

# **Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente**



**ASAGAI**  
ASOCIACIÓN ARGENTINA  
DE GEOLOGÍA APLICADA  
A LA INGENIERÍA

Córdoba - Argentina

# INDICE

Trabajo	Autor/es	Pág
Cuerpo Editorial		I
Comisión Directiva		II
Análisis geotécnico sobre muestras de arcillas provenientes de los alrededores de la "Tambería de Guandacol" (prov. La Rioja), como posible fuente de aprovisionamiento de arcillas en la producción cerámica de los pueblos originarios	<i>Martinez, Amancay - Sales, Daniel</i>	1
Relación entre caudales y precipitación en algunas cuencas de la Patagonia norte	<i>Romero, Paula Elisa - González, Marcela Hebe</i>	7
Cartografía de riesgo de inundación y la representación de la vulnerabilidad en gran La Plata, Buenos Aires	<i>Lic. Schomwandt, David - Esp. Lic. Lucioni, Nora - Dra. Andrade, María Isabel</i>	15
Proposta de ordenamento territorial da bacia hidrográfica do Rio das Pedras (sp), na escala 1:50.000: potencial à escavabilidade dos maciços de solos	<i>Galiano, Valdir Aparecido - Lorandi, Reinaldo - de Lollo, José Augusto</i>	29
Salinización incipiente de un arroyo de alta montaña en los Andes de Patagonia (Argentina)	<i>Pizzolon, Lino - Omad, Guillermo - Weidl, Mariana - Claverie, Horacio</i>	41
Propuesta de análisis de la sismicidad a escala 1:250.000. Caso: Hoja Salta	<i>Gonzalez, M. A. - Chayle, W.</i>	55
Evaluación de la susceptibilidad de riesgos geológicos debidos a procesos de remoción en masa en el área pedemontana de la quebrada y dique Los Sauces (La Rioja, Argentina)	<i>Avila, Laura Sonia del C.</i>	63
Agregados reciclados pretratados para uso en hormigón	<i>Priano, Carla - Señas, Lilia - Moro, Juan - Marfil, Silvina</i>	77
Reseña de Libros. Experiencia Portuguesa en Obras Subterráneas	<i>Sarra Pistone, Raúl</i>	87
Instrucciones para autores		93
Formulario de suscripción o compra		97



## **Evaluación de la susceptibilidad de riesgos geológicos debidos a procesos de remoción en masa en el área pedemontana de la quebrada y dique Los Sauces (La Rioja, Argentina)**

## **Assessment of the geological hazard susceptibility due to landslide processes on the piedmont area - quebrada y dique Los Sauces (La Rioja, Argentina)**

Avila, Laura Sonia del C.

Recibido: 11 de mayo de 2015 • Aceptado: 2 de junio de 2016

### **Resumen**

*En el área de piedemonte de la zona de la Quebrada y Dique Los Sauces de la ciudad Capital de La Rioja, se observana evidencias de la vulnerabilidad frente a la acción de los diferentes procesos morfodinámicos de orden natural y que carecen en la actualidad de una investigación detallada.*

*Sumado a esto el aumento constante de la intervención de la actividad humana, como lo demuestra la ejecución de las obras de carreteras y asentamientos humanos, aumentan la vulnerabilidad, fomentando posibles áreas de riesgo que pueden generar desastres naturales que afectan a la vida y la propiedad.*

*Tal es el caso de los movimientos de los deslizamientos de tierra en seco y tipo húmedo, como la caída de escombros que perjudican las zonas urbanas, colapsos del suelo que producen daños a la infraestructura debido a la ejecución de obras viales, como edificaciones.*

*Esto ha motivado la realización de este trabajo, que pone especial énfasis en el reconocimiento y la definición de las clases o tipos litológicos, condiciones y características de la geodinámica de superficie y estudiar aspectos morfo dinámicos generadores de las situaciones de inestabilidad actual y/o potencial.*

**Palabras clave:** *procesos morfodinámicos, deslizamientos, áreas de riesgo.*

### **Abstract**

*In the piedmont area of the Quebrada and Dique Los Sauces in the capital city of La Rioja, evidence of vulnerability are*

*observed against the action of the different morpho dynamic processes of natural order and lacking today a detailed investigation.*

*Added to this the constant increase in the intervention of human activity, as evidenced by the execution of road works and human settlements, increase vulnerability, encouraging potential risk areas that can generate natural disasters affecting life and property.*

*Such is the case of movements of dry landslides and wet type slow, as falling debris that hurt urban areas, soil collapses causing damage to infrastructure, as well the execution of road works and built areas.*

*This has led to the completion of this work, which places special emphasis on the recognition and definition of classes or lithological types, conditions and characteristics of the surface geodynamics and study dynamic aspects generators of situations actual instability or potential instability.*

**Keywords:** *morphodynamic processes, landslide risk areas.*

## INTRODUCCIÓN

El Dique Los Sauces, se encuentra en un valle tectónico, que alberga una comunidad estable, integrando el denominado barrio la Quebrada y los habitantes temporales que tienen allí sus casas de veraneo. Constituye además parte del corredor turístico del valle de Sanagasta y la Costa Riojana; por lo que soporta un intenso tránsito vehicular e importante cantidad de construcciones habitacionales. Esta participación antrópica implica en sí misma una modificación en los equilibrios naturales entre la topografía, clima, relieve y geomorfología del lugar, generando en esta zona áreas de alto riesgo de derrumbes y deslizamientos, los que se ven agravados por eventuales incendios forestales, lluvias extraordinarias y sismicidad regional.

Inicialmente, se realizó la búsqueda de antecedentes y al comprobar la no existencia de estudios referidos a la evolución geomorfológica y de impacto generado por el hombre en esta área, para la previsión de riesgos, se consideró importante la obtención de datos cartográficos y estadísticos que permitan la detección, definición y valoración de las áreas sujetas a riesgo

geológico y antrópico, sean actuales como potenciales, para la confección de cartas de vulnerabilidad y riesgo, necesarias para la planificación y toma de decisiones de los organismos de gestión pública, relacionados al uso adecuado del territorio.

## UBICACIÓN

La zona de estudio se sitúa entre las coordenadas 29°24'S 66°56'O límite SO- 29°22'S 67°0'O límite NO y 29°22'S 66°59'O límite NE 29°24'S - 66°55'O límite SE, en la ciudad capital de la provincia de La Rioja, situada en el noroeste del país, limita al noroeste con la república de Chile, al oeste con la provincia de San Juan, al sur con la provincia de San Luis, al este con la provincia de Córdoba y al norte con la provincia de Catamarca.

Se accede desde el centro de la ciudad por Avenida Ramírez de Velasco o Avenida San Francisco, o por la zona sur desde la RN 38 se accede a ruta Circunvalación hacia Las Padercitas por Avenida Félix de la Colina y desde allí dirigiéndose por RN 75 hasta el Dique de Los Sauces, situado a 15 Km de la ciudad de La Rioja (Figura 1).

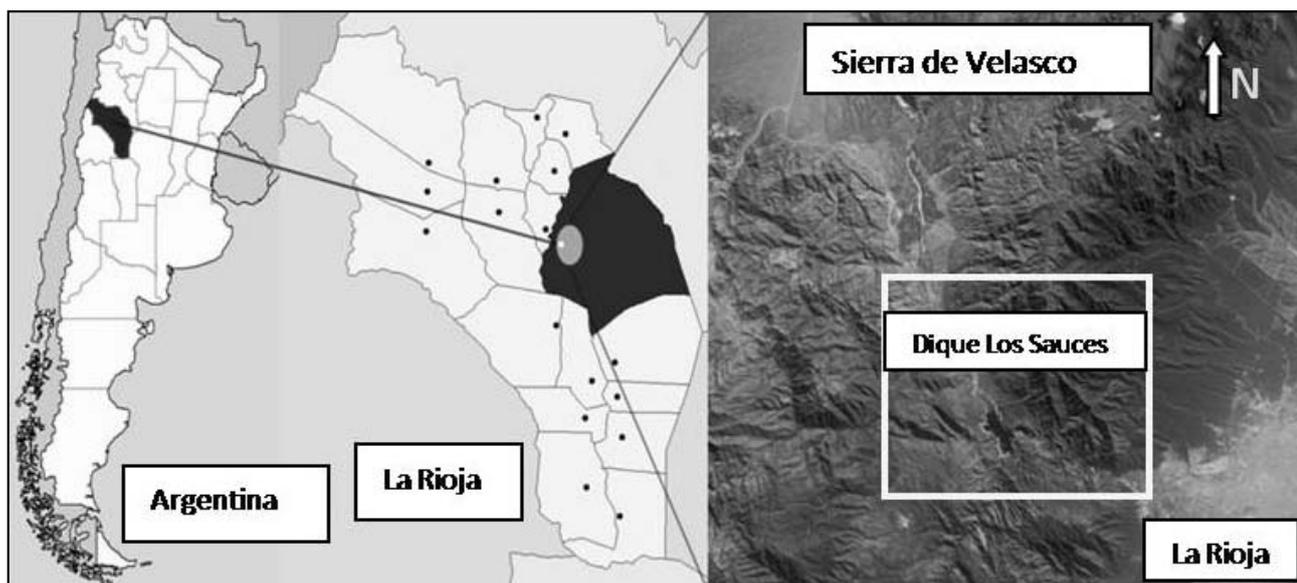


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.

## MARCO CONCEPTUAL

El análisis de los deslizamientos y áreas de vulnerabilidad de riesgo por eventos de remoción en masa se concentran a lo largo del área de estudio, presentándose diferentes geofor-mas que nos permiten concluir que esta área es altamente vulnerable a los eventos de riesgos debidos a causas naturales y antrópicas.

Los movimientos de las laderas se ven afectados esencialmente por el tipo de litología, estado de meteorización y erosión de la roca, presencia de escorrentía y lluvias estacionales, como así también la acción del hombre en obras civiles y urbanísticas. Los procesos observados en el área de estudio, según los agentes generadores son los siguientes:

**Procesos de remoción en masa:** constituyen los procesos geológicos activos más abundantes de la quebrada del río Los Sauces y tienen lugar en las laderas de pendientes abruptas. Para su descripción se utilizaron los trabajos de *Varnes (1978)* y de *Corominas y García Yagüe (1997)*.

**Deslizamientos:** Son muy abundantes en las laderas con altas pendientes, se reconocieron: deslizamientos de suelo, deslizamiento de detritos, derrumbes y avalanchas de detritos.

**Derrumbes:** este término engloba todos los colapsos bruscos, rápidos, asociados a la gravedad, originados por fracturación del material independientemente de la alteración sufrida por la roca.

**Desprendimientos:** es la caída de fragmentos de un talud. Puede tratarse de: caída libre, rodadura, vuelco.

Se establece un *marco conceptual de zonificación de susceptibilidad y riesgo* según *Morgenstern, (1997)*. Para contextualizar el análisis de susceptibilidad realizado teniendo en consideración la orientación de las laderas y pendientes, aplicada específicamente a aquellas definidas como de alta a muy alta susceptibilidad de riesgo geológico de tipo remoción en masa. La ocurrencia de los deslizamientos es el producto de las condiciones geológicas, hidrológicas y geomorfológicas y la modificación de éstas por procesos geodinámicos, vegetación, uso de la tierra y actividades humanas, así como la frecuencia e intensidad de las precipitaciones y la sismicidad.

Según *Sarkar y Kanungo (2004)*, la susceptibilidad, generalmente, expresa la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno.

Los movimientos de ladera constituyen un *riesgo geológico* (*Ayala, et al., 1990*) de origen natural o bien inducido por el hombre. Una de las estrategias para reducir los efectos causados por los movimientos de ladera es la caracterización de una cartografía donde se representa la *susceptibilidad* hace referencia a la predisposición del terreno a la ocurrencia de deslizamientos y no implica el aspecto temporal del terreno y que sean de utilidad para la planificación del territorio.

## METODOLOGÍA

La secuencia metodológica para la obtención de los resultados es la siguiente: en primer lugar se realizó una investigación previa que consistió en el relevamiento de los antecedentes de la información geológica, geomorfológica y de estudios de susceptibilidad de riesgos geológicos de la zona, como así también, de los eventos de riesgo históricos de los últimos 22 años registrados en el área de la Quebrada y Dique Los Sauces.

Luego se procedió a llevar a cabo el trabajo de campaña con el reconocimiento y relevamiento del área de la quebrada

del río Los Sauces y zonas aledañas al Dique Los Sauces, hasta la Formación Pollera de La Gitana al norte del dique. La actividad de campo se llevó a cabo entre Noviembre 2.013 a Enero 2.014, se realizó el control de campo pertinente de la cartografía confeccionada, la identificación, ubicación y posicionamiento geográfico de los principales sectores en donde ocurren los procesos de riesgos geológicos diferenciándolos entre eventos potenciales y activos, utilizando para ello el sistema Global Positional System (GPS). Se formalizó la geolocalización de las distintas unidades litológicas presentes en el área, cotejando la *Hoja Geológica 2966-III (1999)* inédita, para complementar esa información como una contribución de la presente tesis, al describir las formaciones no registradas, ya que la Hoja Geológica aún se encuentra en construcción por el SEGEMAR, y solo se contó con un borrador digital.

Por último, para el procesamiento e interpretación de la información, se trabajó sobre los datos obtenidos y se volcaron los puntos de control sobre una base georeferenciada, utilizando el software ENVI (versión 4.2) que permite georreferenciar las imágenes, escala 1 a 1.

Para el manejo de datos y la generación de la cartografía necesaria para el desarrollo del presente trabajo se utilizó el software ArcGIS, cuyo marco conceptual descripto por *Puerta Tuesta, Rengifo Trigozo y Bravo Morales (2011)*, lo describe como un conjunto de productos de software, aplicable al campo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). EL ArcGIS es producido y comercializado por ESRI (Environmental Systems Research Institute) con el nombre genérico ArcGIS, agrupa varias aplicaciones para creación y edición de datos, la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica. Posee una interface gráfica de usuario, que posibilita cargar con facilidad datos espaciales y tabulares para ser mostrados en forma de mapas, tablas y gráficos, también provee las herramientas necesarias para consultar y analizar los datos y presentar los resultados como mapas con calidad de presentación. Este sistema incorpora los avances tecnológicos experimentados en la última década en el área de la informática y telecomunicaciones para capturar, editar, analizar, diseñar, publicar en la web e imprimir información geográfica.

A los fines de generar los mapas de susceptibilidad de riesgos geológicos del área en estudio, se hace necesario determinar el Modelo Digital de Elevaciones (DEM), que será la base para obtener los mapas de pendiente y orientación de laderas, sobre los que se realiza el análisis susceptibilidad de riesgo geológico por procesos de remoción en masa.

## GEOLOGÍA Y ESTRUCTURA

Los trabajos geológicos del área en estudio, fueron realizados por *Cravero O. y González Díaz, E.F. (1999)*, "la sierra de Velasco está principalmente constituida por bloques de basamento ígneo-metamórfico de edad precámbrica a paleozoica. En la vertiente oriental se reconoce a la Formación La Cébila (*González Bonorino 1951*) formada por micacitas, cuarcitas y esquistos micáceos del Ordovícico Inferior (*Verdecchia et al. 2007*); la Formación Antinaco (*Turner 1971*) que comprende a gneises, migmatitas, granitos migmatíticos y esquistos inyectados, atribuida al Ordovícico Superior- Devónico Inferior y la Formación Paimán (*Turner 1971*). Esta última agrupa granitos, granodioritas y tonalitas, junto con aplitas y pegmatitas y abarca varios pulsos intrusivos que van desde el Ordovícico al Carbonífero. Pequeños afloramientos de sedimentitas neopaleozoicas se observan en la periferia de los bloques serranos".

Según el estudio de *Pieroni et al. (2007)*, “los afloramientos Neopaleozoicos localizados en los alrededores del dique Los Sauces, provincia de La Rioja, constituyen un importante depósito sedimentario ubicado en el margen norte de la cuenca Paganzo. La columna geológica es grano y estrato decreciente, con características distintivas litológicas y paleontológicas que permiten dividir los depósitos, de edad Carbonífera-Pérmica, en tres unidades: Formación Lagares (*Azcuy y Morelli, 1970; Azcuy et al., 1979*); Formación Libertad y Formación Sauces (*Amos y Zardini, 1962*).

En base a los estudios realizados por *Sanchez M.A.; Spagnotto S. y Martínez M. (2013)*, “el área de estudio se ubica en la sierra de Velasco pertenece al sistema de las Sierras Pampeanas Noroccidentales (*Caminos, 1979*). El arco magmático de las Sierras Pampeanas Occidentales, así denominado por *Ramos (1988, 1999)*, se diferenciaría del correspondiente a las Sierras Pampeanas Orientales por su edad más joven, cámbrica superior hasta ordovícica media inclusive (515 y 460 Ma.), y se encuentra asociado con el proceso de la subducción activo en el área.

Este sistema de sierras forma un esquema estructural de levantamiento tectónico conjuntamente con la sierra de Famatina y está delimitado por fallas, tiene una disposición alargada en sentido predominantemente N - S, y deben su origen a la orogenia andina. La sierra de Velasco tiene en su margen oriental una prominente actividad neotectónica evidenciada a lo largo del piedemonte oriental, por escarpas de falla que afectan a los depósitos cuaternarios y otros rasgos geomórficos asociados a la falla de La Rioja (*Costa, 2008*). Esta falla inversa coincide con la región epicentral del terremoto del 28 de mayo de 2002, con epicentro a 8 km de profundidad.

## CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

Tanto los procesos de movimiento en masa como los de erosión, meteorización y desborde de los arroyos y ríos, constituyen fenómenos naturales en la evolución del relieve, generando así cambios ambientales. El éxito de la capacidad predictiva de algunos modelos y las potenciales aplicaciones en los campos de planificación urbana, entre otros, da inicio en las últimas décadas a la geomorfología aplicada. Esta aplicación se centra básicamente en la interacción entre acciones humanas y las formas de la tierra, en particular enfocándose en el manejo de riesgo causados por cambios en la superficie de la tierra (naturales o inducidos) conocidos como riesgo geológico.

### Procesos de remoción en masa

Constituyen los procesos geológicos activos más abundantes de la quebrada del río Los Sauces y tienen lugar en las laderas de pendientes abruptas. Para su descripción se utilizaron los trabajos de *Varnes (1978)* y de *Corominas y García Yagüe (1997)*.

**Deslizamientos:** Son muy abundantes en las laderas con altas pendientes, se reconocieron: deslizamientos de suelo, deslizamiento de detritos, derrumbes y avalanchas de detritos. Estos procesos comienzan como movimientos pendiente abajo, por auxilio de la gravedad, que se desplazan por superficies de deslizamientos dadas por la interfase suelo- roca meteorizada o por superficies de foliación o diaclasamiento en las rocas fracturadas del basamento metamórfico.

Los deslizamientos de tierra y de detritos constituyen movimientos traslacionales, de características poco profundas y que tienen esencialmente un plano de deslizamiento recto. Los deslizamientos traslacionales son comunes donde la roca firme se asienta sobre otra más friable, como un suelo arcilloso, en nuestra área de estudio se observan al noroeste de dique Los Sauces, donde formaciones carboníferas y pérmicas son afectadas por las condiciones de precipitaciones en época estival y actualmente acelerada por la acción antrópica evidenciada por el movimiento continuo de suelos en el área.

Los deslizamientos de detritos bajo condiciones “secas” y del tipo traslacional son comunes en ambas laderas de la sierra de Velasco que limita la quebrada de Los Sauces (Figura 2).

La distinción entre los deslizamientos de detritos y las avalanchas de detritos se basa en el grado de deformación del material y del contenido de agua de la masa deslizada. Tanto el grado de deformación como el contenido de agua, frecuentemente aumentan pendiente abajo, por lo tanto las avalanchas de detritos observadas en la zona se habrían originado durante las intensas precipitaciones acaecidas a fines del año 2013, a partir de deslizamientos que tuvieron lugar en los sectores más elevados de las laderas.

**Derrumbes:** este término engloba todos los colapsos bruscos, rápidos, asociados a la gravedad, originados por fracturación del material independientemente de la alteración sufrida por la roca. Los movimientos de este tipo se encuentran relacionados con taludes de alta pendiente, cuyas cabeceras de cuenca y áreas de corte son afectadas por agua de escorrentía, dejando paredes muy verticales que terminan por colapsar violentamente (Figura 3).

**Desprendimientos:** es la caída de fragmentos de un talud. Puede tratarse de: caída libre, rodadura, vuelco. Los desprendimientos o caída de rocas tienen lugar en paredones subverticales, conformados por materiales esquistosos muy fracturados que, durante las lluvias, se ven sometidos a un aumento de presión en sus grietas facilitando el desprendimiento y caída de rocas. En la zona de estudio los sectores afectados por desprendimientos o caídas de rocas se circunscriben a las zonas de basamento cristalino de tipo esquistoso que se desarrollan en áreas de la antigua ruta de cuesta, en el margen este del embalse del Dique Los Sauces y en algunos sectores donde la pendiente de las laderas de la sierra de Velasco, son inferiores a 45°, la propagación de los desprendimientos son por rodadura y eventualmente por deslizamientos. En el área de la quebrada de Los Sauces el desprendimiento de rocas es muy común en la ladera este de la sierra de Velasco (Figura 3).

### Factores de control

Según *Ferrer Gijón (1995)*, los factores que controlan los procesos, sobre todo los movimientos de ladera, pueden quedar agrupados en factores desencadenantes y factores condicionantes. Los primeros están unidos a la propia naturaleza, composición, estructura y forma de terreno, mientras que los desencadenantes pueden ser considerados como “externos”, ya que al actuar sobre el terreno provocan o desencadenan los procesos al modificar las condiciones de equilibrio pre-existentes.

### Factores desencadenantes

En la quebrada del río Los Sauces, las precipitaciones, la erosión por escorrentía y la acción antrópica constituyen los factores desencadenantes de los procesos observados.



Figura 2. Deslizamientos gravitacionales y traslacionales en "seco".

El efecto que provoca sobre los materiales es el incremento de las presiones intersticiales y el flujo de agua a través del terreno. Esto genera una disminución en la resistencia al corte de los materiales, además de elevar su peso e influir en sus propiedades resistentes. En la quebrada de Los Sauces, la

mayor parte de las lluvias tiene lugar durante el período estival, lo que genera la saturación estacional de los materiales porosos, provocando erosión por escorrentía y favoreciendo los procesos de remoción en masa que se observan en el área de estudio (Figura 4).



Figura 3. Desprendimientos y derrumbes de taludes altamente fracturados.



Figura 4. Procesos de remoción en masa debidos a erosión por escorrentía.

Según registros históricos sobre eventos de desastres ocasionados por las precipitaciones y la remoción en masa en la zona, el 21 de febrero de 1992 cayeron 65 mm (media anual 187 mm), el 18 de diciembre de 1994 se derrumbó un cerro en el km 10 de la ruta nacional 75 que comunica la ciudad capital de La Rioja con la localidad de Sanagasta producto de las copiosas lluvias producidas después de un incendio en la zona, mientras que el 15 de marzo de 1.997 se produjo la tormenta donde cayeron 96 mm en 50 minutos produciendo crecida del río Los Sauces, esto anegó las áreas que circunda destruyendo la ruta nacional 75 y remociones en masa que arrasaron las viviendas del sector de la quebrada de Los Sauces, a finales del mes de diciembre 2013 y comienzos del año 2014 se produjeron copiosas lluvias que produjeron la ocurrencia de numerosos movimientos de ladera que mantuvieron cortada la ruta nacional 75 por varios días.

El factor antrópico juega un papel importante en los cambios que introduce al relieve, debido a la falta de estudios previos de la zona en la que se realizan movimientos de suelos para la ejecución de obras urbanísticas, como rutas o emprendimientos edilicios (Figura 5).

De esta manera se han identificado acciones, que, operando de manera conjunta con las precipitaciones, generaron procesos de remoción en masa. Por un lado, la desestabilización de las laderas que se produce por los cambios en la geometría y pendiente de las laderas, como consecuencia de la necesidad de construir una nueva ruta de circulación alrededor del Dique Los Sauces y construcción de emprendimientos edilicios y futura urbanización del área, llevada a cabo por el estado provincial, razón por la cual se han expropiado tierras desde el año 2012 hasta la fecha. Por el otro, la propagación de incendios

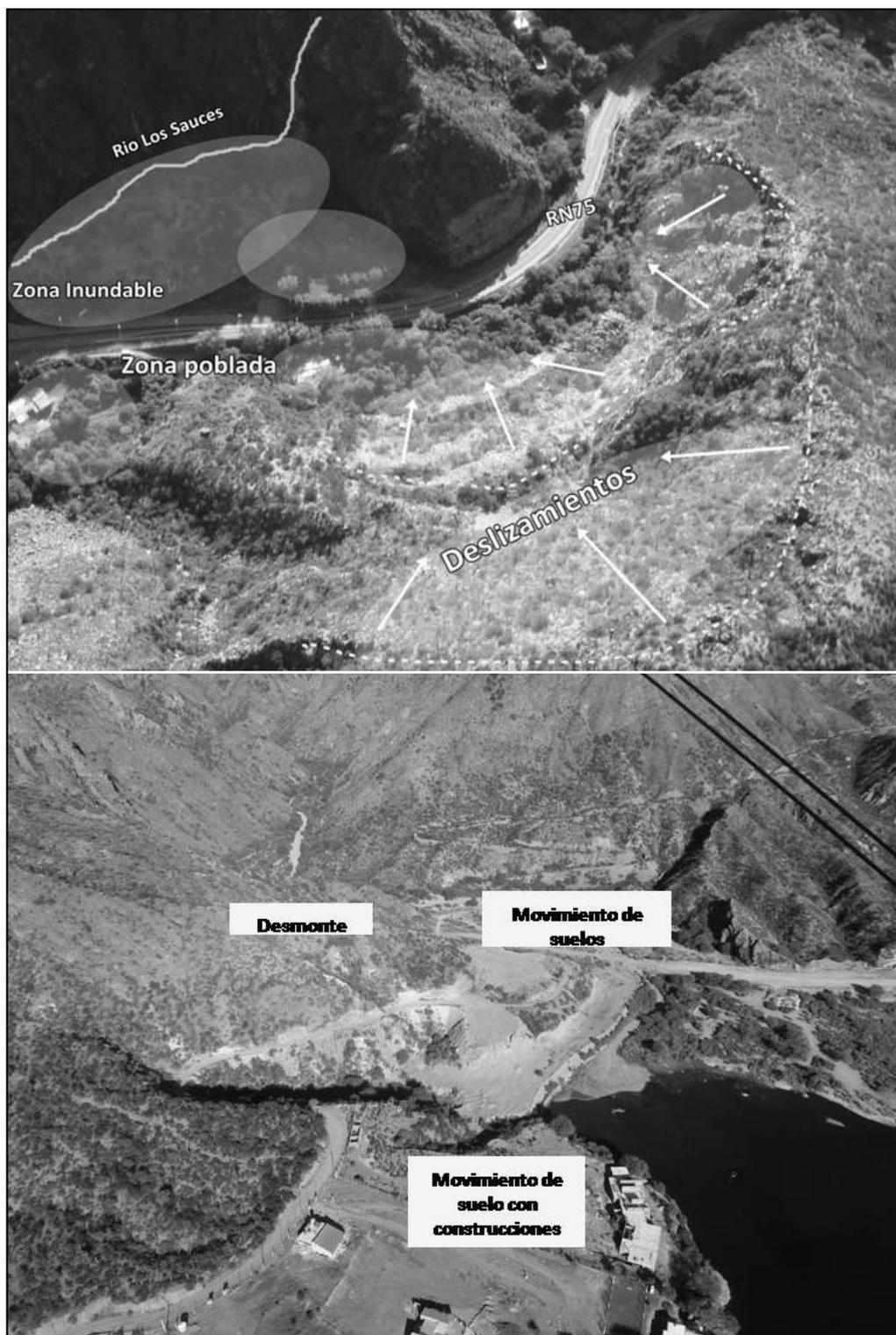


Figura 5. Deslizamientos gravitacionales en seco y zonas inundables que afectan áreas pobladas en la quebrada del río Los Sauces; y áreas de desmorte, movimientos de suelos por acción antrópica en los alrededores del Dique Los Sauces.

forestales intencionales en la zona del Cerro de La Cruz, provocó la pérdida más de 15.000 hectáreas el 25 de Noviembre de 2013. La pérdida de cobertura vegetal y por ende protección como consecuencia de este evento, se tradujo en la aparición de numerosos deslizamientos traslacionales durante las tormentas de verano durante el mes de Diciembre de 2013 y Enero 2014.

#### Factores condicionantes

**Litología:** La litología cumple un papel muy importante en el control del tipo de movimiento generado. De esta forma, se observó que los deslizamientos de detritos y derrumbe en "seco" sólo se registraron en materiales esquistosos y material sedimentario deleznable.

En el caso de los deslizamientos de detritos y de suelo, ocurrieron en casi todas las litologías, lo que sugiere que el control de los mismos está dado por la interface roca fresca-material meteorizado y por el grado de pendiente.

La combinación del factor litológico y el grado de meteorización es de singular importancia en las áreas que afectan al basamento metamórfico (Figura 6).

**Pendientes:** La pendiente cumple un rol preponderante en el control de los procesos de remoción en masa, toda vez que se trata de movimientos gravitacionales por excelencia. En el sector de estudio predominan las pendientes altas, propias del relieve montañoso.

Casi la totalidad de los movimientos identificados se produjeron en pendientes superiores a  $15^\circ$ , mientras que los eventos de mayor magnitud acontecieron a partir de los  $30^\circ$ . Se debe tener en cuenta que las pendientes antes mencionadas son generales para todo el sector, por lo que en algunos procesos tiende a ser más importante la pendiente del talud que la pendiente general del terreno; es el caso de los procesos de deslizamientos de detritos bajo condiciones "secas" y de caída de rocas (Figura 6).

## RESULTADOS

Del estudio realizado y considerando que los procesos de remoción en masa más relevantes por la amenaza que representan, no solo a las infraestructuras y a las áreas pobladas, se

concentran en la Quebrada y Dique Los Sauces, se evaluaron los niveles de susceptibilidad y riesgo geológico, considerándose en este análisis a los factores desencadenantes y condicionantes que fueron identificados en el área en estudio. Confeccionándose una cartografía temática con base geológico-geomorfológico de susceptibilidad de riesgo geológico de tipo remoción en masa.

## ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD Y RIESGO

Según *Suarez Díaz (1988)* La inestabilidad de las laderas depende de la acción conjunta de varios factores diferentes. Estos factores se pueden agrupar en factores desencadenantes o activadores, que controlan la actividad en el tiempo, y factores determinantes o condicionantes, que la controlan en el espacio.

Entre los factores determinantes se destacan aquellos que condicionan la estabilidad sin que ésta se inicie (equilibrio límite) y dependen de la naturaleza de los materiales (litología, textura, discontinuidades, etc.), o de la morfología del terreno (pendiente, orientación, altitud, curvatura, etc.), que le da una *significación de la inestabilidad en el espacio*. Por ello, el objetivo del siguiente ítem es la evaluación de la susceptibilidad *en el espacio*, no en el tiempo, por tanto se consideran sólo los factores de pendiente y de orientación de laderas.

**Pendiente:** se define como el ángulo existente entre el vector normal a la superficie y la vertical. Es decir, se mide calculando la tangente a la superficie. Su valor puede condicionar la estabilidad de una ladera, puesto que de ella dependen las

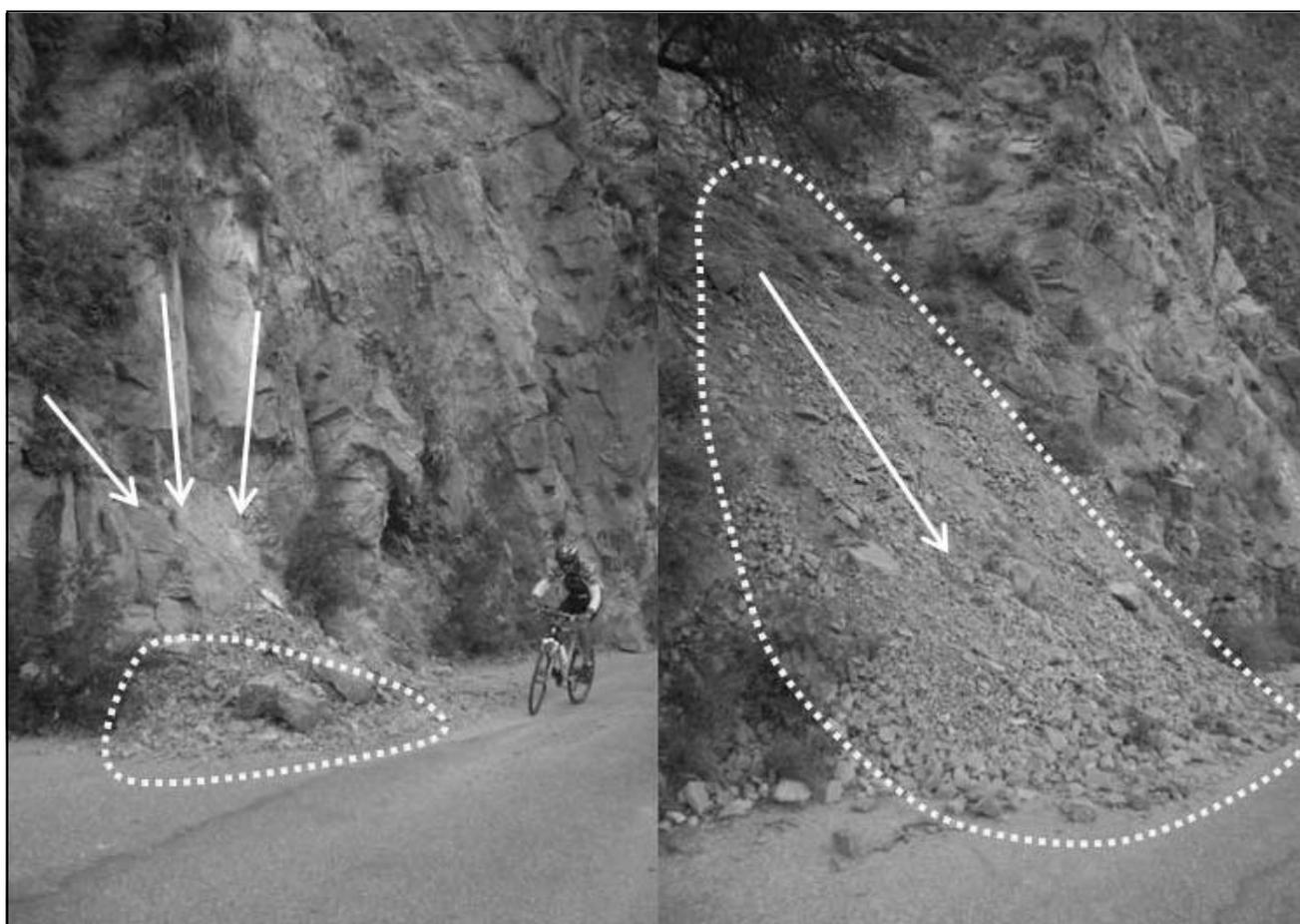


Figura 6. Zonas de deslizamiento gravitacional de material rocoso en áreas fracturadas y meteorizadas en pendientes de alto ángulo.

componentes de las fuerzas favorables al movimiento y de las fuerzas resistentes al mismo, que determinan su equilibrio. Así, al aumentar la pendiente aumenta también la componente tangencial de la gravedad y por tanto a mayores pendientes, será necesaria una mayor cohesión de la ladera para mantener su estado de equilibrio.

En el software ArcGIS se calcula con la herramienta Slope Spatial Analyst Tools, el valor de la pendiente a partir del Modelo de Elevación Digital (DEM). Atendiendo a la clasificación de *Fernández (2.001)* que ha aplicado el método de pendientes en zonas montañosas con fuertes desniveles, similar al área de trabajo, los rangos obtenidos son:

- 0-5° (pendiente suave),
- 5-15° (pendiente moderada),
- 15-25° (pendiente fuerte),
- 25-35° (pendiente muy fuerte),
- 35-90° (pendiente vertical o subvertical)

Con estas clases se elaboró el plano de pendientes según zonas de susceptibilidad de riesgo geológico de tipo remoción en masa (Figura 7).

Además se realizó una distribución de frecuencias para determinar las clases más significativas. El gráfico muestra la distribución areal expresada en porcentaje por cada intervalo de pendiente considerado (Figura 8).

**Orientación:** El factor de orientación puede influir en el inicio de un movimiento de ladera, puesto que está afectado por la humedad retenida y la cobertura vegetal, y a su vez está condicionada por la consolidación de los suelos. Se establecieron los rangos de orientación de laderas de acuerdo a *Fernández (op. cit.)*, se ha clasificado en 5 clases que son las que siguen:

- 0° Superficie Plana
- 1°- 45° Norte
- 45°-135° Este
- 135°-225° Sur
- 225°-315° Oeste
- 315°-359° Norte

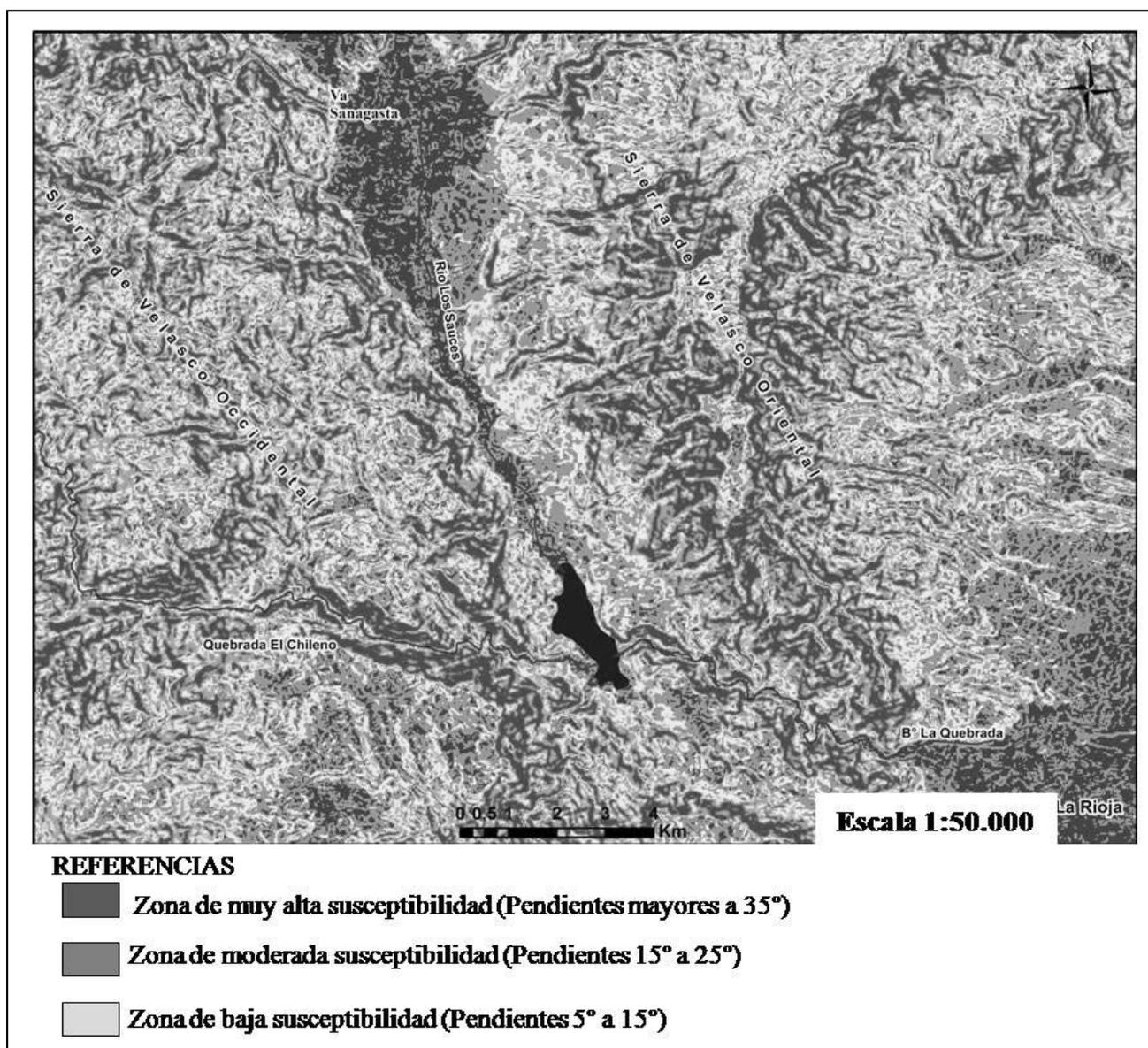


Figura 7. Plano de pendientes según susceptibilidad de riesgo de remoción en masa.

Se establecen los rangos amplios con la finalidad de asegurar la claridad del mapa de orientación de laderas, evitando una densidad alta en los colores que surgen del software. Con estos rangos se elaboró el mapa de orientación de laderas en la zona y se distribuyó la frecuencia para determinar los rangos de orientación más significativos, restringido a las zonas de Alta a Muy Alta susceptibilidad de riesgo geológico de tipo remoción en masa (Figura 9).

El siguiente gráfico muestra la distribución areal, expresada en porcentaje por cada intervalo de orientación que se han considerado. Se observa la representatividad de la orientación plana- que se refiere al dique-, destaca la predominancia de la exposición de las laderas hacia el noroeste, presentando una alta asimetría al respecto, siendo la orientación media de N172°E. Le siguen en porcentaje las laderas de orientación sudoeste, en menor proporción las de orientación noroeste, y muy baja representación las laderas con orientación sudeste, lo cual queda demostrado también en el mapa de orientación de laderas según zonas de Alta a Muy Alta susceptibilidad de riesgo geológico de tipo remoción en masa (Figura 10).

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Debido a que los eventos que se producen en el área de la Quebrada y Dique Los Sauces, están relacionados con la inestabilidad de laderas y favorecen los procesos de remoción en masa generando zonas susceptibles de riesgo geológico.

Donde los procesos más comúnmente observados son los deslizamientos gravitacionales en seco, entre los cuales, los de mayor magnitud son las avalanchas de detritos en áreas de máxima pendiente de ladera, con ángulos mayores a 30°. Aproximadamente el 70% del terreno exhibe una pendiente superior a 15°. El 40 % de la zona presenta pendientes fuertes y el 30 % tiene una pendiente muy fuerte, donde, las zonas de pendiente muy fuerte se emplazan en el área de La Quebrada por donde discurre el río Los Sauces y la orientación de las laderas en las zonas de Alta a Muy Alta susceptibilidad de riesgo

geológico de tipo remoción en masa es predominantemente NE-SE, coincidente con la cara expuesta a la humedad.

Las precipitaciones, la erosión por escorrentía y la acción antrópica, constituyen los factores desencadenantes de los procesos de remoción en masa observados. La mayor concentración de las lluvias tienen lugar durante el periodo estival, lo que genera la saturación estacional de los materiales porosos, esto favorece la erosión y los deslizamientos. La intervención antrópica, juega un papel importante en los cambios que introduce al relieve, acelerando los procesos morfodinámicos y erosivos.

Como consecuencia de lo anteriormente expuesto se recomienda: analizar, definir y describir acabadamente los efectos potenciales y/o pérdidas que pueden presentarse en el contexto social y material para contribuir a optimizar los planes de desarrollo y los programas de inversión de manera que se puedan definir medidas que eviten o atenúen las consecuencias de los futuros desastres, bien sea mediante la intervención en la ocurrencia del evento, en el caso de que esto sea posible, o modificando las condiciones que propician que los efectos del mismo se presenten.

Además los procesos debidos a la acción antrópica se han potenciado paulatina y sistemáticamente en el área oeste del embalse del Dique Los Sauces, en donde la expropiación de tierras, por parte del Estado provincial desde el año 2010, para la generación de áreas de interés turístico e implementación de proyectos hoteleros e inmobiliarios, han ocasionado el desmonte indiscriminado, movimientos continuos de tierra para relleno de sectores del lago, que no solo afectó al relieve de la zona sino que también ha ocasionado pérdidas irreparables de sitios arqueológicos y paleontológicos de importancia. Para mitigar el impacto de las acciones anteriormente descritas, se recomienda realizar estudios previos de evaluación de aspectos relacionados al relieve y puesta en valor de áreas de importancia paleontológica, histórica y cultural, para ejecutar las obras con sentido preservacionista del aspecto cultural, bien intangible e irrecuperable.

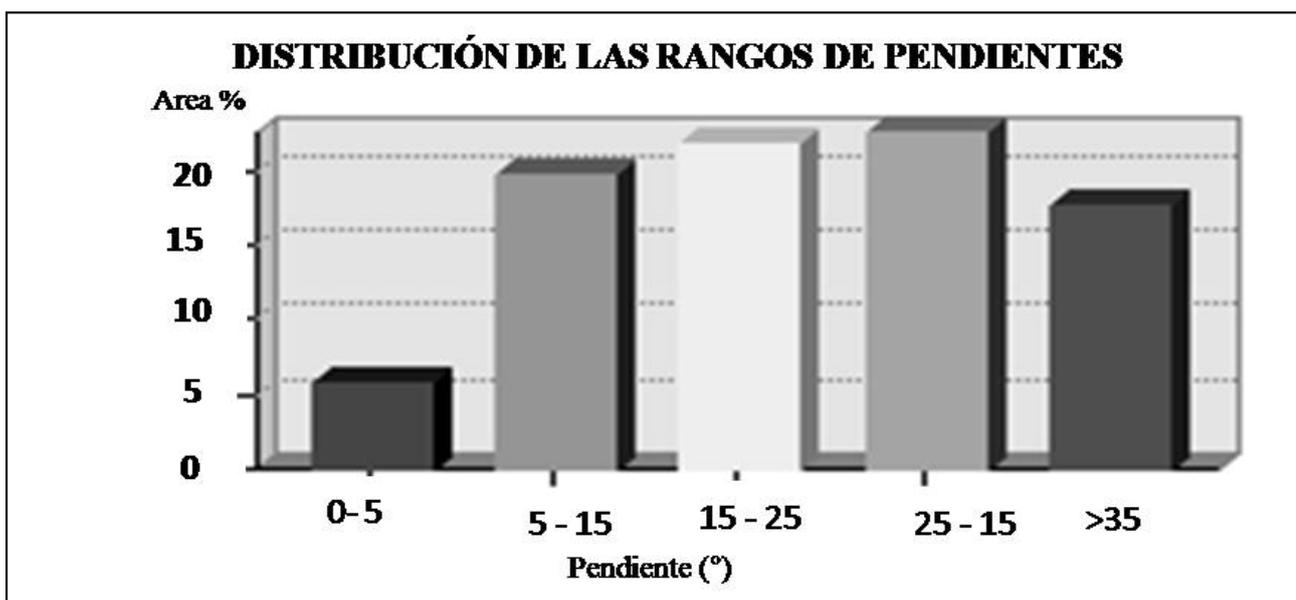


Figura 8. Distribución de las rangos de pendientes (elaboración propia).

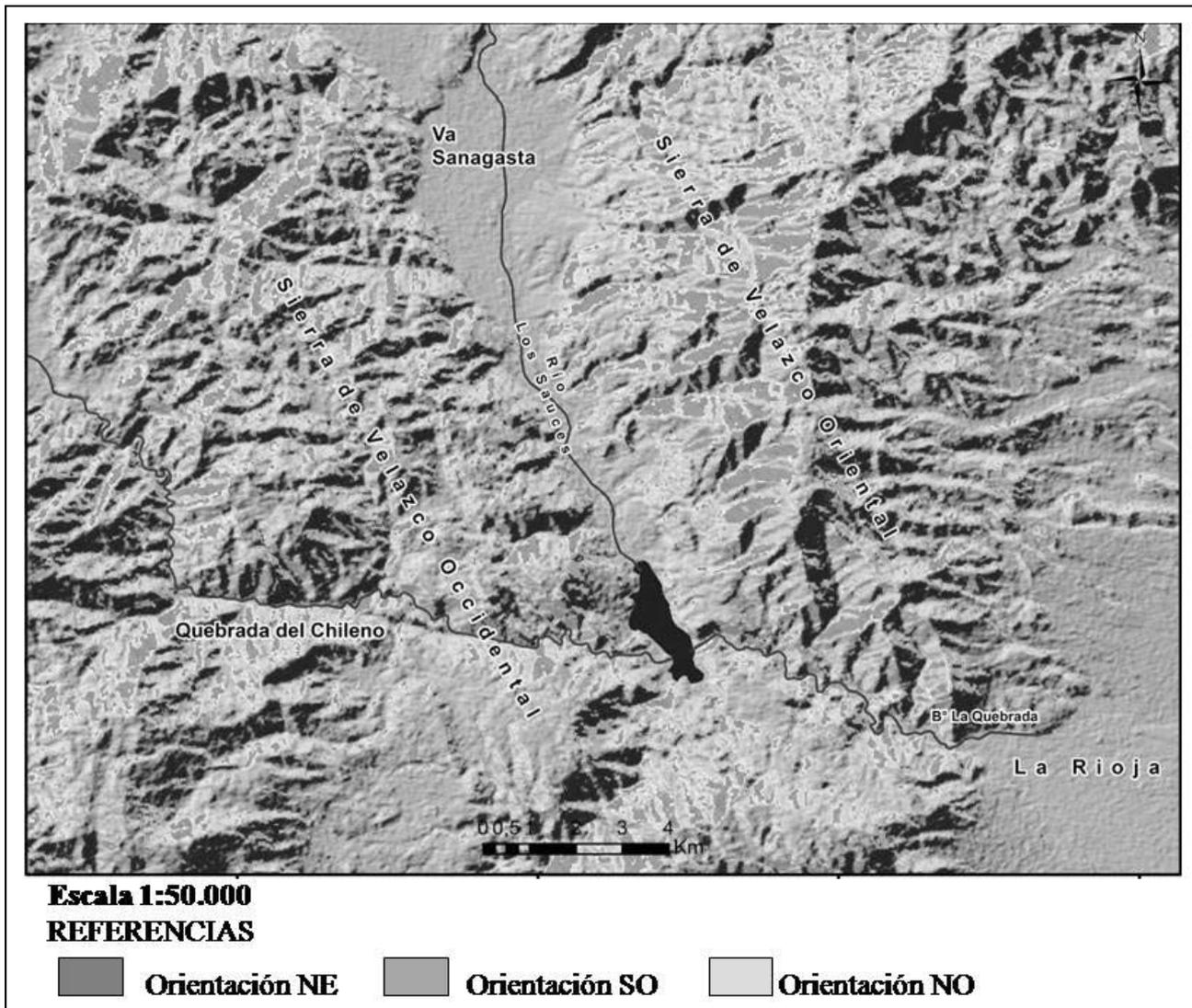


Figura 9. Plano de orientación de laderas según zonas de Alta a Muy Alta susceptibilidad de riesgo de remoción en masa.

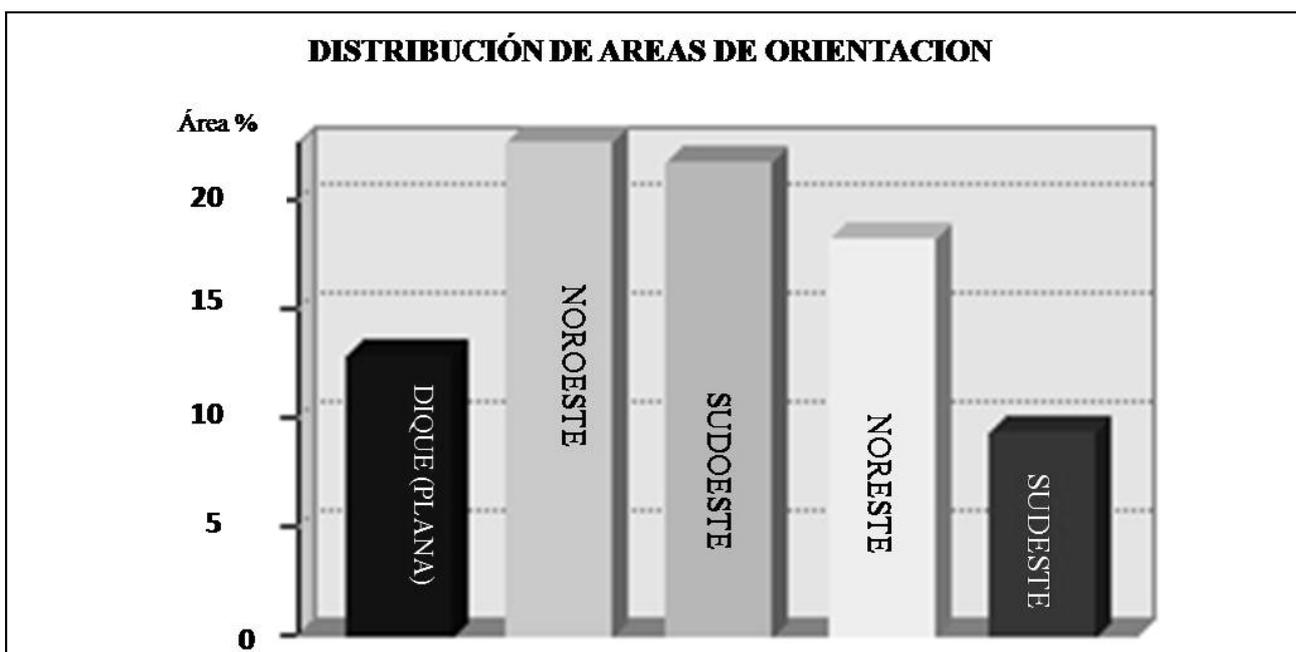


Figura 10. Distribución de áreas de orientación de laderas (elaboración propia).

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- ABRAHAM DE VAZQUEZ, E.M. (1.978).  
Geomorfología y biota del Valle de Sanagasta (Provincia de La Rioja).  
*DESERTA, IADIZA, Mendoza, 5: 95-155.*
- AYALA, F.J. (1.990).  
Análisis de los conceptos fundamentales de riesgos y aplicación a definición de tipos de riesgos geológicos.  
*Bol. Geol. y Min., Vol. 101-3, pág. 456-467. Madrid, España.*
- CAMINOS, R. (1.979).  
Sierras Pampeanas Noroccidentales, Salta, Tucumán, Catamarca, La Rioja y San Juan.  
*2º Simposio de Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias de Córdoba 1: 225-291.*
- COROMINAS, J. Y GARCÍA YAGÜE, A. (1.997).  
Terminología de los movimientos de ladera.  
*IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Granada. Vol. 3: 1051-1072*
- COSTA, C. (2.008).  
Neotóctica. Caracterización preliminar del peligro sísmico en la provincia de La Rioja.  
*En Gonzalez, M.A., Gonzalez diaz, E.F., Elissondo, M., Juarez, P., Coppolecchia, M., Costa, C., Cisneros, H., Tello, G. y Hunicken, H. (eds.) Peligrosidad sísmica en la sierra de Velasco, provincia de La Rioja. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Serie Contribuciones Técnicas: Peligrosidad Geológica 14: 30-65, Buenos Aires.*
- CRAVERO, O. Y GONZÁLEZ DÍAZ, E.F. (1.999).  
Hoja Geológica 2966-III La Rioja, provincia de La Rioja. Servicio Geológico Minero Argentino,  
*Instituto de Geología y Recursos Minerales (inédito), 49 p., versión preliminar, Buenos Aires.*
- FERNÁNDEZ, T. (2.001).  
Cartografía, análisis y modelado de la susceptibilidad a los movimientos de ladera en macizos rocosos mediante SIG: Aplicación a diversos sectores del sur de la provincia de Granada.  
*Tesis Doctoral. Universidad de Granada. 648 pp.*
- FERRER GIJÓN, M. (1.995).  
Los movimientos de ladera en España. Reducción de Riesgos Geológicos en España.  
*Instituto Tecnológico Geominero de España (ed.). Madrid.*
- GONZÁLEZ BONORINO, F. (1.950).  
Algunos problemas geológicos de las Sierras Pampeanas.  
*Revista Asociación Geológica Argentina. Tomo V (3):81-110. Buenos Aires.*
- GONZÁLEZ BONORINO, F. (1.951).  
Una nueva Formación Precámbrica en el noroeste argentino.  
*Com. Cient. Mus. La Plata, 5, La Plata.*
- MORGENSTERN, N.R. (1.997).  
Toward landslide risk assessment in practice.  
*Proceedings of the International Workshop on landslide risk assessment. Honolulu, Hawaii. USA, pp. 15-23.*
- PIERONI, E. M. (2.004).  
Análisis paleoflorístico y paleoambiental del Neopaleozoico del área del dique Los Sauces, provincia de La Rioja.  
Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Tucumán, Seminario, 120 p., Tucumán.
- PIERONI, E.M.;GEORGIEFF, S.M. (2.007).  
Reconsideración estratigráfica del Neopaleozoico de los alrededores del dique Los Sauces, La Rioja.  
*Rev. Asoc. Geol. Argentina vol. 62 N°1 Buenos Aires.*
- RAMOS, V.A., (1.988).  
Late Proterozoic–Early Paleozoic of South America– a Collisional History.  
*Episodes, 11(3): 168-173.*
- RAMOS, V. (1.999).  
Las Provincias Geológicas del territorio Argentino.  
*Geología Argentina- Anales 29 - Instituto de Geología y Recursos Minerales (41-96). Editorial A. Amaya - Argentina.*
- SÁNCHEZ, M.; SPAGNOTTO, S.; MARTÍNEZ, M. (2.013).  
Rasgos estructurales en la sierra pampeana de Velasco y alrededores a partir de los campos gravimétricos y magnetométricos.  
*Rev. Asoc. Geol. Argentina vol.70 N°2 Buenos Aires.*
- SARKAR, S.;KONUNGO D.P. (2.004).  
An integrated approach for landslie susceptibility mapping using remote sensing and GIS.  
*Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 70:pp. 617-625.*

SUARÉZ DÍAZ, J. (1.988).

Deslizamientos: Técnicas de Remediación Vol.2.  
*Universidad Industrial de Santander IUS.*

VARNES, D.J. (1.978).

Slope movement types and processes.

*In R.L. Schuster y R. J. Krizek (Eds.) Landslides: analysis and control. Transportation Research Board.  
Special report 176: 11-33*



# ASAGAI

ASOCIACIÓN ARGENTINA  
DE GEOLOGÍA APLICADA  
A LA INGENIERÍA

Análisis geotécnico sobre muestras de arcillas provenientes de los alrededores de la “Tambería de Guandacol” (prov. La Rioja), como posible fuente de aprovisionamiento de arcillas en la producción cerámica de los pueblos originarios

*Martinez, Amancay - Sales, Daniel A.*

Relación entre caudales y precipitación en algunas cuencas de la Patagonia norte

*Romero, Paula Elisa - González, Marcela Hebe*

Cartografía de riesgo de inundación y la representación de la vulnerabilidad en gran La Plata, Buenos Aires

*Lic. Schomwandt, David - Esp. Lic. Lucioni, Nora - Dra. Andrade, María Isabel*

Proposta de ordenamento territorial da bacia hidrográfica do Rio das Pedras (sp), na escala 1:50.000: potencial à escavabilidade dos maciços de solos

*Galiano, Valdir Aparecido - Lorandi, Reinaldo - de Lollo, José Augusto*

Salinización incipiente de un arroyo de alta montaña en los Andes de Patagonia (Argentina)

*Pizzolon, Lino - Omad, Guillermo - Weidl, Mariana - Claverie, Horacio*

Propuesta de análisis de la sismicidad a escala 1:250.000. Caso: Hoja Salta

*Gonzalez, M. A. - Chayle, W.*

Evaluación de la susceptibilidad de riesgos geológicos debidos a procesos de remoción en masa en el área pedemontana de la quebrada y dique Los Sauces (La Rioja, Argentina)

*Avila, Laura Sonia del C.*

Agregados reciclados pretratados para uso en hormigón

*Priano, Carla - Señas, Lilia - Moro, Juan - Marfil, Silvina*

Reseña de Libros. Experiencia Portuguesa en Obras Subterráneas

*Sarra Pistone, Raúl*

Portada: Playa del Camping Americano en Monte Hermoso. Provincia de Buenos Aires. *Fotografía Jorge Caló, Ricardo Caputo, Claudina Di Martino y Angel Marcos.*

**Revista de Geología  
Aplicada a la Ingeniería  
y al Ambiente**

