

Indicadores de Peligrosidad total de unidades de tierra.

Caso de estudio: Departamento Zonda, San Juan, Argentina.

Total Threat Indicators of land units.

Study case: Zonda Department, San Juan, Argentina

Graciela Mabel Suvires y María Alejandra Pittaluga

graciela_suvires@yahoo.com.ar, mapitta@unsj.edu.ar

Universidad Nacional de San Juan, San Juan. Argentina.

Resumen

El presente trabajo se desprende de un proyecto de investigación plurianual orientado a la Ordenación ecológica y ambiental del Departamento Zonda, en la provincia de San Juan. Se relevaron datos de campo sobre los distintos Peligros con el fin de proponer un sistema de indicadores para valorar la seguridad ambiental y territorial, de esta región urbano-rural. Para ello, se presenta un esquema metodológico que ordena el trabajo en cuatro etapas operativas, la primera, consiste en el relevamiento de campo de unidades de tierra y de datos morfodinámicos y morfogenéticos que atestiguan la existencia de diferentes peligros, la segunda orientada a la clasificación de estos peligros según el agente o causa que lo provoca, la tercera a la determinación de índices de peligrosidad parcial por unidades de tierra y por último el planteamiento de una ecuación como Indicador de Peligrosidad total para cada unidad básica de tierras. Se pretende aportar una metodología de análisis de la Seguridad de las tierras en la discusión del problema de ordenación ecológica y ambiental de tierras, como instrumentos básicos e imprescindibles en el proceso de planificación del desarrollo con fines de ordenación del territorio.

Palabras clave

Peligrosidad, zonificación, índices de peligrosidad total, seguridad de unidades de tierras, ordenamiento territorial.

Abstract

This work emerges from a multi-year research project aimed at ecological and environmental management of the Zonda Department, in the province of San Juan. Field data on the various threats were surveyed in order to propose a system of indicators to assess the environmental and territorial security of this urban-rural region. For this, we present a methodological scheme that orders the work into four operational stages, the first one consists of the field survey of land units and of morphodynamic and morphogenetic data proving the existence of different threats, the second stage oriented to the classification of these threats according to the agent or cause it provokes, the third one to the determination of partial threats ratings per units of land, and finally the approach of a total threat indicator equation for each basic unit of land. It is intended to provide a methodology of analysis of land safety in the discussion of the ecological and environmental land management problem, as basic and essential instruments in the process of development planning for land use planning purposes.

Key words

Threat, zoning, total hazard ratings, units of land safety, territorial management.

Este trabajo es producto de los proyectos PIP-CONICET "Geomorfología técnica para la evaluación de la sostenibilidad ambiental en el Valle de Zonda" P112-2010010045-KE1 y "Geología de cenozoico tardío y registros de cambios climáticos en el Valle de Zonda" Aprobado por el CICITCA - U.N.S.J. P21E/887.

Introducción

Este trabajo tiene como objetivo principal proponer un sistema de indicadores de peligrosidad parcial y total del valle de Zonda para evaluar la seguridad ambiental y territorial de esta región urbano-rural.

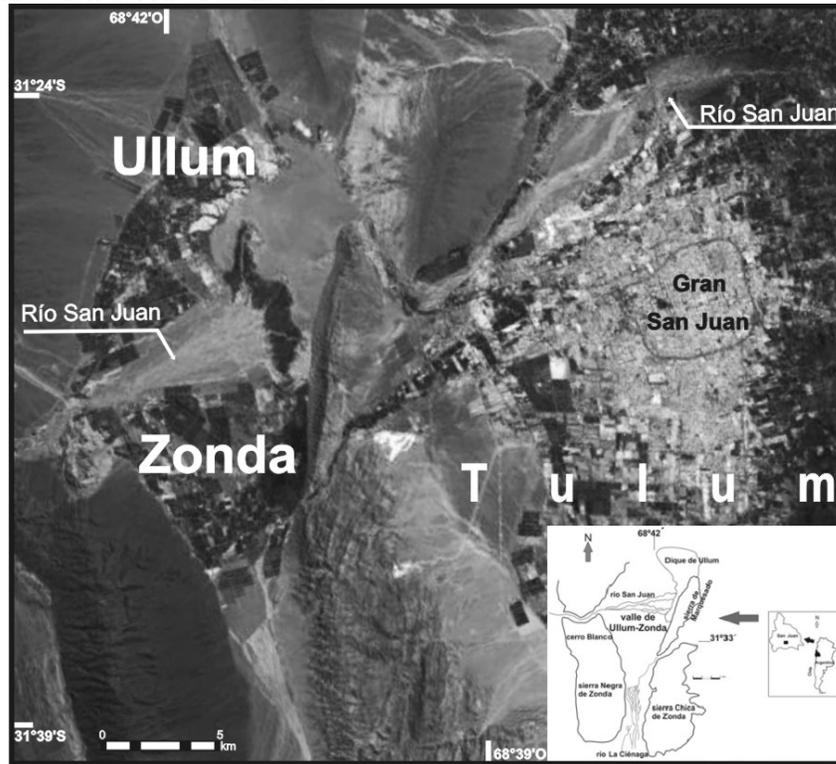
Al momento de la Ordenación ambiental y ecológica de una región se debe tener en cuenta las amenazas naturales que impactan sobre ésta. Una planificación adecuada puede reducir significativamente los daños que producen estos eventos de rápido desarrollo. Se presume que se puede reducir el impacto de los peligros naturales en cualquier región si se familiariza a los planificadores con un método que sirva para incorporar el manejo de los peligros naturales dentro de la planificación para el desarrollo de la región.

El área de estudio corresponde al sector central de la depresión longitudinal de Matagusanos-Zonda-Acequión, específicamente en el valle de Zonda, localizado en la intersección de 31° 32' S y 68° 43' O, provincia de San Juan en el centro oeste de Argentina. El oasis productivo del valle de Zonda se ubica 30 km hacia el oeste de la ciudad capital de San Juan, donde su ciudad cabecera Villa Basilio Nievas se localiza a los 31°32'56'' S y 68°43'48'' O. El Departamento Zonda tiene una población de 4.863 habitantes (INDEC, 2010) distribuidos en una superficie de 2.348 km² siendo considerado como uno de los departamentos con menor población de la provincia y máxima proximidad a la ciudad capital de San Juan (Fig. N° 1).

Este oasis productivo se caracteriza por poseer muy buenas condiciones edáficas e hidrológicas para el desarrollo de diferentes tipos de cultivos (Suvires, 2009, Pittaluga, et al, 2012), siendo la producción agrícola una de las principales actividades, con los cultivos de vid, frutales y olivos.

La región está incluida en la Provincia Fitogeográfica del Monte (Cabrera, 1994), en un clima seco-desértico, con una precipitación media anual de 86,1 mm y la temperatura media de 25,7°C. En la región, los cambios hidrológicos producto de cambios en la alimentación névea cordillerana y en el caudal del río San Juan, ocasionan una pérdida de vegetación nativa e invasión por parte de vegetación exótica (Flores, 2008, Flores y Suvires, 2012; Gamboa y Ocampo, 2009).

Figura N° 1: Ubicación del Área de Estudio



Fuente: Imágenes Satelitales tomadas de Google Earth, 2013 donde se observan a la izquierda el valle de Zonda limitado hacia el norte por el de Ullum y hacia el este (derecha) por el valle de Tulum.

Pertenece a la región tectónica de Precordillera, limitada hacia el este por el piedemonte occidental de la sierra Chica de Zonda, donde se localiza el sistema de mega fracturación de fallamiento inverso de Villicum-Zonda (FVZ) (Bastías, 1986, Bastías et al. 1993, Castano, J.C. 1993. Se ha pronosticado un sismo de magnitud máxima potencial entre 6.7 y 7.4 (Tello y Perucca, 1993) vinculado a este sistema. Es un piedemonte tectónico que muestra una evolución del relieve contrastada entre la elevación y descarga por erosión del área montañosa y el área de subsidencia con alta carga sedimentaria clástica (Suvires, 2013).

Marco teórico

Existen numerosos criterios de ordenación del territorio, apoyados en estudios integrados que conducen a una zonificación sistemática de la diversidad de ecosistemas y construcciones humanas. Sánchez, 2009, utiliza para los estudios estratégicos de ordenación territorial, el concepto de unidad de tierras (UT). Una UT según Zonneveld, 1969, conforma un sector ecológicamente homogéneo a la escala de trabajo. Engloba a la vegetación, el suelo, y la forma del relieve, dentro de un sistema con componentes verticales

y horizontales distintivas. El término unidad de tierra es preferentemente utilizado en los estudios e investigaciones multidisciplinarios orientados hacia el ordenamiento estratégico de una región en lugar de unidad geomorfológica, para su comprensión e interpretación por parte de todos los especialistas participantes (Sánchez, 2009; Zonneveld, 1969) y no solo por geólogos o geógrafos. Las UT tienen distintas capacidades y sensibilidades a los diferentes tipos de peligros, debido a sus propiedades intrínsecas tales como naturaleza y característica del depósito y suelo, cementación y tipo de suelo entre otros. En algunos trabajos sobre cartografía del territorio, pueden encontrarse el uso de terminologías, como unidad de paisaje (Suvires y Luna, 2008) y como unidad morfo-fito-edáfica (Sánchez, 2009), siendo todas ellas sinónimos, dado que cada unidad de tierra es asimismo una unidad geomorfológica asociada a los suelos y plantas portantes (morfo-fito-edáfica).

En cuanto a los términos relacionados a peligros y riesgos existen numerosos trabajos en los últimos años que muestran la producción de estos eventos y su impacto en las actividades humanas. Los términos riesgos, amenaza o peligro y vulnerabilidad han sido utilizados con diferentes significados por distintos autores (Varnes, 1984). La necesidad de aclarar esos significados ha sido reconocida por UNDRP (Office of United Nations Disaster Relief co-ordinator) de UNESCO, 1973, proponiendo los siguientes significados: la amenaza o peligro natural (H) es la probabilidad de ocurrencia dentro de un periodo de tiempo de un fenómeno potencialmente dañino en un área determinada. La vulnerabilidad (V) es la pérdida de un elemento o grupo de elementos ante un riesgo, resultante de la ocurrencia de un fenómeno natural de una magnitud dada. Se expresa en una escala de 0 a 1 (pérdida total). El riesgo específico (Rs) es el grado esperado de pérdida debido a un determinado fenómeno natural. Es el producto de $H \times V$. Mientras que el riesgo total (Rt) es el producto de los riesgos específicos de cada elemento en riesgo (E) (población, servicios públicos, actividades económicas, propiedades dañadas) debido a un fenómeno natural particular. Los términos amenaza y peligro son sinónimos.

Metodología

A los fines de alcanzar los objetivos de la presente se realizaron tareas de gabinete y de campo en el área de estudio. Se delimitaron y clasificaron las distintas unidades de tierras integrantes del parte central de Zonda, desde el punto de vista morfogenético y morfodinámico. Posteriormente se efectuaron relevamientos de campo para comprobar las clasificaciones y límites de las unidades de tierras delimitadas en gabinete, mediante interpretación de imágenes Landsat TM, escala 1:100.000, Google Earth, 2013 y fotografías

aéreas a escala 1:20.000. Se cartografiaron siete (7) UTs, Figura 2, con la identificación de litología de los depósitos, características de los suelos, drenaje y uso de la tierra. Posteriormente entre actividades de gabinete y campo se identificaron los distintos peligros, observando principalmente aquellas evidencias de campo que atestiguaban la presencia pasada de aluviones, actividad neotectónica y características de los suelos favorables a una licuación inducida. Los peligros fueron clasificados según la naturaleza endógena, exógena o mixta del agente o agentes productores de los mismos. Finalmente y sobre el análisis de metodologías modernas propuestas por el Urban and Rural Planning de la Khulna University, 2013, Bangladesh, los autores adaptaron y orientaron el método hacia la determinación de los indicadores de peligros parciales y totales, dado que el territorio de Zonda se encuentra en vías de desarrollo con una escasa población en toda su superficie como para analizar, por ahora, los índices de riesgo. Finalmente se propuso el término y ecuación de seguridad territorial como la inversa al indicador total de peligrosidad por unidad de tierra. De tal modo que la metodología propuesta por Mohammed Sharifullslam, et al (2013, Khulna University), para determinar índices de riesgo total fue modificada y adaptada por los autores para obtener el índice total de peligrosidad por unidad territorial.

Unidades de tierras (UT)

El valle de Zonda ocupa la parte central de una zona tectónicamente deprimida, limitada hacia el oeste por la Sierra Negra de Zonda (Precordillera) y hacia el este por la Sierra Chica de Zonda (Precordillera Oriental) (Fig. N° 1). El valle está ocupado en su mayoría por un extenso abanico aluvial (megafans) depositado por el río San Juan en etapas proglaciales pleistocenas (Suvires, 2009). La región está limitada en ambos bordes occidental y oriental por los sistemas de fallamientos correspondientes a Precordillera Central y Oriental respectivamente, ambos identificados en la Fig. 2. El megafans está compuesto por siete unidades de tierra menores con características morfogenéticas y morfodinámicas particulares, tales como:

- *Cauce y llanura de inundación del Río San Juan* (unidad a): este sistema constituye una unidad geomorfológica representada tanto por el cauce como por la amplia llanura de inundación reciente. Está constituido por gravas, rodados de riolitas, grauvacas, granitos y vulcanitas, limos y arenas provenientes de Cordillera y Precordillera Central y Occidental. Son depósitos cuaternarios bien drenados, con procesos fluviales activos. Es una unidad no apta para la planificación territorial por el peligro de inundación y avulsión.

- *Sector Proximal y cuerpo del mega-abanico* (unidad b): Se ubica a la salida del río San Juan desde la Precordillera Central, a la altura del cerro Blanco. Este sector posee gravas medianas de vulcanitas, plutonitas y sedimentitas, rodados transportados por el río San Juan en etapas deglaciales desde la Cordillera Central de los Andes y gran parte de Precordillera. Los suelos tienen alta pedregosidad, buen drenaje y sin nivel freático próximo a la superficie.

Es una región con potencialidad de uso de la tierra. Los procesos fluviales erosivos tienen menor actividad que en la unidad (a), predominando la erosión laminar.

- *Sector distal del mega-abanico con agua cercana a superficie*, (unidad c): ocupa la parte final y distal del mega-abanico, próxima a la sierra Chica de Zonda. Está formada por arena mediana a fina, limos y arcillas y suelos minero-orgánicos. Tiene mal drenaje y se encuentra afectada por las descargas de agua provenientes del río San Juan y del arroyo Seco de la Ciénaga. Las fluctuaciones de los caudales de los dos cursos de agua citados, ocasionan variaciones periódicas de los niveles freáticos. Se forman lagunas temporarias como las de la Reserva natural Parque Presidente Sarmiento, considerada Área Natural Protegida por su biodiversidad. Las temporadas de sequías ocasionan una merma en el tamaño de las lagunas, produciéndose invasión de plantas exóticas sobre las nativas (Flores y Suvires, 2012).

Las características de mal drenaje, alta tasa de sedimentación, nivel freático temporariamente oscilante, a veces superficial, coadyuvadas por incendios espontáneos o intencionales, tala de totorales, contaminación leve del agua de las lagunas por falta de red cloacal en la Villa departamental (Basilio Nievas) convierten a esta unidad en la de mayor vulnerabilidad a los peligros.

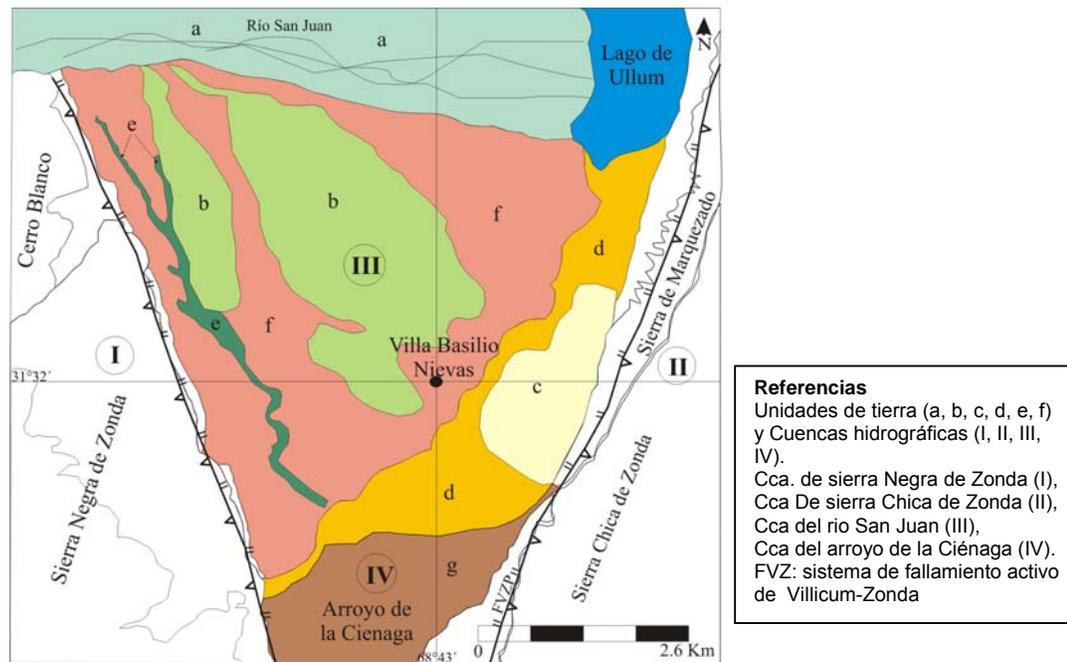
- *Sector distal del mega-abanico sin agua en superficie* (unidad d): Este sector presenta una litología de sus depósitos y texturas de suelos similares a la unidad (c) de capas intercaladas de arenas, limos y arcillas, con variada cantidad de materia orgánica. Se la separa de (c) por no tener la napa freática próxima a la superficie. Los autores consideramos que esto se formó en períodos históricos de mayor provisión hídrica del río San Juan. Presenta una baja tasa de sedimentación fluvial y un drenaje moderado. Se desarrolla aquí una ocupación espontánea agrícola y forestal maderera.
- *Paleocauces* (unidad e): son antiguos cauces del río San Juan con dirección NNO-SSE, expresados en relieves suavemente elongados y cóncavos, ubicados en la porción occidental del mega-abanico.
Corresponderían a un antiguo cauce del río San Juan que se desprendía del principal a la altura del cerro Blanco (Pittaluga y Suvires, 2011). Sus depósitos tienen algunos

rodados de tamaño mediano a pequeño sin barniz del desierto, intercalados con arenas y limos.

El drenaje es bueno a moderado. Los procesos de escurrimiento superficial y laminar en la actualidad son activos y canalizan las escasas lluvias estivales. Actúa como drenaje natural dentro del mega-abanico aunque su paso es interrumpido por la construcción de nuevas viviendas y plantación de cultivos de olivos.

- *Sectores interfluviales del mega abanico de menor pedregosidad* (unidad f): en el mega-abanico y muy próximo al borde oriental del piedemonte de la sierra Negra de Zonda se encuentra esta unidad, alguno de cuyos sectores se debe a la erosión y retransporte de unos afloramientos lacustres-palustres del Holoceno tardío, datados radio carbónicamente en 3000 y.b.p. (Suvires y Gamboa, 2011). En gran parte de esta unidad se desarrollan suelos de texturas finas, arenosos, limosos y arcillosos, pardo amarillentos, con algo de material orgánico. Son aprovechados para agricultura y para ubicación de viviendas de fin de semana. Esta unidad, en su parte sur, se encuentra muy próxima a la desembocadura de las descargas y aluviones estivales del arroyo la Ciénaga, que drena de sur a norte.
- *Planicie aluvial y cauce actual del arroyo Seco de la Ciénaga* (unidad g): Esta planicie fluvial aluvial de edad reciente, se encuentra constituida por la sedimentación de cursos actuales temporarios y permanentes. Presenta una pendiente alta (29%) de orientación sur-norte que drena hacia el Valle de Zonda, conforma una importante área de descarga y es una de las unidades mas activas desde el punto de vista aluvional.

Figura Nº 2: Unidades de tierras.



Fuente: Suvires G. y Pittaluga M.A. sobre la base de fotografías aéreas escala 1:20.000 (2013).

El núcleo poblacional cabecera del Departamento Zonda, Villa Basilio Nievas, se encuentra aproximadamente en la parte central del valle homónimo asentado sobre la unidad f y muy próximo al Humedal del Parque Presidente Sarmiento, localizado en la unidad c.

Tipos de Peligros identificados

Los peligros identificados fueron clasificados en tres grandes categorías según la fuente o causa que los provocan, siendo éstas:

- exógena,
- endógena
- mixta (endo-exógena).

A la primera categoría corresponden los peligros de *aluviones e inundaciones y desbordes*, producto de precipitaciones pluviales intensas y de corta duración (chaparrones), que tienen lugar durante el verano (desde diciembre a marzo) en la región. Un “aluvión” es definido como una enérgica remoción de suelos, rocas o ambos, en la que el medio acuoso crea una masa sin cohesión que fluye normalmente a gran velocidad por cauces preexistentes bien desarrollados (Hauser, 1993). Por su parte, Polanski (1963), hace referencia al término creciente como “avenidas de aguas llamadas salvajes”, es decir flujos rápidos y turbulentos

de aguas turbias, cargadas con clastos de distintas rocas y que se producen en zonas áridas azotadas por tormentas estivales. La formación de estas avenidas se produce como respuesta del sistema fluvial a un aporte cuantioso de agua desde fuera del sistema (lluvia, nieves) o, más esporádicamente, a una alteración súbita de las condiciones hidrológicas del río. El análisis de esta amenaza se realiza a través del reconocimiento de las distintas unidades que sufren inundaciones y daños como consecuencia de estos procesos.

La segunda categoría, endógena, corresponde al *peligro sísmico*. Tanto el valle de Zonda como su continuidad hacia el norte en Ullum y Matagusanos, y hacia el sur en el valle de Acequión, se encuentran comprendidos en la región sismotectónica de Precordillera del centro oeste de Argentina. Evidencias de actividad tectónica cuaternaria, registradas por Perucca et al (2012), ponen de manifiesto que los sistemas de fallas citados siguen en actividad. Algunos aspectos de la intensa actividad sísmica de la zona se citaron en la introducción. Los numerosos registros sísmicos históricos fueron provistos por el INPRES (2012).

La tercera categoría (mixta) corresponde al peligro de la licuefacción o licuación de suelos inducida por sismicidad. La licuefacción es el comportamiento de suelos y sedimentos finos, de texturas limo-arenoso y arenoso fino, húmedos, que ante la eventual presencia de una fuerza externa o carga, como un sismo, y ante determinadas condiciones intrínsecas del sitio, pasan de un estado sólido a un estado líquido, o adquieren la consistencia de un líquido pesado (Robertson y Fear, 1995). La licuación se presenta en suelos y en sedimentos de texturas finas, saturados en agua, los que ante determinado disparador pierden su cohesión interna y pasan de un estado sólido a líquido. El daño que produce este proceso en las construcciones, viviendas y obras es reconocido en varios estudios de ingeniería de mecánica de suelos. En el área de estudio, el nivel freático de los perfiles de suelos asciende cuando nos encontramos en años hídricamente ricos, con caudales del río San Juan superiores a 40 hm³, dando lugar a la recarga del acuífero libre instalado en el mega-abanico (Rocca, 1969), por un lado, y por otro a un alto contenido de humedad en los suelos (INA, 2002). Debido a estas causas se considera que la licuación de suelos es un peligro provocado por situaciones concurrentes de sismicidad (Obermeier, 1994, Obermeier et al, 1990, Perucca, y Bastias, 2005) e hídricas-climáticas, habiendo sido entonces clasificado por los autores como un peligro endo-exógeno o mixto.

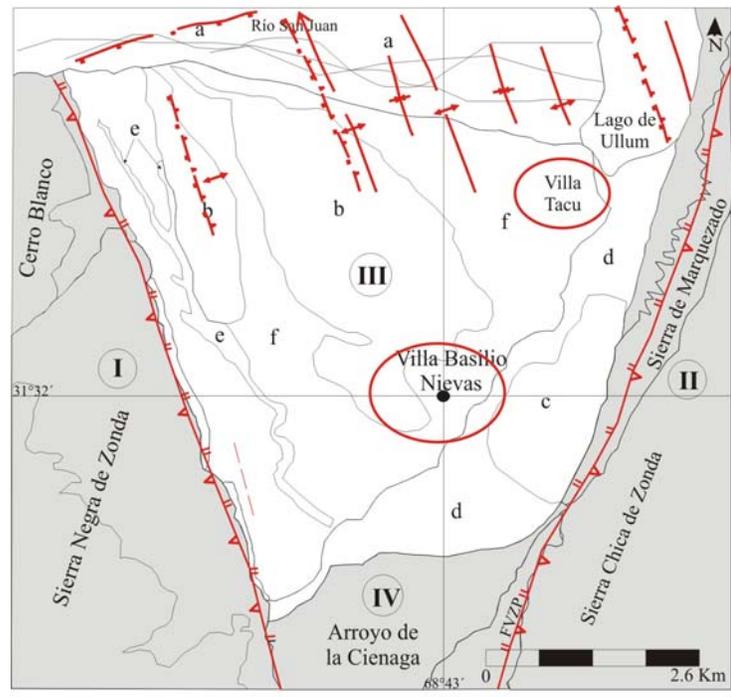
Las figuras 4, 5 y 6 muestran la zonificación de estos tres peligros y los índices parciales valorizados para cada (UT) (a,b,c,d,e,f y g). Los colores utilizados según la regla del

semáforo, indican el color rojo para una mayor peligrosidad, amarillo: para una media y verde para la menor peligrosidad.

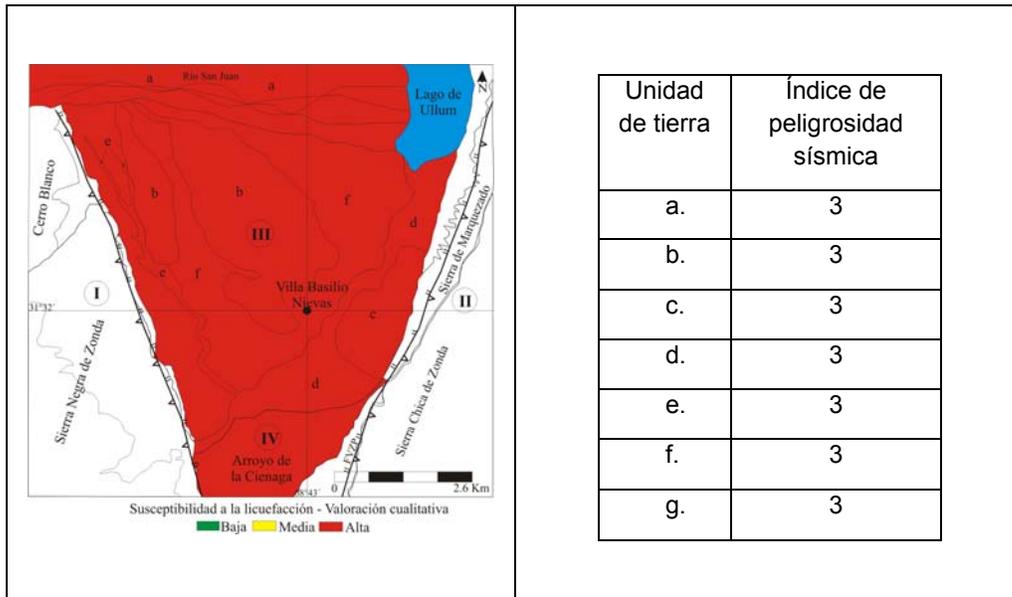
Peligro sísmico

Los autores realizaron un compendio de la información geológica estructural de superficie y subsuelo disponible dada por diferentes autores como Bastias (1986), Gardini (1993), INPRES (2012), Zambrano (1986) y Suvires y Gamboa (2013). Esta capa de información fue completada con nueva información estructural de superficie, relevada a partir de imágenes satelitales Google Earth, 2013, Figura 3. Se desprende del análisis efectuado y de los antecedentes citados, que Zonda se ubica dentro del área de mayor peligrosidad sísmica de Argentina. Los círculos y óvalos delimitados por los autores en la Figura 3, señalan los sitios con mayores elementos de riesgo (E), correspondientes a la ubicación de los núcleos habitacionales Basilio Nievas, Villa Ibañez, central hidroeléctrica Ullum y embalse de Ullum.

Figura 3: Actualización geológica estructural de superficie y subsuelo de Zonda, San Juan



Fuente: Zambrano, 1983, Gardini, 1993, INPRES, 2012. Actualizado por Suvires y Gamboa, 2013. Los símbolos de estructuras anticlinales y sinclinales corresponden a estructuras de subsuelo determinadas por Rocca, 1968. Los lineamientos principales que limitan por el este y el oeste al área de estudio corresponden a los sistemas de fallamiento de Precordillera Oriental y Central respectivamente..

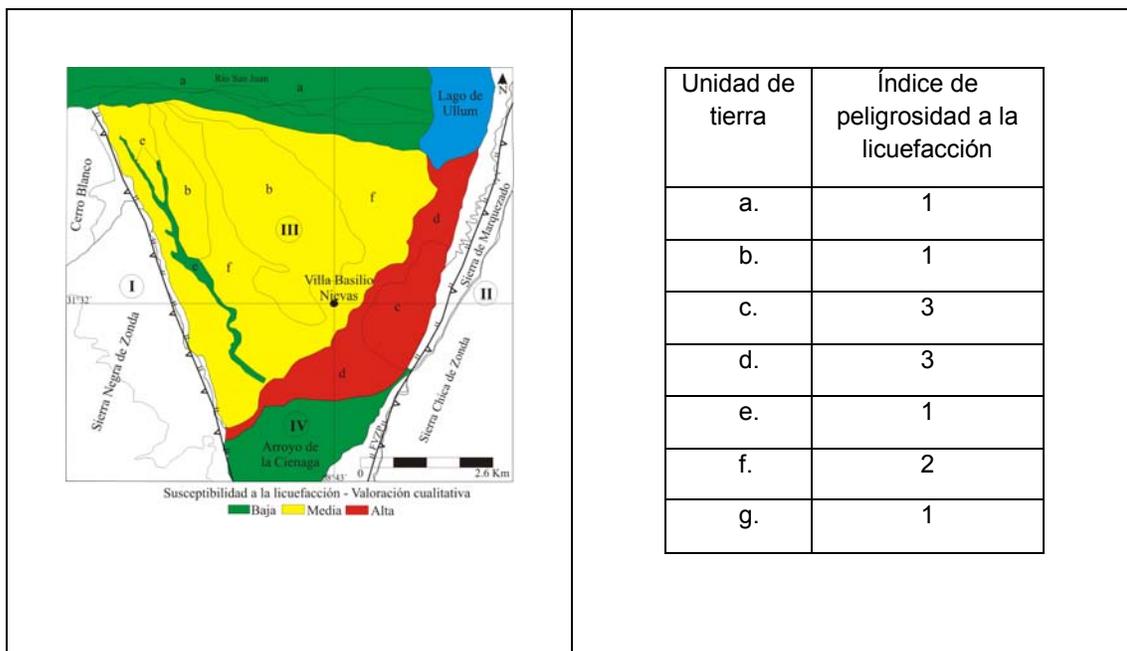
Figura 4: Zonificación al peligro sísmico y tabla de valoración de índices de peligrosidad por unidad de tierra

Fuente: Suvires G. y Pittaluga M.A. sobre la base de fotografías aéreas escala 1:20000 (2013)

Peligro de licuefacción de suelos

Antecedentes de licuefacción asociados a paleosismos fueron registrados en el sector de Acequión ubicado en la porción sur del corredor tectónico de la depresión longitudinal de Matagusanos-Zonda-Maradona-Acequión por Bracco et al (2010); Bastias, et al. (1993), Paredes y Perucca (2002), Pittaluga y Suvires (2011). Las curvas de igual cota de agua subterránea, provistas por Instituto Nacional del Agua y el Ambiente (INA, 2000) fueron consultadas para observar la dinámica en la humedad de los suelo en su factibilidad a la licuación. Los trabajos de campo relacionados a la identificación de características de los suelos y distancia a las fuentes sismogénicas resultaron en la determinación de las texturas de los horizontes y el estado de humedad de los suelos en cada UT, obteniendo la Figura 5.

Figura 5: Zonificación a la peligrosidad de licuefacción de suelos y tabla de valoración de índices de peligrosidad por unidad de tierra.



Fuente: Suvires G. y Pittaluga M.A. sobre la base de fotografías aéreas escala 1:20000 (2013). El color verde identifica las zonas con menor peligrosidad, mientras que el rojo las zonas con mayor peligrosidad a la licuefacción.

De la figura citada, se desprende que las unidades de tierra constituidas por perfiles de suelos de texturas gruesas a medias (gravas, rodados, arenas medianas), en casi toda la parte central de Zonda (color amarillo) tienen una peligrosidad media. Mientras que, la porción distal del mega abanico, donde se desarrolla el humedal de un Área Natural Protegida (Parque Presidente Sarmiento), coincidente con el área de descarga del acuífero, los depósitos y suelos de texturas finas (intercalaciones de capas de arena fina, limos y arcillas) y humedad (INTA, 1976), elevan los valores de la peligrosidad parcial a la licuefacción (color rojo). El 70 % de las unidades de tierra integrantes del mega-abanico aluvial, tiene una peligrosidad media a alta. El 30 % restante corresponde a la porción proximal del mega-abanico, donde la granometría es gruesa y el drenaje bueno, la peligrosidad es baja.

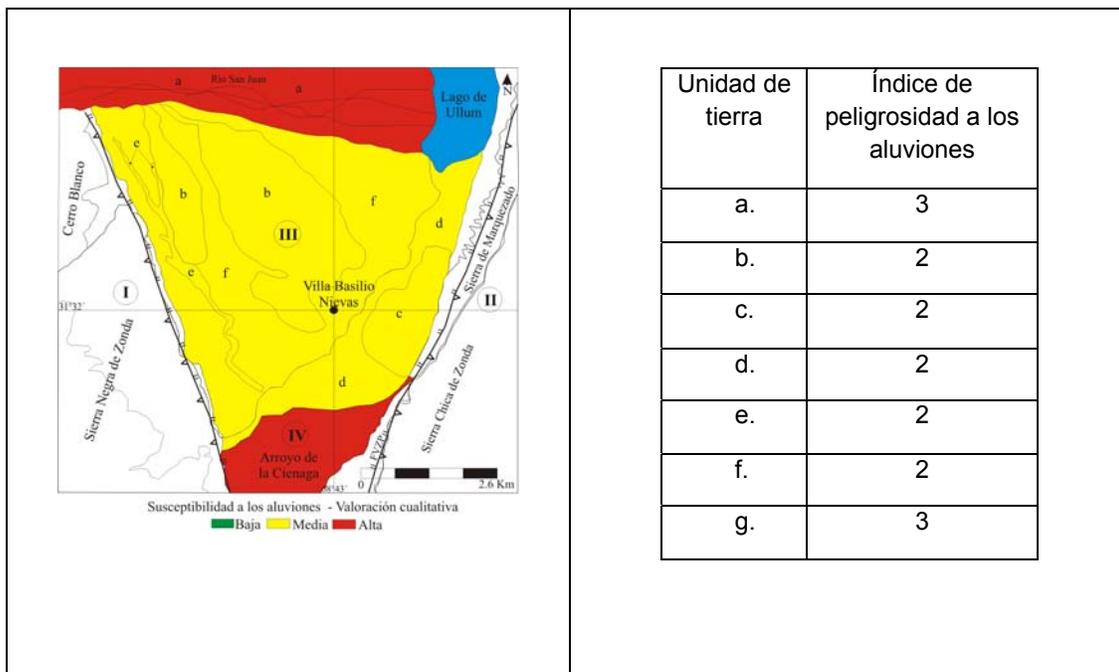
Peligro de aluvionamiento.

Escasos antecedentes sobre esta amenaza se encuentran en el valle de Zonda, pudiendo citar a Pittaluga y Flores (2013) y a Paredes y Perucca (2002) que realizaron una zonificación aproximativa de aluviones. Las evidencias de aluvionamiento en la región fueron registradas por los autores en el campo. Esta tarea ayudó a evaluar los índices insertos en Figura 6 y determinar en consecuencia la zonificación correspondiente. Las

zonas fueron también como los otros dos peligros analizados, separadas en tres clases: medio, alto y muy alto (Fig. 6).

Las áreas correspondientes a la cuenca del río Seco de la Ciénaga y al piedemonte de Sierra Negra de Zonda son las dos unidades de mayor peligrosidad, coincidiendo con los antecedentes bibliográficos recientemente citados. Mientras que el área central de Zonda, ocupada por el mega-abanico presenta una peligrosidad media.

Figura 6: Zonificación de la susceptibilidad a la peligrosidad a los aluviones y tabla de valoración de índices de peligrosidad por unidad de tierra



Fuente: Suvires G. y Pittaluga M.A. sobre base de fotografías aéreas escala 1:20.000 (2013).

Índices de peligrosidad total IP (t)

La metodología propuesta por Mohammed et al (2013 para determinar índices de riesgo total, fue adaptada por los autores para obtener el índice total de peligrosidad por unidad territorial (Tabla 1), siendo el índice total igual a la sumatoria de los índices parciales (tablas de las Figs. 4,5 y 6). Los análisis de datos sísmicos, vinculados a intensidad o magnitud de los sismos, fechas de los eventos producción, y tiempos o intervalos de ocurrencia (registros del INPRES, 2012), así como los registros históricos de aluviones, crecidas e inundaciones, publicados en diarios locales, ayudaron a arrojar el peso o ponderación de cada peligro (V) para aplicar la ecuación final de peligrosidad total. Se asignó el peso de 50% para el peligro sísmico, 25% para la licuefacción y el otro 25% para aluviones.

En acuerdo a ello, se determinaron los indicadores de peligrosidad total (IP (t)) por unidad de tierra (UT) (Tabla 1), aplicando la ecuación: $IP(t) = \sum \text{de Índices peligrosidad parcial} \times V/N.100$. Siendo N el número de peligros determinados en este estudio = 3.

Tabla 1: Indicadores de Peligrosidad total por unidad de tierra

Unidad de tierra	Índice de peligrosidad a la licuefacción	Índice de peligrosidad sísmica	Índice de peligrosidad a los aluviones	INDICADOR DE PELIGROSIDAD TOTAL (*)
a.	1	3	3	0,83
b.	1	3	2	0,75
c.	3	3	2	0,91
d.	3	3	2	0,91
e.	1	3	2	0,75
f.	2	3	2	0,83
g.	1	3	3	0,83

(*) $IP(t) = \sum \text{de Índices peligrosidad parcial} \times V/N.100$.

Fuente: Suvires G. y Pittaluga M.A, 2013, modificado y adaptado de Mohammed et al 2013.

Conclusiones y Reflexiones finales

Los resultados obtenidos del Índice de Peligrosidad total (IP (t)) muestran que las “c” (Sector distal del mega-abanico con agua en superficie) y “d” (Sector distal del mega-abanico sin agua en superficie) son las unidades de tierra con mayor peligrosidad total mientras que las unidades “b” (Sector proximal y cuerpo del mega-abanico) y “e” (Paleocauces) tienen una peligrosidad total baja. El análisis de los resultados señala que a mayor peligrosidad o amenaza en un territorio, la seguridad ambiental es menor, debido a ello, los autores, proponen usar el término de seguridad, siendo ésta inversamente proporcional al IP t (índice de peligrosidad total), es decir $S = 1 / IPt$. Se concluye entonces que en la planificación estratégica del territorio de Zonda, las unidades de tierra “c y d”, presentan menor seguridad territorial, situación que ha de ser contemplada en la planificación estratégica de la región emprendida recientemente por el gobierno provincial. Los autores proponemos el uso del término seguridad (S) dado que para la gestión ambiental éste será rápidamente entendido por los decisores. En áreas de potencial desarrollo como la de estudio, el desarrollo sustentable será posible en la misma medida que los decisores comprendan la mayor o menor seguridad de cada unidad de tierra a los

peligros, entendiendo además que en la naturaleza intervienen otras variables en el tiempo difíciles de predecir.

Bibliografía

Bastias, H.(1986). *Fallamiento Cuaternario en la región sismotectónica de Precordillera*. Tesis Doctoral (inédita). Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Universidad Nacional de San Juan, Argentina.

Bastias, H., Tello, G., Perucca, L. y Paredes, J.(1993). *Peligro Sísmico y Neotectónica*. En *Actas del 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos. Geología y Recursos Naturales de Mendoza*. En Ramos, V. (Ed.) "Relatorio", VI (I), pp. 645-658. Mendoza, Argentina.

Bracco, A., Perucca, L, Contreras, V.H. y Perez, A.(2010). *Estructuras indicadoras de paleosismicidad en depósitos lacustres del área de Acequión, Departamento Sarmiento, San Juan*. En *XVI Congreso Geológico Argentino, Relatorio*, pp.3-6. La Plata: Universidad Nacional de La Plata, Argentina.

Cabrera, A.L.(1994). *Regiones fitogeográficas argentinas*. En *Enciclopedia Argentina de agricultura y jardinería*. T2, pp.1-55. Buenos Aires: W. F. Kugler Ed., ACME

Castano, J.C. (1993). *La verdadera dimensión del problema sísmico en la provincia de San Juan*. En *Publicación técnica N°18*, pp.1-46. San Juan: Instituto Nacional de Prevención Sísmica, INPRES.

Flores, D. (2008). *Caracterización biológica del valle de Zonda*. En *Zonda: un oasis para soñar*. Instituto y Museo Enzo Manzini, Archivo de la Provincia de San Juan pp.37-48. San Juan: Gobierno de San Juan, Argentina.

Flores, D. y Suvires, G. M. (2012). *Distribución y diversidad de hábitats en el humedal de la Reserva Natural Presidente Sarmiento, San Juan, Argentina*. En *Revista Mexicana de Biodiversidad*, N°83, pp.194-200. Méjico: Instituto de Biología, UNAM.

Gamboa, L. y Ocampo, L.(2009). *Comportamiento de los niveles freáticos en el valle de Zonda, en un lapso de cuatro décadas, su vinculación con el desarrollo agrícola y turístico, provincia de San Juan, Argentina*. *Actas ICES*, N°5, pp.67-75. Malargüe, Mendoza, Argentina: ICES.

Gardini, M. (1993). *Estructura superficial y profunda del valle de Zonda, Precordillera de San Juan*. En *12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos*. Actas N°3, pp. 93-99. Mendoza: Asociación Geológica Argentina.

Hauser, A. (1993). *Remoción en masa en Chile*. Servicio Nacional de Geología y Minería. Vol. N° 45, pp. 1-75. Chile.

INPRES (2012). *Listado de terremotos históricos*. Catálogo on-line. Disponible en www.inpres.gov.ar.

INTA (1976). *Estudios de suelos y drenaje de los valles de Tulum, Ullum y Zonda. San Juan. Argentina*. Estación experimental agropecuaria. T1, pp. 2-- 210. San Juan: Gobierno de San Juan.

INA, Instituto Nacional del Agua y el Ambiente (2000). *Curvas de igual cota de agua subterránea*. Documento N° D-37. Disponible en <http://www.ina.gov.ar/>.

INDEC (2010). *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas*. Total del país, resultados provisionales (A.1). Disponible en www.indec.gov.ar.

Mohammed, S. Islam, Hasan Swapan, M., Haque, S. M. (2013). *Disaster risk index: How far should it take account of local attributes?* En *International Journal of Disaster Risk Reduction*, N°3, pp.76-87. Disponible en: www.elsevier.com/locate/ijdr.

Obermeier, S. F. (1994). *Using liquefaction-induced features for paleoseismic analysis*. En Ed. Obermeier S y Jibson, W. *Using ground failure features for paleoseismic analysis*. Geological Survey. Open file Report, pp.94-633, pp.A1-A98. Disponible en: <http://pubs.usgs.gov>.

Obermeier, S. F., Jacobson, R., Smooth, J. P, Weems, R. E., Gohn, G. S., Monroe, J. E. y Powars, D. S.(1990). *Earthquakes induced liquefaction features in the coastal setting of South Carolina and interfluvial setting of the New Madrid zone*. Prof. Paper, pp.1504. New York: U. S. Geological Survey.

Paredes y Perucca, L.(2002). *Evidencias de paleolicuefacción en la quebrada del río Acequión, Sarmiento, San Juan*. En *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 55 (4): pp. 394-397. San Juan: Asociación Geológica Argentina.

Peruca, L.P. y Bastias H.(2005). *El terremoto Argentino de 1894: Fenómenos de licuefacción asociados a sismos*. Serie Correlación Geológica,Nº19,pp.55-70. San Juan: INSUGEO.

Perucca, P., Lara, G. y Vargas, N. (2012). *Nueva evidencia de actividad tectónica cuaternaria en la depresión Zonda-Maradona, provincia de San Juan*. En *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. vol.69 N°1. Buenos Aires.

Pittaluga, M.A. y 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*. En *Actas (CD) I Congreso internacional sobre Riesgos de Desastres y Desarrollo Territorial Sostenible*. San Fernando del Valle de Catamarca. Argentina

Pittaluga, M. A y Suvires, G. M. (2011). *Sensibilidad Ambiental a la Licuefacción de Suelos en el Oasis Productivo de Zonda. Provincia de San Juan. Argentina*. VII Encuentro Internacional Ciencias de la Tierra. En *Actas Resúmenes 7- EICES*. Malargüe, Mendoza..

Pittaluga, María A., Suvires, G.M. y Gamboa, L.A. (2012). *Dinámica de sistemas morfo-edáficos y su aplicación para el uso de la tierra en el oasis productivo de Zonda, San Juan-Argentina*. En *Actas V Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología*. Rio IV. Córdoba: Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina.

Polanski, J. (1963). *Estratigrafía, geotectónica y geomorfología del pleistoceno pedemontano entre los ríos Diamante y Mendoza, provincia de Mendoza*. En *Revista de la Asociación geológica Argentina*. 17 (3/4): 127-349.

Robertson, P.K. and Fear, C.E.(1995). *Liquefaction of sands and its evaluation*. In *Proceedings of the 1st International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering*, pp.3-9, Tokyo.

Rocca, J. A. (1969). *Geología de los valles de Ullum-Zonda y Tulum, T1 -T2, PASNOA*, pp. 1-210. San Juan: Centro Regional de Agua Subterránea.

Sánchez, R. O. (2009). *Ordenamiento territorial. Bases y estrategias metodológicas para la ordenación ecológica y ambiental de tierras-1ª ed.*, pp. 266P, ISBN 978-987-9260-63-0. Buenos Aires: Orientación Gráfica Editora.

Suvires, G. y Luna, P. (2008). *Environmental geomorphologic units of the Tulum oasis Southern sector, Central Andes of Argentina*. En *Multequina* vol.17 N°2. Mendoza.

Suvires, G. (2009). *Unidades geomorfológicas del río San Juan en la Depresión tectónica de Ullum-Zonda. Provincia de San Juan, Argentina*. En *Simposio Brasileiro do E. do Q. y IV Congreso Argentino de Geomorfología y Cuaternari*. Simposio Dr. Limeira. La Plata: UFRJ, Brasil.

Suvires, G. y Gamboa M. (2011). *Primeras dataciones del lago holoceno tardío de Zonda, San Juan, Argentina*. En *Revista Asociación Geológica Argentina*. Vol 68-2, pp.292-296. Buenos Aires.

Suvires, G. y Gamboa, L. (2013). *Medidas de autosuficiencia social ante el peligro sísmico. Caso de estudio: Dptos. De Ullum y Zonda, provincia de San Juan*. En *I Congreso Internacional sobre riesgos de desastres y desarrollo territorial sostenible*, pp1-9, Catamarca, Argentina: CIRIDE.

Suvires, G. (2013). *Geomorfología tectónica y evolución del relieve en un sector del piedemonte occidental de la sierra Chica de Zonda, Precordillera Oriental, Argentina*. En *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, Nol. 30, N° 2, pp 324-335.

Tello, G. y Perucca, L. (1993). *El sistema de fallamiento Precordillera Oriental y su relación con los sismos históricos de 1944 y 1952, San Juan, Argentina*. En *Actas del 12º Congreso Geológico Argentino*, Actas 3: 258-265, Mendoza: Asociación Geológica Argentina.

UNESCO (1973). *Annual Summaries of Information on Natural Disasters, 1971-75*. Paris.

Varnes, D. (1984). *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*, pp: 1-35. UNESCO. Paris.

Zambrano, J. J. (1986). *Actualización del conocimiento geológico del valle de Ullum-Zonda*. Serie Técnica N° P 261: 4-64. Disponible en Centro Regional Aguas Subterráneas (Actual INA). San Juan: Instituto Nacional del Agua.

Zonnerved, I. (1969). *Evaluación de tierras y ciencias del paisaje. Min de Ganadería Y Agricultura. Montevideo Uruguay. Versión española de "Land Evaluation"*. Enschede, Holanda: International Institute of Aerial Survey and Earth Science.