

EL ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO COMO BASE PARA EL ESTUDIO DE LA VEGETACIÓN NATIVA: SIERRA CHICA DE ZONDA, PRECORDILLERA ORIENTAL DE ARGENTINA

D.G. FLORES^{1,2,3*}, G. SUVIRES^{1,2,3}, A. DALMASSO^{2,3}

¹Gabinete de Geología Ambiental, Instituto de Geología. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de San Juan. Avda. Ignacio de la Rosa y Meglioli. J 5400. San Juan. Argentina.

²CIGEOBIO, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) Argentina.

³Departamento de Biología. Departamento de Geología. Universidad Nacional de San Juan. Argentina.

RESUMEN. *La vegetación y las unidades geomorfológicas de una región están relacionadas entre sí, de tal manera que cualquier cambio en una afecta a la otra. El objetivo de este trabajo es el reconocimiento de unidades geomorfológicas y el inventario y cobertura de especies de plantas nativas de la Sierra Chica de Zonda, con el fin de investigar relaciones entre la distribución de la vegetación y los ambientes geomorfológicos que la sustentan. La Sierra Chica de Zonda se ubica en la provincia fitogeográfica del Monte, en Argentina. Para el análisis geomorfológico se utilizaron criterios morfogenéticos y morfodinámicos. La unidad de muestreo consistió en un transecto de 50 m de largo y cada 0,5 m se cuantificó el número de especies, la cobertura y la composición específica de la vegetación, utilizando el método Point Quadrat modificado. Se calcularon el índice de biodiversidad de Shannon-Wiener y la riqueza de especies. Los datos se analizaron usando Shapiro Wilk test y mediante el estadístico no paramétrico de Kruskal Wallis. Se reconocieron y clasificaron los relieves en dos grupos: montañoso y piedemonte; en este último se identificaron abanicos coluviales y aluviales. Asimismo, el análisis morfodinámico permitió diferenciar en estos abanicos las unidades funcionales actuales y dinámicas de las unidades no funcionales antiguas y estables. En las diferentes unidades geomorfológicas se identificaron 37 especies de plantas nativas distribuidas en 17 familias, que presentan diferencias significativas de cobertura (Kruskal Wallis $p=0.001$). La actividad dinámica de la región expresada en diferentes tipos e intensidades de procesos es diferente en las distintas unidades geomorfológicas reconocidas. Estos procesos juegan un papel importante en la distribución, diversidad y cobertura de la vegetación mediante la creación (o no) de ambientes favorables para el desarrollo de las especies de plantas nativas. La información resultante se integra en un producto gráfico digital entre las unidades geomorfológicas, cobertura y distribución de la vegetación nativa en este sector del desierto del Monte.*

The geomorphological analysis as a basis for the study of native vegetation. Sierra Chica de Zonda, eastern Precordillera of Argentina

ABSTRACT. *The characteristics of native vegetation and the geomorphological properties of a region are interrelated, so that any change in one of them affects the other. The aim of this study was to identify the geomorphic units and to record information (species, coverage) of the native vegetation of the Sierra Chica de Zonda in order to investigate the relationships between vegetation distribution and geomorphic environments. Sierra Chica de Zonda is located in the Monte Phytogeographic Province of Argentina. Morphogenetic and morphodynamic criteria were used for the geomorphological analysis. For the vegetation analysis, sampling transects of 50 m long were traced, and presence, coverage, diversity and species richness were evaluated every 0.5 m using the Point Quadrat modified method. The Shannon-Wiener's biodiversity index and species richness were calculated. The data were analyzed using the Shapiro Wilk's test and Kruskal Wallis's non-parametric test. The relief was classified in two groups: mountainous and piedmonts reliefs; the latter was divided into colluvial and alluvial fans. The morphodynamic analysis indicated that alluvial fans could be subdivided into i) current dynamic and functional units, and ii) stable oldest nonfunctional units. Over the geomorphological units, 37 native plant species were identified, distributed in 17 families, with significant differences in coverage (Kruskal Wallis $p=0.001$). The morphodynamics of the region, characterized by the type and intensity of the processes, was different in each geomorphological unit. These processes play an important role on the distribution, diversity and vegetation cover by creating (or not) favorable conditions for the development of native plant species. The geomorphological information and the coverage and distribution of native vegetation was integrated in a final digital map.*

Palabras clave: desierto, morfodinámica, ecosistema, Sierra Chica de Zonda, Argentina.

Key words: desert, morphodynamic, ecosystem, Sierra Chica de Zonda, Argentina.

Enviado el 12 de febrero de 2015

Aceptado el 16 de abril de 2015

*Correspondencia: Gabinete de Geología Ambiental, Instituto de Geología. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de San Juan. Avda. Ignacio de la Rosa y Meglioli. J 5400. San Juan. Argentina. E-mail: dflores@unsj-cuim.edu.ar

1. Introducción

La geomorfología puede ser utilizada como una herramienta importante para la interpretación de la distribución y abundancia de la vegetación nativa a través del registro y conocimiento de las dinámica ambiental pasada y presente (Flores *et al.*, 2015). La vegetación, las características y las condiciones geomorfológicas están relacionadas

entre sí de tal manera que cualquier cambio en una afecta a las otras y, además, todas pueden ser afectadas por cambios en la dinámica geológica (Hupp y Bornette, 2003; Hupp y Osterkamp, 2013).

Distintos antecedentes en otras regiones áridas indican que la distribución de las especies de plantas está controlada parcialmente por la disponibilidad de hábitats (Aguiar y Sala, 1999; Tongway *et al.*, 2004; Michaud *et al.*, 2013), los que se encuentran limitados por atributos físicos como relieve, tamaño de rocas e hidrología. Por otro lado, las especies se distribuyen teniendo en cuenta aspectos bióticos como competencia (Bisigato *et al.*, 2009), tolerancia a la salinidad (Morello, 1958; Beeskov *et al.*, 1987; González Loyarte *et al.*, 1990), composición florística, estructura y funcionamiento de las comunidades de plantas (Villagra y Roig, 1999), entre otros. Aún en los estudios ecológicos, se necesita profundizar en cómo la geomorfología podría explicar o intervenir en la distribución de las especies de plantas. Si bien esta relación ha sido reconocida a lo largo de diversos estudios en varios años, sólo las últimas décadas han experimentado una intensa investigación sobre este tema interdisciplinario (Butler y Hupp, 2013). Este estudio describe las diferencias a nivel de riqueza y cobertura de especies entre las diferentes unidades geomorfológicas y pretende encontrar relaciones entre los procesos morfodinámicos existentes en cada uno de estos relieves sobre la vegetación que albergan. A través de esta aproximación interdisciplinaria se intenta demostrar cómo influyen los procesos morfodinámicos actuales en la cobertura y distribución de la vegetación existente en los diferentes ambientes geomorfológicos. Estos efectos han sido considerados, entre otros, por Okin *et al.* (2009) como causantes de la disminución de diversidad, riqueza y cobertura de la vegetación. Se parte de la premisa de que el estudio geomorfológico constituye un base fundamental para el análisis de la distribución y cuantificación de la vegetación nativa en zonas áridas, pero para lograr esto, fue necesario primeramente identificar y clasificar las unidades geomorfológicas observando e interpretando además los agentes que dieron origen a las mismas, así como los procesos dinámicos que están actuando en el presente (Flores y Suvires, 2012; Pittaluga y Flores, 2013; Suvires, 2014).

Es necesario conocer las relaciones que involucran a procesos geomorfológicos con patrones dinámicos de la vegetación (Ravi *et al.*, 2010; Reinhardt *et al.*, 2010; Wainwright *et al.*, 2000), ya que los procesos actúan condicionados por distintos factores tales como la morfología de la cuenca, erodabilidad del material y la vegetación. De este modo, los procesos geomorfológicos y la vegetación son diferentes entre las zonas de fluvios o cauces y las áreas de lóbulos interfluviales en zonas áridas (Flores *et al.*, 2014, 2015).

1.1. Marco Geológico

En la provincia de San Juan un 80% de su superficie está ocupada por cordones montañosos, los que conforman, de oeste a este, las estribaciones de Cordillera Principal, Cordillera Frontal, Precordillera y Sierras Pampeanas. Estos sistemas serranos se encuentran separados entre sí por depresiones tectónicas longitudinales (valles) rellenas con potentes sedimentos de edad cuaternaria. El valle de Zonda, donde se inserta el área de estudio, en su porción oriental, constituye una zona tectónicamente deprimida, con una geomorfología compleja afectada por la actividad neotectónica con cambios

de pendientes y de direcciones en el escurrimiento del drenaje (Flores y Suvires, 2012; Perucca *et al.*, 2012, 2013; Suvires, 2013). La Sierra Chica de Zonda, es un relieve montañoso perteneciente a la Precordillera Oriental, y está constituida por sierras menores de rumbo submeridional con relieves de estructuras homoclinales y plegados en forma de grandes anticlinales asimétricos al oeste, con ejes paralelos a los ejes de los cordones montañosos que la integran (Suvires, 2013). La sierra en su piedemonte occidental es atravesada por el sistema de fallamiento regional denominado Villicum-Zonda (VZ). Ésta falla regional es un sistema de fallamiento profundo que involucra al basamento y lo eleva cerca de la superficie (Gardini, 1993). La región se encuentra bajo la influencia de la subducción subhorizontal de la placa de Nazca por debajo de la Sudamericana (Alvarado *et al.*, 2007, 2009). Esto origina una elevada sismicidad de intraplaca y numerosas expresiones morfológicas de actividad tectónica moderna (Ramos *et al.*, 1986; Costa *et al.*, 2000). La geología de la Sierra Chica de Zonda, está compuesta por una secuencia cámbrica fosilífera marina (Bordonaro, 1983) de calizas, margas, lutitas y cuarcitas. Los términos más antiguos aflorantes corresponden al contenido fosilífero del Cámbrico inferior, constituyendo la base de los 2500 m de carbonatos de plataforma cambro-ordovícica de las Formaciones La Laja, Zonda, La Flecha y San Juan (Gardini, 1993). En el área montañosa de estudio (Fig. 1), los afloramientos de la Fm. La Laja ocupan la mayor superficie destacándose sus relieves de estructuras plegadas y monoclinales. El clima hiperárido de la región, con altas amplitudes térmicas diarias y estacionales, facilita la existencia de procesos de termoclastismo a escala de micrositio, y el desprendimiento abundante de sedimentos que dan lugar a flujos de detritos (*debris flows*) en el piedemonte de la sierra en estudio (Suvires, 2013).

2. Materiales y Métodos

2.1. Área de estudio

Las actividades de campo y de gabinete se concentraron en el piedemonte nororiental de la Sierra Chica. La misma se ubica en el departamento Zonda a 25 km al oeste de la ciudad Capital de San Juan, pertenece a la Provincia Fitogeográfica del Monte (Cabrera, 1994; Bisigato *et al.*, 2009). La comunidad más representativa está compuesta por especies arbustivas de la familia *Zygophyllaceae*, y bosques abiertos de *Prosopis* (algarrobos) son comunes en sitios donde el agua subterránea está disponible. Si bien los límites del Monte no se corresponden con la zona de distribución de un taxón en particular, sí se relacionan en forma general con sus aspectos fisonómicos y características florísticas (Morello, 1958).

El clima de la región es árido seco, con una temperatura media anual de 18°C, una máxima media anual de 28°C y una mínima media anual de 10°C, con lluvias concentradas en la época estival con valores que no superan los 100 mm/año (Poblete y Minetti, 1989). Los suelos áridos que constituyen el área pedemontana de la sierra Chica de Zonda son apenas regosoles, no existe un desarrollo de horizontes pedogenéticos, sino simplemente son depósitos regolíticos y fluviales con algunas costras y cementaciones carbonáticas. Son depósitos integrados mayoritariamente por fragmentos de rocas calizas y dolomías.

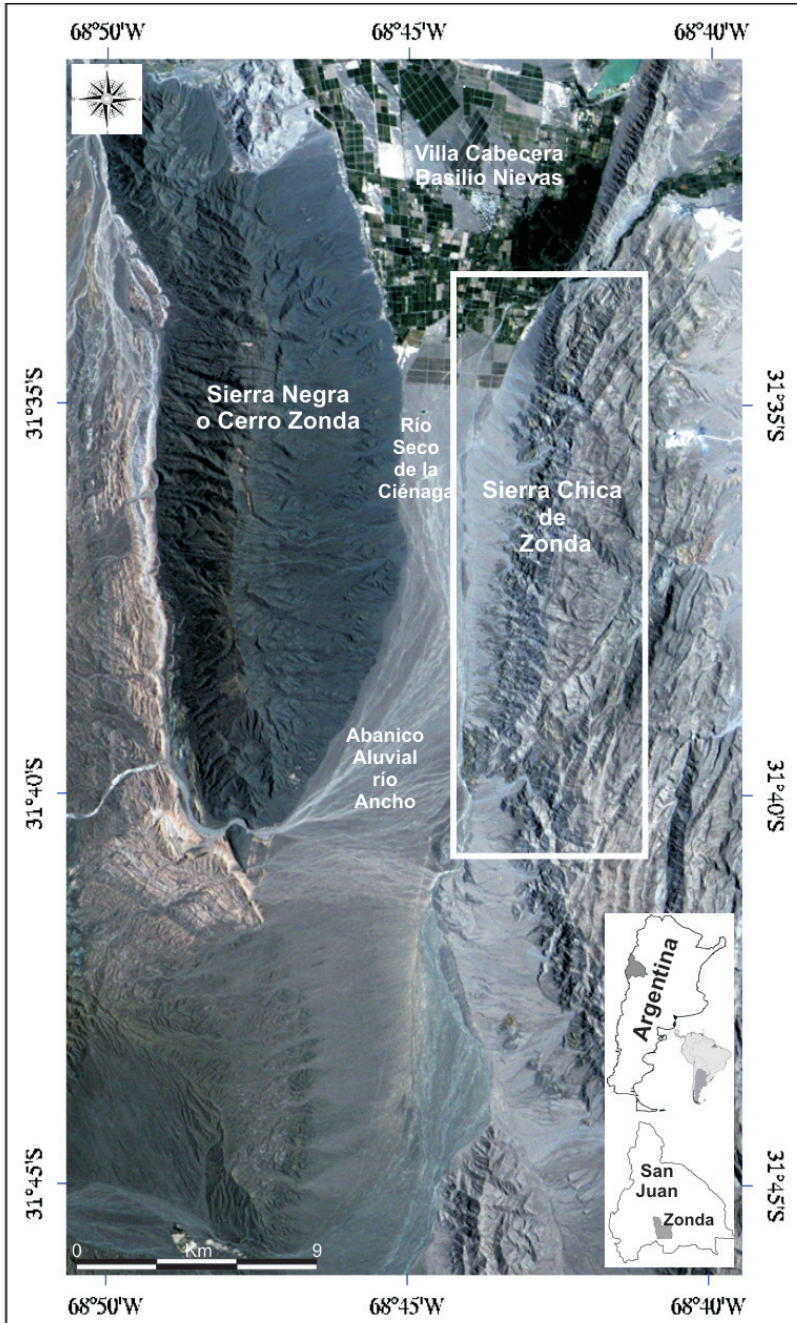


Figura 1. Ubicación del área de estudio. Las actividades se concentraron en el piedemonte y afloramiento rocoso noroccidental de la Sierra Chica de Zonda, San Juan, Argentina.

2.2. Análisis geomorfológico

Este trabajo integra dos aspectos de la metodología del análisis geomorfológico: en primer lugar, el análisis de los datos de teledetección y la cartografía regional disponible y en segundo lugar una interpretación a nivel regional de patrones y procesos geomorfológicos logrados con un extenso reconocimiento de campo.

La obtención, elaboración y análisis cartográfico de las unidades geomorfológicas ambientales, se obtuvieron mediante el análisis de escenas de Google Earth® y Landsat® 5 TM obtenidas a partir del archivo de libre acceso perteneciente al Instituto de Pesquisas Espaciais de Brasil (INPE). También se consultaron fotografías aéreas pancromáticas a escala 1:50.000 (IGM, 1994), que fueron fotointerpretadas en aquellos sectores de mayor complejidad. Se utilizó, además, un modelo de elevación digital de Aster®, con 30 metros de resolución de pixel.

2.3. Análisis geomorfodinámico

El análisis y la distribución de las unidades geomorfológicas permitieron delimitar divisiones de drenaje, conjuntamente con la identificación de depósitos de canales fluviales efímeros y depósitos abandonados. En este trabajo el término dinámico hace referencia a la acción hídrica y/o gravitacional actual del piedemonte, incluyendo la bajada pedemontana y también las zonas de depósitos aluviales y coluviales modernos por donde drenan los cursos efímeros y estivales de la región (Flores *et al.*, 2014, 2015; Perucca *et al.*, 2012). Geomorfológicamente, se refiere a los sectores en que un flujo arrastra, transporta y deposita sedimentos de diversos tamaños y formas, que se ubican distintamente dependiendo del espacio de que se disponga.

2.4. Trabajos de Campo

El análisis geomorfológico efectuado sigue los criterios de clasificación de geoformas de zonas áridas brindado por Gutiérrez Elorza (2001) y por el sistema de clasificación del ITC Enschede de Holanda (Verstappen y Van Zuidam, 1968; Van Zuidam, 1976, 1977). Se caracteriza por ser analítico y comprende los aspectos morfogenéticos, morfométricos, morfocronológicos y morfoestructurales, además de analizar la geología, litología y los procesos geomorfológicos. Las unidades geomorfológicas se identificaron según la génesis de su desarrollo y se complementaron con las características del relieve. La geomorfología se analizó teniendo en cuenta la influencia de los factores geológicos, los procesos reinantes y las condiciones climatológicas que intervinieron en su evolución, tratando de establecer la edad de su formación.

Debido a que los procesos geomorfológicos no son observables normalmente, pero sí lo son sus resultados en las formas del relieve (Lucía *et al.*, 2008), la caracterización de los procesos activos presentes en las diferentes unidades geomorfológicas ha consistido en una descripción de campo de las formas que denotan actividad geomorfológica. Para esto, se utilizó la cartografía base inicial y se realizaron numerosos apoyos de campo. Las comprobaciones se efectuaron a lo largo de los accesos de la zona, en donde

se efectuaron cortes perpendiculares a los contactos de las geoformas identificadas, a la manera de áreas de muestreo. En éstas se analizaron la litología, granometría y disposición estratigráfica de los depósitos correspondientes a las distintas unidades geomorfológicas. La proporción de fragmentos o detritos y de matriz intrafragmental fue también determinada en cada punto relevado en el campo junto con la vegetación a través del método Point Quadrat Modificado (Passera *et al.*, 1983).

2.5. Evaluación de la vegetación

Una vez identificadas las unidades ambientales geomorfológicas, se determinó la composición, distribución y cobertura de la vegetación, como también de las variables descriptoras de la condición superficial del suelo en cada una de ellas. Los trabajos de cuantificación de la vegetación y demás variables implicaron el emplazamiento total de 37 unidades de muestreo (UM) distribuidas en cada unidad geomorfológica previamente determinada. Cada UM consistió en una línea de 50 m de largo en donde, cada 0,5 m, se cuantificó el número de especies, la cobertura y la composición específica de la vegetación mediante el método Point Quadrat Modificado (Passera *et al.*, 1983).

Se determinó la cobertura total por especie de planta en cada UM, como también la proporción de fragmentos rocosos y matriz intra-fragmental. Los trabajos de campo se realizaron durante la época primavera-verano coincidente con las mayores precipitaciones de la zona.

2.6. Análisis de los datos

A los datos obtenidos de los diferentes muestreos se les aplicó el test de normalidad Shapiro-Wilks (modificado). Posteriormente se realizó el análisis de la varianza mediante el método de Kruskal Wallis para identificar diferencias significativas. Se utilizó el software Infostat versión E. Además se calculó el índice de biodiversidad de Shannon-Wiener (1949) y la riqueza de especies de las distintas unidades identificadas en la vertiente oriental de la Sierra Chica de Zonda.

3. Resultados

3.1. Geomorfología

La jerarquización de unidades de relieve según la altitud y aspectos morfológicos permitió la identificación y clasificación en (i) relieve montañoso y (ii) relieve de piedemonte. Este último se divide en abanicos coluviales y abanicos aluviales. Además, el análisis morfodinámico permitió subdividir estas unidades funcionales activas actuales y unidades funcionales antiguas estables.

3.1.1. Relieve montañoso

Corresponde a los relieves elevados muy prominentes de la Sierra Chica de Zonda con alturas que no superan los 2000 m s.n.m.. Presenta en general una dirección N-S. Su

límite más bajo topográfico es de 760 m s.n.m. en el contacto con el piedemonte en la parte norte sobre la quebrada de Zonda, mientras que en el sector sur este contacto supera los 1050 m s.n.m. La pendiente promedio de la parte superior de la sierra (cima) es baja (0° a 3°) a nula (Fig. 3 e y f), estos sectores corresponden a microcuencas endorreicas en donde se desarrolla la vegetación de mayor tamaño debido a la acumulación del agua de las precipitaciones estacionales. Las pendientes promedio de las laderas en el flanco occidental son de 27° , con valores máximos que superan los 60° , llegando en la zona de cornisa a los 90° .

3.1.2. *Relieve de piedemonte*

Esta unidad geomorfológica está integrada, en general, por sectores en los que los depósitos están relacionados con la disponibilidad espacial de acomodación y con la dirección del drenaje. Esta distribución y acomodación espacial está influenciada por los esfuerzos compresivos andinos procedentes del oeste y por la expresión de la falla regional Villicum-Zonda. En este sistema de fracturación inversa y de alto ángulo en superficie, Smalley (1988) registra gran actividad sísmica.

Teniendo en cuenta el análisis morfogenético y morfodinámico del piedemonte noroccidental de la Sierra Chica de Zonda, se han diferenciado dos tipos de geoformas a escala de detalle (1:5000): abanicos coluviales y abanicos aluviales (Fig. 2), este último concuerda con la clasificación propuesta para el mismo piedemonte por Suvires (2013).

3.1.2.1. *Abanicos coluviales*

Los abanicos coluviales son conos pequeños y empinados que se diferencian de los taludes por su menor pendiente y mayor participación de facies fluidas en sus depósitos (Bilkra y Nemec, 1998). En la zona de estudio éstos se ubican en el sector más próximo a la quebrada de Zonda. Se caracterizan por su pendiente elevada (entre 20° y 35°) coincidiendo con los valores propuestos por Suriano y Limarino (2009). Están formados por depósitos de brechas sin matriz, clasto-soportados, imbricados y planares (Fig. 2 b y c). La génesis de estas geoformas en general, responden al modelo gravitacional, aunque la dinámica de procesos actuales es la fluvial con canales incididos hasta 4 m (Fig. 2d). En estos canales, los procesos de transporte y acumulación de cargas sedimentarias están asociados a épocas coincidentes con máximas precipitaciones. En el relieve de este sector del piedemonte pueden observarse diferentes niveles de abanicos coluviales que van desde más antiguos a más recientes. En algunos casos, estos depósitos más modernos se ubican superponiéndose sobre los más antiguos, dando lugar a una distribución espacial que evidencia los diferentes niveles de depósito (Fig. 3a).

Los niveles antiguos, que han quedado elevados y separados por la acción de los canales de transporte de flujos (sectores actuales activos), son de diversos tamaños, ubicados en diferentes sectores dentro de los abanicos coluviales (Fig. 3b). En estas subunidades, se evidencia la acción de procesos de erosión laminar, escorrentía superficial y acumulación de sedimentos finos asociados a tallos de arbustos y rocas de gran porte.

En base a lo anteriormente expuesto, estos abanicos coluviales se clasifican de acuerdo con la morfodinámica y morfo cronología en (i) sectores con depósitos actuales funcionales o dinámicos, y (ii) sectores con depósitos antiguos no funcionales o estables (Fig. 3 a y b).

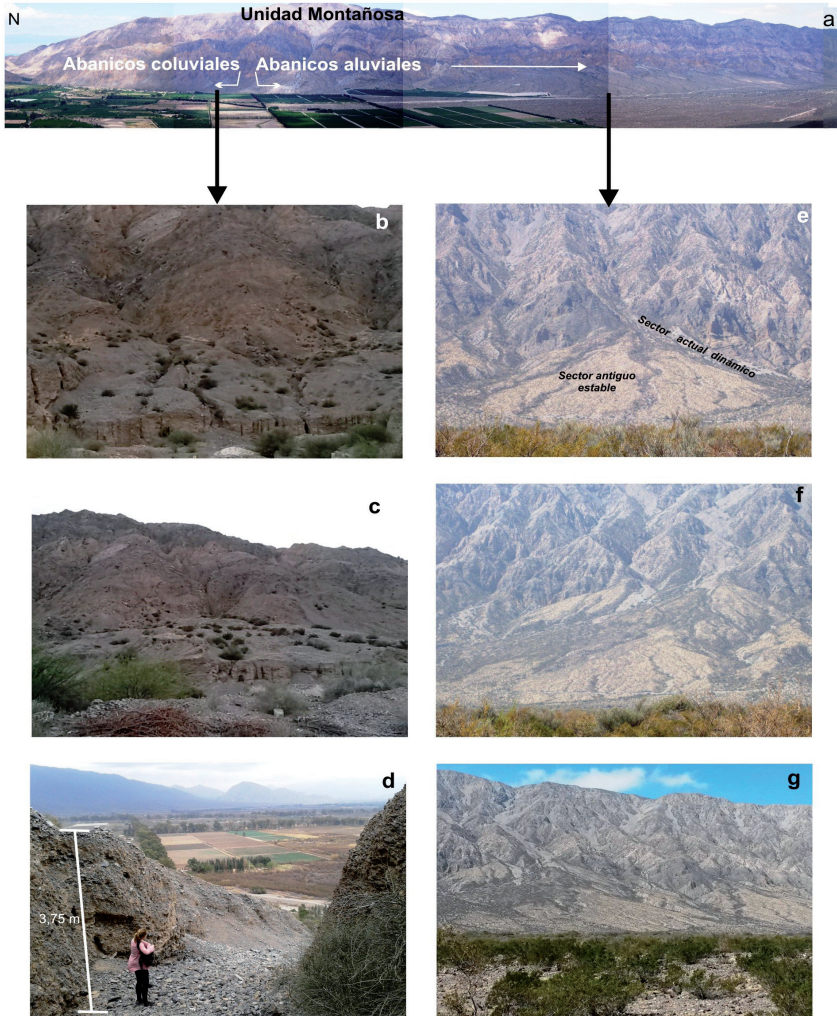


Figura 2. a) Vista de la vertiente occidental de la Sierra Chica de Zonda en donde se diferencian abanicos aluviales y coluviales del piedemonte, b y c) abanicos coluviales del piedemonte noroccidental; d) altura de los canales actuales de los abanicos coluviales; e, f y g) abanicos aluviales del piedemonte occidental, la coloración amarillenta, es debido a la vegetación de herbáceas anuales, estas fotos fueron tomadas en invierno.

3.1.2.2. Abanicos aluviales

Los abanicos aluviales del piedemonte de la sierra Chica de Zonda, en general, corresponden a distintos ciclos de acumulación probablemente relacionados con cambios en la intensidad de los procesos hídricos de la región.

Los sucesivos niveles de abanicos se disponen en sentido longitudinal de la pendiente del piedemonte a la manera de abanicos telescópicos. Los procesos hídricos actuales

presentan, por un lado, altas cargas de detritos que descienden por los canales activos y, por otro, parte de esas cargas en los llamados puntos de intersección de los abanicos sobrepasan el borde del canal y depositan las cargas detríticas sobre otros depósitos antiguos de abanicos. Los procesos de erosión acelerados por la actividad neotectónica compresiva de la zona han destruido sectores de los abanicos dejándolos en forma de lóbulos relícticos, tal como se observa en las Figuras 2 e, f y g.

Asimismo y para relacionar los lóbulos o niveles erosionados de abanicos con la distribución de la vegetación, éstos fueron separados según los procesos dinámicos actuantes en ellos, en depósitos funcionales actuales o dinámicos y depósitos no funcionales, antiguos o estables (Fig. 3 c y d).

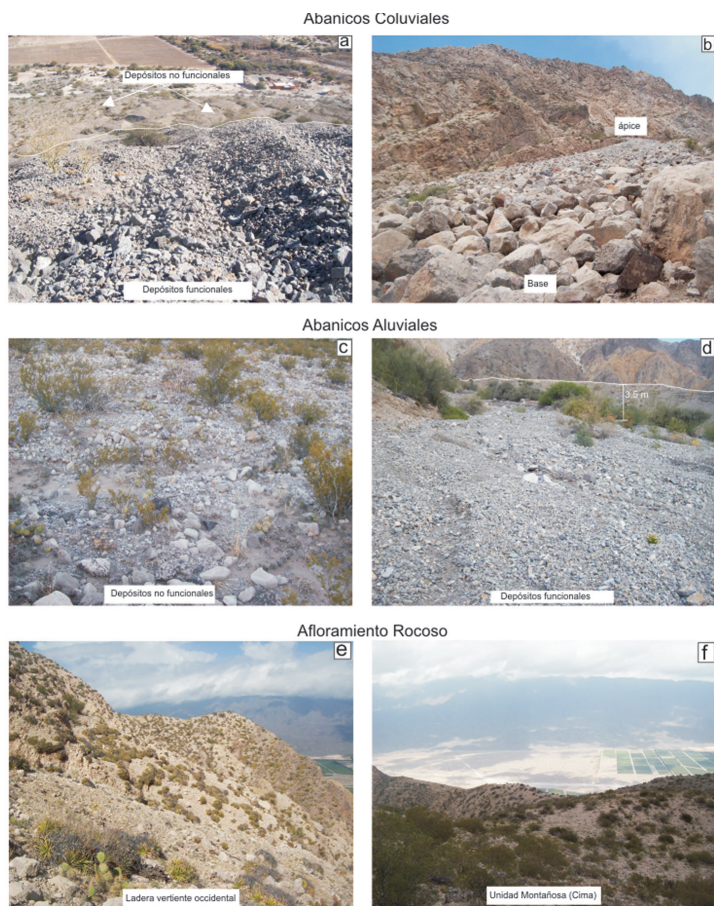


Figura 3. Depósitos de abanicos coluviales, aluviales y unidad montañosa. a) depósitos funcionales y no funcionales de abanicos coluviales; b) depósitos funcionales de abanicos coluviales, obsérvese los individuos de retamo y algarrobo; c) depósitos no funcionales de abanicos aluviales. d) depósitos de abanicos aluviales funcionales actuales activos. e) La ladera occidental de la sierra está cubierta por chaguar y jarilla. f) En la cima de la sierra se establece la especie *Zuccagnia punctata* en las microtopografías cóncavas que allí se producen.

3.2. Vegetación de la Sierra Chica de Zonda

La vegetación de la unidad geomorfológica Sierra Chica de Zonda, se caracteriza por ser arbustiva de baja altura dominada por *Larrea cuneifolia* (jarilla) y *Bulnesia retama* (retamo) con elementos acompañantes como *Deuterocohnia longipetala* (chaguar) y *Tephrocactus aoracanthus* (cactus). En términos generales, está representada por 34 especies distribuidas en 17 familias, de las cuales, las mejores representadas son: *Poaceae*, *Cactaceae*, *Fabaceae* y *Zygophyllaceae*.

El análisis general de la cobertura media de la vegetación muestra valores que no superan el 42% (Fig. 4ii). En lo que respecta a los estratos de la vegetación, el arbustivo es predominante en las unidades geomorfológicas (37,8%), le sigue el estrato herbáceo con una cobertura del 35,1%, las suculentas (cactus) con 16,21% y en menor proporción los árboles ubicados en sitios bajos del piedemonte, en contacto con las terrazas fluviales del río Seco de la Ciénaga (2,7%).

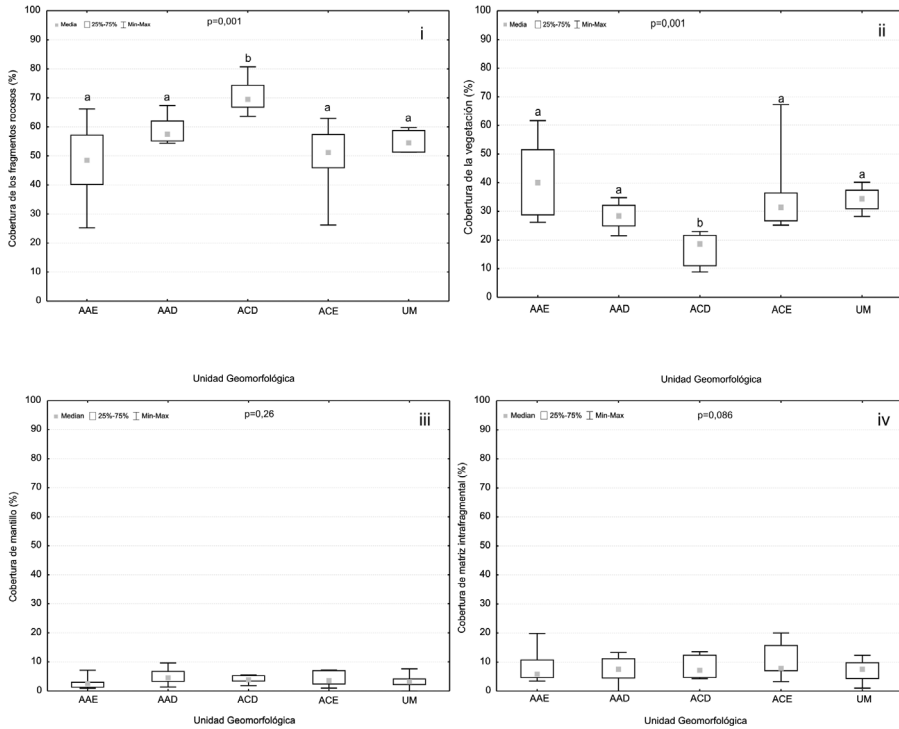


Figura 4. Cobertura de fragmentos rocosos (i), cobertura de vegetación (ii), cobertura de mantillo (iii) y cobertura de matriz intrafragmental (iv) de las unidades geomorfológicas de la Sierra Chica de Zonda. AAE: abanicos aluviales estables; AAD: abanicos aluviales dinámicos; ACD: abanicos coluviales dinámicos; ACE: abanicos coluviales estables y UM: unidad montañosa. Letras diferentes denotan diferencias significativas ($p < 0,05$).

3.3. Asociaciones vegetales versus unidades geomorfológicas

La figura 4 muestra los resultados de los rasgos físicos (cobertura de fragmentos rocosos y matriz intrafragmental) y bióticos, en este caso la vegetación y mantillo, para cada una de las unidades geomorfológicas delimitadas en la sierra. Solo se observan diferencias significativas entre la cobertura de fragmentos rocosos y de la vegetación, mientras que los valores de cobertura de mantillo y matriz intrafragmental son bajos y no presentan diferencias significativas entre las unidades relevadas.

De todas las especies inventariadas en la Sierra Chica de Zonda, solo 9 especies (26,47%) presentan diferencias significativas de la cobertura. Estas especies son las más representativas de la zona de trabajo (*B. retama*, *L. cuneifolia* y *D. longipetala*, entre otras).

3.3.1. Unidad montañosa

Los resultados de esta unidad montañosa (UM) son producto del análisis de los levantamientos de datos obtenidos en la cima de la sierra entre 1600 y 2000 m s.n.m. La cobertura de roca, en esta unidad, no supera el 60%. El terreno en la unidad montañosa es muy resistente, formado por acantilados verticales, laderas muy empinadas y pendientes suaves y pedregosas de 15% a 60% con exposición hacia el oeste. En la ladera montañosa afloran los estratos de caliza sedimentaria, mientras que en la parte superior o cima montañosa existen depósitos de material parental procedentes de la meteorización clásica in situ de las calizas y margas. Algunas pequeñas acumulaciones eólicas se destacan en los piedemontes anexos a este frente montañoso donde se desarrolla vegetación.

El estrato predominante en la cima de la sierra es el arbustivo de baja altura compuesto principalmente por dos especies de plantas, *Zuccagnia punctata* (falsa jarilla) y *L. cuneifolia* con valores de cobertura que superan el 30%. Ambas especies, en general, poseen una distribución homogénea en relación a la superficie de la cima, pero se observa una mayor concentración de individuos en aquellos sitios que simulan pequeñas subcuencas endorreicas concentrando las precipitaciones estivales. Además, desarrollan una altura media de 1,55 m (Fig. 3f). Esto se ve reflejado en la baja diversidad de la unidad (1,83), a pesar de que se censaron 14 especies. Conviene precisar que en las zonas de pendiente pronunciada (>60°) hay un claro predominio del chaguar (*D. longipetala*) acompañado por *L. cuneifolia* (Fig. 3e). El estrato herbáceo presenta una escasa cobertura en esta unidad, con valores inferiores al 8%.

3.3.2. Unidad de piedemonte

En la zona más árida del piedemonte la vegetación dominante es el matorral *L. cuneifolia*, con especies acompañantes como *B. retama* y *D. longipetala*. Esta última forma poblaciones distribuidas en diferentes sectores (Fig. 5). Los suelos, en general, presentan textura gruesa, y la cobertura media de los fragmentos rocosos llega hasta el 56% de la superficie total del piedemonte (Fig. 4i). Las especies herbáceas en la zona de piedemonte también son abundantes (20%), representadas por los géneros *Aristida*, *Bouteloua* y *Pappophorum*, mientras que la distribución de individuos arbóreos de *Prosopis* (algarrobos) y arbustos de gran porte como *Cercidium praecox* (brea) o *Capparis atamisquea* (atamisque) se limitan mayormente a los depósitos distales del piedemonte.

3.3.2.1. Depósitos funcionales actuales-dinámicos y depósitos no funcionales-antiguos- estables correspondientes a abanicos coluviales

La cobertura de los arbustos y las herbáceas es mayor en los depósitos no funcionales, mientras que los árboles y los cactus lo hacen en los depósitos funcionales actuales activos (Tabla 1). La dinámica geomorfológica actual de cada uno de los sitios condiciona la distribución de las especies de plantas. En este caso, los depósitos no funcionales antiguos estables de abanicos coluviales presentan condiciones para el crecimiento y desarrollo de la vegetación herbácea y pastos o gramíneas (entre otras hierbas), de raíces pequeñas y baja altura (<1 m), que son susceptibles a grandes movimientos de sedimentos o flujo de fluidos.

En los depósitos funcionales actuales dinámicos, la vegetación arbustiva está representada por individuos de *B. retama* y *L. cuneifolia* predominantemente de altura superior a 1,5 m. Además, posee ejemplares de árboles como el algarrobo (*Prosopis flexuosa* var. *depressa*) de características freatófitas, de raíces profundas y tallos gruesos. Los individuos están distribuidos espacialmente en los laterales de los canales activos, coincidiendo con los sitios de menor velocidad de flujo. Cabe destacar que las especies de cactus y hierbas presentes en estos sectores están asociadas a individuos de gran porte, que dan lugar a un efecto “nodriza” ayudando a la instalación y desarrollo de las especies de menor porte y raíces pequeñas, brindándoles protección ante cualquier evento que implique movimiento de fluidos con carga sedimentaria.

3.3.2.2. Depósitos funcionales actuales o dinámicos y depósitos no funcionales antiguos o estables correspondientes a abanicos aluviales

Respecto a los abanicos aluviales, la cobertura y la diversidad de la vegetación está dominada por el estrato arbustivo (*L. cuneifolia* y *B. retama*), con una fuerte presencia del estrato herbáceo caracterizado por densas poblaciones de *D. Longipetala*, que se ubican preferentemente en los sectores proximal y medio del piedemonte (Fig. 5) y *Tephrocactus aoracanthus* entre las suculentas.

Los niveles no funcionales o más antiguos de estos abanicos sumado a la inactividad y ausencia de dinámica fluvial y gravitacional en los depósitos, han facilitado después de miles de años la formación de barniz del desierto, pátina azulada oscura, brillante, que rodea a bloques y fragmentos de la cubierta.

Algunas especies herbáceas de fuerte presencia, como *D. longipetala*, que crece en forma circular, y deja el centro descubierto donde se acumulan sedimentos finos, arenosos de procedencia eólica, favorecen el crecimiento de especies herbáceas del género *Aristides* o *Pappophorum*. En los sectores con dinámica actual y activa, el estrato arbóreo está presente con coberturas que no superan el 14% y está representado por la especie *P. flexuosa* var. *depressa* (algarrobo), mientras que el arbustivo está representado por *B. retama*, *L. cuneifolia*, *Capparis atamisquea* y *Grabowskya obtusa* (oreja de gato). Las cactáceas son abundantes en estos sitios y están asociadas a la presencia de árboles o arbustos, al igual que en los depósitos actuales dinámicos de abanicos coluviales. La dinámica hídrica de esta unidad está compuesta mayormente por procesos de acumulación en los sectores medios de los canales y erosión, juntamente con el transporte de materiales desde zonas más altas. Esta dinámica, condiciona la distribución

4. Conclusiones

La experiencia llevada a cabo en un sector de la Sierra Chica de Zonda, ubicada en la Precordillera Oriental de Argentina, ha permitido observar relaciones entre los aspectos físicos y bióticos regionales, obteniendo resultados integradores entre parámetros de la vegetación y la morfodinámica de las unidades geomorfológicas. Aunque la región está inserta en un dominio hiperárido, los principales procesos dinámicos de erosión y modelación de las unidades geomorfológicas y sus depósitos son más bien hídricos que gravitacionales. La evacuación y transporte de sedimentos desde las laderas de la sierra hasta el piedemonte crean condiciones ambientales favorables (o no) para la instalación y el desarrollo de especies de plantas nativas.

Muchos factores afectan a los patrones de distribución y cobertura de la vegetación en ambientes áridos e hiperáridos como el estudiado. Un análisis geomorfológico que tenga en cuenta aspectos morfodinámicos y morfogenéticos puede ser utilizado para obtener una explicación parcial en estudios ecológicos sobre distribución y cobertura de la vegetación. Empleando esta técnica se adquirieron parámetros físicos de los depósitos de piedemonte con diferente dinámica actual, comprobándose que la distribución de la vegetación responde a esa dinámica.

Del análisis morfodinámico del piedemonte se deduce que los depósitos con procesos funcionales activos actuales afectados por procesos hídricos erosivos y gravitacionales albergan vegetación arbustiva y arbórea de gran porte. Esta vegetación incluye especies de hierbas y cactus que se localizan al pie de arbustos grandes que producen un efecto nodriza y que dan lugar a los valores de diversidad más altos obtenidos en este trabajo. La vegetación no se distribuye de manera homogénea en estos depósitos, sino que están, en su mayoría, limitados a los bordes en donde la velocidad de flujo es menor.

Los procesos de erosión hídrica que afectan a las diferentes geoformas de piedemonte han dejado depósitos en forma de lóbulos elevados, donde los procesos dinámicos están presentes en menor proporción o incluso ausentes. Por esta razón hay un predominio de los procesos de pedogénesis. Ante esta evidente tranquilidad morfogenética y la baja probabilidad de ocurrencia de perturbaciones por movimientos en masa o flujo de detritos, se ve favorecido el desarrollo de especies con raíces superficiales (herbáceas en su mayoría) acompañadas por cactáceas.

Esta aproximación interdisciplinaria puede ayudar a investigadores a organizar el territorio de manera que sea útil identificar y sectorizar áreas de ocurrencia de procesos concretos que explicarían parcialmente por qué las especies se distribuyen de manera diferencial en las distintas unidades geomorfológicas y a escalas variables. Por otro lado, no se debe despreciar la posibilidad de complementar los resultados con otros estudios que incluyan patrones y procesos de las poblaciones de plantas.

Referencias

Aguar, M.R., Sala, O.E. 1999. Patch structure, dynamics and implications for the functioning of arid ecosystems. *Trends in Ecology & Evolution* 14 (7), 273-277.

- Alvarado, P., Beck, S., Zandt, G. 2007. Crustal structure of the South-Central Andes Cordillera and back-arc region from regional waveform modeling. *Geophysical Journal International* 170, 858-875.
- Alvarado, P., Pardo, M., Gilbert, H., Miranda, S., Anderson, M., Saez, M., Beck, S. 2009. Flat slab subduction and crustal models for the seismically active Sierras Pampeanas region of Argentina, en Kay. En Ramos, V., Dickinson, W. (eds.), *Backbone of the Americas: Shallow subduction, Plateau Uplift and Ridge and Terrane Collision*, Geological Society of America, pp. 261-278.
- Beeskow, A.M., del Valle, H.F., Rostagno, C.M. 1987. *Los sistemas fisiográficos de la región árida y semiárida de la Provincia de Chubut*. Delegación Regional SECYT, Puerto Madryn, Chubut, 144 pp.
- Bilkra L.H., Nemeck, W. 1998. Postglacial colluvium in western Norway: depositional process, facies and paleoclimatic record. *Sedimentology* 45, 909-959.
- Bisigato, A., Villagra, P. E., Ares, J., Rossi, B.E. 2009. Vegetation heterogeneity in Monte Desert ecosystems: a multi-scale approach linking patterns and processes. *Journal of Arid Environments* 73 (2), 182-191.
- Bordonaro, O. 1983. *El Cámbrico de la Sierra Chica de Zonda, San Juan*. Universidad Nacional de San Juan, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Tesis de licenciatura, San Juan, Argentina, 110 pp.
- Butler, D.R., Hupp, C.R. 2013. The Role of Biota in Geomorphology: Ecogeomorphology. En John F. Shroder (Editor-in chief), Butler, D.R., and Hupp, C.R. (Volume Editors). *Treatise on Geomorphology*, San Diego, Academic Press, Vol. 12, 1-5.
- Cabrera, A.L. 1994. *Regiones fitogeográficas argentinas*. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería, Tomo II, Fascículo 1. ACME, Buenos Aires. 85 pp.
- Costa, C., Machette, M., Dart, R., Bastias, H., Paredes, J., Perucca, L., Tello, G., Haller, K. 2000. *Map and database of Quaternary faults and folds in Argentina*. United States Geological Survey, Open-File Report 00-108, 75 pp.
- Flores, D. 2008. Caracterización biológica del valle de Zonda. En *Zonda, Un oasis para soñar*. Instituto y Museo Manziñi. Registro del Archivo de la provincia de San Juan, Gobierno de San Juan, pp 37-48.
- Flores, D. 2009. Distribución del recurso flora, su condición e implicancias para el manejo sustentable del valle de Zonda, San Juan. *Encuentro Internacional de Ciencias de la Tierra*, EICES 5, 24-29.
- Flores, D., Suvires, G. 2012. Distribución y diversidad de hábitats en el humedal de la reserva natural Presidente Sarmiento, San Juan, Argentina. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 83 (1), 194-200.
- Flores, D., Suvires, G., Dalmaso, A.D. 2014. El análisis geomorfológico como base para la cartografía de la vegetación nativa en zonas áridas. *Actas del XIX Congreso Geológico Argentino*. 1906 pp. Córdoba, Argentina.
- Flores, D., Suvires, G., Dalmaso, A. 2015. Distribución de la vegetación nativa en ambientes geomorfológicos cuaternarios del Monte Árido Central de Argentina. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86, 72-79.
- Gardini, M. 1993. Estructura superficial y profunda del valle de Zonda, Precordillera de San Juan. *XII Congreso Geológico Argentino, II Congreso de Exploración de Hidrocarburos*, Tomo III, pp. 93-99.
- González Loyarte, M.M., Martínez Carretero, E., Roig, F.A. 1990. Forest of *Prosopis flexuosa* var. *flexuosa* (Leguminosae) in the NE of Mendoza. I. Structure and Dynamism in the Area of the "Telteca Natural Reserve". *Documents Phytosociologiques* 12, 285-289.
- Gutiérrez Elorza, M. 2001. *Climatic Geomorphology*. Elsevier, Amsterdam, 760 pp.

- Hupp, C.R., Osterkamp, W.R. 2013. Vegetation Ecogeomorphology, Dynamic Equilibrium, and Disturbance. En John F. Shroder (ed.) *Treatise on Geomorphology*, San Diego, Academic Press, Vol. 12, pp. 94-106.
- Hupp, C.R., Bornette, G. 2003. Vegetation, fluvial processes and landforms in temperate areas. En H. Piegay, M. Kondolf (eds.), *Tools in Geomorphology*. Wiley & Co., Chichester, pp. 269-288.
- Lucía Vela, A., Vicente, F., Martín Moreno, C., Duque, M., Sanz Santos, M.A., Andrés, C.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.
- Morello, J. 1958. *La provincia fitogeográfica del Monte*. Tucumán, Argentina, Fundación Miguel Lillo, 155 pp.
- Okin, G.S., Parsons, A.J., Wainwright, J., Herrick, J.E., Bestelmayer, B.T., Peters, D.C., Fredrickson, E.L. 2009. Do changes in connectivity explain desertification? *Bioscience* 59, 237-245.
- Passera, C.B., Dalmaso A.D., Borseto, O. 1983. Método de "Point Quadrat Modificado". Actas del Taller de Arbustos Forrajeros. Grupo Regional FAO-IADIZA, Mendoza, 7180.
- Peña, D. 2002. *Análisis de Datos Multivariantes*. Editorial McGraw-Hill, 529 pp.
- Perucca, L.P., Lara, G., Vargas, N. 2012. Nueva evidencia de actividad tectónica cuaternaria en la depresión Zonda-Maradona, provincia de San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 69 (1), 97-105.
- Perucca, L.P., Audemard, F., Pantano, A., Vargas, H., Avila, C., Onorato, M.R., Lara, G., Esper, M.Y. 2013. Fallas cuaternarias con vergencias opuestas entre precordillera central y oriental, provincia de San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 70 (2), 291-302.
- Pittaluga, M.A., Flores, D.G. 2013. Zonificación de la peligrosidad de aluviones como herramienta para la planificación territorial. Caso de estudio: Valle de Zonda, San Juan, Argentina. Libro de resúmenes y trabajos completos. *Primer Congreso Internacional sobre riesgos de desastres y desarrollo territorial sostenible*. Editorial Científica Universitaria, UNCa, Catamarca, Argentina.
- 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 (CISA). UNSJ, *Boletín* 4, 1-89.
- Ramos, V.A., Jordan, T.E., Allmendinger, R., Mpodozis, C., Kay, S.M., Cortes, J.M., Palma, M. 1986. Paleozoic terranes of the Central Argentine - Chilean Andes. *Tectonics* 5, 855-880.
- Ravi, S., Breshears, D.D., Huxman, T.E., D'Odorico, P. 2010. Land degradation in drylands: Interactions among hydrologic-aeolian erosion and vegetation dynamics. *Geomorphology* 116, 236-245.
- Reinhardt, L., Jerolmack, D., Cardinale, B.J., Vanacker, V., Wright, J.P. 2010. Dynamic interactions of life and its landscape: feedbacks at the interface of geomorphology and ecology. *Earth Surface Processes and Landforms* 35, 78-101.
- Shannon, C.E., Wiener, W. 1949. *The mathematical theory of communication*. Univ. Illinois Press, Urbana, USA, 117 pp.
- Smalley, R.F. 1988. *Two earthquakes studies: 1) seismicity of the Argentine foreland and 2) A renormalization group approach to earthquake mechanics*. Unpublished Ph. D., Cornell University, Ithaca, N.Y., 174 pp.
- Suriano, J., Limarino, O. 2009. Sedimentación pedemontana en las nacientes del río Jáchal y Pampa de Gualilán, Precordillera de San Juan. *Revista Asociación Geológica Argentina* 65 (3), 516-527.
- Suñes, G.M. 2009. Unidades geomorfológicas del río San Juan en la Depresión tectónica de Ullum-Zonda, Provincia de San Juan, Argentina. *12º Congresso da Associação Brasileira*

- de Estudios do Quaternário y 2^{da} Reunión sobre el Cuaternario de América del Sur (La Plata), Actas, Vol. 413, Buenos Aires.
- 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.
- Tongway, D.J., Cortina, J., Maestre, F.T. 2004. Heterogeneidad espacial y gestión de medios semiáridos. *Ecosistemas*, 13 (1), 2-15.
- Van Zuidan, R.A. 1976. Geomorphological development of the Zaragoza region, Spain. Processes and landforms related to climatic changes in a large Mediterranean river basin. Tesis Doctoral. Universidad de Utrech, ITC, 122 pp.
- Van Zuidan, R.A. 1977. *Terrain analysis and classification using aerial photographs*. International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences (ITC). ITC text book.
- Verstappen, H., Van Zuidam, R.A. 1968. *ITC System of geomorphological survey*. ITC textbook VII-2, Eschende, 49 pp.
- Villagra, P.E., Roig, F.A. 1999. Vegetación de las márgenes de inundación del Río Mendoza en su zona de divagación (Mendoza, Argentina). *Kurtziana* 27, 309-317.
- Wainwright, J., Parsons, A.J., Abraham, A.D. 2000. Plot-scale studies of vegetation, overland flow and erosion interactions: case studies from Arizona and New Mexico. *Hydrological Processes* 14, 2921-2943.