

# Caracterización preliminar de la susceptibilidad sísmica en el entorno de la localidad de Sampacho, Córdoba, Argentina

DAGA ROMINA

VIRGINIA GROSSO

GUILLERMO SAGRIPANTI

MÓNICA VILLEGAS

DIEGO VILLALBA

Departamento de Geología. Universidad Nacional de Río Cuarto.  
Agencia postal 3. CP X5804ZAB - Río Cuarto. Córdoba. Argentina  
email: rdaga@exa.unrc.edu.ar

## RESUMEN

La localidad de Sampacho, situada en el Departamento Río Cuarto, Provincia de Córdoba, centro de la República Argentina, se encuentra emplazada en una región de intraplaca con probada actividad sísmica histórica y actual, donde el nivel de sismicidad, que es importante, pone en una constante geoamenaza sísmica a toda la región. Es de destacar que ésta fue epicentro de dos terremotos históricos (año 1934), considerados dos de los más destructores ocurridos dentro de la zona de sismicidad reducida.

En el presente trabajo se caracterizó de manera preliminar la susceptibilidad sísmica en el entorno de la localidad de Sampacho, como base para futuros estudios de microzonificación sísmica y evaluación del riesgo sísmico. La metodología seguida hizo énfasis en el estudio de los factores litológicos, geomorfológicos e hidrológicos locales, los cuales pueden tener una importante incidencia en el desplazamiento del frente de ondas elásticas.

Se definieron cinco clases de susceptibilidad a partir de la superposición de niveles de información litología y profundidad del nivel freático, de las cuales predomina la moderadamente baja. La distribución areal de las mismas se presenta en una carta de susceptibilidad sísmica preliminar en soporte digital, siendo éste el primer documento sobre esta temática generado para la región.

PALABRAS CLAVE: TERREMOTOS; RIESGO SÍSMICO; MICROZONIFICACIÓN; LIQUEFACCIÓN

## ABSTRACT

The city of Sampacho, situated in Río IV departmen, center of Argentina, it is located in an intraplate region with proved historical and current seismic activity, where the level of seismicity, which is important, makes a low constant seismic geoamenace to the all region. It is worth mentioning that it was epicenter of two historical earthquakes (year 1934), considered two of the most destructive ones within of the zone of reduced seismicity.

In this paper characterizes preliminarily the Seismic Susceptibility in the sourrounding areas of Sampacho City, as a base for future studios of seismic microzoning and evaluation of Seismic-Risk. The following metodology emphasized the local lithologic, geomorphologic and hydrologic factors, which may have an important incidence in the displacement of elastic wave front.

It also defines five classes of susceptibility from superimpose of information levels (lithology and depth of level freatic), from wich the moderately low prevails. The areal distribution of them is presented in a preliminary Map of Seismic Susceptibility in digital support, being this one the first document developed on this theme for the region.

KEYWORDS: EARTHQUAKE, SISMIC HAZARD, MICROZONIFICATION, LIQUEFACTION

## UBICACIÓN

El área de estudio está situada al SW del Departamento Río Cuarto, Córdoba, centro de la República Argentina (figura 1),

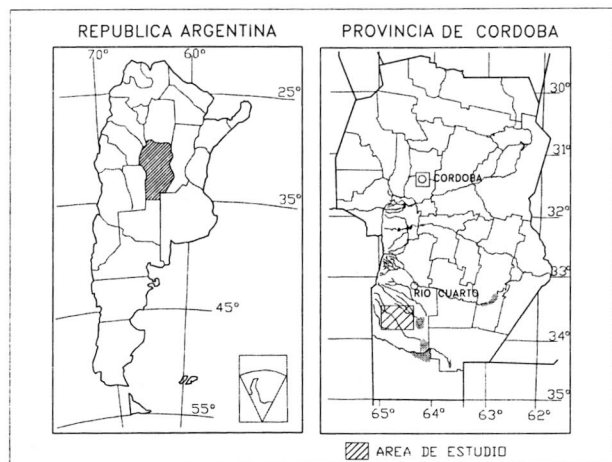


Figura 1. Ubicación área de estudio.

borde occidental de la provincia Geológica Llanura Chaco-Pampeana, que comprende una extensa llanura compuesta predominantemente por materiales loésicos y fluviales subordinados, de edad Cenozoica y con bajo a nulo grado de diagénesis. Emplazada en el área sismotectónica Sierras de Córdoba y San Luis, en una región sísmicamente activa, donde el nivel de sismicidad es importante, por lo que la región está sometida a una constante amenaza sísmica (Sagripani *et al.*, 2001).

## INTRODUCCIÓN

En regiones donde la actividad sísmica es manifiesta y somete al hombre, sus bienes y el normal desarrollo de sus actividades a una constante amenaza sísmica, como ocurre en la zona de estudio, es imprescindible que los habitantes adquieran conciencia para revertir el estado de negación sísmica existente.

El riesgo sísmico se asume como la probabilidad de pérdidas de vidas, materiales y económicas frente a la ocurrencia de un terremoto de una magnitud dada, en un tiempo preestablecido, con consecuencias específicas sobre el medio ambiente (Paniza, 1990). Para su estimación es necesario lograr previamente la caracterización de la amenaza o peligro sísmico, que depende de la situación sismotectónica de la región, de la vulnerabilidad que es el grado de pérdidas esperadas con relación a las pérdidas máximas posibles y de la susceptibilidad sísmica.

Uno de los aspectos que condiciona la magnitud de los daños producidos por los terremotos es la susceptibilidad sísmica, que comprende las características propias del medio físico, como la profundidad del agua subterránea, litología y geomorfología, que tienen incidencia directa en el potencial de licuefacción de los sedimentos sueltos, siendo ésta una de las principales causas de destrucción de edificios e infraestructuras de servicios. Si bien las construcciones en zonas sísmicas suelen estar preparadas para resistir estos fenómenos, en cuanto a pautas de sismorresistencias, el hecho de que

estén asentadas en suelos granulares poco consolidados las transforma en construcciones vulnerables de sufrir las consecuencias de la licuefacción: destrucción por asentamiento diferencial del terreno, agrietamientos en paredes y techos, desmoronamientos, depresiones y hundimientos en la superficie.

Este fenómeno se pone de manifiesto con la disminución parcial o total de la resistencia de cizalla, como consecuencia de una agitación externa inducida o natural, como una sacudida sísmica, transformando un material del estado sólido al fluido. Si bien el origen de la licuefacción no siempre es sísmico, es asociada a terremotos cuando se encuentran en zonas de riesgo sísmico. Los materiales más susceptibles a la licuefacción son arenas de grano fino a medio, bien seleccionadas.

En una región sísmicamente activa, el desconocimiento de la posición y comportamiento del nivel freático y de la respuesta de los materiales que forman el subsuelo frente a una agitación sísmica puede generar graves daños en las estructuras edilicias emplazadas en la zona, como es el caso de la población en estudio. Por ello el objetivo de este trabajo es lograr la caracterización preliminar de la susceptibilidad sísmica para la localidad de Sampacho y sus alrededores, como base para una futura estimación del riesgo sísmico, focalizando el análisis en los factores litológicos, geomorfológicos e hidrológicos locales, los cuales pueden amplificar o atenuar el frente de ondas elásticas.

## PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA DE SUSCEPTIBILIDAD SÍSMICA

De acuerdo con lo planteado por Paniza (1990), para la valoración de la susceptibilidad sísmica se deben considerar factores relacionados con el medio físico, como la litología, geomorfología y profundidad del nivel freático. Desde este punto de vista, y para la obtención de las unidades cartográficas de susceptibilidad, se elaboró el mapa geológico-geomorfológico donde las unidades se definieron teniendo en cuenta rasgos estructurales, litológicos y morfológicos, todos ellos relacionados genéticamente. Por esta razón, y considerando la escala de trabajo, los límites de unidades fueron utilizados para generalizar la distribución areal de la litología.

Para la tipificación de la litología se utilizó el Sistema unificado de clasificación de suelos que se aplica en los estudios geotécnicos de mecánica de suelos, y que se considera el más apropiado para la ponderación preliminar del potencial de licuefacción. Los otros parámetros geomecánicos que intervienen en la definición final, como presión de confinamiento inicial y densidad relativa, se consideran homogéneos a esta escala de trabajo y deben ser definidos al hacer estudios de mayor detalle (microzonificación sísmica).

Para completar esta propuesta, se estableció la profundidad del nivel freático mediante métodos hidrogeológicos convencionales.

Para la elaboración de la carta preliminar de susceptibilidad sísmica se aplicó la metodología de superposición de niveles de información (*overlay*). Para ello se establecieron cuatro clases litológicas definidas sobre la base de las litologías presentes y tres clases derivadas de la profundidad del nivel freático, siguiendo lo propuesto por Ramírez Rayo (1997), considerando la mayor probabilidad de licuefacción entre la superficie topográfica y los seis y siete metros de profundidad como máximo y por encima de los tres metros de profundidad del nivel freático. En ambos, casos a cada clase se le asignó una valoración cualitativa y, a partir del cruce de las mismas, se lograron cinco clases de susceptibilidad, las cuales representan la cantidad máxima de combinaciones posibles entre dichas variables, esto último para permitir una mejor comparación al aplicar el método en otras zonas.

## MARCO GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICO

El área de estudio se encuentra dentro la Provincia Geomorfológica Llanura Chacopampeana, región eólica-loésica subhúmeda (Cantú *et al.*, 1984), dentro de la cual pueden –a su vez– distinguirse zonas con características geológicas-geomorfológicas diferentes (figura 2).

Se realizó el foto-análisis de la zona, con el propósito de elaborar una carta geológica-geomorfológica de base para el área de estudio. Todas las unidades responden a un fuerte control estructural que definen bloques tectónicos de basamento ascendidos diferencialmente, los que han condicionando el comportamiento del agua superficial y subterránea, generando así depósitos palustres y

lagunares que interdigitan y se suceden verticalmente con otros eólicos o fluviales.

### Unidad 1 (U1) Bloque hundido de la falla Las Lagunas

Esta unidad deprimida se caracteriza por la presencia de una serie de lagunas permanentes, entre ellas las lagunas Suco y Goyo, como también de otras temporarias y zonas de bañados originados por el aporte de aguas subterráneas, y en menor grado por escurrimientos superficiales. Son de origen tectónico, controladas por la falla Las Lagunas (Az: 040°N). Presentan una morfología elongada en el mismo sentido de su alineación; son sub-redondeadas, con bordes netos y se extienden a lo largo de la expresión de la escarpa. En su mayoría son asimétricas, con la mayor profundidad hacia el bloque levantado. Se reconocen depósitos lagunares, intercalados con loess, y materiales más arenosos posiblemente de origen fluvial.

### Unidad 2 (U2) Bloque hundido de la falla Las Rosas

Esta unidad está emplazada en una depresión de origen tectónico, controlada por la falla Las Rosas, de rumbo 040°N y bloque hundido al SE. Genera una zona de bajos y humedales alineados y elongados en sentido noroeste-sudeste, alimentados en su mayoría por el nivel freático. Esta depresión es cabecera de las nacientes del arroyo Sampacho, área de relieve plano, con escaso microrrelieve donde aflora la freática, salada, originando eflorescencias de sales al final del período de sequía (rasgos hidroalomórficos). Los materiales reconocidos son sedimentos finos (lagunares), arenosos finos y loésicos. La falla Las Rosas, si bien no tiene expresión en superficie, puede establecerse por las morfologías asociadas en el área.

### Unidad 3 (U3) Planicie ondulada con medanos sobreimpuestos

Esta unidad presenta un relieve ondulado constituido por médanos activos y otros estabilizados, de orientación NW-SE, que se sobreimpone a paleorasgos fluviales, correspondientes probablemente a una antigua traza del arroyo del Gato. Pueden reconocerse materiales loésicos y arenosos finos.

### Unidad 4 (U4) Planicie ondulada con afloramiento de areniscas

Al SW de Sampacho se encuentra un afloramiento de areniscas pérmicas (Cantera Sampacho) similares a las aflorantes en el cerro Suco. Éstos son considerados un relieve residual producto de erosión diferencial y de la actividad neotectónica de estructuras.

### Unidad 5 (U5) Bloque elevado y basculado de la falla Las Lagunas

La falla Las Lagunas se caracteriza por presentar una escarpa de falla continua con frente bien abrupto inclinándose al oeste y con su espalda más tendida al este; tiene una altura promedio de 2.5 m, pendientes que alcanzan 25°, y sobre ella se evidencia una alta tasa

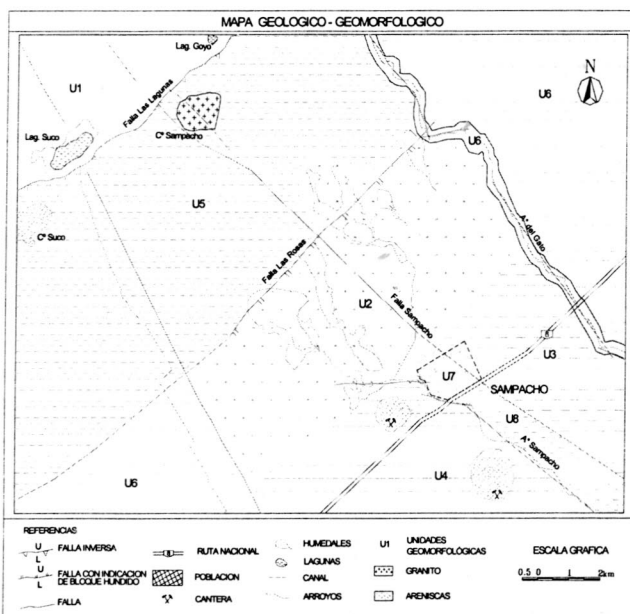


Figura 2. Mapa geológico-geomorfológico.

de erosión hídrica, con la instalación de sistemas de cárcavas y la consecuente modificación del perfil de la escarpa; también puede mencionarse la presencia de sistemas de médanos coronando la parte superior de la misma.

Los sitios de mayor elevación dentro de esta unidad corresponden a los cerros Sampacho y Suco. El primero, cuya litología es un granitoide de grano medio, es atravesado por algunos filones de pegmatitas. Dicho material ha intruido un gneis biotítico muy esquistoso que predomina en la parte norte del mismo (Mingorance, 1991). Junto al cerro Suco, conformado por areniscas pérmicas, forman relieves residuales productos de la erosión diferencial y de la actividad neotectónica de las estructuras presentes en el área. Las areniscas pérmicas también se reconocen aflorando en las proximidades de la localidad de Sampacho.

El cerro Sampacho es atravesado por una falla (Az: 120°N) que nace aproximadamente en las últimas manifestaciones de la sierra de Comechingones (Faja de cizalla Las Lajas), la cual atraviesa toda la unidad, con dirección a la localidad de Sampacho, y hacia el sudeste controla la posición del arroyo que lleva el mismo nombre.

Hacia el oeste, y recorriendo toda la unidad, como también la Unidad 6, se ubica un canal de origen antrópico que nace en la laguna Suco, actúa como desagüador de la misma y luego desemboca en el arroyo Sampacho.

#### *Unidad 6 (U6) Planicie ondulada loésica*

Pueden observarse en esta unidad rasgos paleofluviales con orientación NW-SE, a los que se le sobreimpone una importante secuencia de material eólico. Toda la unidad tiene eventos eólicos sobreimpuestos, y el material que se encuentra predominantemente son sedimentos arenosos finos y muy finos de origen eólico (Holoceno).

#### *Unidad 7 (U7) Alto estructural de sampacho*

Esta unidad se considera una morfoestructura elevada, controlada estructuralmente hacia el noreste y sudoeste, siendo estas estructuras límites de la unidad. Los materiales identificados pueden clasificarse como arenas, limos y arcillas.

#### *Unidad 8 (U8) Depresión longitudinal arroyo Sampacho*

Dicho arroyo presenta un marcado control estructural que se refleja en el patrón rectilíneo que presenta el mismo. Su faja fluvial actual se limita al propio cauce y sus barrancas. Presenta a su alrededor zonas con problemas hidrohalomórficos, que se manifiestan tanto en el suelo como en la vegetación. Estos bajos escurren por sistemas de drenaje encauzados con cárcavas y surcos que ponen en evidencia el poder energético desarrollado en épocas de lluvia (Nicolau, 1989). Los materiales presentes son arenas gruesas a finas.

#### *Unidad 9 (U9) Faja fluvial y paleoderrames del arroyo del Gato*

El sistema de drenaje más importante presente en toda el área de estudio es el arroyo del Gato, con una dirección de drenaje NW-SE, con tramos rectos, evidenciando un marcado control estructural, con barrancas bastante pronunciadas y poco desarrollo de terrazas en todo su recorrido.

Se reconocen con una importante distribución areal, rasgos paleofluviales con orientación NW-SE, a los que se le sobreimpone una secuencia de material eólico que alcanza en algunos sitios los 5 m de potencia, predominando los sedimentos arenosos finos y muy finos de edad Holocena.

### **FACTOR HIDROGEOLÓGICO**

Según Custodio (1983), se denomina acuífero a aquel estrato o formación geológica que permite la circulación del agua por sus poros o grietas. En el área de estudio éste está constituido por depósitos de materiales no consolidados, tales como arcillas, limos, arenas o gravas y mezclas de las mismas, de origen principalmente fluvial, lagunar y eólico. De acuerdo con la presión hidrostática del agua encerrada en los poros, pueden reconocerse distintos tipos de acuíferos, libres, no confinados o freáticos y acuíferos cautivos, confinados o a presión. En este caso, los estudios se realizaron en los del primer tipo.

Con el objetivo de determinar la profundidad del nivel freático se llevó a cabo el relevamiento de pozos (molinos, perforaciones), con una densidad de un punto de muestreo cada 16 km<sup>2</sup>, considerada apropiada para el área estudiada, alcanzando un total de 48 puntos relevados. La profundidad del acuífero se determinó mediante el uso de un piezómetro con señal lumínica y sonora.

A partir de los datos obtenidos en los puntos de muestreo (pozos), incorporados a una base topográfica en soporte digital, se obtuvo un mapa de isoprofundidad del acuífero libre. Las curvas de Isoprofundidad son líneas que unen puntos de igual espesor de la capa de sedimentos que constituyen la zona de aireación, ubicada por encima del nivel freático y se trazan con el propósito de definir la topografía del techo del acuífero libre o superficie hipsométrica. En el presente trabajo las curvas se obtuvieron mediante la representación de los datos de profundidad del techo del acuífero libre medidos directamente en el campo y se presentan en un mapa de isoprofundidad (figura 3).

### **FACTOR LITOLÓGICO**

La caracterización litológica del subsuelo para determinar las variaciones de los materiales en profundidad se realizó por medio de sondeos con pala vizcachera, e igualmente se extrajeron muestras disturbadas para su posterior determinación.

La litología presente en el área de estudio está compuesta por rocas y sedimentos. Entre los primeros, se reconocen rocas graníticas y metamórficas, restringidas al sector que ocupa el cerro

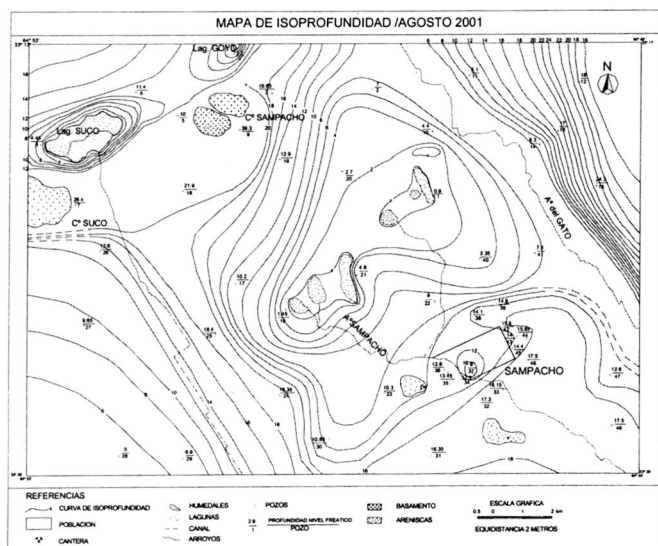


Figura 3. Mapa de isopropfundidad.

Sampacho (Chañaritos) y afloran también areniscas pérmicas en cerros aislados del entorno de la localidad.

En general, los sedimentos presentes en el área ocupan la mayor superficie de la misma y están constituidos por materiales arenosos finos y muy finos de origen fluvial y edad Pleistocena-Holocena, limos y arenas limosas de origen eólico (loess y depósitos medanosos) de edad Holocena, que supera en algunos sitios los 5 m de potencia, así como también se identifican depósitos limo-arcillosos y arcillas de media a baja compresibilidad y génesis lagunar a palustre.

Los materiales reconocidos en el área y tipificados de acuerdo con el Sistema unificado de clasificación de suelos, son SM, ML, CL-ML y CL.

De acuerdo con Ramírez Rayo (1997), los materiales más susceptibles a la licuefacción por la ocurrencia de fenómenos sísmicos son las arenas de grano fino a medio bien seleccionadas, que en el caso en estudio corresponderían al tipo SM.

## DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD SÍSMICA

Para la elaboración del mapa preliminar de susceptibilidad sísmica de la zona de estudio (figura 4), se analizaron las variables: litología y profundidad del nivel freático. De la superposición de ambas surgieron las clases de susceptibilidad que pueden presentarse en el área según las diferentes combinaciones. La valoración se realizó de manera cualitativa.

Del análisis de los materiales presentes en el área pudieron determinarse cuatro grupos litológicos, y a cada uno un valor cualitativo de susceptibilidad:

Litología	Susceptibilidad
Arenas finas a limosas (SM)	Alta
Limos (ML)	Media
Arcillas / Limos-arcillosos (CL-ML)	Baja
Roca	Nula

Para la otra variable considerada, profundidad del nivel freático, se establecieron rangos o límites de profundidades del nivel freático según la mayor o menor influencia que tengan sobre el proceso de licuefacción. Los rangos de valoración considerados fueron los siguientes:

Profundidad (metros)	Susceptibilidad
0 - 3	Alta
3 - 6	Media
> 6	Baja

Por último se realizó el cruce de variables y se obtuvo como resultado cinco clases de susceptibilidad, cuyas respectivas caracterizaciones de litologías y profundidad del nivel freático se resumen en el siguiente cuadro:

Clase de susceptibilidad	Caracterización
Alta	Materiales arenosos finos a limosos con profundidades menores a 3 m del nivel freático.
Moderadamente alta	Materiales arenosos finos a limosos con presencia del nivel freático entre 3 y 6 m.
Media	Materiales loésicos con nivel freático entre 3 y 6 m, o limo-arcillosos con profundidad del nivel freático menor a 3 metros.
Moderadamente baja	Arenas finas a limosas con nivel freático mayor a 6 metros de profundidad, o limos arcillosos con el nivel entre 3 y 6 metros.
Baja	Materiales limo-arcillosos con el nivel freático a más de 6 metros de profundidad. Rocas sedimentarias y cristalinas.



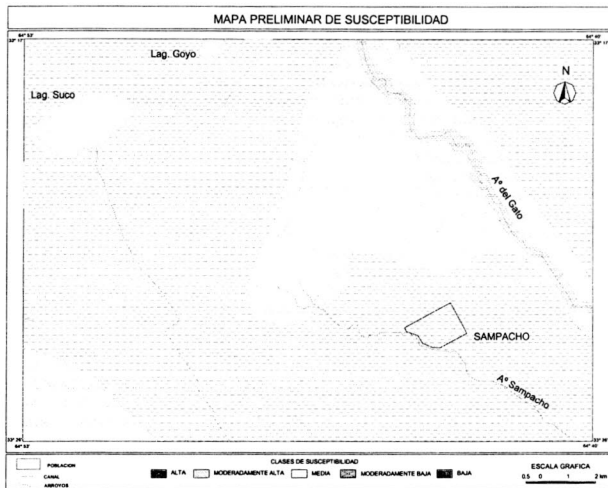


Figura 4. Mapa preliminar de susceptibilidad sísmica

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se determinó que en la localidad de Sampacho y sus alrededores, las profundidades mínimas del nivel freático se encuentran entre 9 y 17 metros. Se puede concluir que, si bien los materiales presentes en el área pueden llegar a ser susceptibles de licuefacción, el nivel freático se encuentra a demasiada profundidad como para ejercer influencia sobre los sedimentos suprayacentes, en caso de ocurrencia de un evento sísmico importante. Debe considerarse que, ante un eventual ascenso del nivel freático por causas naturales o inducidas, la localidad puede considerarse como propensa a fenómenos de licuefacción debido a las granulometrías presentes en el área. Por ello se recomienda llevar un control de las oscilaciones del nivel freático, ya que la zona se encuentra bajo amenaza sísmica.

Sobre la base de los resultados obtenidos de la superposición de niveles de información, expresados en el mapa preliminar de susceptibilidad sísmica, se concluye que en la zona de estudio predominan las *clases moderadamente baja y baja* (en la localidad de Sampacho). Los sectores que presentan una susceptibilidad más alta coinciden con áreas en las que se encuentran materiales arenosos y presencia del nivel freático cercano a la superficie.

## AGRADECIMIENTOS

Al Programa “Geoindicadores para la Evaluación y el Monitoreo Ambiental”, proyecto “Calidad Ambiental. Evaluación y Monitoreo

de Riesgos Naturales”, financiado por SECyT-UNRC, y al proyecto “Pautas para la Planificación y Gestión de los Recursos Hídricos del departamento Río Cuarto a partir del Análisis Geoambiental de su Estado Actual y su Tendencia Evolutiva”, financiado por Agencia Córdoba Ciencia, por su apoyo para el desarrollo del presente.

## BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- CANTÚ, M. (1992). *El Holoceno en la Prov. de Córdoba. Holoceno de la Rep. Arg.* Tomo I. Cadinqua. Paraná. Argentina, M. Iriondo Ed., pp. 1-16.
- \_\_\_\_\_ y DEGIOVANNI S. B. (1984). Geomorfología de la Región Centro Sur de la Provincia de Córdoba. Noveno Congreso Geológico Argentino, S. C. De Bariloche. Actas IV, pp. 76-92.
- CUSTODIO, E. y LLAMAS, M. R. (1983). *Hidrología subterránea*. 2a. ed., Barcelona: Ediciones Omega, S. A.
- MOLL, L. L., ROCCA, R. J. y REDOLFI, E. R. (1987). *Curso de mecánica de suelos*. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba.
- MINGORANCE, F. (1991). “Análisis y evaluación del tectonismo reciente asociado a la Falla Sampacho, Provincia de Córdoba, Argentina Central”. *Revista Geofísica*, N° 35, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, pp.13-39.
- NICOLAU, L. (1989). *Evaluación del potencial de licuefacción de suelos en la localidad de Sampacho*. Prov. de Córdoba. UNRC, Inédito.
- OLSACHER, J. (1935). “El terremoto de Sampacho, Prov. de Córdoba”. *Revista del Museo de Ciencias Naturales*, Año 1, N° 1, Córdoba.
- PANIZZA, M. (1990). *Geomorphology and Seismic Risk. Earth Science Reviews*, pp. 11-20.
- RAMÍREZ RAYO, M. y DE VICENTE MUÑOS, G. (1997). *Paleosismicidad en emplazamientos nucleares*. Consejo de Seguridad Nuclear, Madrid, España, pp. 250.
- SAGRIPANTI, G., ORIGLIA, D. y CAMPANELLA, O. (1997). *Estimación del riesgo sísmico en el ejido urbano de la ciudad de Río Cuarto. Córdoba*. Actas ASAGAI, Vol. XI, pp. 188-202.
- \_\_\_\_\_, (1998). *Sismicidad de una región de intraplaca, departamento de Río Cuarto, Provincia de Córdoba. Argentina*. Actas Conferencia Internacional “Sistemas modernos de preparación y respuesta ante riesgos sísmicos, volcánicos y tsunamis”. Santiago, Chile, pp. 281-293.