



## GEOLOGÍA AMBIENTAL

Fernando X. Pereyra<sup>1</sup>, Omar R. Lapido<sup>2</sup> y Pablo Tchilinguirian<sup>3</sup>

1. IGRM-SEGEMAR, Dirección de Geología Ambiental y Aplicada, Buenos Aires. fernap@minproduccion.gov.ar  
2. olapid@minplan.gov.ar, 3. pabloguirian@gmail.com

### RESUMEN

La provincia del Neuquén se caracteriza por un marcado gradiente geoambiental, pudiéndose distinguir dos grandes sectores: 1) una zona occidental, de marcado relieve y clima húmedo y 2) una zona oriental, con relieve mesetiforme y clima árido. Esta diferenciación determina en ambos sectores la dispar ocurrencia de fenómenos peligrosos en tipología, magnitud y extensión. Se analizan los principales parámetros ambientales que resultaron relevantes a la hora de delimitar la distribución y ocurrencia de los diversos fenómenos, potencialmente peligrosos y riesgos que afectan la provincia del Neuquén. Los principales peligros geológicos se relacionan con la dinámica fluvial, la remoción en masa, los terremotos y la actividad volcánica. La degradación de suelos constituye otro aspecto destacado, mayormente debida a la erosión hídrica y eólica. Para cada caso se analizan sus causas, magnitudes y las variaciones espaciales.

**Palabras clave:** Geología ambiental, inundaciones, remoción en masa, degradación de suelos, terremotos, Neuquén

### ABSTRACT

*Environmental geology.*- A strong geo-environmental gradient characterize the Neuquén province, where two huge sectors could be identified: 1) a western hilly area, with humid climate and high relief, and 2) an eastern area, with plain relief and arid climate. This differentiation reflects the distinct occurrence of natural hazards in typology, magnitude and extent in both sectors. The main geological features are examined in order to delineate distribution and occurrence of hazardous and risky natural processes in the Neuquén province. The main processes are mainly related to fluvial action, mass wasting, earthquakes and volcanism. Soil degradation constitutes another important aspect, mainly due to hydric and aeolian erosion. For each case, causes, magnitudes and spatial variations are analysed.

**Key words:** Environmental geology, floods, mass wasting, soil degradation, earthquakes, Neuquén

### INTRODUCCIÓN

Los temas considerados en la Geología Ambiental son múltiples, incluyendo aspectos geotécnicos e ingenieriles, la degradación de los recursos suelo, agua y paisaje y los denominados riesgos geológicos. En líneas generales la Geología Ambiental brinda elementos para la planificación, el uso y la conservación de los recursos naturales y para el abordaje de acciones tendientes a la mitigación de efectos negativos de la interacción del hombre con el medio físico. Teniendo en cuenta el limitado espacio disponible, en la presente contribución se consideran solamente los peligros naturales y algunos aspectos vinculados a la degradación de los recursos naturales, en particular de los suelos.

Los riesgos derivados de los procesos geológicos integran, junto con los climáticos y los cósmicos, los riesgos naturales que afectan a nuestro planeta. Entre esos riesgos encontramos que tanto los Terremotos como los Volcanes están controlados por la dinámica de la corteza terrestre, mientras que los Procesos de Remoción en Masa (hundimientos y deslizamientos) están dominados por la ley de la gravedad; por su parte las Inundaciones son producidas por lluvias continuas en la cuenca o por núcleos de tormentas torrenciales, en montañas o piedemonte. Otros riesgos son la Erosión-Sedimentación continental y costera, ya sea hídrica o eólica. Los peligros naturales pasan a la categoría de riesgo cuando ese proceso natural violento afecta las obras de infraestructura y/o

personas. Una de las definiciones que mejor refleja la problemática es la UNDR-UNESCO que indica que «Un riesgo es la probabilidad de ocurrencia de un nivel de daño a los elementos expuestos a un evento desastroso»; este riesgo es «directamente proporcional a la magnitud de la amenaza», que a su vez es considerada como «la probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente desastroso durante un período de tiempo en un sitio determinado». Otro de los componentes que entra en el cálculo es la vulnerabilidad del territorio, generalmente considerado como «la respuesta de los elementos expuestos y su resistencia al daño». Mientras la amenaza es fija y está determinada por factores externos como son los procesos naturales, la vulnerabilidad puede ser modificada por el hombre.

La ocurrencia de los procesos naturales está condicionada por factores que determinan la frecuencia e intensidad de los mismos. Se destacan por su influencia: el relieve y las pendientes; la altitud; la geomorfología; la litología y estructura; la hidrología e hidrogeología; el clima y la fitogeografía. Los mecanismos disparadores de los procesos son los movimientos de la corteza generados por los sismos o por el volcanismo y por la acción del agua, en todos sus estados, ya sea por precipitaciones intensas o por la acción del oleaje tanto en la costa del mar o de grandes lagos, o la erosión de los ríos en los laterales del valle. A estos factores naturales, hay que sumarles la influencia que puede tener la actuación antrópica para potenciar o, en algunos casos, directamente disparar proce-

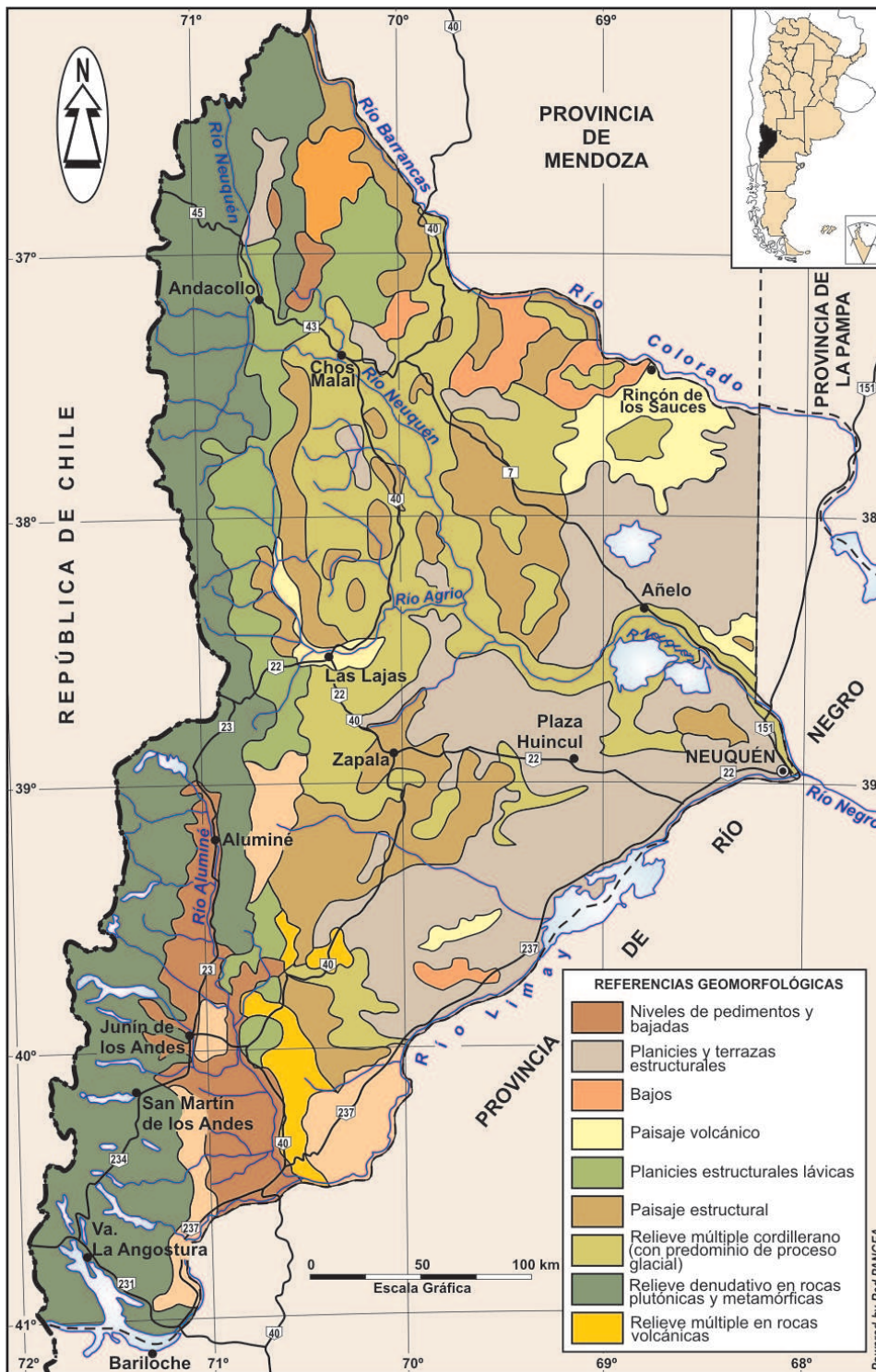


Figura 1: Mapa geomorfológico.

son catastróficos. Entre los más conspicuos se pueden citar: la degradación de suelos (agotamiento y pérdida de recursos); la contaminación y subsidencia; la rotura de presas y diques de colas, los deslizamientos y/o caídas de rocas, estos últimos casos generados por el deficiente cálculo de la estabilidad de los taludes.

Los principales problemas ambientales presentes en el territorio provincial son: 1) Degradación de la vegetación (deforestación), 2) Pérdida de hábitats y biodiversidad, 3) Degradación del paisaje, 4) Incendios, 5) Degradación

de acuíferos, 6) Contaminación de aguas superficiales, 7) Degradación de suelos, 8) Inundaciones, 9) Sedimentación (aluvionamiento), 10) Erosión hídrica (carcavamiento y erosión lateral), 11) Erosión eólica, 12) Inestabilidad de pendientes (incluyendo Avalanchas de nieve, Deslizamientos, Flujos de detritos y Caídas de rocas), 13) Terremotos, 14) Disposición de residuos, 15) Volcanismo, especialmente caída de tetras y 16) Extracción de áridos.

La provincia de Neuquén se caracteriza por un marcado gradiente geoambiental, pudiéndose distinguir dos



grandes sectores: 1) una zona occidental, cordillerana de marcado relieve y clima generalmente húmedo y 2) una zona oriental, con relieve mesetiforme y clima árido. Las grandes unidades de paisajes distinguidas son: 1) Niveles de pedimentos y bajadas, 2) Planicies y terrazas estructurales, 3) Bajos, 4) Paisaje volcánico, 5) Planicies estructurales lávicas, 6) Paisaje estructural en sedimentitas mesozoicas, 7) Relieve múltiple cordillerano (con predominio del proceso glacial), 8) Relieve denudativo en rocas plutónicas y metamórficas, 9) Relieve múltiple en rocas volcánicas.

Esta diferenciación determina la dispar ocurrencia de fenómenos peligrosos (tipos y extensión) en ambos sectores. Se han analizado los principales parámetros ambientales que resultaron relevantes a la hora de delimitar la distribución y ocurrencia de los diversos fenómenos, potencialmente peligrosos y riesgosos que afectan el territorio provincial. A partir del mapa geomorfológico esquemático de Neuquén (Fig. 1) se ha realizado la zonificación de los principales peligros naturales, tanto potenciales como activos, según sus características, intensidades y distribución. Los aspectos considerados fueron el clima, las características de los materiales superficiales, las pendientes, la vegetación, los suelos dominantes, los procesos geomórficos principales actuantes y la morfodinámica y pedogénesis actuales (Tabla 1).

Los principales peligros geológicos de la región se relacionan con la dinámica fluvial, la remoción en masa, terremotos y actividad volcánica. Estos son caracterizados en la Tabla 2, en la que se relacionan los principales procesos considerados: erosión hídrica, erosión eólica, inundaciones, degradación de suelos, erosión litoral, remoción en masa y depositación de cenizas volcánicas y el grado de intensidad relativo de cada uno de ellos según las diferentes unidades geomórficas existentes. Para la realización de la misma, se han considerado los aspectos presentados en la Tabla 1 en una forma básicamente cualitativa.

## INUNDACIONES

El principal peligro natural, tanto por su recurrencia como por su impacto sobre la economía regional y las obras de infraestructura son las inundaciones. La mayor parte de las localidades se asientan en zonas aledañas a cursos fluviales, y las mayores de ellas son atravesadas por numerosos cursos fluviales de pequeñas dimensiones. Incluso algunas poblaciones se asientan directamente sobre terrazas fluviales y planicies aluviales. Por ejemplo, Neuquén-Plottier-Senillosa-Centenario se asientan en las terrazas bajas de los ríos Limay y Neuquén y Junín de los Andes se ubica en valle del río Chimehuin; mientras que otras poblaciones, como San Martín de los Andes y Villa La Angostura se encuentran atravesadas por numerosos cursos fluviales de diferente magnitud. Por otro lado, las poblaciones ubicadas en la zona extraandina también se encuentran atravesadas por cañadones que permanecen secos la mayor parte del tiempo pero ocasionalmente pueden llevar grandes volúmenes de agua provocando anegamientos (como en Rincón de los Sauces y Chos Malal entre otras).

Los anegamientos se producen tanto por desborde e ríos y arroyos como por ascensos freáticos y crecidas de cuerpos lacustres. Debido a las características ecoambientales y geomorfológicas, las inundaciones, en la zona cordillerana poseen las rasgos propios de *flash-floods* (inundaciones relámpago), mientras que en la zona extraandina las inundaciones son menos abruptas pero cubren superficies mayores y persisten más tiempo. Los principales aspectos que condicionan la mayor vulnerabilidad respecto a las inundaciones son, entre otras; la diferencia de altura respecto al nivel del curso fluvial, la mayor o menor proximidad a los cursos fluviales, la densidad de drenaje de cada unidad geomórfica, la génesis de las geoformas, el tipo de vegetación y el grado de cobertura (teniendo en cuenta la presencia de comunidades especializadas), los

UNIDAD	CLIMA	MATERIALES SUPERFICIALES	RELIEVE Y PENDIENTES	VEGETACIÓN	SUELOS	PROCESO GEOMÓRF. DOMINANTE	MORFODINÁMICA ACTUAL	PEDOGÉNESIS ACTUAL
Relieve denudativo en rocas plutónicas y metamórfica	semiárido	coluvio, regolito y afloramientos	Quebrado medias	estepa arbustiva	Torriortentes Haplocalcides Haplocambides	fluvial y eólico	moderada	baja
Bajos y geoformas asociadas	árido y semiárido	Coluvio, aluvial grueso y fino, evaporítico	Ondulado medias	estepa arbustiva y halófito	Haplosalides Natrargides Haplocalcides	Fluvial y eólico	moderada	moderada
Planicies estructurales Terrazas, planicies y abanicos aluviales	árido y semiárido	Aluvial grueso y arenas eólicas	Subhorizontal bajas	estepa arbustiva y herbácea	Torriortentes Haplocalcides Natrargides	fluvial y eólico	Alta a moderada	baja
Paisaje estructural en sedimentitas mesozoicas	árido y semiárido	Regolito, Aluvial grueso y arenas eólicas	Quebrado y Subhorizontal medias	estepa arbustiva	Torripsamientos Torriortentes Haplargides	Fluvial, remoción en masa y eólico	Alta a Moderada	Baja
Planicies estructurales lávicas	árido y semiárido	Regolito, Aluvial grueso y arenas eólicas	Subhorizontal bajas	estepa arbustiva	Torriortentes Haplocalcides Haplocambides	fluvial y eólico	moderada	Baja
Relieve múltiple cordillerano	húmedo a semiárido	Till Glaciarío, coluvio, regolito y afloramientos	Quebrado altas	bosque y estepa herbácea	Hapludands Haploxeroles Criortentes	Fluvial, remoción en masa y glaciarío	alta	Alta
Niveles de Pedimentos y Bajadas	árido y semiárido	Aluvial grueso y arenas eólicas	Quebrado medias	estepa arbustiva y estepa mixta	Torripsamientos Torriortentes Haplocalcides, Haplocambides	fluvial y eólico	alta	Baja a moderada
Paisaje volcánico	variable	Regolito, Aluvial grueso y arenas eólicas	Ondulado medias	estepa arbustiva y herbácea	Haploxeroles Criortentes Haplargides	fluvial y eólico	moderada	moderada
Relieve múltiple en rocas volcánicas	Semiárido a subhúmedo		Quebrado altas	estepa arbustiva y herbácea	Torriortentes, Haploxeroles Criortentes Haplargides	Fluvial, remoción en masa y eólico	Alta	Moderada a baja

Tabla 1: Principales características de las unidades de paisaje diferenciadas

tipos de suelos (presencia de rasgos hidromórficos, textura del suelo y asignación taxonómica), presencia de drenaje endorreico, pendientes (más bajas, más peligrosidad, si bien existen excepciones) y la permeabilidad de los materiales superficiales y afloramientos rocosos.

En Neuquén y en la Patagonia en general, las inundaciones se originan por tormentas intensas que pueden producirse en toda el área de una cuenca o solamente localizada en sectores de la misma, generalmente en las cuencas altas. Por su parte, el grado de afectación es diferente y depende de la ocupación antrópica del sitio. En la Fig. 2 se observa una zonificación del territorio provincial en relación a la mayor/menor vulnerabilidad frente a las inundaciones.

En líneas generales la mayor parte de las poblaciones de la zona occidental de Neuquén experimentan periódicamente los efectos de las inundaciones. Por ejemplo, San Martín de los Andes experimenta problemas recurrentes de anegamientos, debidos tanto a desbordes de arroyos como a ascensos freáticos, ya que una parte importante de la población se asienta sobre mallines ubicados en el piso de los valles glaciarios (Vega Maipu). Una situación análoga ocurre en Villa La Angostura.

Fuera del área cordillerana, el drenaje se estructura en dos grandes cuencas, las de los ríos Colorado y Negro. La segunda abarca mucha mayor superficie en Neuquén e incluye grandes cursos esencialmente alóctonos, o sea que tienen su principal aporte en la zona andina. En esta cuenca los principales ríos son el Limay y el Neuquén. El río Limay recoge la mayor parte de las aguas provenientes de los lagos cordilleranos (Nahuel Huapí, Huechulafquen, Paimún, Tromén, entre otros), ya sea directamente o través de grandes tributarios como el Collón Curá o el Catan Lil. En todos estos ríos las inundaciones son frecuentes, si bien, al tratarse de unas cuencas intensamente usadas para la generación de energía eléctrica y de riego, actualmente se encuentran fuertemente regulados por la presencia de numerosos embalses y represas, por lo que los efectos de inundaciones, especialmente en la zona de la ciudad de Neuquén son de menor magnitud que en el pasado. Por su parte, el río Neuquén, en su tramo superior presenta frecuentes inundaciones, si bien la menor densidad poblacional de la zona implica un menor impacto. Algo semejante ocurre con los ríos Collón Curá, Catan Lil y Agrio.

En la zona extraandina, fuera de los valles fluviales de los grandes ríos, las inundaciones son típicamente aluvionales, o sea ocurridas por tormentas intensas en las nacientes de los cañadones

El aporte aluvional se origina en las cuencas típicas de bardas, un área de fuertes pendiente y marcada erosión, cuyos drenajes en general, convergen en dirección más o menos transversal a la barda, hacia algún curso principal que actúa como colector, o bien drenando hacia lagunas o bajos. Por ejemplo en Rincón de los Sauces, Plaza Huinca y Cutral Có, entre otras localidades, pueden ocurrir este tipo de fenómenos. Especialmente sensible a las inundaciones son los sectores ubicados en la transición entre la zona cordillerana y el ambiente de mesetas. Por ejemplo una crecida en el río Calefú destruyó el puente que comunicaba San Martín de los Andes con la ruta nacional 40 (ex 237) sobre la margen sur del río Collón Curá.

### REMOCIÓN EN MASA

La remoción en masa es uno de los procesos geológicos más comunes en la geografía del ambiente neuquino. En la región cordillerana es notoria la acción de la gravedad terrestre que conjuntamente con la acción del agua produce la meteorización y el transporte de las rocas que de acuerdo a su litología y disposición estructural son en mayor o menor grado susceptibles de ser afectadas por estos procesos geológicos. Estos movimientos tienen como disparadores los movimientos sísmicos y las precipitaciones aunque también existen disparadores antrópicos, generalmente más localizados y generados a partir de obras de infraestructura implementadas sin tomar en cuenta la vulnerabilidad de las mismas a los peligros naturales.

Existen muchas clasificaciones ya Varnes (1978) empleó como criterio principal en la clasificación, el tipo de movimiento y en segundo lugar, el tipo de material. Diferenció cinco tipos de movimientos: caídas, vuelcos, deslizamientos, propagaciones y flujos y dos clases de materiales: rocas y suelos, éstos últimos subdivididos en detritos y tierra. Se suma también en la descripción otros parámetros como la velocidad, el contenido de agua, el mecanismo de rotura, etc. Con respecto a la velocidad van

UNIDAD	EROSIÓN HÍDRICA	EROSIÓN EÓLICA	INUNDACIONES	DEGRADACIÓN DE SUELOS	REMOCIÓN EN MASA	DEPOSITACIÓN DE CENIZAS
Relieve denudativo en rocas plutónicas y metamórfica	4	2	2	3	4	2
Bajos y geoformas asociadas	4	3	2	3	2	2
Planicies estructurales Terrazas, planicies y abanicos aluviales	3	3	4	3	2	1
Paisaje estructural en sedimentitas mesozoicas	4	3	3	3	3	1
Planicies estructurales lávicas	2	2	2	2	3	2
Relieve múltiple cordillerano	5	2	3	3	4	4
Niveles de Pedimentos y Bajadas	4	4	2	4	3	2
Paisaje volcánico	3	3	1	3	2	2
Relieve múltiple en rocas volcánicas	4	2	2	3	4	2

Tabla 2: Distribución e intensidades relativas de los diferentes procesos potencialmente peligrosos según gran unidad geomórfica. Referencias: 5 muy alta, 4 alta, 3 moderada, 2 baja, 1 muy baja, 0 nula.

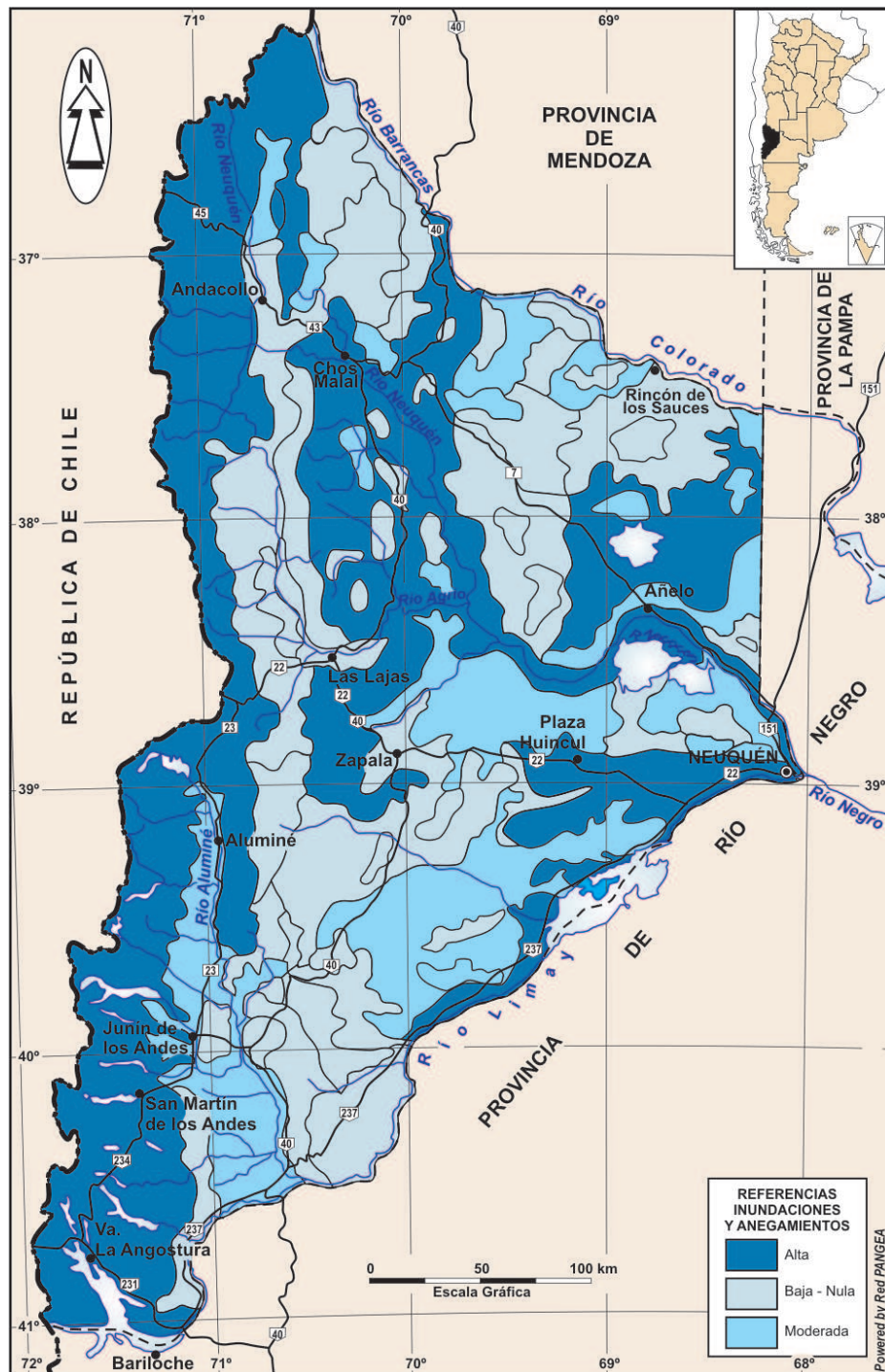


Figura 2: Inundaciones.

de extremadamente rápidos, más de 5m/seg hasta extremadamente lentos, con menos de 16 mm/año. También considera si es un movimiento único o compuesto.

Los factores controlantes considerados más relevantes en la generación de condiciones de inestabilidad en pendientes son: 1) tipo litológico aflorante, 2) grado de meteorización y diaclasamiento de las rocas, 3) presencia de cobertura detrítica, 4) inclinación de las pendientes, 5) grado de cobertura y tipo de vegetación de las pendientes, 6) exposición (frente a las lluvias, sol y nieve), 7) presencia de suelos de bajo grado de desarrollo y 8) existencia de factores disparadores.

El grado de perturbación antrópica, la erosión hídrica, el oleaje de los lagos, las grandes precipitaciones, los sismos y la actividad volcánica actúan como factores disparadores.

Los fenómenos más frecuentes son las caídas de roca, deslizamientos, flujos densos y las avalanchas de nieve. Las caídas de rocas son más frecuentes en las zonas en que dominan los afloramientos rocosos de la Fm. Ventana-Auca Pan. Los deslizamientos se encuentran ampliamente distribuidos, dominando los de tipo planar y que implican el material detrítico que tapiza las pendientes. Los flujos densos son comparativamente menos

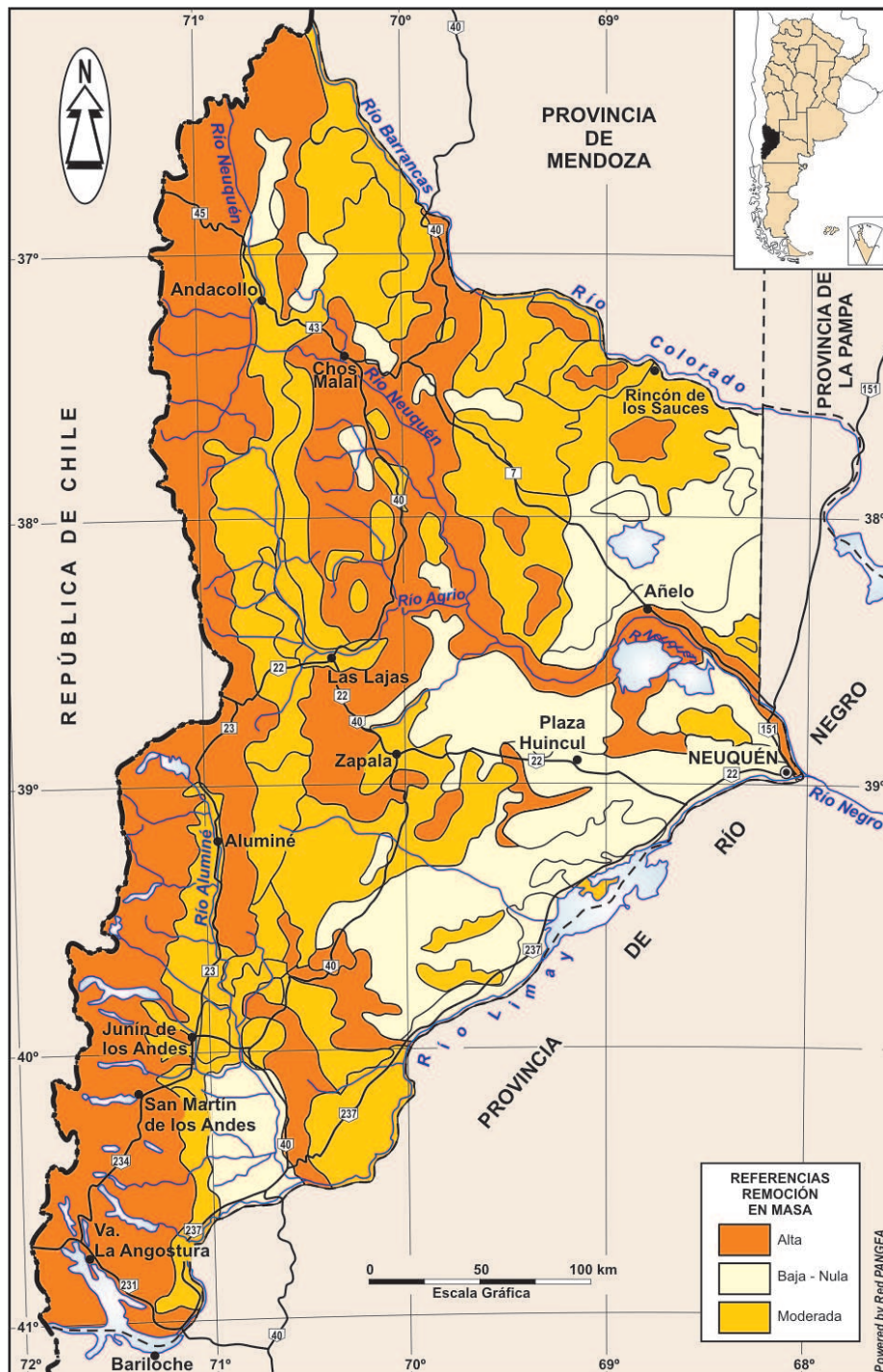


Figura 3: Remoción en masa.

frecuentes, son fundamentalmente *debris flows* que se asocian a cauces efímeros y a pendientes con importante cobertura detrítica, depósitos morénicos y afloramientos de rocas intensamente meteorizadas y diaclasadas. Los fenómenos de remoción en masa son especialmente frecuentes en la zona de la «Ruta de los 7 Lagos» (ruta nacional 234). En las cercanías de San Martín de los Andes, son frecuentes las caídas de rocas y los deslizamientos a favor de rocas intensamente diaclasadas, como las que componen el Basamento Cristalino (Proterozoico). Asimismo, en la zona comprendida entre Pichi Trafúl y Villa La Angostura son comunes los deslizamientos planares que afectan sedimentos glaciares y cineríticos cuaterna-

rios. Estos deslizamientos provocan frecuentes cortes de la ruta.

Las avalanchas de nieve son frecuentes y generalmente tienen lugar todos los años y, si bien son de pequeñas dimensiones, pueden causar pérdidas de vidas dado lo repentino de su ocurrencia. Los sectores más proclives se encuentran en las cercanías de San Martín de los Andes y Villa La Angostura. Los deslizamientos rotacionales (*slumps*) afectan los bordes de las planicies estructurales lávicas (bardas), como por ejemplo se observa en las cercanías de Zapala y de Piedra del Águila. En las Planicies Estructurales (de Rodados Patagónicos) generadas sobre sedimentitas terciarias y cretácicas, los procesos más co-

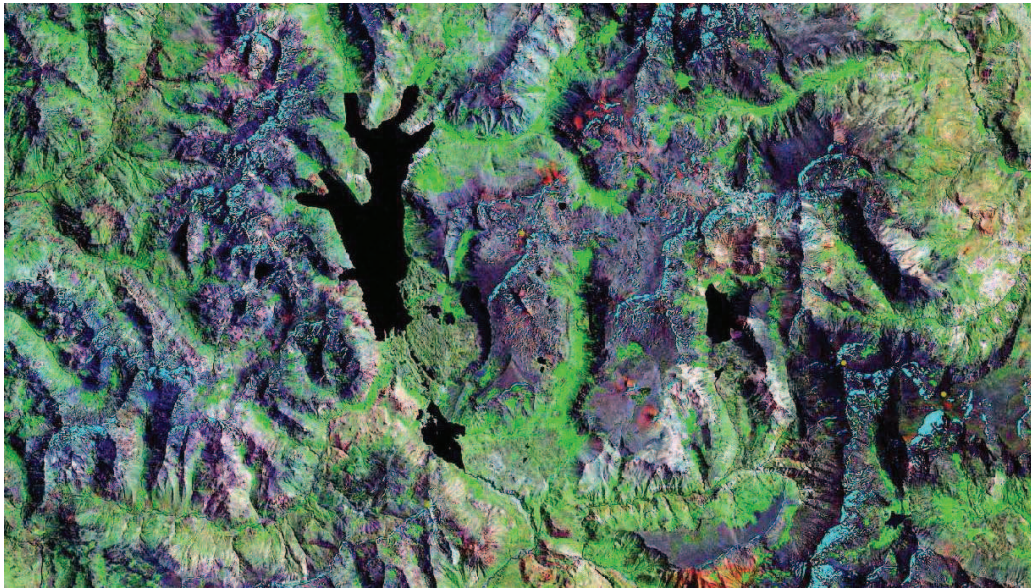


Figura 4: Imagen de las lagunas de Varvar Co Campos y Varvar Co Tapia.

munes son las caídas de rocas y los deslizamientos planares, muchos de ellos potenciados por la actividad antrópica. Esta situación es evidente en la zona de Neuquén capital. En la Fig. 3 se observa una zonificación del territorio provincial en relación a la mayor/menor vulnerabilidad frente a la remoción en masa.

La actividad volcánica puede actuar como un disparador porque al producirse, los sismos volcánicos por diversas causas como: Movimiento o bombeo del magma a través de fracturas nuevas o preexistentes generadas por la misma inyección, fracturamiento de la roca bajo la superficie por los rápidos cambios de temperatura y esfuerzos, procesos de desgasificación del magma, o bien por colapso de sectores de la caldera volcánica existente. Estos movimientos sísmicos son cercanos a la superficie y pueden provocar en la cercanía del aparato volcánico, procesos de remoción en masa locales. Hay un tipo de flujo de detritos de gran magnitud que ocurre en los volcanes, ya sea durante las erupciones o en el periodo entre éstas; por lo general movilizan depósitos de material volcánico no consolidado. Estos son denominados usualmente como lahares, de los cuales hay registros en el flanco sur del volcán Copahue, cercanos al límite internacional en territorio chileno

En el norte neuquino existen registros de importantes deslizamientos en la zona cordillerana, que en algunos casos han sido considerados avalanchas de rocas debido a su gran volumen. Uno de ellos es el que Groeber (1916) describe e interpreta en la laguna Carrilauquen, como generada por un deslizamiento que bloqueó el valle del río Barrancas (el endicamiento se hallaba cercano a las bardas de Yonqui-Ehue). También analiza las causas del colapso de ese dique natural que ocurriera en 1914 y las desastrosas consecuencias que la creciente coetánea (flujo denso) ocasionara aguas abajo, a lo largo de los valles de los ríos Barrancas y Colorado, que condujo a la destrucción de la incipiente actividad agropecuaria de la región. La laguna de Varvar Co también tiene su origen en endicamientos producidos por avalanchas. Su origen fue descrito por González Díaz *et al.* (2000, 2001), quienes consideraron más antigua la avalancha de Varvar Co Tapia

(VVT). La gran movilidad de la avalancha de Varvar Co Campos (VVC), se debe a la incorporación de volúmenes de agua que halló en su paso, provenientes de una anterior y más extensa laguna de VVT. La laguna VVC es de 33,08 km<sup>2</sup> tiene una configuración alargada norte-sur y en planta casi rectangular. Desagua hacia la laguna VVT, por un corto curso excavado en las acumulaciones de la avalancha. (Fig. 4). Finalmente, otro grupo de cinco avalanchas de rocas antiguas, también en el noroeste de la cordillera neuquina, entre los 37° 15' y 37° 30' S, fueron descritas por González Díaz & Folguera (2005) quienes los denominaron Avalanchas de rocas de los cerros Piche Moncol, Guañaco y Coronal, y de las lagunas Negra y Lauquen Mallín.

## DEGRADACIÓN DE SUELOS

El suelo no es una masa inerte sino un agregado de partículas minerales, materia orgánica y organismos vivos en equilibrio dinámico. El equilibrio en el suelo se altera si se modifican uno o varios factores de formación, situación que se prolonga hasta lograr un nuevo estado de equilibrio. La degradación de los suelos consiste en una regresión desde un estado más elevado a uno inferior con una disminución de su capacidad productiva. Este proceso no es necesariamente continuo, sino que puede producirse entre diversos períodos de estabilidad o equilibrio ecológicos. La ocupación y el uso de la tierra alteran los procesos naturales generando cambios, en general negativos para la cubierta vegetal y el suelo. El impacto de la lluvia y el viento sobre el suelo desnudo origina la desagregación, remoción y transporte de las partículas del suelo y su consecuente erosión.

La degradación de tierras es uno de los principales problemas ambientales de la región Patagónica (Castro 1981; LUDEPA 1995) y se asocia a la pérdida de la condición natural de los ecosistemas. Se relaciona con la desertificación que puede ser definido como la pérdida de la capacidad productiva de ecosistemas en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas como consecuencia de la actividad humana no adaptadas al uso de la

tierra en estas regiones (UNCED 1992). Este fenómeno tiene mayor importancia en la provincia del Neuquén debido a que posee ambientes con mayor fragilidad como es el Desierto del Monte Patagónico (Cabrera & Willink 1973). En la provincia del Neuquén, las áreas desérticas y semidesérticas ocupan el 92% del territorio y los sectores en los que la desertificación es grave a muy grave abarca el 37,1 % (3.553.000 ha) (Del Valle *et al.* 1998). La degradación de tierras se expresa de varias formas. Las más comunes son la disminución de la cobertura vegetal, el aumento del suelo expuesto a la erosión hídrica (laminar y encauzada), a la erosión eólica y a la salinización. Estos procesos a su vez se ven agravados en forma adicional por fases de sequía que duran varios años seguidos. Los procesos de degradación de los suelos según la FAO (1984) son de 6 tipos (Tabla 3). Movia (1984) define a la desertificación en la Patagonia como un proceso complejo, producido por la acción del hombre, que involucra la erosión de los suelos (hídrica y eólica) y el deterioro de la vegetación, estrechamente ligados entre si y con el clima, la fisiografía y los materiales originarios. La desertificación es la consecuencia de cambios producidos por los factores naturales y antrópicos de manera irreversible o de muy lenta reversión. Si bien los procesos que determinan la degradación y la desertificación son coincidentes, una diferencia importante entre ambos términos es que la degradación no es forzosamente continua, ya que ocurre durante períodos de tiempo relativamente cortos y puede ser invertida. La continua degradación de las propiedades del suelo llevará finalmente a la desertización (FAO 1984).

Los procesos de desertificación según Movia (1984) dependen de: 1) grado de aridez; 2) fluctuaciones climáticas; 3) factores antrópicos de degradación; 4) factores climáticos (viento, agua, hielo, amplitud térmica diaria y estacional); 5) características de los suelos y 6) macro y micro topografía. Las áreas transicionales entre ambientes áridos-semiáridos y semiáridos-subhúmedos son las más vulnerables a la desertificación. El proceso de la desertificación en Patagonia se presenta como un círculo vicioso, cuyo primer eslabón es la degradación de la vegetación. La pérdida de la cobertura vegetal y sus repercusiones en el ambiente provocan una serie de efectos sobre la calidad de vida y la producción, que se traducen a su vez en una dificultad creciente para mantener a ambas en un nivel aceptable.

Las causas de la degradación de suelos en Neuquén son numerosas, sin embargo, destacan las siguientes: 1) Sobrepastoreo, 2) Actividades extractivas (explotación petrolífera y extracción de áridos), 3) Deforestación y desmonte, 4) Incendios, 5) urbanización y 6) construcción de vías de comunicación y ductos. Por ejemplo, la realización de tareas de prospección geofísica, por sus propias características provocan muy alto impacto sobre los suelos ya que, en primer lugar, implican una remoción casi total de la cobertura vegetal en la traza de las líneas. Dada su importancia se consideran someramente las dos primeras causas.

### Sobreexplotación ganadera

El sobrepastoreo ovino en los sistemas ganaderos extensivos es una de las causantes principales de la degradación de las tierras. El pisoteo del ganado desagrega la superficie del suelo lo que aumenta su vulnerabilidad a la erosión. El sobrepastoreo reduce la abundancia y la diversidad de las comunidades vegetales provocando un aumento del suelo expuesto al viento, a la erosión hídrica y a mayores condiciones de insolación y evaporación. El efecto de la sobreexplotación ganadera se percibe en el terreno por cambios en la microtopografía del terreno (Tchilinguirian 2002), en la estructura vegetal (Aguar & Sala 1998; Del Valle 1998) ya sea por procesos de erosión, acumulativos o mixtos. Entre las microformas erosivas se destacan los pedestales de erosión, los surcos de erosión, las cárcavas con retroceso activo y los pavimentos del desierto (suelos tapizados por gravas). Entre las formas acumulativas se destacan la vegetación cubierta por dunas o montículos de arena recientemente depositados.

Los procesos erosivos y acumulativos actúan conjuntamente en el paisaje degradado, donde los erosivos actúan en zonas con pendientes y los deposicionales al pie de las mismas o donde hay mayor disponibilidad de arena. Es evidente el control de los parcelamientos en la intensidad de estos procesos. Predios con sobreexplotación tienen evidencias de degradación, mientras los lindantes, con menor carga ganadera muestran mayor abundancia vegetal y escasa exposición de suelos desnudos. También es evidente alrededor de las aguadas o puntos de abrevamiento de ganado donde la destrucción de la cubierta vegetal es completa y el pisoteo del suelo es intenso.

TIPOS DE DEGRADACIÓN	DESCRIPCIÓN
Erosión hídrica	Incluye erosión por salpicadura, erosión laminar, en cárcavas y diversos tipos de remoción en masa potenciados por la acción del agua.
Erosión eólica	Abarca la remoción, el depósito de partículas de suelo por acción del viento y los efectos abrasivos de las partículas en movimiento.
Exceso de sales	Incluye la salinización y la alcalinización (o sodificación)
Degradación química	Lixiviación de bases y formación de toxicidades diferentes a las debidas al exceso de sales.
Degradación física	Se refiere a los cambios adversos en las propiedades físicas del suelo (porosidad, permeabilidad, densidad aparente, y estabilidad estructural)
Degradación biológica	Procesos que incrementan la velocidad de mineralización del humus.

Tabla 3: Tipos y descripción de degradación de los suelos (FAO 1984).



En conclusión, la degradación de tierras por la sobre-explotación ganadera tiene una intensidad de baja a elevada que depende de la carga ganadera y de las condiciones climáticas. La degradación tiene una extensión puntual como en el caso de los abrevaderos o general donde el impacto afecta varios miles de kilómetros cuadrados. El proceso puede ser sinérgico, es decir que el impacto aumenta con el tiempo. Este fenómeno ocurre cuando los vientos movilizan las partículas del suelo y se depositan en los campos no degradados, produciendo un nuevo proceso de degradación que se extiende en el espacio.

### Actividad petrolera

La provincia de Neuquén es una región con una historia muy dilatada de la actividad petrolera con los primeros pozos perforados en Plaza Huincul en 1915, pero con un despegue de la actividad con YPF luego de 1941 en Challaco (1941, Cultral-Có (1950), Cerro Bandera (1952), Del Medio (1953) y El Sauce (1956), Catriel Oeste (1959), Medanito (1962), Puesto Hernández (1967), Loma La Lata (1971) y Filo Morado (1984) entre otros. La explotación petrolera constituyó y constituye hoy en día uno de los recursos económicos más importantes que fomentó el desarrollo provincial y de varias localidades extraandina como Rincón de los Sauces. Sin embargo, más allá de los beneficios socio-económicos, la actividad petrolera, origina una multitud de impactos en los suelos, en los procesos geomórficos y en el paisaje. Estos efectos están inmersos en un ecosistema sensible como es el desierto semiárido de la Patagonia extraandina. La vegetación del Monte (Cabrera & Willink 1973) tiene una muy lenta recuperación ante los disturbios debido a que la disponibilidad de recursos críticos como el agua, el soporte (suelo) y los nutrientes es muy limitada en el desierto (Schlesinger *et al.* 1990). Así, el reestablecimiento completo de los sedimentos para que la vegetación arraigada podría demandar mucho tiempo (Bustamante Leiva *et al.* 1999).

Las líneas sísmicas históricas posiblemente sean uno de los mejores ejemplos del impacto de esta actividad en el ecosistema del Monte. Las antiguas líneas, contabilizadas en miles, tienen varios kilómetros de largo y atravesaron diferentes pendientes, suelos y geofomas. Durante su apertura, ocurrida hace más de 50 años, se desmontaron completamente los suelos y la vegetación. Hoy en día, luego de décadas, se observa que la vegetación no se ha recuperado totalmente menos aún los suelos. La remoción de la vegetación y los suelos (microtopografía, rugosidad y horizontes) en las líneas sísmicas desencadenó impactos secundarios que continúan actuando. Uno de ellos es la captura del drenaje superficial por parte de la línea sísmica y la consecuente erosión hídrica. Este impacto es de mayor intensidad cuando las líneas se ubican en pendientes mayores a  $3^\circ$  y en suelos erosionables. Se forman cárcavas aisladas en las zonas de mayor pendiente o cárcavas conectadas a un sistema fluvial cuando el drenaje de la traza finaliza en un curso de agua con un nivel de base profundizado.

Este tipo de impactos ambientales también ocurre en las trazas de oleoductos, gasoductos y líneas de conducción (Tchilinguirian *et al.* 2003). En este caso, el efecto puede verse agravado si las trazas están sobreexcavadas en profundidad en el suelo o poseen bordo central de tierra que altera el diseño del drenaje. El bordo central

atrapa el escurrimiento difuso y captura el drenaje a lo largo de la traza. Bajo esta situación la erosión hídrica en la traza será mayor cuando más elevado y ancho sea el bordo central debido a que la erosión actuará durante mayor tiempo antes de que el bordo sea erosionado.

La construcción de pozos, junto con sus caminos de acceso origina una serie de efectos puntuales que se muestran en la Fig. 5. Se elimina la vegetación, el perfil del suelo y se altera, cuando hay pendientes, la topografía del terreno mediante taludes de corte y relleno. Los impactos al suelo y en el relieve tendrán una importancia proporcional al volumen de movimientos de suelos, que a su vez aumentan exponencialmente con la pendiente del terreno. La construcción de pozos exploratorios aislados provocan impactos puntuales, sin embargo en los yacimientos las locaciones se concentran en algunos pocos kilómetros cuadrados y el impacto es más extenso, intenso y sinérgico. En los yacimientos hay un elevado desmonte y compactación de los suelos debido a la construcción de locaciones y caminos de acceso. Ello provoca un aumento de la escorrentía y de la erosión debido al cambio del coeficiente de escorrentía.

La recuperación de la vegetación y los suelos en los yacimientos es muy lenta debido a que el hábitat original esta muy fragmentado entre zonas completamente desnudas y parches de ecosistema natural degradados. En las locaciones y caminos se perdieron totalmente los componentes y la funcionalidad del suelo y la vegetación. El terreno fue alisado, compactados y está en constante uso. Además, en muchas ocasiones, las carpetas de rodamiento de locaciones y caminos tienen materiales salinos debido a que provienen de canteras donde se explotan conglomerados con duricostras de yeso y calcáreas.

### Erosión hídrica y eólica de suelos

Se han realizado, en función de las características diferenciales de ambos tipos dominantes de erosión, hídrica y eólica y la naturaleza de los factores que controlan su extensión e importancia, dos mapas, uno de Susceptibilidad a la erosión eólica y otro de Susceptibilidad a la erosión hídrica. La estimación de los grados de erosión hídrica, en virtud de la importancia de la misma fue abordada siguiendo distintas metodologías. La más utilizada se basa en el uso de una ecuación de tipo paramétrica en la cual se incluyen una serie de factores (Ecuación universal de pérdi-

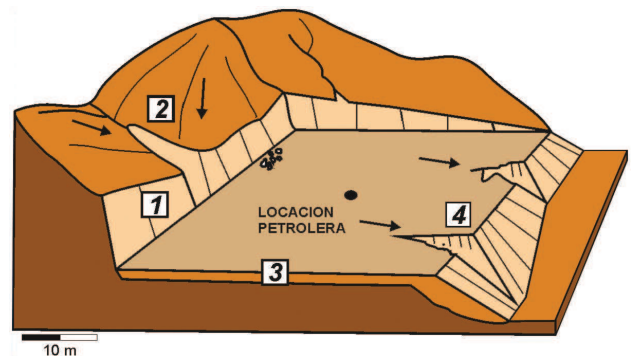


Figura 5: Impactos en locaciones petroleras. 1: Taludes de corte con remoción en masa e imposibilidad de revegetación, 2: Erosión hídrica retrogradante, 3: Suelos compactados y salinos, 4: Erosión en taludes de relleno.

da de los suelos, USLE). Esta ecuación considera diferentes parámetros relacionados con la textura de los suelos, la topografía, el clima, la cobertura vegetal y los usos del suelo. Para la realización de los esquemas de susceptibilidad a la erosión hídrica y eólica de la provincia de Neuquén, se adoptó una metodología cualitativa, basada en parámetros semejantes pero haciendo énfasis en las características edáficas y geomorfológicas (Figs. 6 y 7).

La susceptibilidad a la erosión hídrica se encuentra determinada en primer lugar por las características del horizonte superficial. Dentro de las propiedades más relevantes a la hora de definir la erosionabilidad de un

suelo se encuentra la textura, la estructura y el contenido de materia orgánica. En líneas generales las texturas gruesas (areno-gravilosas) e incluso con alto grado de pedregosidad, muestran mayor susceptibilidad a la erosión. Horizontes superficiales poco estructurados o con estructuras débiles muestran mayor labilidad frente al escurrimiento superficial. Las texturas migajosas y granulares son también más susceptibles que las de bloques. Contenidos de materia orgánica bajos indican menor cohesión de los granos minerales y, consecuentemente peor estructuración, por lo que serán más fácilmente erosionables.

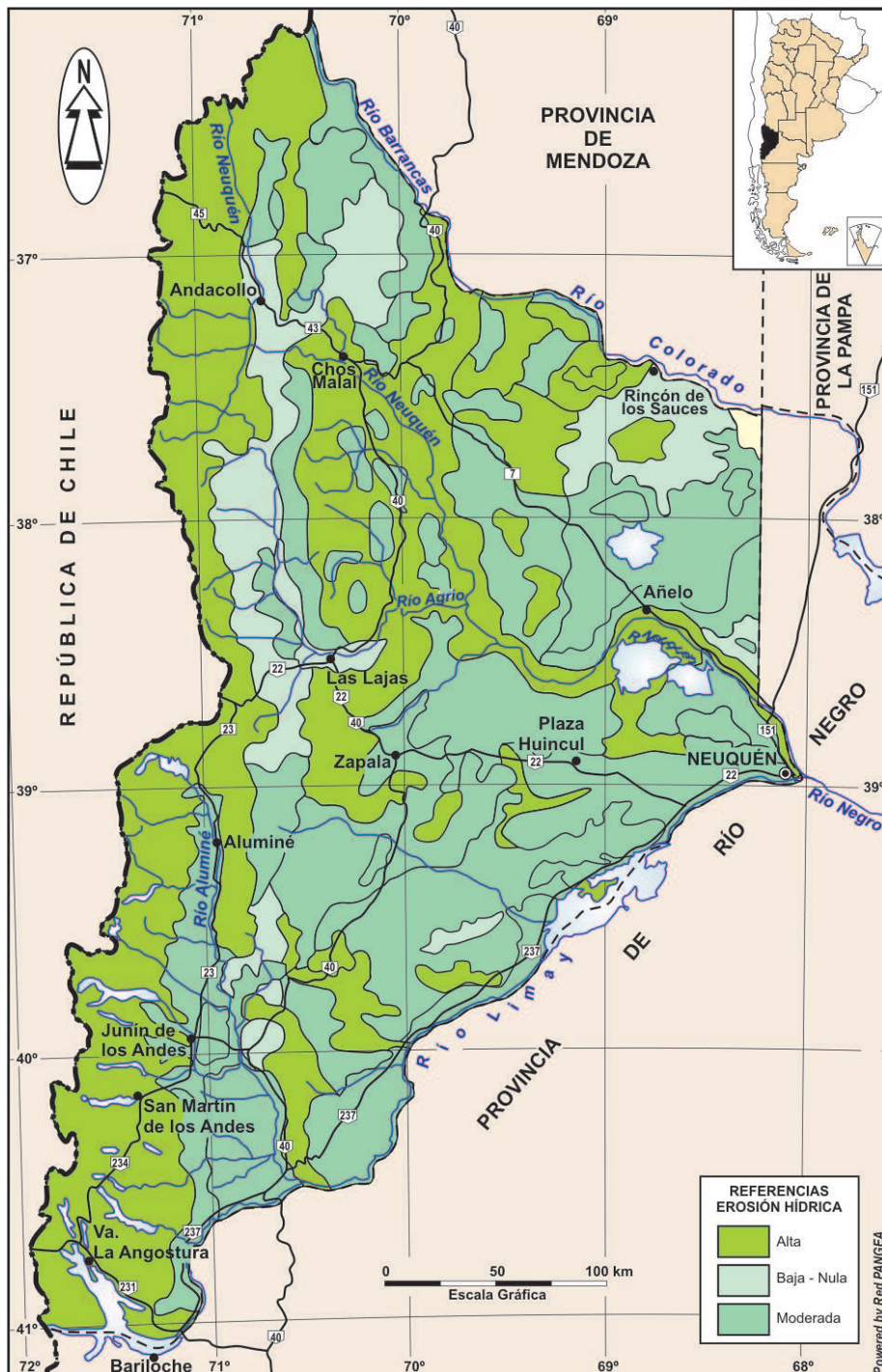


Figura 6: Erosión Hídrica.



Los Entisoles y los Aridisoles (epipedones ócricos) presentan horizontes superficiales menos resistentes a la erosión que los Mollisoles y Andisoles (epipedones mólicos, úmbricos o melánicos). La presencia de horizontes cementados o poco permeables por debajo de los epipedones también es una característica importante ya que pueden limitar la infiltración y favorecer el escurrimiento superficial. Los horizontes argílicos, cálcicos y petrocálcicos presentan escasa a nula permeabilidad y son frecuentes en los Aridisoles de la región favoreciendo consecuentemente el escurrimiento superficial. Estos horizontes aparecen en los Argides y en los Calcides principalmente.

Dentro de las características del relieve, las pendientes elevadas, los sectores con relieves relativos importantes y con alta densidad de drenaje favorecen la erosión hídrica de los suelos. Materiales originarios superficiales gruesos también la favorecen. En líneas generales las planicies aluviales, los paisajes glaciarios y los relieves labrados en diferentes tipos de rocas, particularmente los sectores en los que afloran sedimentitas y piroclastitas terciarias, favorecen la erosión hídrica. Finalmente, las condiciones climáticas subhúmedas pueden favorecer la erosión hídrica potencial. Un aspecto central es el grado y tipo de cobertura vegetal y el potencial uso que se realice en las

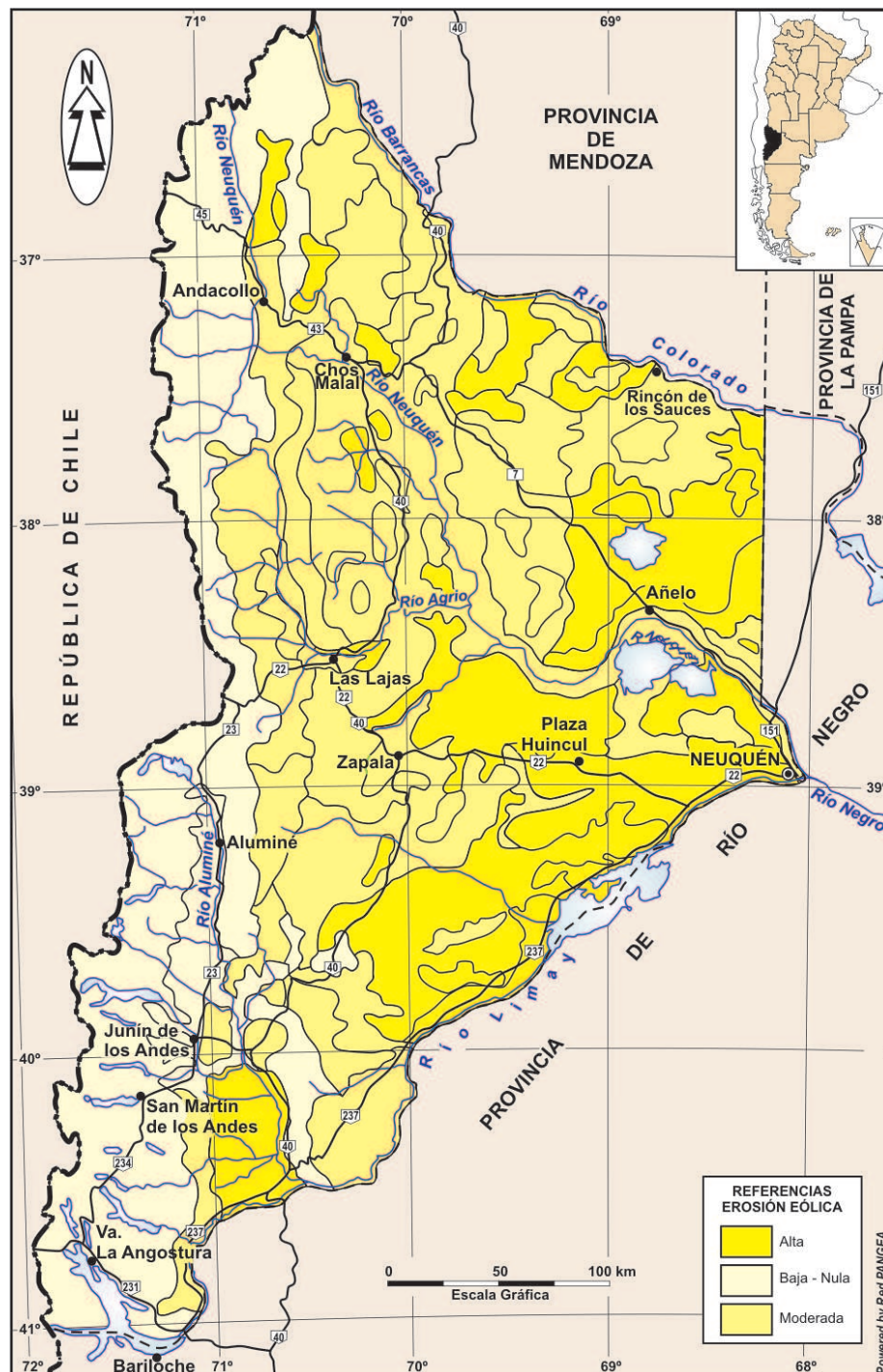


Figura 7: Erosión eólica.

tierras consideradas. Existe una relación directa entre ausencia de cobertura vegetal y erosión de los suelos. Asimismo, la vegetación arbustiva confiere menor grado de protección a los suelos que la vegetación de tipo pradera herbácea. Esta última es más frecuente en la zona occidental de la provincia, especialmente en la franja ecotonal.

En función de los parámetros señalados fueron diferenciadas tres clases de susceptibilidad a la erosión hídrica: 1) muy alta, 2) alta, 3) leve-moderada. La primera se encuentra relacionada a suelos poco desarrollados con horizontes superficiales gruesos y poco estructurados, relieves quebrados con altas pendientes, climas subhúmedos, escasa cobertura vegetal de tipo arbustiva y uso intensivo que ha generado sobrepastoreo. Las clases 2 y 3 son ampliamente dominantes en la provincia.

En lo referente a la erosión eólica, los vientos provenientes de los cuadrantes oeste y sudoeste son los de mayor poder erosivo, sobre todo si se encauzan en bajos o corredores naturales, pudiendo variar su dirección en función de la geomorfología. El volumen de material y la velocidad de los desplazamientos están en relación con los cuatro factores de erosión que se mencionan en la Tabla 4. Las partículas movilizadas por el viento se desplazan entre la vegetación produciendo alteraciones importantes y en una etapa final pueden llegar a formar una duna. Luego el agua de escurrimiento arrastra las porciones de suelo suelto, depositándolo en sitios planos o plano cóncavos (lagunas o depresiones, fajas aluviales, cunetas de caminos) que luego son la fuente de material para la formación de médanos. Así mismo, las áreas transicionales son las más vulnerables a los procesos erosivos, debido a la variabilidad del régimen de precipitaciones que caracteriza al clima semiárido de la Patagonia, estos sectores pueden ser alternativamente afectados por erosión hídrica (en períodos húmedos) y eólica (durante períodos secos), y ambos procesos potenciarse entre sí. Dentro de las tres clases definidas para la Susceptibilidad a la erosión eólica de los suelos, las clases más altas se encuentran localizadas en los sectores orientales y centrales de la provincia, con condiciones climáticas más áridas y en el ambiente de planicies y terrazas estructurales y en relieve de basamento en suelos de texturas arenosas.

### TERREMOTOS Y PELIGROSIDAD SÍSMICA

El nivel de sismicidad de cada zona es el que determina la probabilidad de que ocurra una determinada

amplitud de movimiento del suelo en un intervalo de tiempo fijado, a esto se lo conoce como peligro sísmico. A partir de los diferentes niveles de peligro sísmico se elaboran Mapas de Zonificación Sísmica. En el Mapa de Zonificación Sísmica del Reglamento INPRES-CIRSOC 103 se encuentran identificadas 5 zonas. El área de estudio queda comprendida en la zona 2, de peligrosidad sísmica moderada (INPRES 1991). Esta asignación es realizada en función de la ponderación de una serie de indicadores y variables entre las que destacan la recurrencia histórica de sismos, sus intensidades, la probabilidad de ocurrencia de sismos de magnitud alta, la localización geológico-estructural, la presencia de fallas activas y actividad geotectónica. Esta asignación es coincidente con el mapa de peligrosidad sísmica de las cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro elaborado por la AIC (Valicenti 2006), donde se utilizó la escala de Intensidad de Mercalli Modificada.

A pesar de lo antedicho es importante considerar cual puede haber sido la sismicidad en el pasado, más allá de la ventana de tiempo cubierta por la sismicidad instrumental. En tal sentido, la presencia, principalmente en la zona norte de la provincia, de grandes depósitos de remoción en masa, avalanchas de roca, los cuales han sido vinculados, entre otros factores, a la actividad sísmica (González Díaz *et al.* 2005, 2006), deja en claro la necesidad de considerar una sismicidad posiblemente mayor a la actual. En resumen, en épocas prehistóricas han ocurridos crisis sísmicas mayores a las registradas en catálogos sísmicos. Sismicidad actual moderada no es necesariamente sinónimo de un potencial sísmico moderado.

A partir de los datos de sismos ocurridos en la región, obtenidos a partir del catálogo de sismicidad instrumental de la USGS, se realizó un gráfico donde puede visualizarse la distribución areal de los mismos sobre una imagen satélite. Los datos se han agrupado según su magnitud: < 3,5; 3,5 - 4-5; 4,5-5,5 y > 5,5 Coppolecchia 2010) (Figs. 8, 9 y 10). Nótese que en algunos sectores de la provincia se observa una importante actividad sísmica que alcanza magnitudes mayores a 5 (Mw) e Intensidades (Mercalli Modificada) mayores o iguales a VI. Durante este año se registraron sismos en el noroeste de Andacollo (4,6º de intensidad) y en el este del lago Huechulafquen (5,3º de intensidad). Además se sintieron en la zona andina numerosas réplicas asociadas al sismo de Concepción ocurrido en Chile. La peligrosidad sísmica es también abordada en otros capítulos de la presente contribución por lo que se remite a su lectura.

<b>Factores de erosión</b>	<b>Características de la vegetación</b>	Composición florística Degradación	<b>Condicionan</b>	<b>Volumen de partículas en movimiento</b>
	<b>Vientos</b>	Intensidad Frecuencia Persistencia Época		<b>Tamaño de partículas en movimiento</b>
	<b>Característica edáficas</b>	Textura Estructura Contenido de humedad		<b>Velocidad de los desplazamientos</b>
	<b>Topografía</b>	Geomorfología Altitud		

Tabla 4: Factores de erosión eólica en Patagonia



### PELIGRO VOLCÁNICO

Entre los 37° y los 42° S se localiza una zona de activo volcanismo, con numerosos volcanes que presentan actividad actual e histórica. La mayor parte de los volcanes activos se ubican en territorio chileno o en la zona del límite, por lo tanto relativamente alejados de los principales centros poblados de la Patagonia Cordillerana argentina. El principal peligro volcánico es la caída de tefras y otros materiales piroclásticos. Los principales volcanes activos en Chile son el Osorno, Villarrica, Calbuco y Llaima. En territorio argentino, destaca, por su actividad, el volcán

Copahue. Asimismo se encuentran el Huanquihue en la zona del esorial del Paimún. Si bien no han ocurrido en tiempos históricos eventos de deposición de cenizas de gran magnitud, el registro geológico holoceno evidencia grandes eventos, fácilmente observables en las potentes acumulaciones de tetras (cenizas y lapilli) en la zona cordillerana, especialmente en el tramo sur de Neuquén.

El volcán Lanín es el mayor pico volcánico de Patagonia. Posee evidencias de erupciones holocenas, se ubica sobre una estructura regional de rumbo aproximada oeste-este, en la cual se localizan en Chile el volcán Villarrica. Si bien el Lanín no se encuentra demasiado cerca de Junín

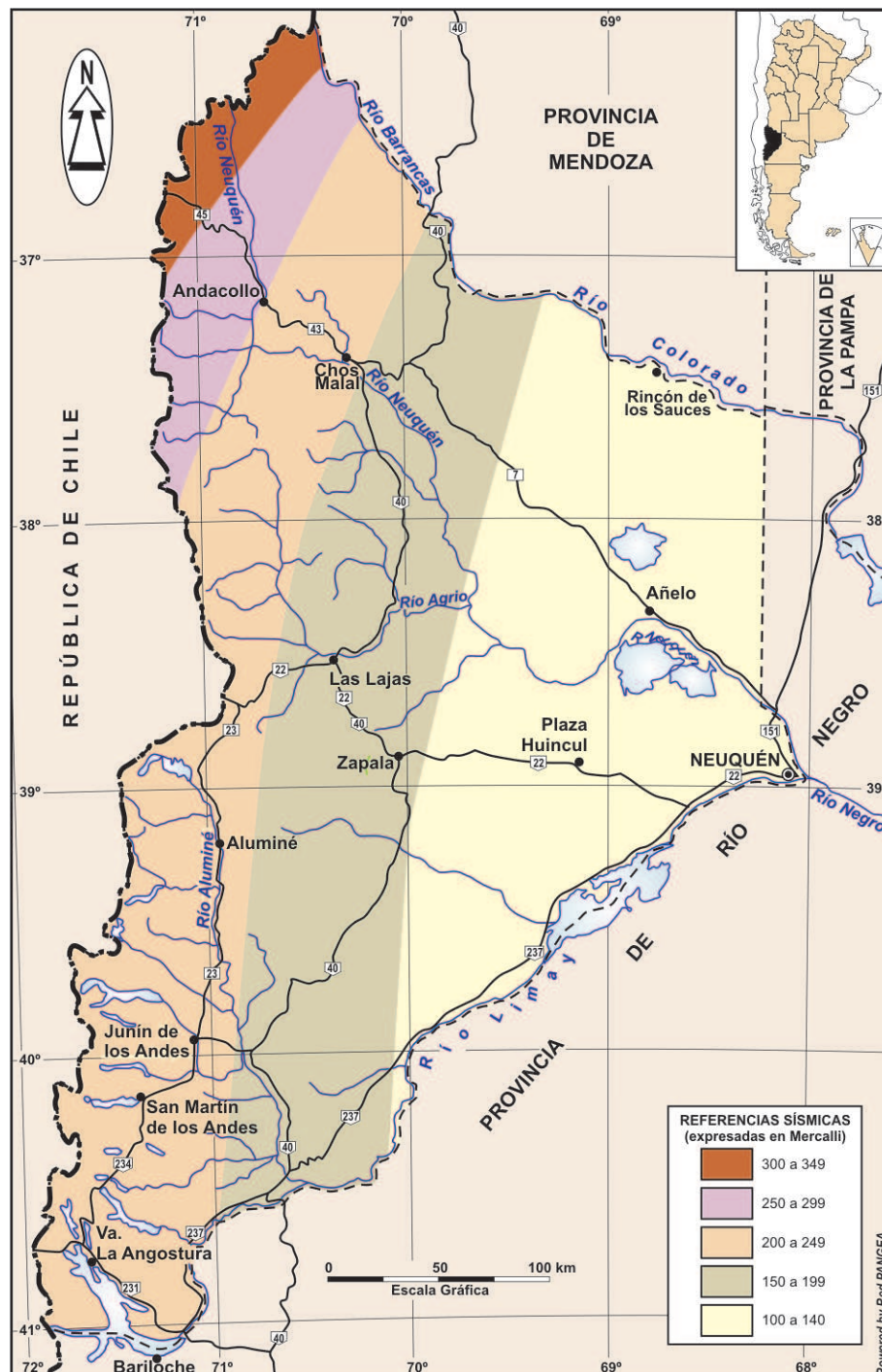


Figura 8: Mapa sísmico.

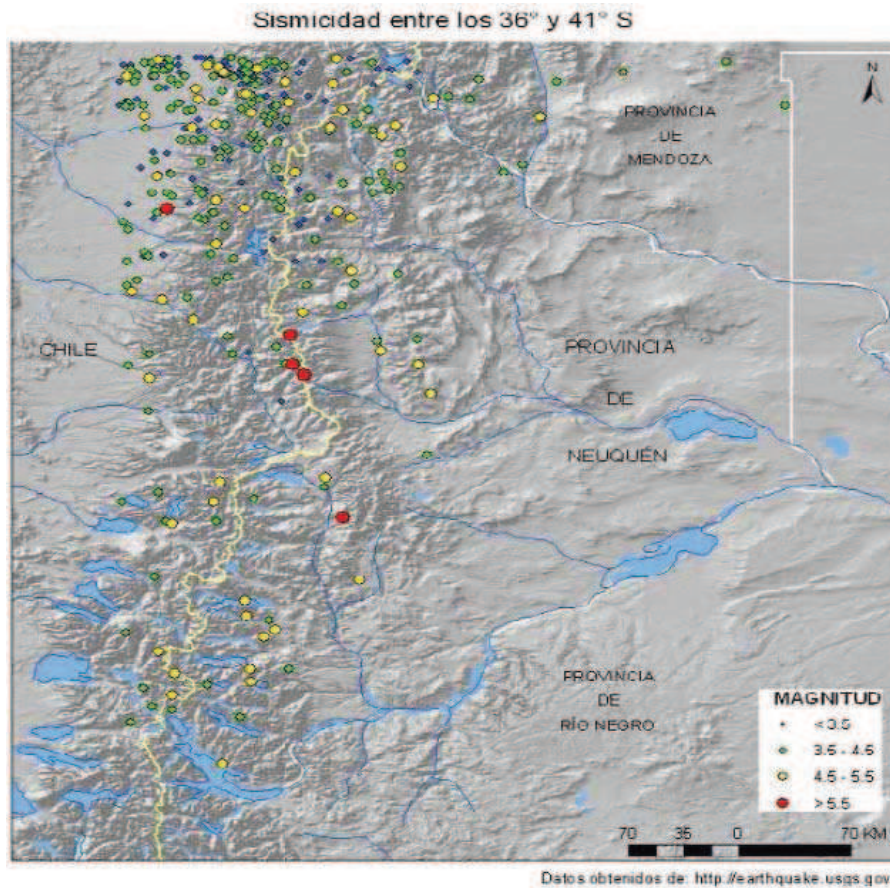


Figura 9: Epicentros de algunos sismos detectados en Neuquén y zonas aledañas.

y San Martín de los Andes, la zona aledaña al mismo constituye un destino turístico de importancia y concentra una población dispersa importante. En el caso de eventuales erupciones, en este volcán, podrían producirse otros peligros geológicos como coladas lávicas, flujos piroclásticos y especialmente lahares. Actualmente se han iniciado estudios para evaluar adecuadamente la peligrosidad de este volcán. La peligrosidad volcánica es también abordada en otros capítulos de la presente contribución por lo que se remite a su lectura.

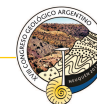
## CONCLUSIONES

En la provincia de Neuquén debido a su gran diversidad geológica, climática, edáfica y biológica, los procesos potencialmente peligrosos presentan una gran variabilidad y complejidad. La localización de asentamientos humanos, su estructura interna y funcionamiento están fuertemente influenciados por los factores ambientales y, particularmente por la configuración del terreno. En líneas generales el crecimiento desordenado y sostenido de las ciudades en el último siglo, ha tenido lugar sin el establecimiento de pautas mínimas de ordenamiento territorial que tuvieran en cuenta las características del medio físico. Un ejemplo de esta falta de previsión es la ocupación de zonas anegables (planicies de inundación, cubetas y bajos) y la mala elección de sitios para la disposición de residuos con su consecuente contaminación de las aguas.

Numerosos peligros naturales se encuentran en la región, la cual exhibe una marcada fragilidad frente a ac-

ciones antrópicas. Las inundaciones, el volcanismo (especialmente la lluvia de cenizas) y la inestabilidad de pendientes constituyen los principales factores de peligrosidad natural, mientras que la degradación del paisaje, de la vegetación y de los suelos, junto con los incendios y contaminación de aguas y suelos aparecen como peligros de tipo mixto (natural-antrópico). La cartografía temática y aplicada es una herramienta imprescindible tanto en la presentación de la información como en el establecimiento de políticas con el doble propósito de la preservación del ambiente y el de evitar daños y peligros para la localización de la población y futuros emprendimientos.

En Patagonia se han observado y registrado procesos de erosión que han actuado a través de decenas de años provocando la degradación de pastizales y finalmente el deterioro del suelo, debido principalmente a procesos de sobrepastoreo y otras actividades antrópicas como la exploración geofísica y, en menor medida, el trazado de ductos. No siempre los focos de erosión tienen un origen antrópico, por ejemplo, un bajo o laguna secos (al menos temporariamente) pueden iniciar un proceso de erosión eólica, el cual se potencia en el caso que los campos adyacentes presenten una cubierta vegetal deteriorada. Existe consenso en que el fenómeno de la desertificación es atribuible a uso inadecuado de los recursos naturales. Todavía hay margen para la mitigación de la degradación si se origina una conciencia de explotación de los recursos que se base no sólo en una estrategia de maximización de la renta sino también de sostenibilidad ambiental. Por ello, el problema de la degradación de tierras supera el nivel técnico y pasa a ser problema político y por ello miti-



gar la desertificación y rehabilitar componentes o funcionalidades del ambiente es, más que un desafío técnico, un desafío social.

### Agradecimientos

A las licenciadas Mariana Coppolechia y Roxana Chávez por su colaboración en la preparación del texto y figuras

### TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Aguiar M.R. & Sala, O.E. 1998. Interactions among grasses, shrubs, and herbivores in Patagonian grass-shrub steppes. En: Oesterheld, M., Aguiar, M.R. & Paruelo, J.M. (Eds.): Ecosistemas Patagónicos. *Ecología Austral*, 8(2): 201-210.
- Bustamante Leiva, A.D., Bünzli, A.B., Bustamante, A.P. & Venturini, C.M. 1999. Revegetación de áreas alteradas por la actividad petrolera. *Ambiental 99º*. Congreso Nacional, Actas 87-96.
- Cabrera, A.L. & Willink, A. 1973. Biogeografía de América Latina. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Washington. 122 págs.
- Castro, J.M. 1981. Erosión en la región Patagónica. Resultados de la investigación realizada. Primeras Jornadas Regionales de suelos de Patagonia, Actas: 80-115, Neuquén y San Carlos de Bariloche.
- Coppolechia, M. 2010. Sismicidad. En: Estudio Geocientífico Aplicado al Ordenamiento Territorial de Andacollo. DGAA-SEGEMAR. Informe Inédito.
- Del Valle, H.F. 1998. Uso de indicadores de degradación de ambientes áridos: La ecología del paisaje aplicada a la evaluación de suelos y tierras, págs. 43-52. En: Panigatti, J.L. & Moscatelli, G. (Eds.): Suelos, utilización de la cartografía para el uso sustentable de las Tierras, INTA, Programa Ámbito Nacional Suelos, Subprograma Reconocimiento de suelos.
- Del Valle, H.F., Elissalde, N.O., Gagliardini, D.A. & Milovich, J. 1998. Distribución y cartografía de la desertificación en la región de Patagonia. *RIA 28* (1): 1-24.
- FAO 1984. Metodología provisional para la evaluación y representación cartográfica de la desertización. PNUMA. 74 págs.
- González Díaz, E.F. & Folguera, A. 2005. El reconocimiento de avalanchas de rocas y deslizamientos de bloques rocosos prehistóricos en el área andina de Neuquén (37° 15' - 37° 30' S). *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 60 (3): 19-30.
- González Díaz, E., Fauqué, L., Giaccardi, A. & Costa, C. 2000. Las lagunas de Varvar Co Campos y Varvar Co Tapia (Norte del Neuquén, Argentina): su relación con avalanchas de rocas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. 55(3): 147-164.
- González Díaz, E.F., Giaccardi A.D. & Costa, C.H. 2001. La avalancha de rocas del río Barrancas (Cerro Pelán), provincia del Neuquén. Argentina. Su relación con la catástrofe del río Colorado (29/11/1914). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 56 (4): 466-480.
- González Díaz, E.F., Folguera, A., Costa, C.H., Wright, E. & Elissondo, M. 2006. Los grandes deslizamientos de la región septentrional neuquina entre los 36°-38° S: una propuesta de inducción sísmica. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 61 (2):197-217.
- Groeber, P. 1916. Informe sobre las causas que han producido las crecientes del río Colorado (Territorios del Neuquén y La Pampa) en 1914. Dirección General de Minas, Geología e Hidrogeología, Boletín 11 (serie B, Geología) 1-29. Buenos Aires
- INPRES. 1991. Reglamento INPRES-CIRSOC 103, actualización. INPRES. San Juan.
- LUDEPA. 1995. Evaluación del estado actual de la desertificación en áreas representativas de la Patagonia: Informe final de la Fase I. Lucha contra la desertificación en la Patagonia (LUDEPA). Cooperación técnica argentino-alemana. INTA-GTZ. 182 pp.
- Movia, C. 1984. Metodologías aplicables a la evaluación de la desertificación en la Patagonia, Actas del Seminario: Metodología Regional del proceso de desertificación pp. 154-191.
- Schlesinger, W.H., Reynolds, J.F., Cunningham, G.L., Huenneke, L.F., Jarrell, W.M., Virginia, R.A. & Whitford, W.G. 1990. Biological feedbacks in global desertification. *Science* Vol. 247: 1043-1048.
- Tchilinguirián, P. 2002. Origen y Evolución Geomórfica de los Nebkhas en el Monte Patagónico, provincia de Neuquén. 15º Congreso Geológico Argentino, Acatas en CD. El Calafate.
- Tchilinguirián, P., Guirín A. & Genovesi, L. 2003. Método de Evaluación y Mitigación del Riesgo de Erosión Aplicado a Poliductos en Ecosistemas del Monte Patagónico. 7º Congreso de Petróleo y Gas, Actas en CD.
- UNCED. 1992. Conferencia de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Desarrollo. Río de Janeiro (Brasil).
- Valicenti, J. 2006. Amenazas en la Cuenca de los ríos Limay, Neuquén y Negro, Tesis de Grado. Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas (AIC), Río Negro.
- Varnes, D.J. 1978. Slope movements types and processes. En: Schuster, R.L. & Krizek, R.J. (Eds.): Landslides analysis and control: Washington D.C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 176: 9-33.

