Alluvial fans*. John Wiley & Sons, New York. 161p.
- Saito, K.; Oguchi, T. 2005. Slope of alluvial fans in humid regions of Japan, Taiwan and the Philippines. *Geomorphology* 70 (1-2), 147-162. DOI: 10.1016/j.geomorph.2005.04.006.
- Strahler, A.N. 1970. *Introduction to Physical Geography*. John Wiley & Sons, 457 pp.
- Strahler, A.N., Strahler, A.H. 1987. *Modern Physical Geography*. John Wiley & Sons, 520 pp.
- Suriano, J., Limarino, C.O. 2009. Sedimentación pedemontana en las nacientes del Río Jáchal y Pampa de Gualilán, Precordillera de San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 65 (3), 516-532.
- Suvires, G.M. 2013. Geomorfología, tectónica y evolución del relieve en un sector del piedemonte occidental de la sierra Chica de Zonda, Precordillera Oriental, Argentina. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 30 (2), 324-335.
- Suvires, G.M. 2014. The paradigm of paraglacial megafans of the San Juan river basin, Central Andes, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 55, 166-172. DOI: 10.1016/j.jsames.2014.07.008.
- Talling, P.J., Laton, T.F., Burbank, D.W., Hobbs, R.S. 1995. Evolution of latest Cretaceous-Eocene nonmarine deposystems in the Axhandle piggyback basin of central Utah. *Geological Society of America Bulletin* 107: 297-315. DOI: 10.1130/0016-7606(1995)107<0297:EOLCEN>2.3.CO;2.
- Thornbury, W.D. 1969. *Principles of Geomorphology*. John Wiley & Sons, 594 pp.
- Van Zuidam, R.A. 1976. Geomorphological development of the Zaragoza region, Spain. Processes and landforms related to climatic changes in a large Mediterranean river basin. Doctoral Tesis. Universidad Utrech. ITC, 122 pp.
- Van Zuidam, R.A. 1977. *Terrain analysis and classification using aerial photographs*. International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences (ITC). ITC text book 7.
- Verstappen, H.T., Van Zuidam, R.A. 1968. ITC textbook of Photo-Interpretation. VII: 2 -ITC system of geomorphological survey. ITC, Delft, the Netherlands 49 pp.