







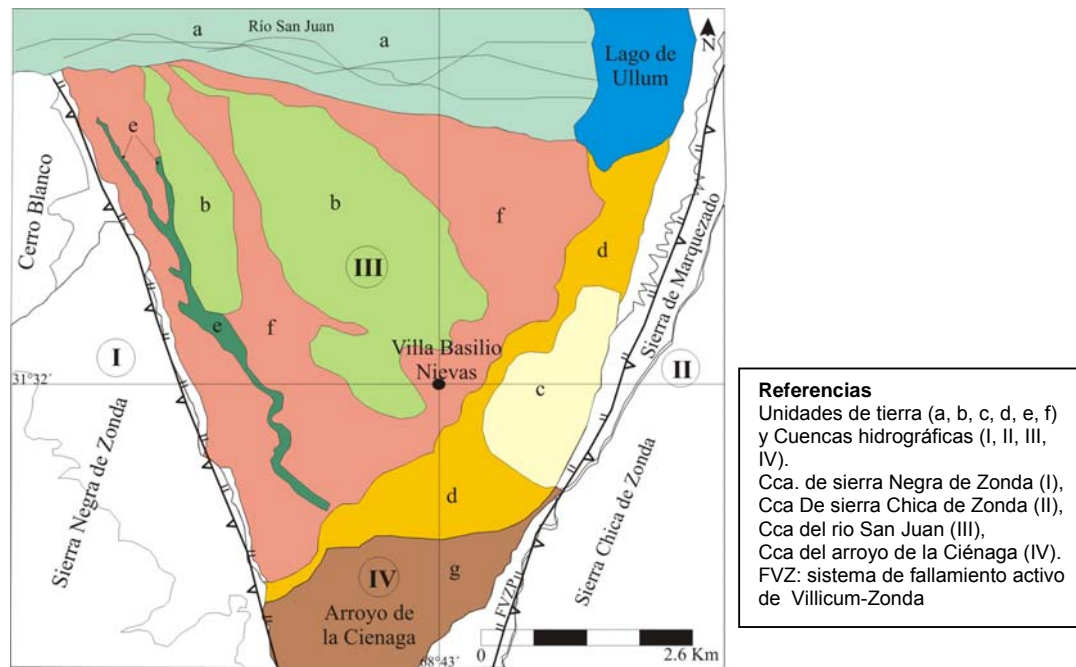








Figura Nº 2: Unidades de tierras.



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 hm<sup>3</sup>, 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.

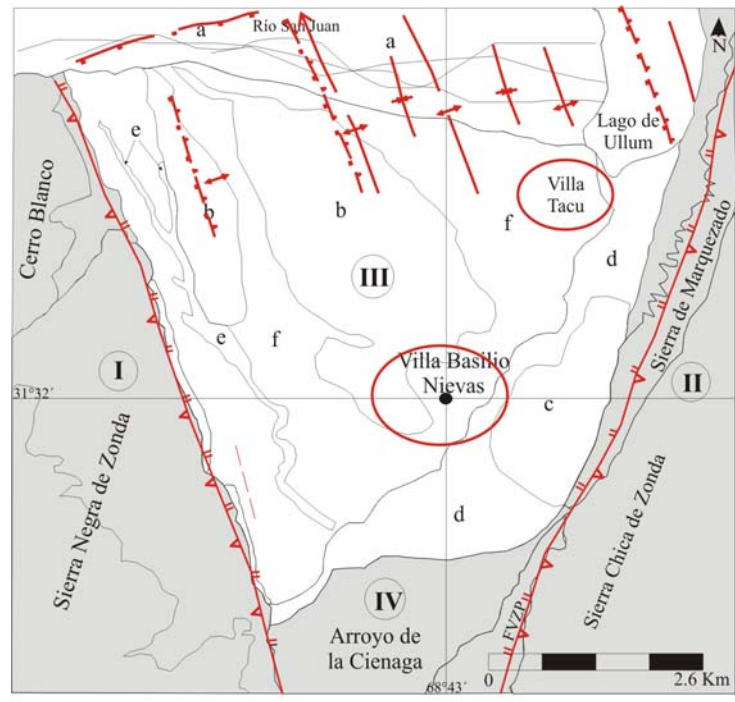
Las figuras 4, 5 y 6 muestran la zonificación de estos tres peligros y los índices parciales valorizados para cada (UT) (a,b,c,d,e,f y g). Los colores utilizados según la regla del

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

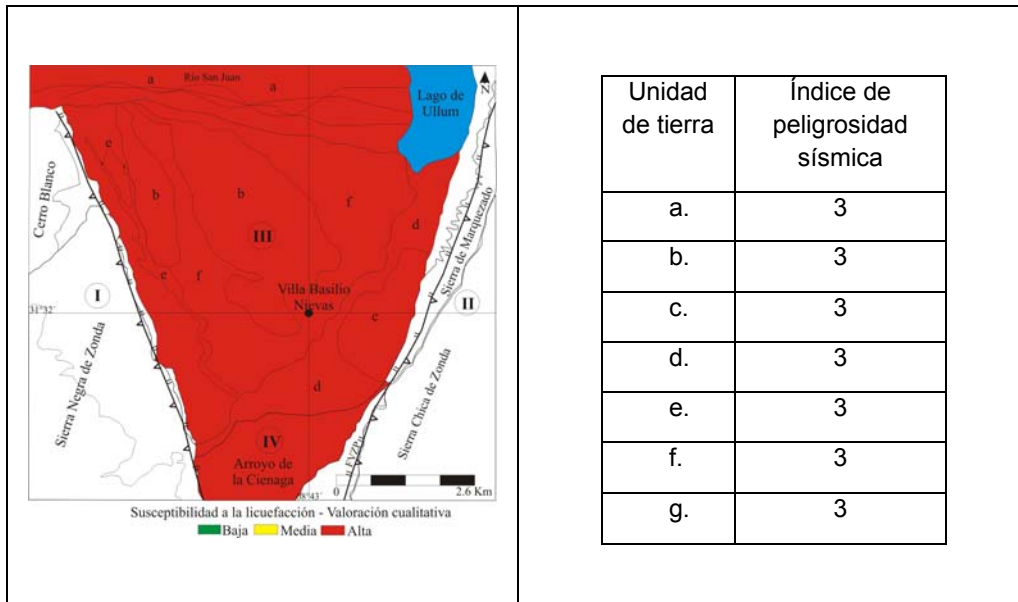
### *Peligro sísmico*

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..

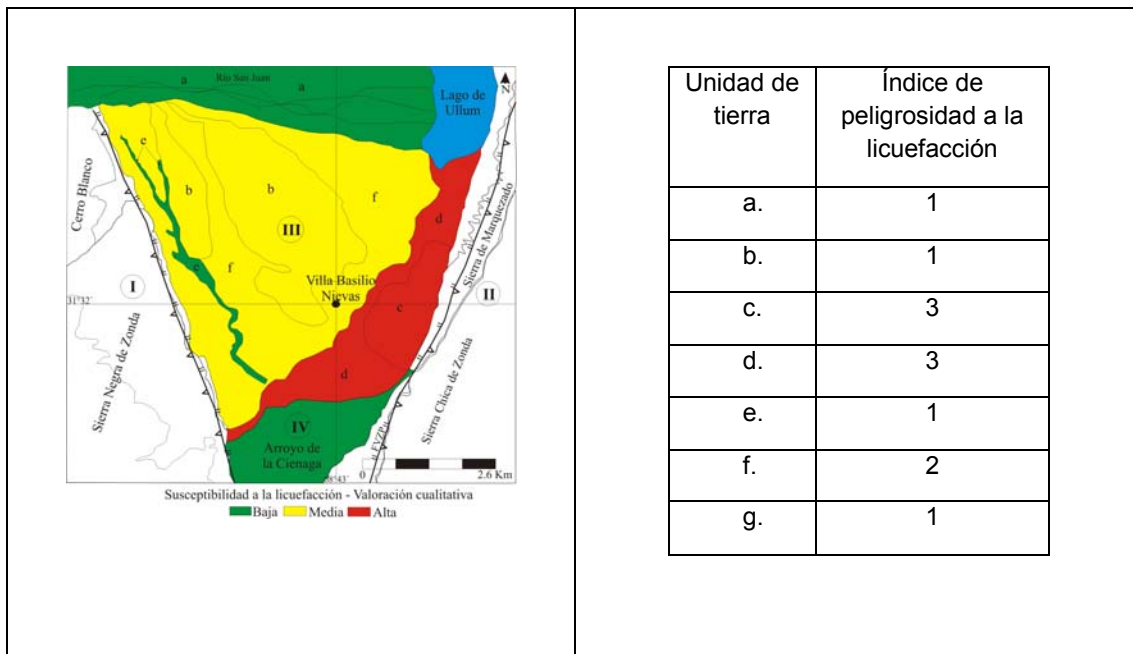
**Figura 4: Zonificación al peligro sísmico y tabla de valoración de índices de peligrosidad por unidad de tierra**

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.

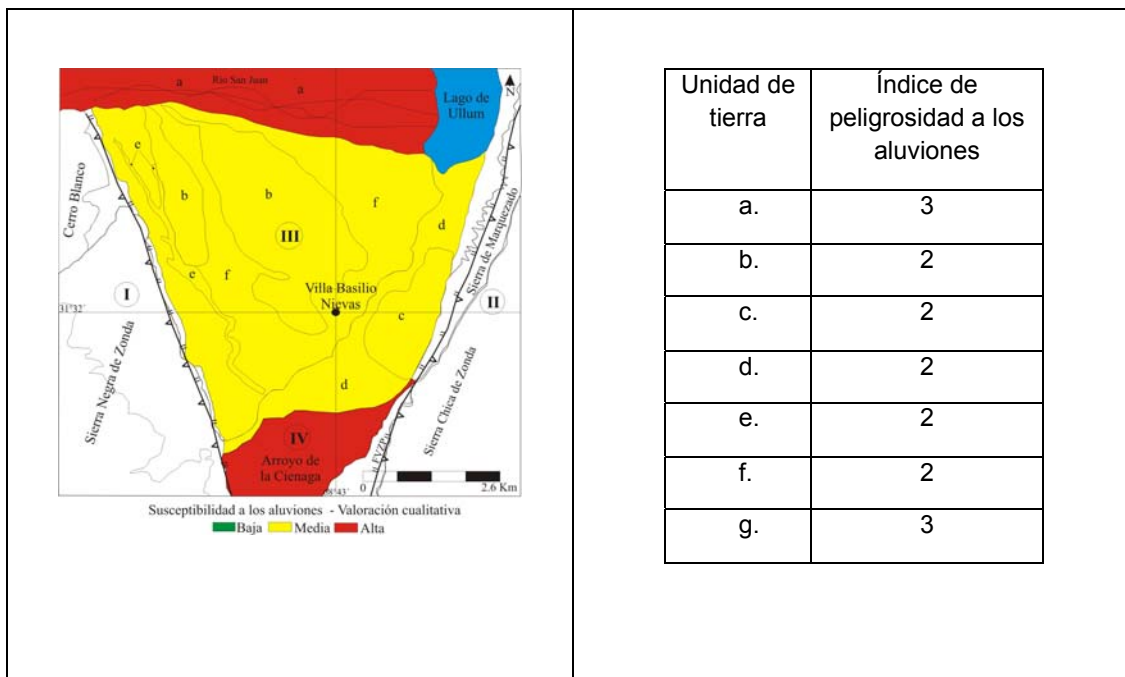
#### *Peligro de aluvionamiento.*

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](http://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](http://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](http://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.