



**Universidad Nacional del Comahue**  
Facultad de Ingeniería  
Departamento de Geología y Petróleo  
Licenciatura en Ciencias Geológicas

---

Trabajo Final de Licenciatura

**ESTUDIO DE RIESGO GEOMORFOLÓGICO EN UN  
SECTOR DE MESETA Y PIEDEMONTE DEL NORTE  
DE LA CIUDAD DE NEUQUÉN**

Autora

Maria Gimena Chaves Fitzgerald

Directores

Diego Decurgez y Santiago Bassani

**Neuquén**  
**2020**

---

## **AGRADECIMIENTO**

A mi mamá, por todo el apoyo y sacrificio.

A la Universidad Nacional del Comahue, por brindarme una educación gratuita y de calidad.

A Diego Decurgez y Santiago Bassani, por la ayuda para la realización de este trabajo.

Al jurado, Laura Ávila, Jorge Calvo y Silvia Engelland, por sus correcciones y aportes.



---

## ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>I</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>III</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>III</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>III</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 OBJETIVOS .....	2
1.2 MARCO TEÓRICO .....	2
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	<b>8</b>
2.1 VISTA ALEGRE.....	8
2.2 NEUQUÉN.....	9
<b>3. METODOLOGÍA DE TRABAJO</b> .....	<b>11</b>
3.1 ESTUDIO DE IMÁGENES SATELITALES Y FOTOGRAFÍAS AÉREAS .....	11
3.2 ANÁLISIS LITOLÓGICO.....	11
3.3 ELABORACIÓN DE PERFILES GEOLÓGICOS .....	11
3.4 COBERTURA VEGETAL.....	12
3.5 MAPAS DE PENDIENTES, ORIENTACIÓN DE LADERAS Y RED DE DRENAJE .....	12
3.6 MAPA GEOMORFOLÓGICO Y DE VEGETACIÓN .....	12
3.7 MAPA DE ÍNDICE DE VEGETACIÓN NDVI .....	12
3.8 PELIGROSIDAD, VULNERABILIDAD, EXPOSICIÓN Y RIESGO .....	12
3.9 MAPA DE PELIGROSIDAD .....	15
3.10 MAPA DE VULNERABILIDAD.....	15
3.11 MAPA DE EXPOSICIÓN .....	16
3.12 MAPA DE RIESGO.....	16
3.13 SIMULACIÓN DE OCURRENCIA DE REMOCIÓN EN MASA .....	17
<b>4. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	<b>19</b>
4.1 UBICACIÓN .....	19
4.2 ESTRATIGRAFÍA .....	20
4.2.1 Barrio Bardas Soleadas y sector aledaño, Neuquén .....	23
4.2.2 Zona de comparación en Vista Alegre .....	30
4.3 GEOMORFOLOGÍA Y TOPOGRAFÍA.....	33
4.3.1 Barrio Bardas Soleadas y sector aledaño, Neuquén .....	33
4.3.2 Zona de comparación en Vista Alegre .....	38
4.4 CLIMA, SUELO, VEGETACIÓN E HIDROLOGÍA .....	42
4.5 POBLACIÓN Y VIVIENDAS .....	49

---

<b>5. DISCUSIÓN</b> .....	<b>52</b>
5.1 EL CASO DE LOS DESLIZAMIENTOS EN VISTA ALEGRE.....	52
5.2 LA PROBLEMÁTICA DE BARDAS SOLEADAS Y BARRIOS ALEDAÑOS EN NEUQUÉN .....	56
5.3 COMPARACIÓN ENTRE LAS ZONAS DE ESTUDIO EN NEUQUÉN Y VISTA ALEGRE.....	64
<b>6. RESULTADOS</b> .....	<b>66</b>
6.1 MAPEO CON TECNOLOGÍA SIG .....	66
6.1.1 <i>Mapa de Peligrosidad</i> .....	66
6.1.2 <i>Mapa de Vulnerabilidad</i> .....	68
6.1.3 <i>Mapa de Exposición</i> .....	69
6.1.4 <i>Mapa de Riesgo</i> .....	70
6.2 SIMULACIÓN CON SCOOPS3D USGS .....	77
<b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>79</b>
<b>8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>83</b>

---

## RESUMEN

La Ciudad de Neuquén, ubicada en la Patagonia septentrional, ha experimentado una rápida y desorganizada expansión en las últimas décadas, lo que ha llevado a la ocupación de la zona de mesetas y piedemonte en el sector norte de su ejido municipal. Estos lugares constituyen, por sus características naturales, algunos de los sectores menos apropiados para ser habitados. Pese a ello, actualmente se encuentra en su tercera etapa de construcción la urbanización Balcón de la Ciudad, en el área aledaña al barrio Bardas Soleadas. Las modificaciones que serán introducidas en el sector agravarán los procesos erosivos que afectan desde hace años a los pobladores al pie de la meseta, e inclusive podrían originar otro tipo de procesos degradacionales. Es por ello que el estudio de riesgo geomorfológico y mapa de riesgo de procesos de remoción en masa presentado en este trabajo tiene como fin hacer visible esta problemática y permitir generar recomendaciones de prevención en el sector, a partir de su comparación con la zona de Vista Alegre, a 28 km de Neuquén, afectada por deslizamientos y flujos desde el año 1994.

**Palabras claves:** riesgo geomorfológico, remoción en masa, deslizamientos, flujos.

## ABSTRACT

The city of Neuquén, located in Northern Patagonia, has experienced a quick and disorganized expansion over the last decades, leading to the settlement of people near the plateaus that surround the northern area of the city. This zone constitutes one of the least qualified places to urbanize in the city due to its natural characteristics. However, the Balcón de la Ciudad urbanization near the Bardas Soleadas neighbourhood is currently on its third stage of construction. The modifications introduced by this urbanization will worsen the erosion phenomena that have been affecting the people who live at the foot of the plateaus for years, and they could also generate other degradation processes. The geomorphological risk analysis and the landslides risk map presented in this study aim to make this social and environmental issue more visible and to suggest methods of prevention in the area, by comparing it to the area affected by mass movements since 1994 in Vista Alegre, 28 km away from Neuquén.

**Key words:** geomorphological risk, mass movements, landslides.

### 1. INTRODUCCIÓN

La Ciudad de Neuquén, capital de la provincia homónima, se ha caracterizado en las últimas décadas por un importante crecimiento poblacional, constituyendo en la actualidad la localidad más poblada de la Patagonia Argentina. Esta expansión, de acuerdo con Torrens (2015), se ha concentrado principalmente hacia el oeste y el norte, sectores que hoy representan las zonas socioeconómicamente más vulnerables de la ciudad. Son los barrios y asentamientos ubicados en estas zonas de meseta y piedemonte los que se encuentran ocupando algunas de las áreas naturalmente más desfavorables para ser habitadas. Tal es el caso del barrio Bardas Soleadas (comprendido entre los  $38^{\circ}55'47''$  -  $38^{\circ}56'13''$  de latitud sur y los  $68^{\circ}05'51''$  -  $68^{\circ}05'01''$  de longitud oeste), zona que ha sido estudiada previamente por Capua *et al.* (1999) quienes, en aquel momento, plantearon la preocupación de los habitantes del lugar por los aluviones que afectan a la zona recurrentemente debido a que la misma constituye un receptor natural del material erosionado en las laderas de la meseta. Según las autoras, este sector “había sido evaluado en un trabajo realizado por la Universidad Nacional del Comahue (1986), a solicitud del municipio, como *no adecuado* para urbanizar (oferta baja) debido a los intensos procesos erosivos que le otorgan cierto riesgo al área”. Además de estos procesos erosivos, la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa en el lugar podría verse acelerada ante la intervención antrópica sin el control y la planificación adecuados, alterando el equilibrio natural y constituyendo una amenaza para la población allí asentada (Capua y Jurio, 2011; Torrens *et al.*, 2015). De acuerdo con Jurio *et al.* (2014), las condiciones observadas en Vista Alegre, donde hace más de veinte años que se desarrollan de manera ininterrumpida movimientos gravitacionales, se podrían extrapolar a la zona de ‘bardas’ (término local para designar el borde de meseta) de la Ciudad de Neuquén, con consecuencias “(...) de mayor impacto por la cantidad de personas, viviendas e infraestructura expuestas a la amenaza.”

En función de lo descripto y en vista de la urbanización Balcón de la Ciudad en desarrollo sobre la meseta en este sector de Neuquén, surge la necesidad de la realización de un estudio de riesgo geomorfológico.

### 1.1 Objetivos

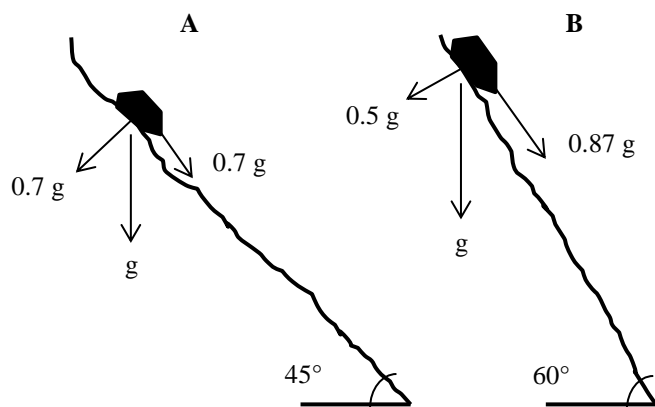
Se plantea como objetivo del presente Trabajo Final de Licenciatura determinar la posibilidad de ocurrencia de procesos de remoción en masa a través de la confección de un Mapa de Riesgo Geomorfológico (pág. 75-76) y de una simulación computacional mediante un programa específico (pág. 77-78), en el área en proceso de urbanización en la meseta y en los barrios de la zona de piedemonte aledaños a Bardas Soleadas, dentro del ejido de la Ciudad de Neuquén. De acuerdo a los resultados obtenidos, se propone la generación de recomendaciones de mitigación y de uso del territorio en la zona de bardas de la ciudad. Estos objetivos se llevarán a cabo a partir de: i) la confección de un Mapa de Peligrosidad Geomorfológica, un Mapa de Vulnerabilidad y un Mapa de Exposición; ii) la evaluación del avance en la ocupación del territorio; iii) la comparación de las características climáticas, topográficas, geomorfológicas, litológicas y de uso del territorio entre el sector de estudio y la zona de Vista Alegre en la Provincia de Neuquén, donde tienen lugar fenómenos de remoción en masa desde hace veinticinco años.

### 1.2 Marco Teórico

Lyell (1833), en su obra Principios de Geología (*Principles of Geology*), introduce el término ‘*landslip*’ para referirse a los movimientos en masa, definiéndolos como una porción del terreno deslizada pendiente abajo como consecuencia de la perturbación provocada por un terremoto, o el socavamiento generado por el escape de agua de capas infrayacentes (como se cita en Cruden, 1991). Posteriormente, Dana (1863), en su Manual de Geología (*Manual of Geology*), describe los fenómenos de remoción en masa (‘*landslides*’) como procesos favorecidos por el agua, en los cuales los materiales pueden experimentar movimientos ladera abajo por acción de la gravedad o por la saturación de materiales inferiores, o bien movimientos laterales y posteriormente hundimientos como consecuencia del empuje de las capas horizontales superiores a las arcillas saturadas infrayacentes. En 1938, Sharpe presenta una clasificación de estos procesos, en la que considera el tipo de movimiento (deslizamientos, denominados ‘*slips*’ o ‘*landslides*’ y flujos, ‘*flows*’), tipo de material (roca o detritos), velocidad (de lenta a muy rápida) y contenido en agua o hielo (Washburn, 1938). Esta clasificación es adoptada luego por Varnes (1958), quien redefine estos fenómenos como movimientos hacia abajo y hacia

afuera de materiales compuestos por rocas naturales, suelos y/o rellenos artificiales, y adiciona dos nuevas categorías a la clasificación de Sharpe: las caídas de rocas (*'falls'*) y los movimientos complejos (*'complex'*). Skempton y Hutchinson (1969) aportan su propia descripción de los movimientos de masa, definiéndolos como fenómenos originados por fuerzas gravitacionales, complementadas ocasionalmente por actividad sísmica, en los cuales el comportamiento de la ladera está condicionado por la geología, la hidrología, la topografía y el clima. Estos autores, además, realizan una diferenciación en la terminología, refiriéndose a los movimientos de remoción en masa como *'mass-movements'*, mientras que *'landslides'* es aplicado únicamente para un tipo específico de movimiento, los deslizamientos. Siguiendo esta actualización terminológica, Varnes (1978) realiza una corrección de su trabajo de 1958, red denominando estos procesos con el término *'slope movements'* en lugar de *'landslides'*, y ampliando su clasificación propuesta inicialmente con la inclusión de vuelcos (*'topples'*) y expansiones laterales (*'lateral spreads'*). Esta última clasificación es la más ampliamente aceptada en la actualidad, siendo utilizada por Cruden y Varnes (1996), Chacón *et al.* (2006; 2007), Gutiérrez Elorza (2008), Highland y Bobrowsky (2008), entre otros. Estos últimos, en el manual sobre procesos de remoción en masa del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), brindan una definición completa y actualizada de estos fenómenos, refiriéndose a los mismos como movimientos de suelo, roca y materiales orgánicos ladera abajo por efecto de la gravedad, y también las geoformas que resultan de dichos movimientos (Highland y Bobrowsky, 2008).

La remoción en masa se produce al romperse un cierto equilibrio existente entre las fuerzas gravitatorias que tienden a movilizar los materiales, y la resistencia que éstos ofrecen a tal movimiento (Chacón *et al.*, 2007) (Figura 1). Esta ruptura del equilibrio puede deberse al incremento de los esfuerzos cortantes por sobrecarga de la ladera (por el peso del agua de lluvia retenida e infiltrada o el peso de fluidos perdidos a través de las cañerías, entre otros), o bien por la reducción de la resistencia del material debido a procesos de meteorización, cambios en el contenido de agua del terreno, remoción de material en la base, eliminación de la vegetación, entre otros (Varnes, 1978; González, 2004).



**Figura 1:** Descomposición de la fuerza gravitacional  $g$  que obra sobre una roca suelta en una pendiente. En la pendiente A, la componente que tiende a deslizar la roca cuesta abajo y la componente que la empuja contra la ladera son iguales a unos  $0.7 g$ . En la pendiente B, la componente que tiende a deslizar la roca cuesta abajo ha aumentado a  $0.87 g$  ( $\text{sen } 60^\circ$ ) y la componente que empuja contra la ladera ha disminuido a  $0.5 g$ . Es mucho más probable que la roca se deslice por la pendiente B que por la pendiente A (Bloom, 1974).

De acuerdo con Varnes (1978), los fenómenos de remoción en masa se clasifican en seis tipos (Tabla 1; Figura 2). Siguiendo esta clasificación, el proceso predominante actualmente en el sector de meseta de la Ciudad de Neuquén es la caída de rocas.

**Tabla 1:** Clasificación de los movimientos en masa (adaptado de Varnes, 1978 y Gutiérrez Elorza, 2008).

Tipos de remoción en masa			
<b>Caídas y desprendimientos de rocas (<i>falls</i>)</b>	Masa de roca que se desprende de una ladera abrupta. Dependiendo de la pendiente, cae por caída libre o se moviliza saltando o rodando. Movimiento muy rápido. Los fragmentos de mayor tamaño alcanzan distancias mayores. Común en la zona de bardas de Neuquén.		
<b>Vuelcos o desplomes (<i>topples</i>)</b>	Consiste en una rotación hacia delante de una masa de material, alrededor de un eje ubicado por debajo de la misma. Se dan en materiales con estructuras verticales.		
<b>Deslizamientos (<i>slides</i>)</b>	Movimiento sobre una superficie inclinada, sin deformación interna de la masa de roca. No es imprescindible que se halle meteorizada.	<b>Rotacionales</b>	La superficie de ruptura es curva y cóncava hacia arriba. El movimiento es rotacional alrededor de un eje paralelo a las curvas de nivel de la ladera. En el sector de la cabecera, el movimiento es casi exclusivamente hacia abajo, sin rotación aparente (dejando una escarpa prácticamente vertical). Luego, la masa se inclina en dirección a la ladera. La masa rotada puede desintegrarse en bloques a partir del desarrollo de grietas transversales.
		<b>Traslacionales</b>	La superficie de deslizamiento es plana. Se da en planos de discontinuidad de las rocas donde existen resistencias distintas al cizallamiento. En muchos deslizamientos traslacionales, la masa deslizada se deforma o se quiebra en varias unidades independientes.
<b>Expansiones laterales (<i>lateral spreads</i>)</b>	Son desplazamientos o extensiones laterales de material duro sobre capas más blandas subyacentes en terrenos planos o con suaves pendientes. El movimiento se da por licuefacción o flujo del material blando.		

Tabla 1 (continuación).

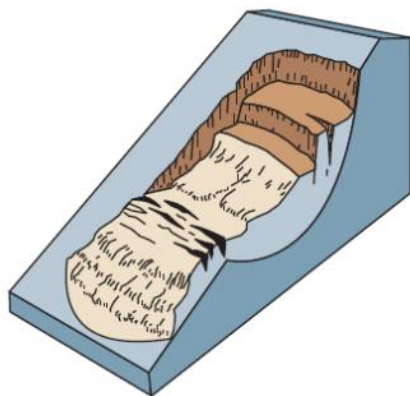
Tipos de remoción en masa	
<b>Flujos (flows)</b>	Se da en materiales fluidificados por el agua o aire. Existe deformación interna en la masa en movimiento. La velocidad de movimiento es mayor en la parte superior y decrece en profundidad. Sin superficie de deslizamiento definida. Existen distintos tipos de flujos, dependiendo de su velocidad y cantidad de materiales finos: reptación ( <i>creep</i> ) (movimiento muy lento a imperceptible), flujos de detritos ( <i>debris flows</i> ) (gran contenido de fragmentos gruesos), coladas de barro ( <i>mudflow</i> ) (al menos 50% de partículas finas).
<b>Complejos (complex)</b>	Combinaciones de dos o más de los movimientos antes descriptos. Es el caso de Vista Alegre, donde se combinan deslizamientos rotacionales y flujos.



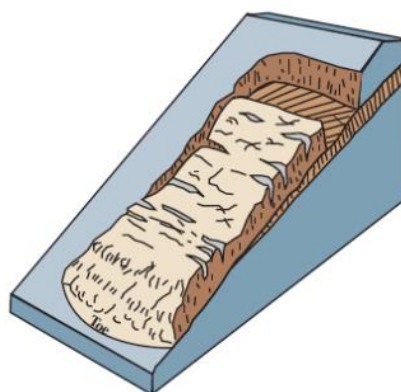
A. Caída y desprendimiento de rocas



B. Vuelcos o desplomes



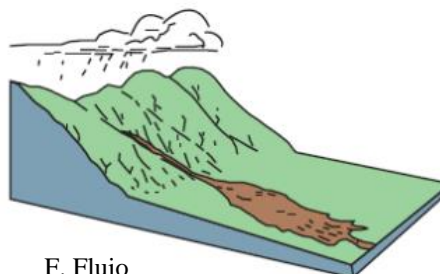
C. Deslizamiento rotacional



D. Deslizamiento traslacional



E. Expansión lateral



F. Flujo

Figura 2: Procesos de remoción en masa (Highland y Johnson, 2004).



Estos fenómenos gravitacionales son generalmente el resultado de un conjunto de causas interrelacionadas que generan la inestabilidad y el movimiento de la ladera, denominados factores condicionantes y desencadenantes respectivamente.

Los factores que condicionan la inestabilidad de la ladera y la predisponen al movimiento, aunque sin llegar a iniciarlo, son la litología (composición y grado de consolidación), estructura (presencia de zonas de debilidad: diaclasamientos y planos de estratificación), la cubierta vegetal (el anclaje de las raíces añaden fuerza y cohesión a los materiales de la ladera, aumentando su resistencia), las fuertes pendientes (a pendientes más pronunciadas, mayores fuerzas impulsoras) y el clima (influye en la cantidad de agua presente, y en el tipo y abundancia de la vegetación) (González, 2004; Chacón *et al.*, 2007; Keller y Blodgett, 2007; Gutiérrez Elorza, 2008).

Los factores desencadenantes, por otro lado, son aquellos que dan inicio al fenómeno de remoción en masa. Suelen ser, entre otros, lluvias torrenciales, vibraciones sísmicas y acciones antrópicas como la deforestación, la irrigación, pérdidas de los servicios públicos de agua, etc. (González, 2004; Highland y Johnson, 2004; Chacón *et al.*, 2007).

Dentro de la amplia variedad de movimientos de remoción en masa, los deslizamientos rotacionales son de principal importancia en el presente trabajo. La evolución de los mismos puede clasificarse en cinco fases (Chacón *et al.*, 2007) (Tabla 2). De acuerdo a su grado de actividad, se los denomina activos (con movimiento actual), durmientes o latentes (sin movimientos en el último tiempo pero con posibilidad de reactivarse) y relictos o estabilizados (sin posibilidad de reactivación) (Varnes, 1978; Gutiérrez Elorza, 2008).

**Tabla 2:** Etapas en la evolución de un deslizamiento (modificado de Chacón *et al.*, 2007).

Fase	Desarrollo	Actividad	Consecuencias
<b>Preparatoria o Incipiente</b>	Aparecen grietas de tracción en el sector de cabecera, indicios de un deslizamiento inminente del terreno.	Activo, velocidad muy variable y no siempre continua. Puede detenerse y permanecer inactivo largo tiempo antes de la reactivación o permanecer dormido indefinidamente.	Daños en los materiales afectados por las grietas.
<b>Inicio</b>	Ruidos y hundimientos locales. Aparece escarpa en cabecera.		Daños mayores en zonas del borde de la masa y algunos sobre el interior de la misma. Potencial de daños muy alto según magnitud de la masa movilizada.

Tabla 2 (continuación).

Fase	Desarrollo	Actividad	Consecuencias
<b>Desarrollo</b>	Despliegue del escarpe de cabecera y avance de la masa ladera abajo. Basculamiento hacia adentro en la cabecera.	Activo, velocidad muy variable y no siempre continua. Puede detenerse y permanecer inactivo largo tiempo antes de la reactivación o permanecer dormido indefinidamente.	Los daños se extienden a toda la masa movilizada. Potencial destructivo limitado a la trayectoria probable y a la posible extensión ladera arriba por remonte de la cabecera.
<b>Avanzado</b>	Posible remonte del escarpe principal ladera arriba.		Daños agravados en toda la masa movilizada.
<b>Agotamiento</b>	Masa en reposo. Derrumbe de material en la escarpa.	Poco activo. Reactivación posible por actividades antrópicas.	Peligrosidad para transeúntes por derrumbes en toda la masa y en el sector de escarpa. Reajustes en la masa y movimientos verticales asociados.

Los movimientos gravitacionales constituyen una problemática a nivel mundial, principalmente en las zonas dominadas por pendientes elevadas donde se emplazan centros urbanos. Si bien los desastres naturales en general se han tornado cada vez más destructivos ya que afectan a una mayor cantidad de personas, casi la totalidad de autores coinciden en señalar que es principalmente en los países en vías de desarrollo, como la Argentina, donde constituyen un mayor peligro debido a la rápida urbanización existente sin una planificación acorde, lo que lleva a un aumento de la ocupación de zonas de riesgo (UNDRO, 1979; Moreiras, 2004; Gutiérrez Elorza, 2008; Jurio *et al.*, 2014; Jurio y Torrens, 2015). Sumado a ello, Varnes (1984), en conjunto con la Asociación Internacional de Ingeniería Geológica (IAEG), afirma que a diferencia de otros fenómenos naturales, los movimientos en masa se encuentran más extendidos a nivel global. Sin embargo, las investigaciones específicas referentes a la temática son relativamente escasas en nuestro país (González Díaz, 2009).

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 Vista Alegre

La problemática asociada a los procesos de remoción en masa se materializó con los deslizamientos ocurridos en el mes de mayo de 1994 en la zona de Vista Alegre Norte, aproximadamente a 28 km de la Ciudad de Neuquén, en inmediaciones de la Ruta Provincial N° 51.

El primer trabajo allí realizado fue el informe de la Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas (AIC) a cargo de Tipping y Bassani (1994), quienes, a pedido de la Dirección General de Recursos Hidrológicos de Neuquén, realizaron un estudio en el lugar durante los días posteriores al hecho para determinar sus causas. Los autores señalaron que la saturación de agua en las arcillas provocada por el riego en la superficie de la meseta asociado a la plantación de 120 hectáreas perteneciente a la empresa frutícola Moño Azul, generó un “nivel freático artificial” por encima de los estratos arcillosos, creando planos de deslizamiento que dieron origen a los deslizamientos rotacionales. Además, lograron prever que con la continuación del aporte de agua, el fenómeno provocaría un retroceso paralelo del frente de barda, afectando las tierras en explotación.

El trabajo de Jurio *et al.* (2014), por otro lado, constituye un importante aporte sobre los factores condicionantes y desencadenantes del fenómeno. Los autores realizaron la cuantificación de la remoción en masa del sector a partir de la comparación de fotografías aéreas e imágenes satelitales utilizando herramientas SIG. En este estudio, se realizó un análisis histórico del uso del suelo en el sector y se observó la evolución de los procesos gravitacionales que lo afectan, logrando determinar medidas tales como el retroceso promedio del frente de barda y el volumen total de material movilizado. Así mismo, se determinó que los movimientos en masa continuaban en actividad, afectando a los residentes al pie de la meseta. Esta investigación concluyó con el interrogante sobre la posibilidad de ocurrencia de los mismos procesos en la Ciudad de Neuquén, donde las condiciones naturales son similares a las de Vista Alegre.

## 2.2 Neuquén

La preocupación ante los peligros naturales y sus consecuencias en la zona de bardas de la ciudad data ya de algunas décadas, quedando reflejada en el trabajo realizado por Capua *et al.* (1999), cuyo estudio sobre la problemática del barrio Bardas Soleadas surge por pedido de los propios residentes del área. Las autoras describieron el impacto de la urbanización en el sector de piedemonte de la meseta, principalmente en lo referente a la alteración del drenaje natural del agua (impermeabilización del suelo y aumento del escurrimiento). En el tiempo en el que el estudio fue llevado a cabo, sobre la meseta se desarrollaba la extracción de áridos, lo que aumentaba el tránsito de vehículos en cercanías del frente de barda favoreciendo la meteorización del conglomerado que corona los depósitos que allí afloran y aumentando la caída de material. Además, un gran basural se ubicaba en la cima de la barda en inmediaciones al barrio, provocando la obstrucción del canal pluvioaluvional y los azudes<sup>1</sup>. Sumado a ello, la existencia de senderos peatonales trazados en favor de la pendiente (aún existentes), generaba zonas de mayor escurrimiento superficial durante las lluvias. En el trabajo se remarcó que los azudes presentes no eran suficientes para contener los procesos erosivos del lugar, principalmente por no haber sido mantenidos (algunos se encontraban colmados de material) y por haberse utilizados como contenedores de desechos.

A esto se suma el hecho de que la Ciudad de Neuquén ya ha sido escenario de importantes inundaciones que afectaron en gran medida a los pobladores de las áreas próximas a la meseta. A raíz de las lluvias del año 2014, que produjeron dramáticas consecuencias en la ciudad, Jurio y Torrens (2015) realizaron un estudio explicando los motivos que condujeron a tal situación. Las autoras indicaron que la Universidad Nacional del Comahue había alertado sobre el riesgo existente a través de numerosos trabajos de investigación, pero la evaluación de riesgo nunca fue incorporada de forma efectiva a la planificación urbana hasta el momento del desastre. La combinación de una lluvia extraordinaria con la ocupación de áreas de peligro natural desencadenó una de las peores inundaciones registradas, dejando, según estas autoras, 80% de la ciudad bajo el agua. El trabajo expresa que el crecimiento urbano desorganizado, sumado a imprudencias de las

---

<sup>1</sup> Los azudes son estructuras de defensa aluvional que contienen el material erosionado desde la meseta. Se disponen sobre la ladera, en sentido transversal a la misma.

autoridades, ha dado como resultado una mayor vulnerabilidad ante los peligros ambientales, como quedó demostrado en la última inundación de la localidad.

### **3. METODOLOGÍA DE TRABAJO**

#### **Enfoque metodológico**

Los objetivos propuestos se llevaron a cabo a partir de la realización de un análisis comparativo de la zona de estudio en Neuquén con el sector de deslizamientos de Vista Alegre en relación a los factores condicionantes y desencadenantes para la ocurrencia de procesos de remoción en masa.

#### **3.1 Estudio de imágenes satelitales y fotografías aéreas**

Recopilación de imágenes satelitales Sentinel-2 de la Misión Copérnico de la Agencia Espacial Europea (ESA) con resolución espacial de 10 m para las bandas 2, 3, 4 y 8, puestas a disposición por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Fotografías aéreas del año 1972 facilitadas por la Dirección Provincial de Catastro e Información Territorial de Neuquén (DPCeIT). Imágenes satelitales históricas y actuales (2003 a 2019) de Google Earth Pro versión 7.3.2.5776. Imágenes satelitales ESRI Satellite actuales, disponibles a través de la herramienta QuickMapServices de QGIS. Análisis del material y elaboración de mapas en QGIS versión 2.14.17. Toda la información digital fue proyectada al sistema POSGAR 94 Zona 2.

#### **3.2 Análisis litológico**

El análisis litológico de las muestras recolectadas (págs. 25-29 y 31-32) se realizó macroscópicamente y con lupa binocular en las instalaciones del Centro de Investigaciones en Minerales Arcillosos (CIMAR), Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue.

#### **3.3 Elaboración de perfiles geológicos**

La información para los perfiles geológicos (págs. 24, 27, 29 y 31) fue generada a partir de la recopilación de muestras y haciendo uso de brújula Brunton, GPS Garmin eTrex 10 y cinta métrica. Para su digitalización fue utilizado el software de perfilaje SedLog versión 3.1, la herramienta profile tool de QGIS y el software de edición gráfica Inkscape versión 0.92.4.

### 3.4 Cobertura vegetal

La cobertura vegetal (págs. 44-45) se determinó con el método de línea intersección (Canfield, 1941), empleando una cinta métrica de 20 m de longitud. Con la cinta extendida, se contabilizaron los metros ocupados por vegetación y los ocupados por suelo desnudo. Se tomaron cinco medidas aleatorias sobre la ladera y cinco sobre la superficie de la meseta.

### 3.5 Mapas de pendientes, orientación de laderas y red de drenaje

La elaboración de los mapas de pendientes y orientación de laderas (págs. 37 y 41), y red de drenaje (pág. 48) se realizó a partir del Modelo Digital de Elevación (DEM) con resolución espacial 5 m del Instituto Geográfico Nacional (IGN) para ambas zonas (Neuquén: 3969-17-4-d; Vista Alegre: 3969-17-2-a). La información fue proyectada al sistema POSGAR 94 Zona 2 para su procesamiento y análisis en QGIS. La clasificación utilizada para las pendientes corresponde a la propuesta por la FAO (Vargas Rojas, 2009).

### 3.6 Mapa geomorfológico y de vegetación

Los mapas geomorfológicos (págs. 35 y 39) se realizaron a partir de fotografías aéreas de alta resolución con sensores remotos del IGN, imágenes satelitales ESRI Satellite, el DEM de cada sector y QGIS. Los mapas de vegetación (págs. 46-47), por su parte, se obtuvieron haciendo uso de imágenes satelitales Sentinel-2 y QGIS.

### 3.7 Mapa de índice de vegetación NDVI

El mapa de NDVI (págs. 46-47) se obtuvo operando las bandas 4 (rojo) y 8 (infrarrojo cercano visible) de las imágenes satelitales Sentinel-2 en QGIS, como sigue:

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)}$$

Siendo NIR la banda correspondiente al infrarrojo cercano, y R, al rojo.

### 3.8 Peligrosidad, vulnerabilidad, exposición y riesgo

Las definiciones adoptadas en el presente trabajo para los conceptos de peligrosidad, vulnerabilidad, riesgo y afines, siguen la propuesta de la Organización de Mitigación de Desastres de las Naciones Unidas (*United Nations Disaster Relief*

*Organization*) (UNDRO) del año 1979, y las adiciones realizadas por Varnes en conjunto con la Comisión de Deslizamientos y Otros Movimientos de Masa en Laderas de la Asociación Internacional de Ingeniería Geológica (*International Association of Engineering Geology Commission on Landslides and Other Mass Movements On Slopes*) (IAEG) para la UNESCO, en 1984.

**Amenaza o peligro natural (*natural hazard*)<sup>2</sup> (H):** es la probabilidad<sup>3</sup> de ocurrencia, dentro de un periodo de tiempo dado en una determinada área, de un potencial fenómeno natural destructivo.

**Vulnerabilidad (*vulnerability*) (V):** es el grado de pérdida asociado a un determinado elemento o a un conjunto de elementos en riesgo que resulta de la ocurrencia de un fenómeno natural de determinada magnitud, y se expresa en escala de 0 (sin daños) a 1 (pérdida total).

**Elementos en riesgo (*elements at risk*) (E)<sup>4</sup>:** es la población, propiedades, actividades económicas, servicios públicos, etc., que se encuentran en riesgo en un área dada.

**Riesgo específico (*specific risk*) (R<sub>s</sub>):** es el grado de pérdida esperado como consecuencia de un fenómeno natural particular, y es función del peligro natural y la vulnerabilidad.  $(R_s) = (H) (V)$ .

**Riesgo (*risk*) o Riesgo total (*total risk*) (R<sub>t</sub>):** es el número que se espera de pérdidas de vidas, personas heridas, daños en las propiedades y la disrupción de la actividad económica, debido a un fenómeno natural particular, y es el resultado del producto entre el riesgo específico y los elementos en riesgo.  $(R_t) = (E) (R_s) = (E) (H) (V)$ .

(UNDRO, 1979 p. 5; Varnes, 1984 p. 10).

Por otra parte, siguiendo las definiciones provistas en la Ley Provincial N° 2713<sup>5</sup> de Enfoque de Riesgo de la Provincia de Neuquén sancionada en el año 2010, se define: (a) **mapas de riesgo** como “representaciones cartográficas que permiten visualizar la

---

<sup>2</sup> González (2004), en la publicación sobre Peligrosidad Geológica en Argentina de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería (ASAGAI), difiere del significado propuesto por la UNDRO, y sugiere la distinción entre “peligro” (definiéndolo como el fenómeno o proceso natural) y “peligrosidad” (como la probabilidad o grado de certeza de que ese proceso en particular ocurra).

<sup>3</sup> La legislación neuquina referida al Enfoque de Riesgo define ‘amenaza’ como la “posibilidad” de ocurrencia de un fenómeno adverso. Esta es la definición optada para el mapeo de peligrosidad en el presente trabajo.

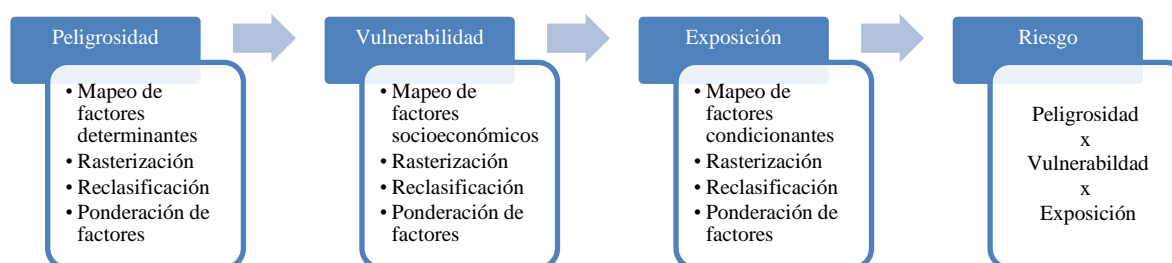
<sup>4</sup> ‘Exposición’ es un sinónimo frecuentemente utilizado en la bibliografía en castellano.

<sup>5</sup> Ley N° 2713. Honorable Legislatura Provincial del Neuquén, Neuquén, Argentina, 11 de agosto de 2010.



distribución de determinados riesgos de desastre en un territorio específico, a partir de la combinación de mapas de amenazas y vulnerabilidades” y (b) **mitigación** como “el conjunto de acciones destinadas a disminuir el riesgo y los efectos generados por la ocurrencia de un evento adverso” (Ley N° 2713, p. 2).

En función de la información disponible, la metodología para la realización de los mapas de peligrosidad, vulnerabilidad, exposición y el respectivo análisis de riesgo consistió en: (a) identificación y mapeo de los factores determinantes; (b) correlación entre los valores de estas variables y los valores de reclasificación; (c) ponderación de cada uno de los factores determinantes (Figura 3). La ponderación de cada uno de los factores considerados para los diferentes mapas se basó en el método heurístico. Este método es una forma cualitativa de estudio, donde la asignación del grado de riesgo está sujeta al criterio subjetivo de quien realiza la investigación. El análisis heurístico consiste en combinar los mapas generados, a partir de la asignación de un determinado “peso” a cada uno de ellos, de acuerdo a su importancia en la determinación del riesgo (Van Westen, 1994; Van Westen *et al.*, 1997; González, 2004; Lara Castillo, 2007; Abril Abril, 2011; Tambo Encalada, 2011; Cardozo, 2013; Mujica y Pacheco, 2013; Renda *et al.*, 2017). La reclasificación de los diferentes factores se realizó en una escala de 1 al 5, como se muestra en la Tabla 3.



**Figura 3:** Metodología para la realización de los mapas de peligrosidad, vulnerabilidad, exposición y riesgo.

**Tabla 3:** Reclasificación de los factores de peligrosidad, vulnerabilidad, exposición y riesgo.

Reclasificación	Peligrosidad	Vulnerabilidad	Exposición	Riesgo	
1	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy bajo	
2	Baja	Baja	Baja	Bajo	
3	Media	Media	Media	Medio	
4	Alta	Alta	Alta	Alto	
5	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alto	

### 3.9 Mapa de peligrosidad

La evaluación de la peligrosidad y su mapeo (págs. 66-68 y 71-72) se realizó con QGIS a partir de los siguientes factores determinantes (incluye condicionantes y desencadenantes) de la inestabilidad del sector de meseta en estudio: pendiente, distancia a la ladera, litología, aporte antrópico de agua y vegetación; su reclasificación y ponderación, considerando sus similitudes con el sector de deslizamientos de Vista Alegre.

$$P = \sum_{i=1}^n Fd_i \times Po_i$$

Donde P es la peligrosidad, Fd es el factor determinante y Po, su ponderación.

### 3.10 Mapa de vulnerabilidad

La elaboración del mapa de vulnerabilidad (págs. 68-69 y 73) se realizó en QGIS con información del año 2010 puesta a disposición por la Dirección Provincial de Estadística y Censos de la Provincia de Neuquén referente a:

- Uso del suelo.
- Calidad constructiva de la vivienda (INDEC, 2013): Considera los materiales con los que está construida la vivienda y las instalaciones internas a servicios básicos (agua de red y desagüe) de las que dispone. Una calidad satisfactoria posee materiales resistentes, sólidos y con la aislación adecuada, cañerías dentro de la vivienda e inodoro con descarga de agua. Una calidad básica se refiere a una vivienda sin los elementos adecuados de aislación o tienen techo de chapa o fibrocemento, pero cuenta con cañerías dentro de la vivienda y el inodoro posee descarga de agua. La calidad insuficiente, en cambio, no cumple con las condiciones de materiales y conexión a servicios básicos.
- Calidad de los materiales de la vivienda (Estadística y Censos de Neuquén, 2010): La calidad I se refiere a viviendas de materiales resistentes y sólidos tanto en el piso como en techo y posee cielorraso; la calidad II se refiere a hogares que posee techos sin cielorraso o bien materiales de menor calidad en pisos; la calidad III incluye viviendas de materiales poco resistentes y sólidos en techo y en pisos; la calidad IV hace referencia a viviendas de materiales de baja calidad en pisos y techos.

- Condiciones de actividad (INDEC, 2013): Incluye a la población de 14 o más años que se encontraba ocupada (desarrolló por lo menos una hora en la semana cualquier actividad, paga o no, que genera bienes o servicios para el mercado), desocupada (población en búsqueda de trabajo), o económicamente inactiva (incluye a jubilados y estudiantes, entre otros). Las personas consideradas como “no ocupadas” en este trabajo comprende tanto a las inactivas como a los desocupados.
- Índice de hacinamiento (INDEC, 2013): relación entre la cantidad total de personas del hogar y la cantidad de habitaciones que dispone el mismo (sin contar baño/s y cocina/s).

$$V = \sum_{i=1}^n C_i \times P_{o_i}$$

Siendo V la vulnerabilidad, C cada una de las condiciones socio-económicas consideradas y Po su ponderación.

### 3.11 Mapa de exposición

Para la realización del mapa de exposición (págs. 69 y 74) en QGIS, se utilizó la información del año 2010 de la Dirección Provincial de Estadística y Censos de la Provincia de Neuquén relacionada a:

- Cantidad de habitantes por barrio.
- Cantidad de viviendas por barrio.

$$E = \sum_{i=1}^n F_i \times P_{o_i}$$

Siendo E la exposición, F cada uno de los factores considerados y Po su ponderación.

### 3.12 Mapa de riesgo

La generación del mapa de riesgo (págs. 70 y 75-76) se efectuó combinando los mapas de peligrosidad, vulnerabilidad y exposición en QGIS de la siguiente forma:

$$R = \sum_{i=1}^n P_i \times P_{op_i} + V_i \times P_{ov_i} + E_i \times P_{oe_i}$$

Donde R es el riesgo total, P es la peligrosidad, Pop es la ponderación de la peligrosidad, V es la vulnerabilidad, Pov es la ponderación de la vulnerabilidad, E es la exposición y Poe, la ponderación de la exposición.

### 3.13 Simulación de ocurrencia de remoción en masa

La simulación de ocurrencia de fenómenos de remoción en masa en el sector de bardas de la Ciudad de Neuquén (págs. 77-78) fue llevada a cabo con el software USGS 3DScoops. Este programa computacional analiza la estabilidad de las laderas a partir del cálculo del factor de seguridad de cada una de las celdas del DEM del sector.

El factor de seguridad (F) es la relación entre la resistencia a la cizalla ( $s$ ) y el esfuerzo de corte ( $\tau$ ). Este factor determina el equilibrio del terreno a lo largo de una superficie dada, siendo los valores menores a uno indicadores de inestabilidad (Reid *et al.*, 2015).

$$F = \frac{s}{\tau}$$

A su vez, la resistencia al corte es definida por Reid *et al.* (2015) como:

$$s = c + (\sigma_n - u) \tan \theta$$

Donde  $c$  es la cohesión,  $\theta$  es el ángulo de fricción interna,  $\sigma_n$  es el esfuerzo normal, y  $u$ , la presión poral dada por el agua.

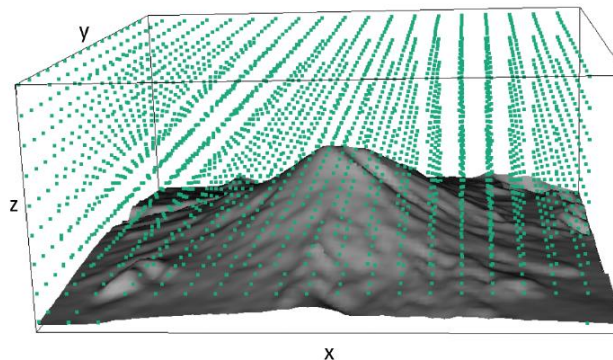
Para realizar el cálculo de F, Scoops3D utiliza un método tridimensional (versión 3D del método simplificado de Bishop o el método Ordinario Fellenius)<sup>6</sup>. Para ello, previamente se debe definir el grillado tridimensional a utilizar. Este grillado se ubica por encima del DEM (Figura 4). En el presente trabajo, las dimensiones en el eje x y el eje y se corresponden con la extensión horizontal del DEM, mientras que los puntos verticales

---

<sup>6</sup> En ambos métodos, se supone una superficie de deslizamiento circular y se divide a la roca deslizante en bloques verticales. Para la obtención de F, se calculan los momentos de las fuerzas actuantes en cada uno de estos bloques y se realizan las operaciones correspondientes de cada método. La diferencia más notable entre ambas metodologías reside en que el método Fellenius considera la inexistencia de fuerzas entre bloques, mientras el método de Bishop asume que existen fuerzas normales entre los mismos. El método Fellenius es más conservativo (es decir, da valores de F menores) que el método simplificado de Bishop. Sin embargo, el método de Bishop es más preciso. Para más detalles, véase el Manual del software USGS Scoops3D (Reid *et al.*, 2015).

mínimos y máximos (eje z) corresponden a las cotas mínimas y máximas del DEM para el sector. El grillado definido fue de 5 m x 5 m x 5 m.

El programa determina una serie de centros rotacionales a partir del grillado tridimensional definido y va incrementando su radio de acuerdo a lo establecido por el usuario (para este trabajo, el incremento radial fue de 1 m). De esta forma, el software crea ‘esferas’ artificiales, cuya intersección con el DEM define superficies curvas. Para cada una de estas superficies, se calcula el valor de F para cada celda del DEM afectada. Finalmente, el software toma el mínimo valor de F obtenido en cada celda del DEM, y estimar los volúmenes y el área asociados con estas potenciales fallas del terreno (Zhang y Wang, 2019).



**Figura 4:** Grillado 3D sobre el DEM. Cada punto verde representa el centro de múltiples superficies esféricas de prueba para el cálculo de F (Reid *et al.*, 2015).

Los valores de entrada utilizados para la simulación se encuentran en la Tabla 4. Las propiedades de los materiales se consideraron homogéneas. Se utilizó como ángulo de fricción del material el promedio de los valores presentes en el plan de urbanización del sector, de 31.3° (Yunes *et al.*, 2009). El valor de densidad seca se obtuvo a partir de los valores típicos expresados por Terzaghi *et al.* (1996) para arenas de granulometría abierta poco compactas (*mixed-grained sand, loose*), que es de 15.6 kN/m<sup>3</sup>. La cohesión del material siguió la tabla de clases de suelos del USCS (*Unified Soil Classification System*), que es de 0 kPa para suelos tanto gravosos como arenosos, limosos o arenosos con gran contenido de finos. El rango de volúmenes mínimos y máximos definidos para la determinación de la potencialidad a fallar del terreno fueron 1000 m<sup>3</sup> y 1000000 m<sup>3</sup> respectivamente. Los resultados fueron exportados a QGIS para su visualización y presentación.

**Tabla 4:** Datos de entrada para la simulación de remoción en masa en Scoops3D.

Parámetro	Valor
Ángulo de fricción	31.3°
Densidad seca (kN/m <sup>3</sup> )	15.6
Cohesión (kPa)	0



## 4. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

### 4.1 Ubicación

El área bajo estudio se sitúa en el sector de meseta, ladera y piedemonte (localmente conocida como zona de “barda”) del noroeste de la ciudad, comprendido entre los  $38^{\circ}55'47''$  -  $38^{\circ}56'13''$  de latitud sur y los  $68^{\circ}05'51''$  -  $68^{\circ}05'01''$  de longitud oeste, abarcando el barrio Bardas Soleadas y zonas aledañas. El sector de comparación en Vista Alegre, por otro lado, se localiza entre los  $38^{\circ}43'54''$  -  $38^{\circ}44'37''$  sur y los  $68^{\circ}11'43''$  -  $68^{\circ}10'50''$  oeste, en la ladera en inmediaciones de la plantación de manzanas lindante con la Ruta Provincial N° 51 (Figura 5).

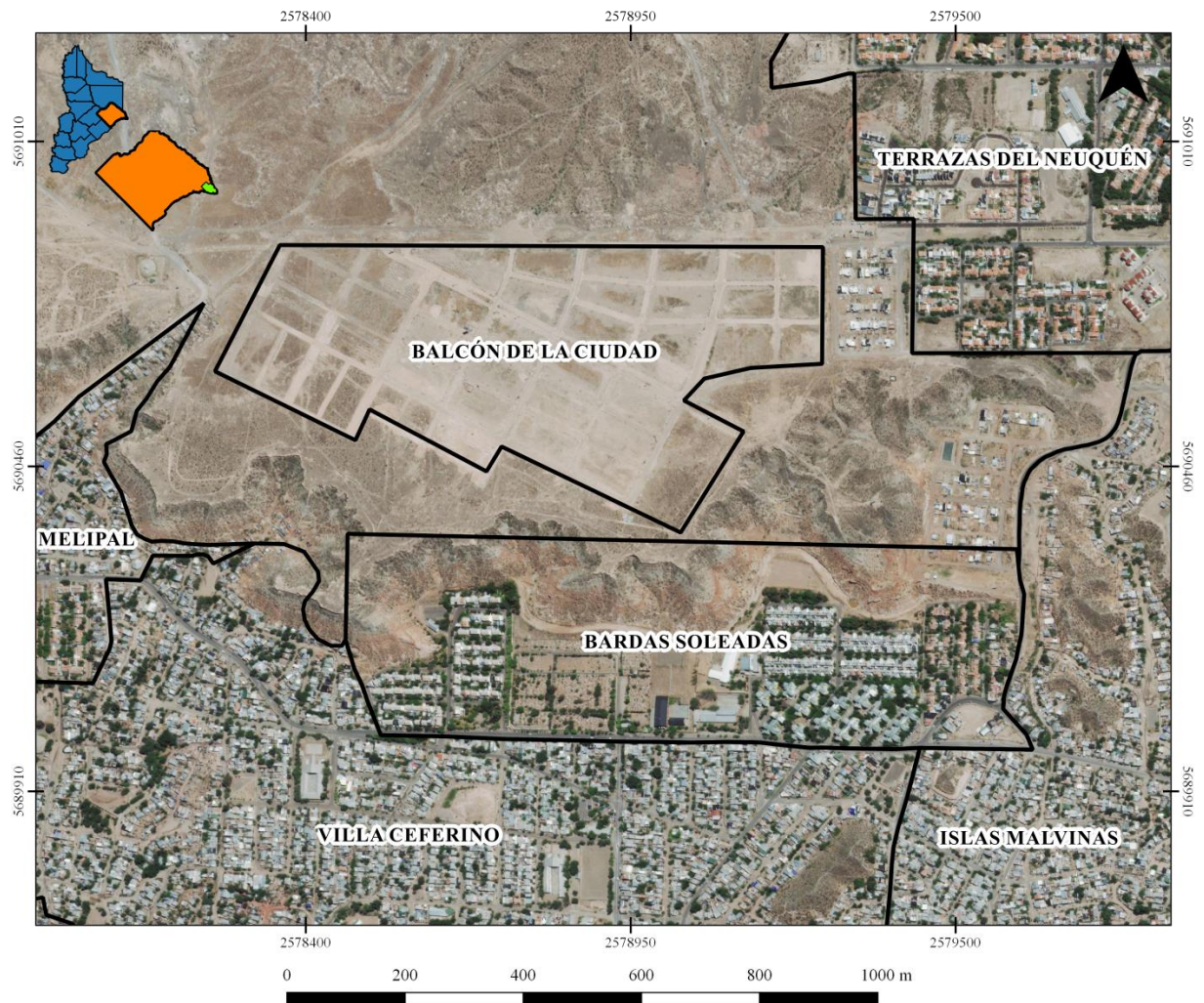
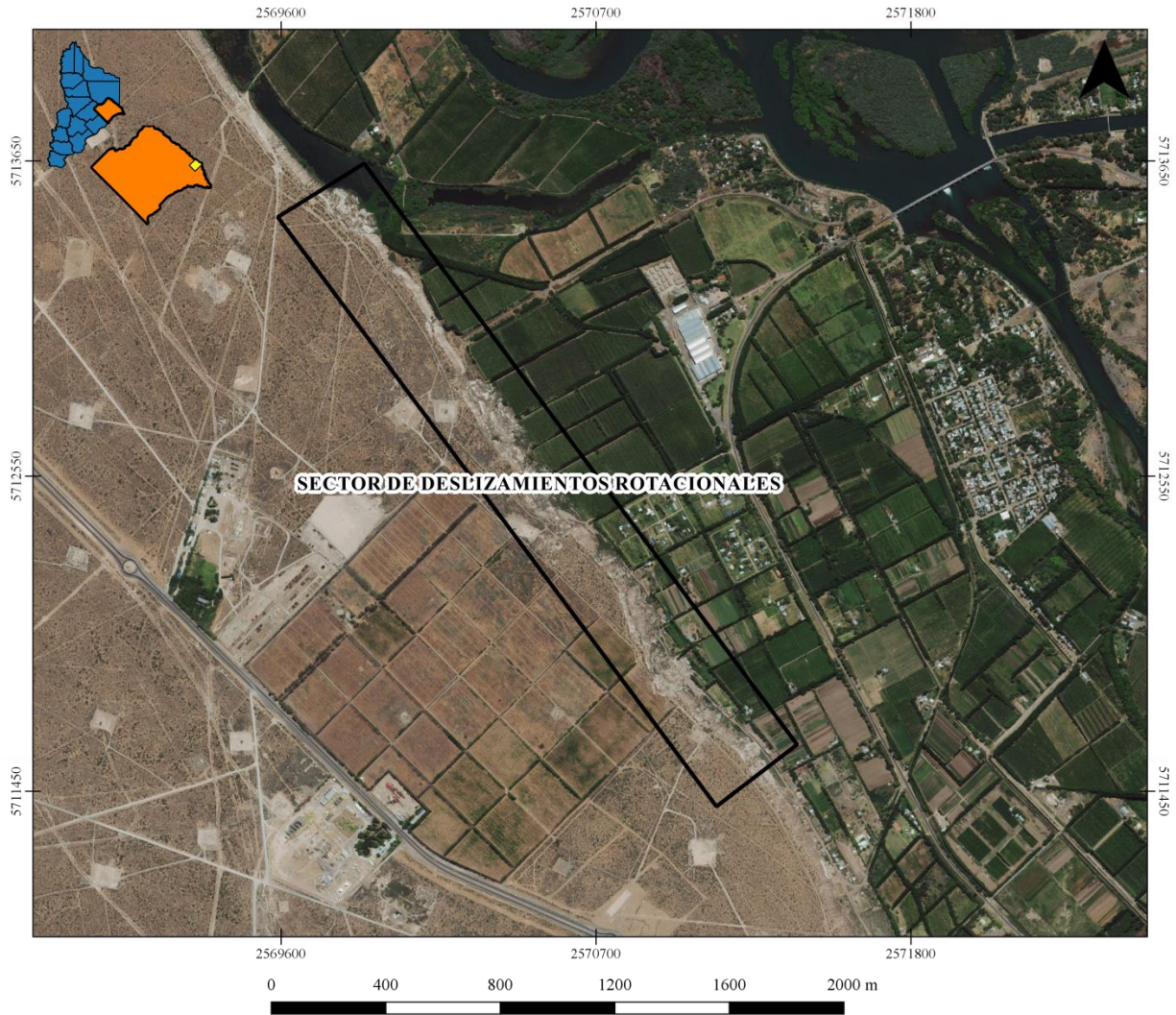


Figura 5: Ubicación de la zona de estudio en Neuquén.



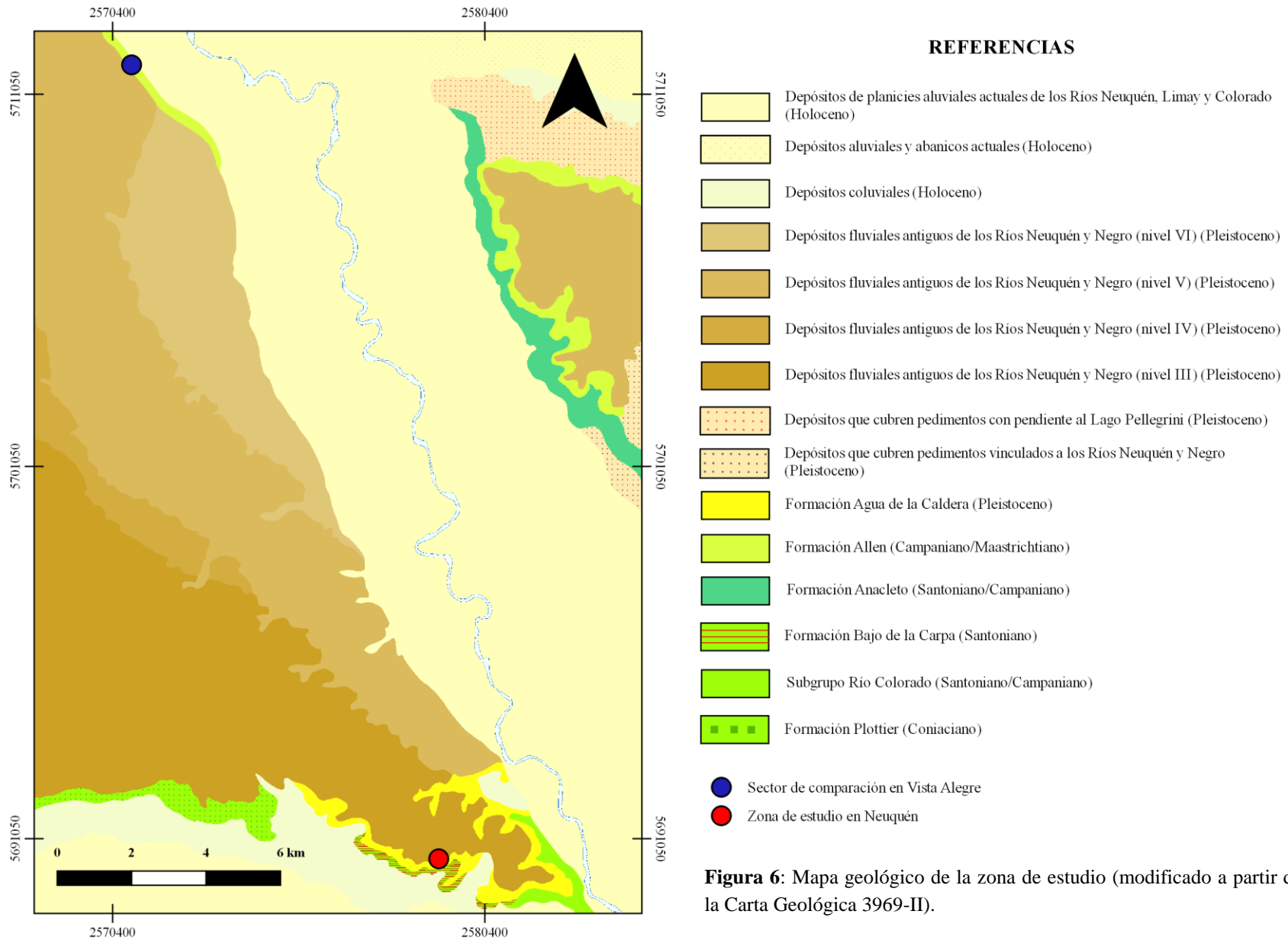


**Figura 5:** (continuación) Ubicación del sector comparativo en Vista Alegre.

## 4.2 Estratigrafía

Los depósitos aflorantes en la zona de estudio del sector noroccidental de la Ciudad de Neuquén pertenecen a la Fm. Bajo de la Carpa, la Fm. Agua de la Caldera y los conglomerados correspondientes a los depósitos fluviales antiguos del Río Neuquén y Río Negro (nivel de terraza III) (Rodríguez *et al.*, 2007). Por otra parte, en el sector de deslizamientos de Vista Alegre Norte, se encuentra la Fm. Allen y los conglomerados fluviales del nivel de terraza V del Río Neuquén (Rodríguez *et al.*, 2007) (Figura 6).

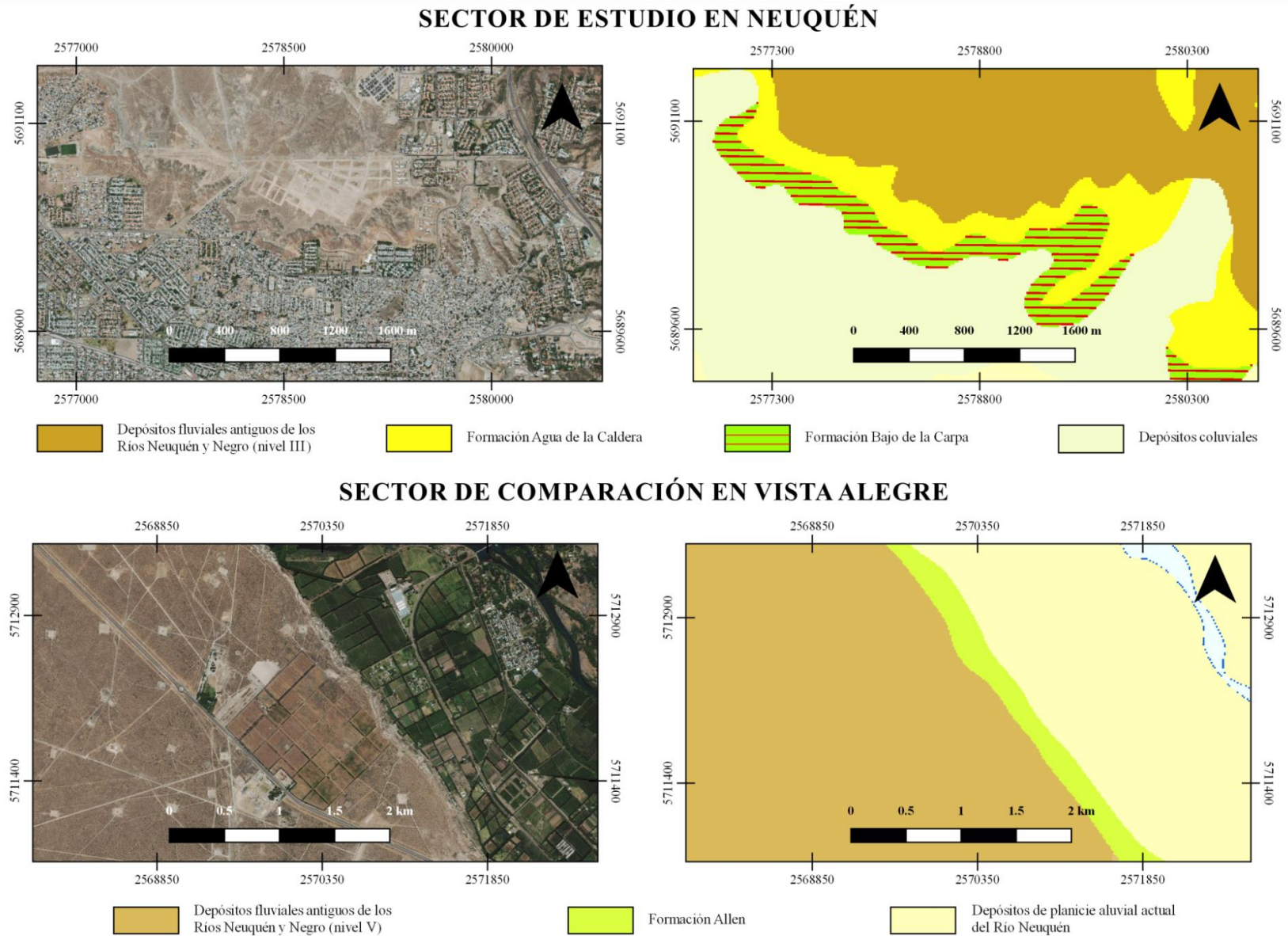
#### 4. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



**Figura 6:** Mapa geológico de la zona de estudio (modificado a partir de la Carta Geológica 3969-II).



#### 4. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



**Figura 6:** (continuación) Mapa geológico de la zona de estudio. (Arriba) Sector de estudio en Neuquén. (Abajo) Zona de comparación en Vista Alegre.

#### 4.2.1 Barrio Bardas Soleadas y sector aledaño, Neuquén

La Fm. Bajo de la Carpa, de edad Santoniana (Cretácico Superior), pertenece al Subgrupo Río Colorado de la sección superior del Grupo Neuquén. El afloramiento en el lugar de trabajo consta esencialmente de estratos fangolíticos y arenosos cuarzosos y cuarzolíticos, acompañados ocasionalmente por delgadas láminas de yeso, con continuidad lateral y dispuestos de forma horizontal, asociados a un ambiente fluvial con participación de areniscas eólicas (Heredia y Calvo, 2002; Rodríguez *et al.*, 2007; Garrido 2010; Garrido 2011; Calvo, *et al.*, 2016). La secuencia stratigráfica se continúa con la Fm. Agua de la Caldera del Pleistoceno (Cuaternario), conformando un importante hiato depositacional. Esta formación, que se encuentra en paraconcordancia con la formación subyacente, consiste en pelitas grises verdosas en gran parte de la zona y areniscas gruesas grises con restos de conchillas fósiles en un sector reducido del área de estudio, con gran aporte de material piroclástico en ambos casos (Heredia y Calvo, 2002; Rodríguez *et al.*, 2007). Coronando el perfil y de forma discordante a los estratos inferiores, se hallan los conglomerados asignados a los depósitos fluviales antiguos de los Ríos Neuquén y Negro (nivel III) del Pleistoceno (Cuaternario) (Rodríguez *et al.*, 2007).

La localización de los perfiles geológicos obtenidos se ilustra en las Figuras 7. El perfil 1-1' se halla en la Figura 8, mientras que las descripciones de las muestras correspondientes al mismo se encuentran en la Tabla 5 (Figura 9). La Tabla 6 contiene las descripciones litológicas de las muestras del sector 2-2' analizadas (Figura 10). El perfil 3-3', por último, se encuentra en la Figura 11, y la Tabla 7 contienen información de las muestras analizadas (Figura 12). La correlación entre los perfiles se presenta en la Figura 13.



#### 4. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

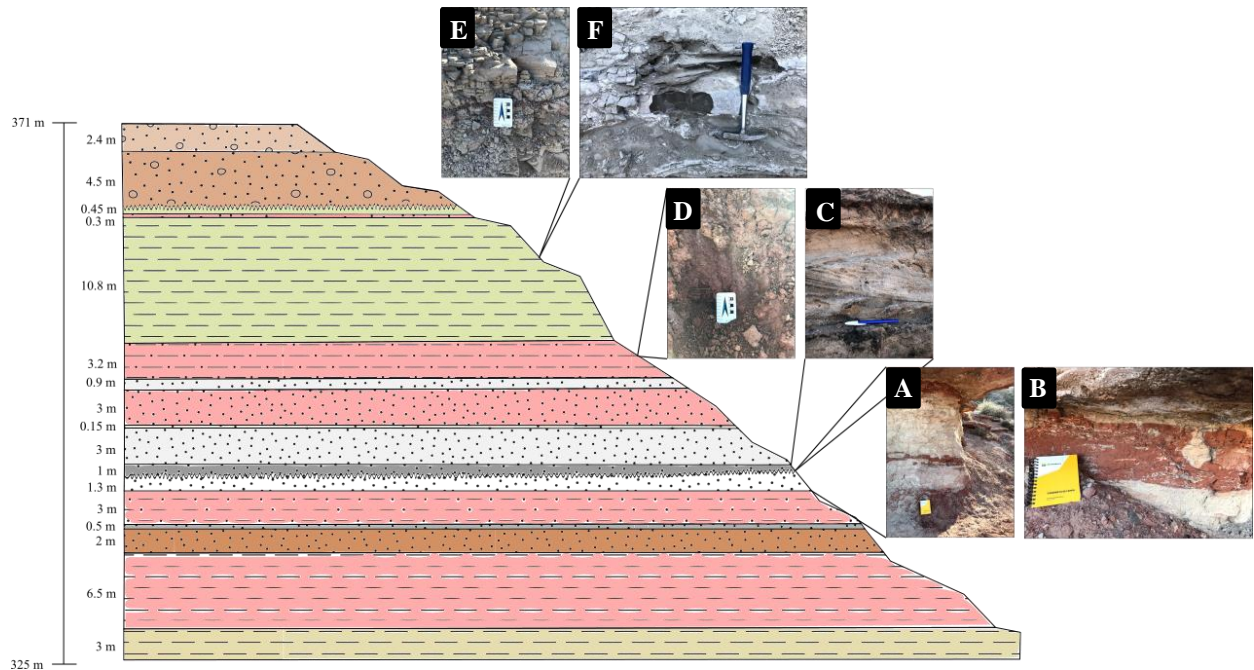


##### REFERENCIAS

- Perfil 1-1'
- Sector 2-2'
- Perfil 3-3'

Sistema de coordenadas  
POSGAR 1994 Zona 2

**Figura 7:** Ubicación de los perfiles geológicos de las bardas de la Ciudad de Neuquén. Perfil 1-1' con base en el punto  $38^{\circ}56'6''\text{S} - 68^{\circ}5'29''\text{W}$  y techo en  $38^{\circ}56'4''\text{S} - 68^{\circ}5'33''\text{W}$ ; Sector 2-2' ubicado entre los puntos  $38^{\circ}56'1''\text{S} - 68^{\circ}5'13.5''\text{W}$  y  $38^{\circ}56'0.3''\text{S} - 68^{\circ}5'12.6''\text{W}$ ; Perfil 3-3' con base en el punto  $38^{\circ}56'8.2''\text{S} - 68^{\circ}5'5.6''\text{W}$  y techo en  $38^{\circ}56'6.6''\text{S} - 68^{\circ}5'4.5''\text{W}$ .



**Figura 8:** Perfil 1-1' con escala vertical exagerada 2 veces. De base a techo: 3 m de pelitas gris-verdosas; 6.5 m de pelitas rojas; 2 m de arenisca media-gruesa castaña poco consolidada (muestra 1A); 0.5 m de arenisca gruesa gris muy consolidada; 3 m de fangolitas rojas; 1.3 m de arenisca fina-media blanca con intercalaciones

#### 4. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

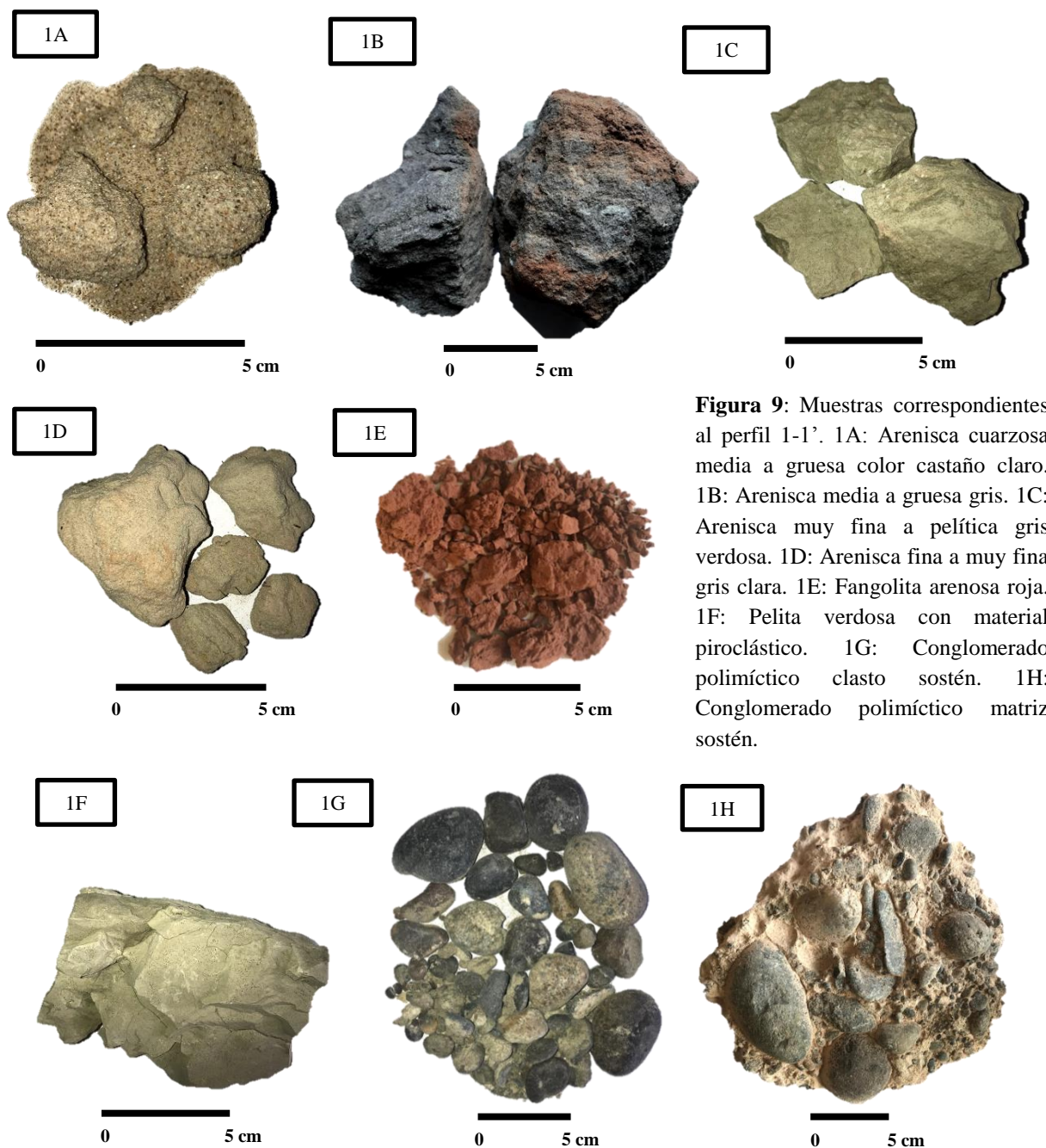
**Figura 8:** (continuación) de fangolitas rojas (fotografía A), que lateralmente presenta deformación por carga (fotografía B); 1 m que disminuye lateralmente a 0.5 m de arenisca media a gruesa gris con estratificación entrecruzadas planar y base erosiva (muestra 1B; fotografía C); 3 m de arenisca fina-media blanco-grisácea; 0.15 m de arenisca muy fina a pelítica gris verdosa (muestra 1C); 3 m de areniscas fangosas rojas; 0.9 m de arenisca gris clara fina a muy fina (muestra 1D); 3.2 m de fangolitas arenosas rojas (muestra 1E; fotografía D); 10.8 m de pelita verdosa piroclástica con una intercalación de 1 cm de arenisca fina rojiza (fotografía E), que lateralmente (punto 38°56'4"S - 68°5'31"W) aparece muy consolidada (fotografía F); 0.3 m de arenisca fina a media rojiza; 0.45 m de pelita verdosa con material piroclástico (muestra 1F); 4.5 m de conglomerado polimíctico clasto sostén con base erosiva (muestra 1G); 2.4 m de conglomerado polimíctico matriz sostén cementado (muestra 1H). **Porcentaje de materiales finos en el perfil: 65.11%.**

**Tabla 5:** Descripciones litológicas de las muestras analizadas del perfil 1-1' del sector de bardas de Neuquén.

Perfil	Muestra	Descripción
1-1'	1A	Arenisca cuarzosa media a gruesa de color castaño claro muy friable. Clasto sostén. Granos de cuarzo principalmente incoloros y en menor medida, anaranjados y blancos. Muy poca cantidad de líticos félsicos (marrón claro y rojos). Buena redondez, esfericidad media. Buena selección. No se observa matriz ni cemento.
1-1'	1B	Arenisca media a gruesa gris, clasto sostén. Bien consolidada. Gran predominancia de cuarzo incoloro, blanco y anaranjado. Clastos de feldespato y biotita aislados. Escasa presencia de líticos félsicos. Clastos subangulosos, esfericidad media. Matriz conformada por arenisca muy fina. Selección media a baja. Tintes rojizos superficiales.
1-1'	1C	Arenisca muy fina a pelítica color gris verdoso. Consolidada. Clastos poco visibles macroscópicamente. Con lupa binocular, se individualizan granos de cuarzo de tamaño de arena muy fina, predominantemente incoloros, aunque también los hay anaranjados. Muy poca cantidad de clastos líticos. Hay sectores de la muestra donde se observa una textura masiva, sin ser posible distinguir clastos.
1-1'	1D	Arenisca fina a muy fina gris clara. Friable. Clasto sostén. Granos de composición cuarzosa, incoloros, blancos y anaranjados. Los clastos son subangulosos a subredondeados y poseen esfericidad media. Selección media. Sin presencia de matriz o cemento.
1-1'	1E	Fangolita arenosa color rojo consolidada. Mal seleccionada. Clastos de composición cuarzosa tamaño arena muy fina, incoloros y blancos mayoritariamente. Escasa presencia de clastos líticos. Granos subangulosos a subredondeados. Esfericidad media a baja. Matriz fangosa color rojo.
1-1'	1F	Pelita verdosa con presencia de material piroclástico bien consolidada. Con ayuda de la lupa binocular, se individualizan clastos aislados de tamaño arena muy fina de composición cuarzosa y muy pocos líticos máficos. Macroscópicamente, se observan pequeñas trazas de color negro que en la lupa binocular presentan pátinas verde-azuladas (mineralogía irreconocible a escala de lupa binocular). Muy suave al tacto.
1-1'	1G	Conglomerado polimíctico clasto sostén poco consolidado. Predominancia de clastos líticos de tipo máfico y minoritariamente, félsicos, de colores gris oscuro, verde oscuro, marrón oscuro y claro, blanco lechoso y naranja. Clastos con tamaños oscilantes entre 17 cm a 0.5 cm abarcando dos poblaciones de tamaños: guijarro y guija, con una relación aproximada de 70% de máficos y 30% de félsicos. Redondez buena, esfericidad media en general (se encuentran clastos con esfericidad baja y otros, principalmente los de tamaño más fino, con buena esfericidad). La matriz está conformada por arena fina con gran predominio de granos de cuarzo y líticos máficos, y en menor medida, líticos félsicos.
1-1'	1H	Conglomerado polimíctico matriz sostén muy consolidado. Predominancia de clastos líticos de tipo máfico y en menor cantidad, félsicos. Colores gris oscuro, verde oscuro y claro, marrón, negro, blanco y violáceo. Tamaños de clastos de 8 cm a 0.3 cm, abarcando tres poblaciones de tamaño: sábulo, guija y guijarro. Buena redondez, esfericidad baja a media. Cemento carbonático.



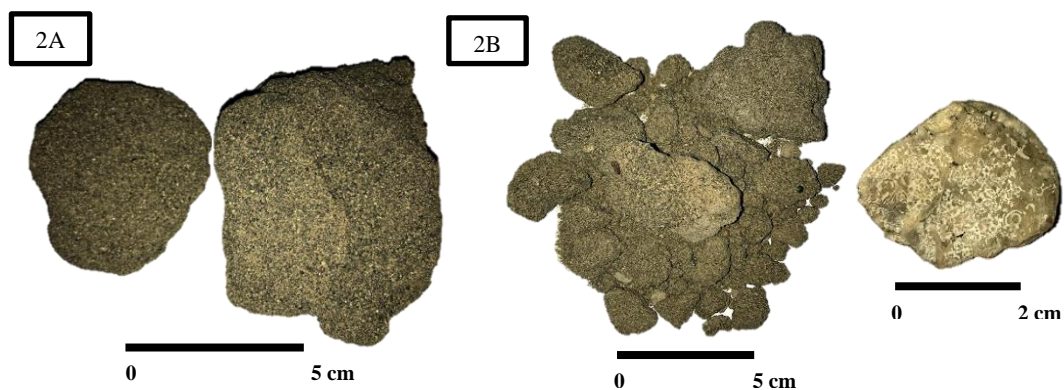
#### 4. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



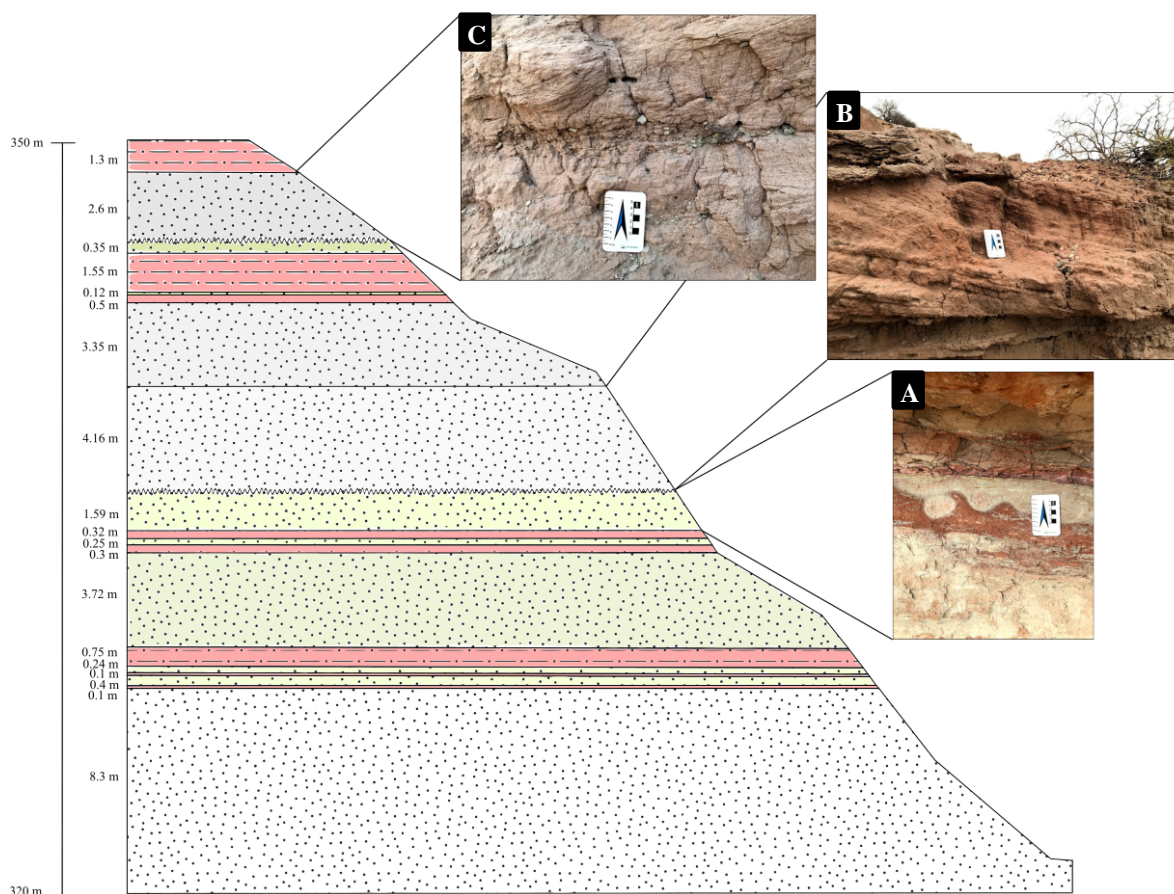
**Figura 9:** Muestras correspondientes al perfil 1-1'. 1A: Arenisca cuarzosa media a gruesa color castaño claro. 1B: Arenisca media a gruesa gris. 1C: Arenisca muy fina a pelítica gris verdosa. 1D: Arenisca fina a muy fina gris clara. 1E: Fangolita arenosa roja. 1F: Pelita verdosa con material piroclástico. 1G: Conglomerado polymíctico clasto sostén. 1H: Conglomerado polymíctico matriz sostén.

**Tabla 6:** Descripciones litológicas de las muestras analizadas del sector 2-2' de las bardas de Neuquén.

Perfil	Muestra	Descripción
2	2A	Arenisca media a gruesa color gris oscuro clasto sostén. Muy friable. Bien seleccionada. Clastos de cuarzo, líticos y material piroclástico (clastos de obsidiana? Con fractura concoide y brillo vítreo color negro); hay algunos clastos de tufita. Subangulosos, esfericidad media a alta, Sin matriz.
2	2B	Arenisca media a gruesa gris oscura clasto sostén. Muy friable. Bien seleccionada. Clastos de cuarzo, líticos y material piroclástico (clastos de obsidiana? con fractura concoide y brillo vítreo color negro). Subangulosos, esfericidad media a alta, matriz pelítica blanca. Hay resto fósil de conchillas re TRABAJADAS.



**Figura 10:** Muestras del sector 2, donde las pelitas con material piroclástico gradan lateralmente a areniscas medias y gruesas con fósiles. 2A: Arenisca media a gruesa gris oscura. En afloramiento, se observa estratificación entrecruzada en artesas. 2B (Izq.): Arenisca media a gruesa gris oscura con contenido fósil. (Der.) Bivalvo dulceacuícola (Heredia y Calvo, 2002).



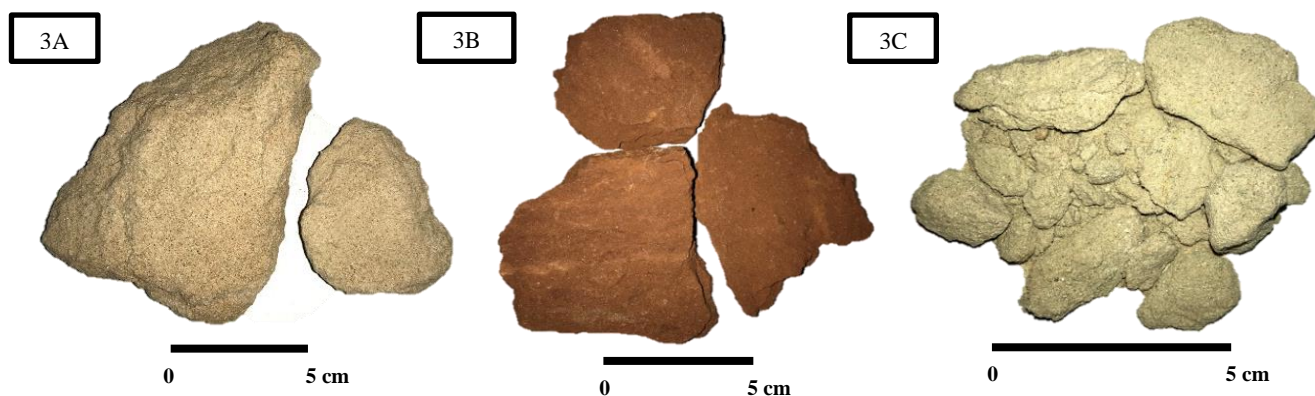
**Figura 11:** Perfil 3-3' con escala vertical exagerada 2 veces. De base a techo: 8.3 m de arenisca media blanco-amarillenta (muestra 3A); 0.1 m de fangolita roja (muestra 3B); 0.4 m de arenisca muy fina gris-verdosa cubierta superficialmente por las fangolitas rojas suprayacentes (muestra 3C); 0.1 m de fangolitas rojas; 0.24 m de arenisca fina blanco-verdosa; 0.75 m de fangolitas rojas; 3.72 m de arenisca fina gris-verdosa con venillas de yeso de 0.5 cm; 0.3 m de fangolitas rojas con venillas de yeso; 0.25 m de arenisca fina blanco-verdosa; 0.32 m de fangolitas rojas; 1.59 m de arenisca fina blanco-verdosa con intercalaciones de fangolitas rojas (se observan deformación tipo flame) (fotografía A); 4.16 m de arenisca media blanca grisácea con

#### 4. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

**Figura 11:** (continuación) estratificación entrecruzada planar y laminación paralela (muestra 3D; fotografía B); 3.35 m de arenisca fina a media color gris blanquecino (muestra 3E); 0.5 m de fangolita roja (muestra 3F); 0.12 m de arenisca fina gris verdosa (muestra 3G); 1.55 m de fangolitas rojas; 0.35 m de arenisca fina verdosa; 2.6 m de arenisca gruesa gris clara muy consolidada con estratificación entrecruzada planar y laminación paralela, e intraclastos de la arenisca infrayacente (fotografía C); 1.3 m de fangolitas rojas.  
**Porcentaje de materiales finos en el perfil: 16.4%.**

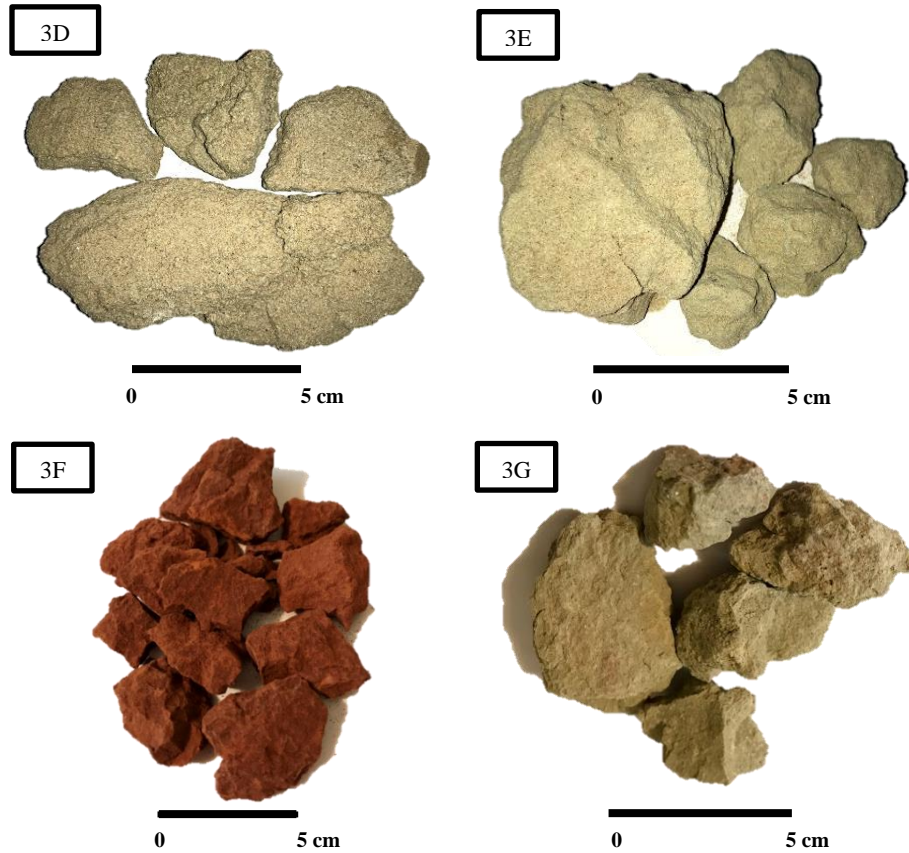
**Tabla 7:** Descripciones litológicas de las muestras analizadas del perfil 3-3' del sector de bardas de Neuquén.

Perfil	Muestra	Descripción
3-3'	3A	Arenisca media color blanco-amarillento clasto sostén. Disgregable con dificultad. Clastos de composición cuarzosa predominantemente (incoloro, anaranjado) y en menor cantidad feldespatos de color blanco, y líticos. Clastos subredondeados, esfericidad media a buena. Selección media. Sin presencia matriz y cemento.
3-3'	3B	Fangolita roja bien consolidada. Matriz sostén. Mala selección. Entre los granos de mayor tamaño, se observa un predominio de clastos blancos e incoloros de cuarzo. Granos de feldespato aislados. Escasos clastos líticos. Clastos subangulosos a subredondeados. Esfericidad media a baja.
3-3'	3C	Arenisca muy fina color gris verdoso poco consolidada. Matriz sostén. Clastos de cuarzo incoloros, anaranjados y blancos; feldespato blanco y líticos en menor proporción. Clastos subredondeados, esfericidad media a baja. Matriz pelítica color gris verdosa. Selección media a baja.
3-3'	3D	Arenisca media color blanco grisáceo clasto sostén. Muy consolidada. Clastos de cuarzo principalmente (incoloros predominantes, también los hay blancos y anaranjados). Feldespatos escasos. Clastos subangulosos a subredondeados. Esfericidad media. Escasa cantidad de líticos. Selección media. Clasto sostén. No se observa matriz ni cemento.
3-3'	3E	Arenisca fina a media color gris blanquecino. Consolidada. Clasto sostén. Granos cuarzosos incoloros, anaranjados y blancos. Escasos clastos feldespáticos blancos. Sin presencia de líticos. Clastos subredondeados, esfericidad media a baja. Selección media a baja. Clasto sostén. No se observa matriz ni cemento.
3-3'	3F	Fangolita color rojo. Bien consolidada. Matriz sostén. Clastos subangulares. Esfericidad media a baja. Clastos de cuarzo predominantes; feldespatos en poca proporción. Mala selección. No se observan líticos.
3-3'	3G	Arenisca fina gris verdosa. Consolidada. Clasto sostén. Granos de cuarzo incoloros, blancos y anaranjados; feldespáticos blancos escasos. Subangulosos a subredondeados. Esfericidad media. Selección baja. Matriz pelítica blanco verdosa. Sin cemento.

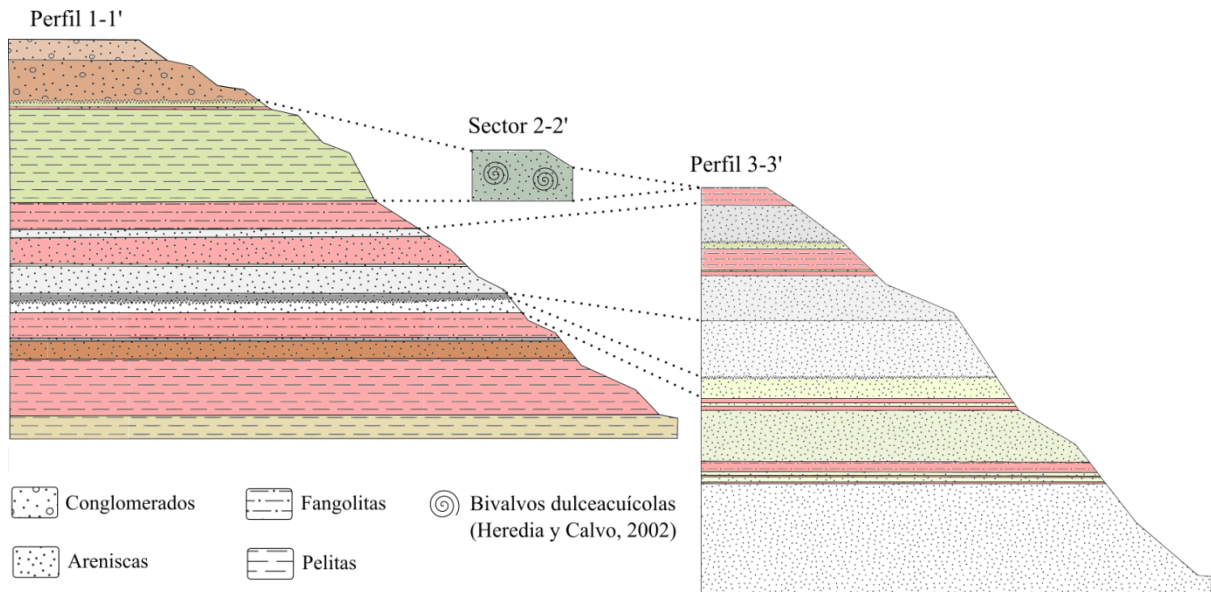


**Figura 12:** Muestras correspondientes al perfil 3-3'. 3A: Arenisca fina gris verdosa. 3B: Arenisca muy fina a fangosa roja. 3C: Arenisca media blanco-grisácea.





**Figura 12:** (continuación) 3D: Arenisca media blanco-grisácea. 3E: Arenisca muy fina gris verdosa. 3F: Arenisca muy fina roja. 3G: Arenisca fina gris verdosa.



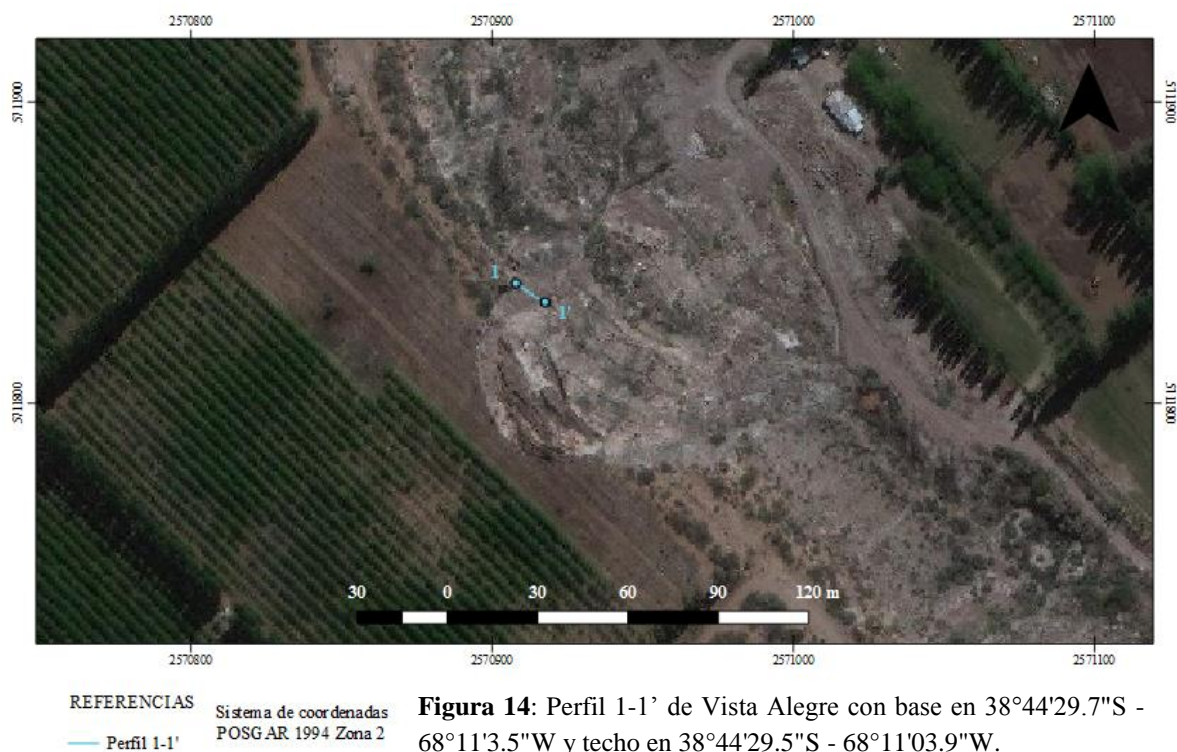
**Figura 13:** Correlación entre los perfiles 1-1' y 3-3', y el sector 2-2' de la zona de estudio en las bardas de Neuquén.

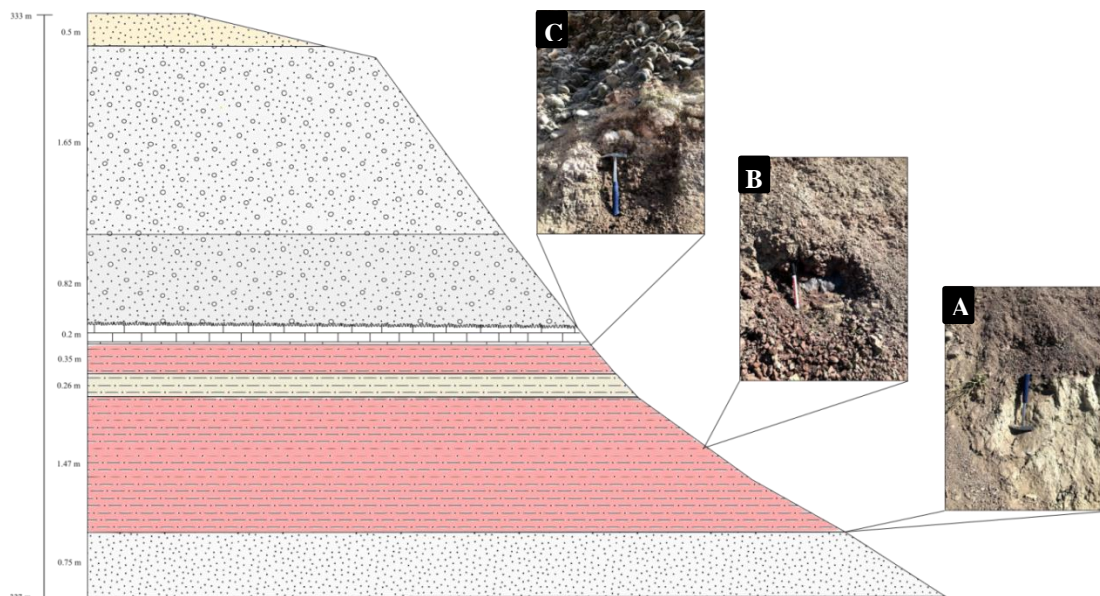


### 4.2.2 Zona de comparación en Vista Alegre

La porción basal de los afloramientos en Vista Alegre se corresponde con la Fm. Allen, base del Grupo Malargüe, datada del Campaniano tardío/Maastrichtiano temprano (Cretácico Superior) y descrita como continental a marino marginal (Rodríguez, *et al.* 2007; Rodríguez, 2011). Los depósitos están compuestos por fangolitas pardo rojizas bentónicas, alternantes con areniscas muy finas de tonalidades blanquecinas (Valles e Impiccini, 1999; Rodríguez *et al.*, 2007). Por encima, se encuentran calizas pulverulentas cuyo origen, de acuerdo con Apcarian *et al.* (2014), sería freatogenético, fruto de procesos de carbonatación por ascenso capilar de bicarbonato y posterior precipitación de  $\text{CaCO}_3$  por desecación. Hacia el tope y de forma discordante, se hallan los conglomerados asignados a los depósitos fluviales antiguos de los Ríos Neuquén y Negro (nivel V) del Pleistoceno (Cuaternario) (Rodríguez *et al.*, 2007), y por encima, una fina capa de arenas eólicas donde se desarrollan suelos de uso agrario.

La ubicación del perfil geológico levantado se indica en la Figura 14, mientras que el perfil se halla ilustrado en la Figura 15. Las descripciones de las muestras analizadas (Figura 16) se encuentran en la Tabla 8.





**Figura 15:** Perfil 1-1' de la zona de deslizamientos en Vista Alegre con escala vertical exagerada 2 veces. De base a tope, se observan: 0.75 m de arenisca muy fina gris clara seca (muestra 1A; fotografía A); 1.47 m de fangolitas pardo rojizas con slickensides y menor humedad (muestra 1B; fotografía B); 0.26 m de fangolitas verdosas húmedas; 0.35 m de fangolitas pardo rojizas con slickensides, a partir de las cuales comienzan la humedad de los estratos (muestra 1C); 0.2 m de caliza pulverulenta (muestra 1D; fotografía C); 0.82 m de conglomerado polimíctico clasto sostén sin cemento, con tamaños de clastos mayores que el conglomerado suprayacente (hasta 23 cm) (muestra 1E); 1.65 m de conglomerado polimíctico matriz sostén cementado (muestra 1F); 0.5 m de arenisca fina bien seleccionada con desarrollo de suelo. **Porcentaje de materiales finos en el perfil: 34.66%.**

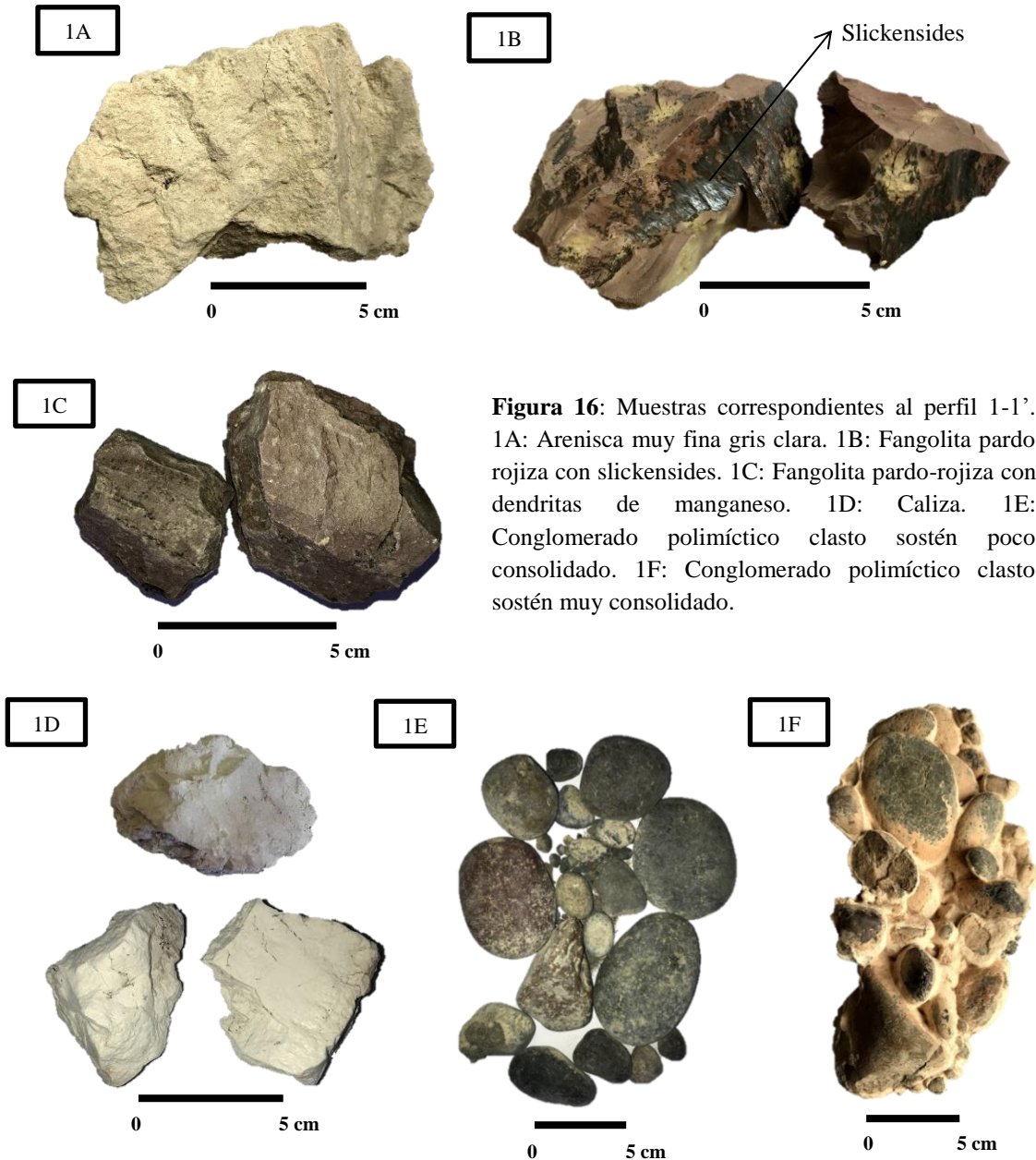
**Tabla 8:** Descripciones *de visu* y con lupa binocular de las muestras de Vista Alegre.

Perfil	Muestra	Descripción
1-1'	1A	Arenisca muy fina de color gris claro muy consolidada. Buena selección. Clastos cuarzosos incoloros y blancos subredondeados. Esfericidad media a alta. Sin matriz ni cemento.
1-1'	1B	Fangolita pardo rojiza bien consolidada. Decoloraciones ovales de color gris verdoso de arenisca muy fina a limosa (logran individualizarse algunos granos con ayuda de la lupa binocular). Presencia de slickensides. Fractura concoide.
1-1'	1C	Fangolita pardo rojiza con dendritas de manganeso de color negro. Bien consolidada. Hay decoloraciones grises-verdosas de arenisca muy fina con clastos de cuarzo. Presencia de slickensides.
1-1'	1D	Caliza blanca consolidada. Reacción fuerte con ácido clorhídrico diluido al 10%. Brillo vítreo observado a grano suelto bajo lupa binocular. Fractura concoide. Muy suave al tacto (pulverulenta). En microscopio óptico, se observan altos colores de interferencia. Presencia de trazas de color negro con pátina verdosa (dendritas de manganeso?). Interpretada como una calcita pedigenética cuya aparente baja densidad en algunas muestras puede deberse a la existencia de sectores menos cementados que otros.
1-1'	1E	Conglomerado polimíctico clasto sostén poco consolidado. Clastos líticos máficos predominantes y, en menor medida, félsicos (relación aproximada de 80% máficos y 20% félsicos); color gris, marrón claro y rojizo. Clastos de 0.6 a 22 cm, abarcando dos poblaciones de tamaños: guijarro y guija. Clastos redondeados a bien redondeados, esfericidad predominantemente baja, encontrándose clastos con buena esfericidad. Matriz arena media con cuarzo y líticos, tanto máficos (predominantes) como félsicos. Sin presencia de cemento.

#### 4. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

**Tabla 8** (continuación).

Perfil	Muestra	Descripción
1-1'	1F	Conglomerado polimíctico clasto sostén muy consolidado. Clastos líticos de tipo máfico predominantes y en menor cantidad, félsicos. Colores gris, marrón oscuro y negro, tamaños de 1 a 7 cm, abarcando dos poblaciones de tamaño: guija y guijarro. Buen redondeamiento y baja esfericidad. Cemento carbonático.



**Figura 16:** Muestras correspondientes al perfil 1-1'. 1A: Arenisca muy fina gris clara. 1B: Fangolita pardo rojiza con slickensides. 1C: Fangolita pardo-rojiza con dendritas de manganeso. 1D: Caliza. 1E: Conglomerado polimíctico clasto sostén poco consolidado. 1F: Conglomerado polimíctico clasto sostén muy consolidado.

### 4.3 Geomorfología y topografía

#### 4.3.1 Barrio Bardas Soleadas y sector aledaño, Neuquén

La acción fluvial es la principal responsable de las geoformas presentes en la Ciudad de Neuquén, siendo el relieve dominante el mesetiforme, compuesto por las terrazas (remanentes de antiguas planicies aluviales formadas por erosión fluvial) y los valles fluviales de los Ríos Neuquén y Limay (Rodríguez *et al.*, 2007; Marizza *et al.*, 2010; Capua y Jurio, 2011; González Díaz y Di Tommaso, 2011). A ello se suman los procesos de remoción en masa reducidos al sector de meseta que, junto con la erosión hídrica ocasionada por las precipitaciones, han contribuido en el modelado de las bardas.

Las geoformas principales reconocidas en la zona de estudio (Figura 17) corresponden a:

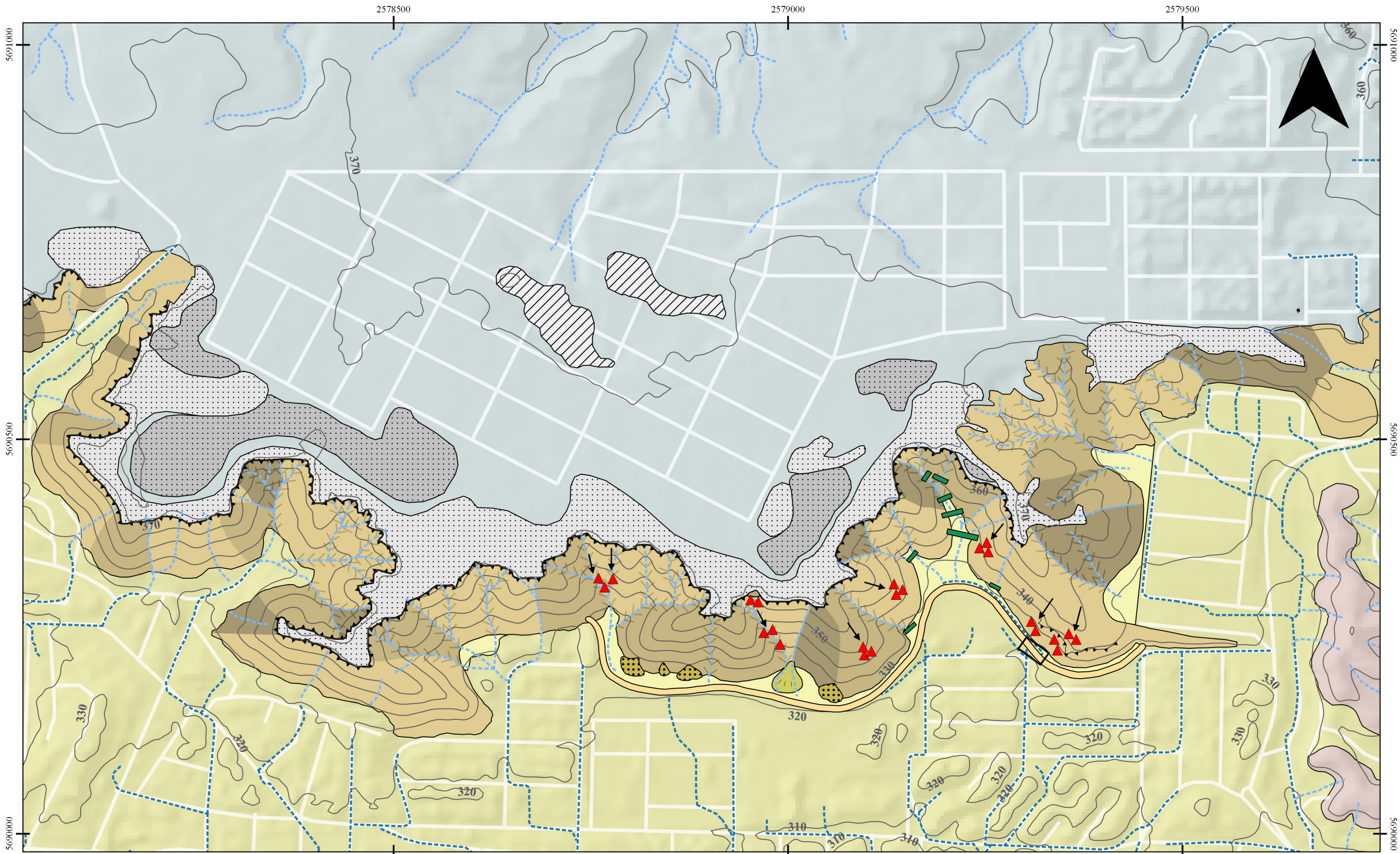
1. Meseta: Con una elevación aproximada de 370 msnm, pertenece al nivel de terrazas III del Río Neuquén. Clasificada por González Díaz y Di Tommaso (2011) como remanentes de planicies estructurales sedimentarias. Su superficie plana, con una leve inclinación hacia el N, está afectada por procesos de erosión hídrica (por salpicadura) y eólica (deflación, abrasión y acumulación) (Capua y Jurio, 2011), reconociéndose como unidades menores (Figura 18):
  - a. Cubiertas de pavimento del desierto;
  - b. Acumulaciones eólicas en sectores con mayor densidad de vegetación;
  - c. Depresiones de deflación.
2. Laderas: De acuerdo con Strahler (1950), se trata de *laderas de alta cohesión* con inclinaciones que en sectores superan los 40° a 50°. A su vez, se clasifican como *laderas compuestas*, formada por material duro en su parte superior y rocas fácilmente erosionables subyacentes (Gutiérrez Elorza, 2008). Dominan las curvaturas generales del perfil rectas, y en menor medida las hay convexas y cóncavas. El nivel conglomerádico bien cementado ubicado en la cima constituye una protección a la erosión de las capas menos consolidadas que lo infrayacen, lo que resulta en pendientes abruptas en algunos sectores; además, existen leves escalonamientos generados por la erosión diferencial entre las areniscas gruesas muy compactas y las capas finas más friables ubicadas por debajo (González Díaz y Di Tommaso, 2011) (Figura 19). Las laderas se encuentran afectadas por:



- a. Meteorización física (principalmente haloclastía y crioclastía) que genera conos de detritos de tamaño reducido en algunos sectores;
  - b. Erosión hídrica, con el desarrollo de cárcavas en los sectores con pendientes menores, donde transversalmente se han construido defensas aluvionales (azudes);
  - c. Procesos de remoción en masa, mayormente caída de rocas provenientes de los estratos más consolidados que pierden sustento al erosionarse los materiales menos litificados por debajo (Keller y Blodgett, 2007) (Figura 20).
3. Pedimento: Geoforma erosiva donde se produce la depositación de los sedimentos erosionados de las laderas. El pie de la meseta, donde comienza el pedimento, se encuentra a 330 msnm. Sobre esta unidad aparecen:
- a. Depósitos aluviales y coluviales por detrás del terraplén, con el desarrollo de un pequeño abanico aluvial en el sector lindante con la escuela secundaria y el cementerio del barrio Bardas Soleadas;
  - b. Remanentes de erosión o ‘cerros testigo’ en el área correspondiente a los barrios Villa Ceferino e Islas Malvinas, los que evidencian la extensión que supo tener la meseta (Capua y Jurio, 2011).

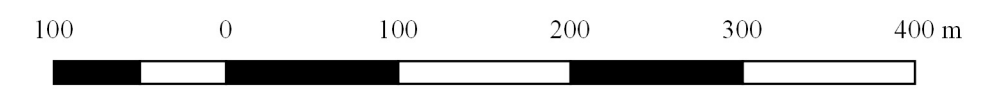
Las pendientes en el sector de estudio (véase *Sección 3.5*) alcanzan valores superiores al 60% en la ladera, clasificándose como *escarpadas a muy escarpadas*; sobre la meseta, la superficie es *plana a ligeramente inclinada* (0-5%), mientras que en el sector de pedimento, ronda los 15%, siendo *fuertemente inclinado* (Vargas Rojas, 2009) (Figura 21). La orientación preferente de las laderas es hacia el sur-sudeste, constituyendo laderas de umbría.





**REFERENCIAS**

- |  |                          |               |                    |                               |                                   |
|--|--------------------------|---------------|--------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| — Curvas de nivel equidistancia 10 m           | <b>Meseta</b>            | <b>Ladera</b> | ◀◀◀ Cárcavas       | <b>Pedimento</b>              | <b>Obras de defensa aluvional</b> |
| - - - Red de drenaje natural                   | ••• Meseta               | Recta         | ▲ Escarpa          | ■ Pedimento                   | ■ Azudes                          |
| - - - Red de drenaje alterada por urbanización | ▨ Depresión de deflación | Convexa       | ■ Abanico aluvial  | ■ Material aluvial y coluvial | ■ Terraplén                       |
| — Trazado de calles                            | ••• Acumulación eólica   | Cóncava       | ■ Cono de detritos | ■ Remanente de erosión        | ■ Toma a conducción subterránea   |
| ••• Pavimento del desierto                     | ▲ Caída de rocas         | ■ Alero       |                    |                               |                                   |



Sistema de coordenadas  
POSGAR 1994 Zona 2

**Figura 17** : Geomorfología y topografía del sector de estudio en la Ciudad de Neuquén.



#### 4. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



**Figura 18:** (Izq.) Pavimento del desierto sobre la meseta. (Der.) Acumulación eólica (nebka) sobre la meseta.



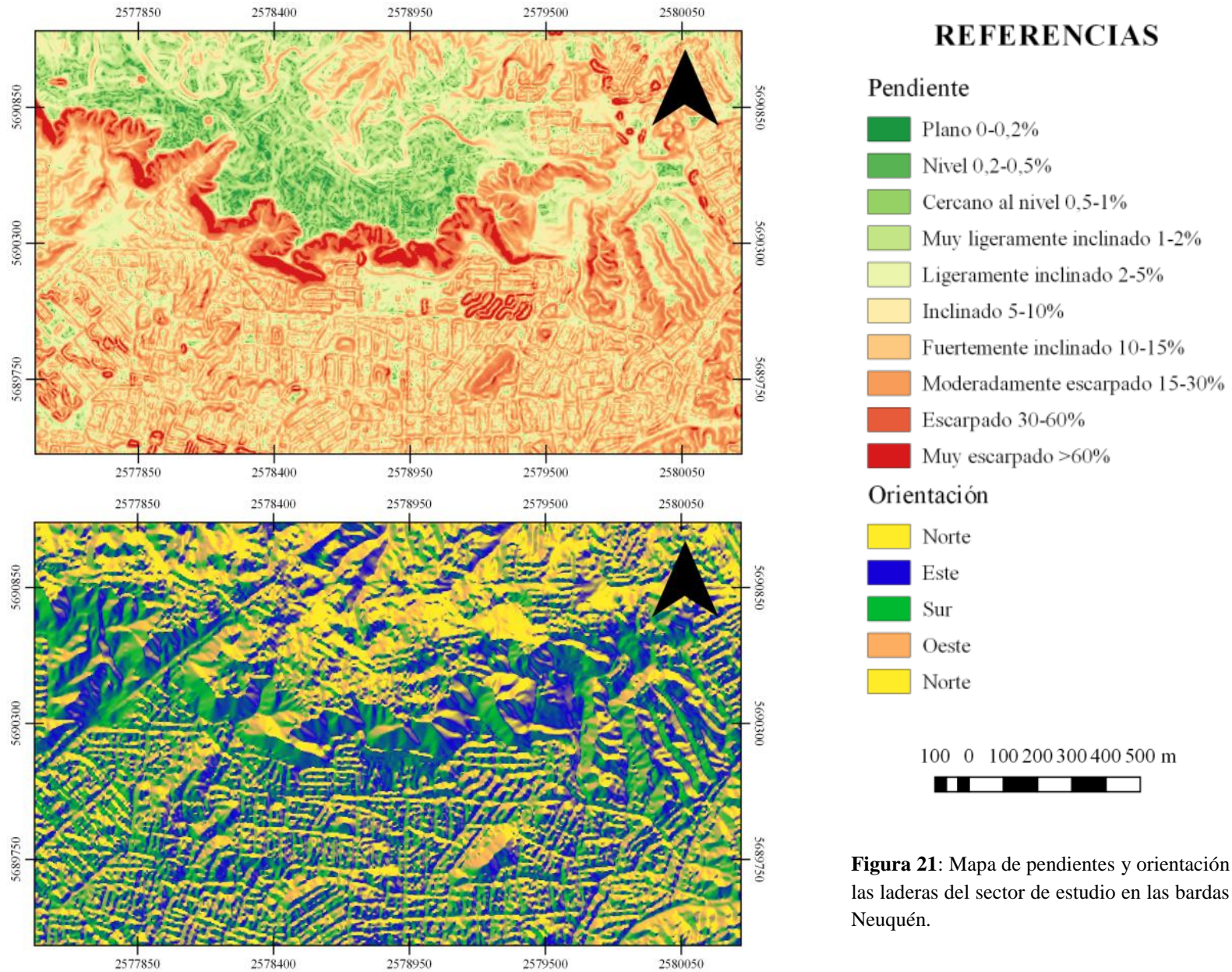
**Figura 19:** Escalamientos en las laderas complejas de Neuquén por erosión diferencial.



**Figura 20:** Caídas y desprendimientos de rocas sobre la ladera.



#### 4. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



**Figura 21:** Mapa de pendientes y orientación de las laderas del sector de estudio en las bardas de Neuquén.



### 4.3.2 Zona de comparación en Vista Alegre

En el sector de comparación en la localidad de Vista Alegre Norte se reconoce (Figura 22):

1. Meseta: Este nivel de terraza (nivel V) es más moderno que el de la Ciudad de Neuquén (nivel III). Su elevación aproximada es de 330 msnm. Sobre su superficie cubierta por depósitos eólicos, se produce erosión hídrica y eólica de forma similar a lo que ocurre en las bardas capitalinas (Figura 23). En los sectores afectados por remoción en masa, existen agrietamientos próximos al frente de barda.
2. Ladera: Al igual que en el caso de Neuquén, es una ladera compuesta de alta cohesión (Strahler, 1950; Gutiérrez Elorza, 2008). La meteorización física predominante es haloclastía y crioclastía. La erosión hídrica resulta en incisiones de menor desarrollo que en las bardas capitalinas, lo que genera un frente de meseta más rectilíneo que en el caso neuquino (Figura 24). En los sectores sin deslizamientos, existen caídas de rocas provenientes del conglomerado superior. El pie de las laderas se encuentra a una altura de 305 msnm.
3. Planicie aluvial actual del Río Neuquén: Constituida por los materiales depositados por el río. Este y los demás sectores de planicies aluviales actuales de los ríos son las zonas más fértiles de la región, por lo que el desarrollo de actividad agrícola sobre las mismas es de gran importancia (Rodríguez *et al.*, 2007).

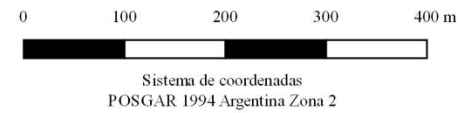
Tanto las pendientes de las laderas inalteradas como del sector afectado por remoción en masa alcanzan valores superiores al 60%; la superficie de la meseta, por otro lado, posee inclinaciones del orden del 1% (*subhorizontal*), mientras que la planicie aluvial del Río Neuquén va de *ligeramente inclinada a inclinada* (hasta 10%) (Vargas Rojas, 2009) (ver *Sección 3.5*). En este caso, la exposición de las laderas es preferentemente hacia el noreste, por lo que reciben gran cantidad de radiación solar (solanas) (Figura 25).

#### 4. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



#### REFERENCIAS

- |   |                                    |               |                        |        |               |                          |                         |                |                        |
|---|------------------------------------|---------------|------------------------|--------|---------------|--------------------------|-------------------------|----------------|------------------------|
| — | Curvas de nivel equidistancia 10 m | <b>Meseta</b> |                        | Meseta | <b>Ladera</b> |                          | Ladera                  |                | Sentido del movimiento |
| — | Trazado de calles                  |               | Acumulación eólica     |        |               | Escarpa                  |                         | Caída de rocas |                        |
|   | Ruta Provincial N° 7               |               | Pavimento del desierto |        |               | Deslizamiento rotacional | <b>Planicie aluvial</b> |                | Planicie aluvial       |
|   | Plantación sobre meseta            |               |                        |        |               | Flujo                    |                         |                |                        |



**Figura 22:** Geomorfología y topografía del sector afectado por deslizamientos rotacionales en Vista Alegre.





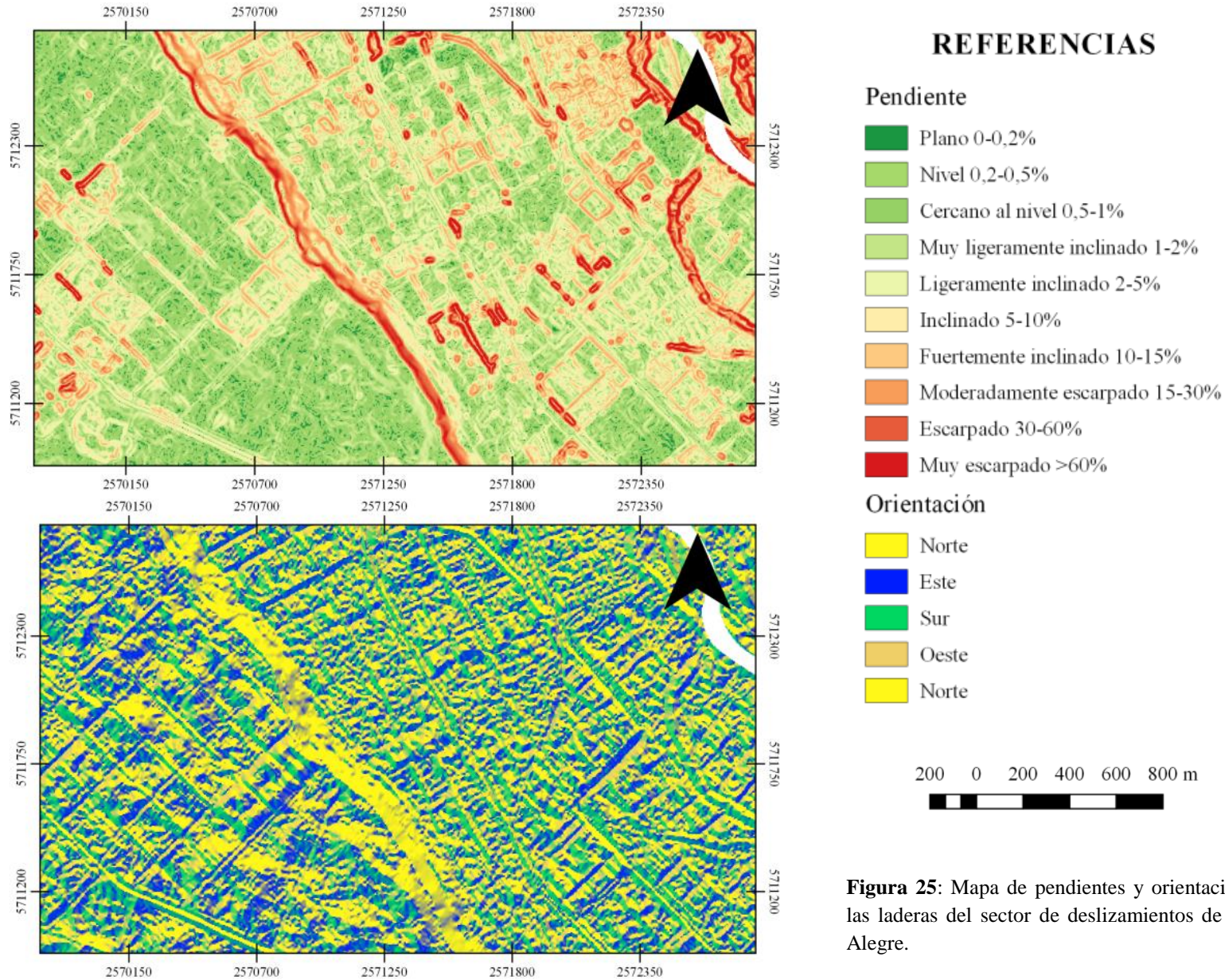
**Figura 23:** (Izq.) Acumulación eólica. (Der.) Pavimento del desierto producto de la acción eólica.



**Figura 24:** Frente de barda sin deslizamientos rotacionales.



#### 4. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



**Figura 25:** Mapa de pendientes y orientación de las laderas del sector de deslizamientos de Vista Alegre.

### 4.4 Clima, suelo, vegetación e hidrología

La zona se caracteriza por un clima árido, con temperaturas medias anuales de 14°C y precipitaciones inferiores a los 200 mm anuales que se concentran en torno a los meses invernales, existiendo también esporádicas lluvias estivales de carácter torrencial de corta duración, sumado a una elevada evapotranspiración y fuertes vientos que azotan desde el sector O-SO principalmente en primavera y verano (Dufilho *et al.*, 2001; Rapacioli, 2007).

Los suelos dominantes sobre la meseta neuquina son Petrocalcides pertenecientes al Orden de los Aridisoles típicos de climas secos, con gran cantidad de material grueso, acumulaciones salinas y/o calcáreas en sectores cercanos a la superficie, y un horizonte petrocálcico característico que condiciona su permeabilidad. En Vista Alegre, por otro lado, se presentan Torriortentes del Orden de los Entisoles, arenosos, con poco desarrollo pedogenético, sin horizontes diagnósticos y altamente permeables, sobre los que se cultiva por regadío (Dufilho *et al.*, 2001; Apcarian *et al.*, 2002; Ferrer *et al.*, 2006; Pereyra *et al.*, 2011, Apcarian *et al.*, 2014). Esta diferencia se traduce en menores volúmenes de escorrentía superficial y por ende, menor erosión hídrica a iguales precipitaciones en el sector de Vista Alegre. En general, en todo el Alto Valle los suelos poseen escasa materia orgánica (menor a 1%) y sus velocidades de infiltración son medias a altas (Rapacioli, 2007; Marizza *et al.*, 2010).

El uso del suelo en la urbanización Balcón de la Ciudad es de tipo residencial, mientras que en Vista Alegre el desarrollo de los suelos Torriortentes permite su uso con fines agrícolas; además, en esta última se llevan adelante actividades hidrocarburíferas.

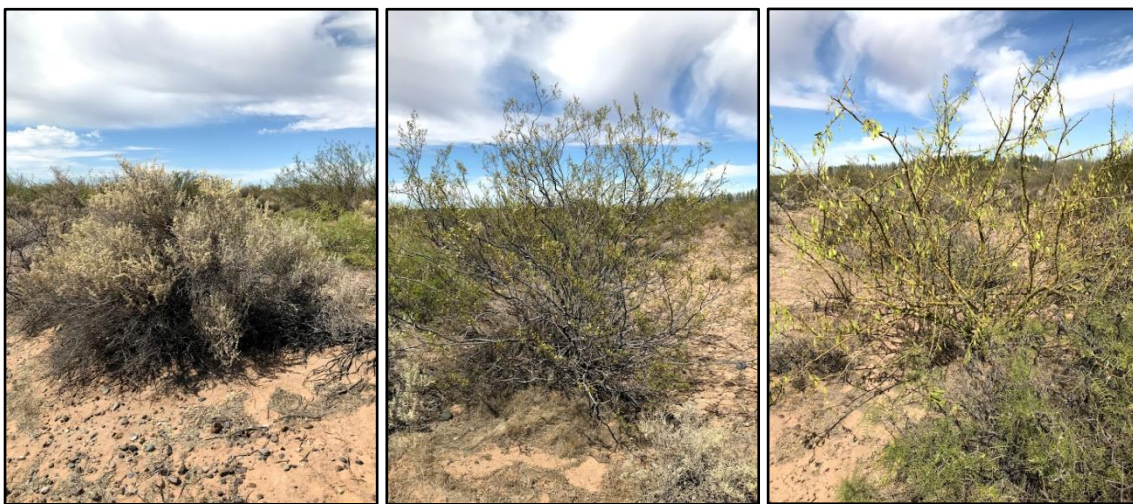
El déficit hídrico definen la estepa arbustiva xerófila perteneciente a la provincia fitogeográfica de Monte característica del sector (Cabrera, 1951). Las especies dominantes reconocidas en el área de estudio son jarilla macho y hembra (*Larrea cuneifolia* y *Larrea divaricata*), coirón (*Festuca pallescens*), zampa (*Atriplex lampa*), chañar brea (*Cercidium praecox*), melosa (*Grindelia chilensis*), alpataco (*Prosopis alpataco*) y retamillo (*Neosparton aphyllum*), con raíces profundas, hojas reducidas y en algunos casos, espinas (Cabrera, 1951; Capua *et al.*, 1999; Dufilho *et al.*, 2001; Apcarian *et al.*, 2002; Ferrer *et al.*, 2006) (Figura 26 y 27). En Vista Alegre, se adicionan las más de 30 ha de manzana gala y cerezos sobre la meseta, cuya distancia de plantación aproximada es de 2 m entre sí (Jurio *et al.*, 2014) (Figura 27).



#### 4. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



**Figura 26:** Vegetación dominante en el área de estudio en las bardas de la Ciudad de Neuquén. (Arriba hacia abajo, izquierda a derecha): jarilla, coirón, zampa, chañar brea, melosa y alpataco.



**Figura 27:** Vegetación dominante en el área de estudio en Vista Alegre. (Izquierda a derecha): zampa, jarilla, chañar brea.





**Figura 27:** (continuación) (Arriba, izquierda a derecha): coirón, alpataco y retamillo. (Abajo): monte frutal de manzanas.

La cobertura vegetal promedio medida<sup>7</sup> en la zona de estudio en Neuquén es de 36.2% sobre la meseta y 36.47% sobre la ladera, dejando un 63.8% y un 63.53% de suelo sin protección a la erosión respectivamente, lo que permite un mayor transporte de

---

<sup>7</sup> Véase *Sección 3.4.*

sedimentos durante las lluvias (Dufilho *et al.*, 2001) (Tabla 9). Por otro lado, en el sector de Vista Alegre la cobertura vegetal promedio de plantas autóctonas obtenida sobre la meseta es de 42.07%, mientras que en la ladera ronda los 38.82%. En el área de plantación, por su parte, la cobertura es de un 100% (Tabla 10).

**Tabla 9:** Cobertura vegetal en la zona de estudio en Neuquén.

<b>Cobertura vegetal sobre la meseta</b>	
Vegetación	36.2%
Suelo desnudo	63.8%
<b>Cobertura vegetal sobre la ladera</b>	
Vegetación	36.47%
Suelo desnudo	63.53%

**Tabla 10:** Cobertura vegetal en el sector de comparación en Vista Alegre.

<b>Cobertura vegetal sobre la meseta</b>	
Vegetación	42.07%
Suelo desnudo	57.93%
Área plantada	100%
<b>Cobertura vegetal sobre la ladera</b>	
Vegetación	38.82%
Suelo desnudo	61.18%

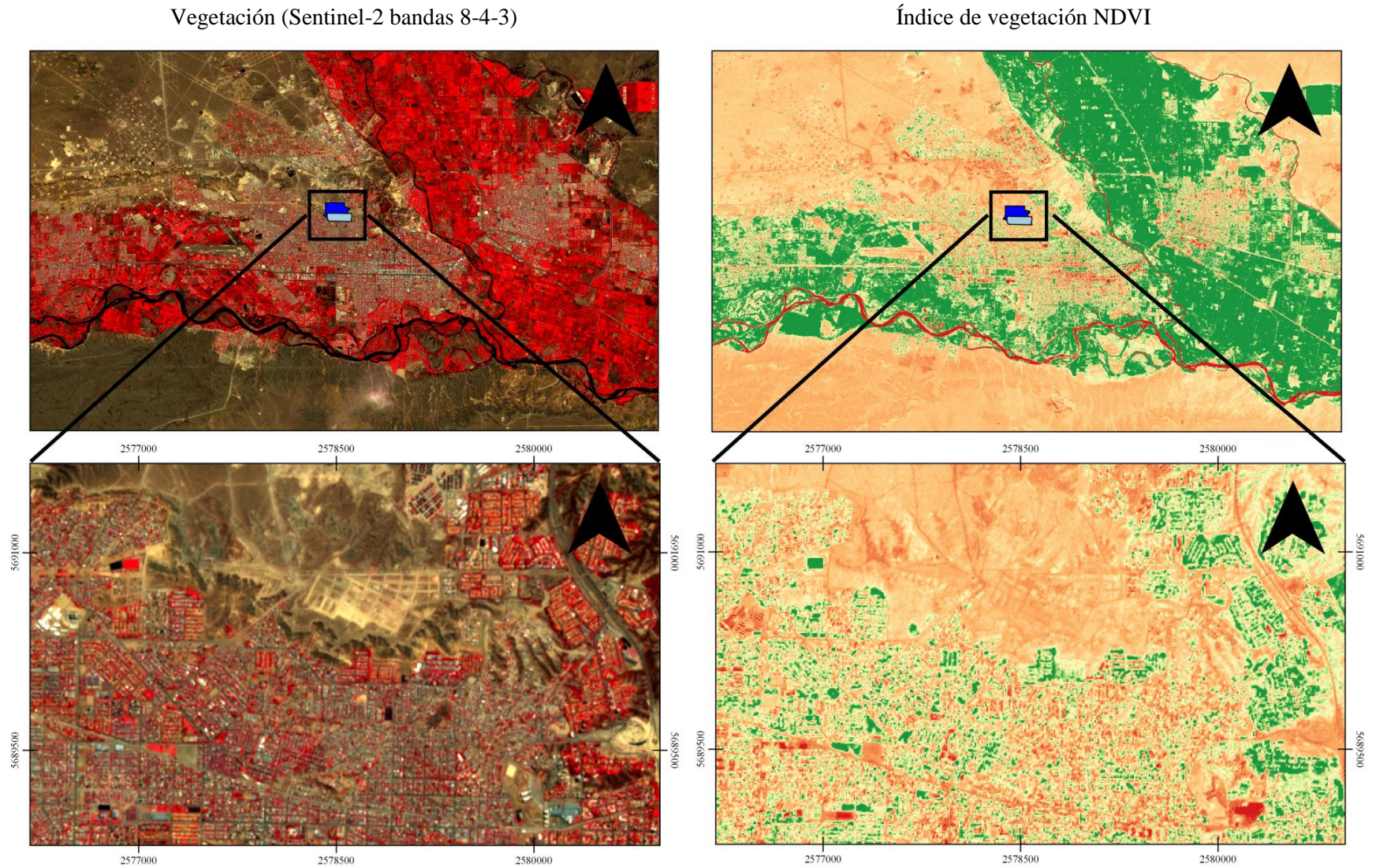
Las plantas reflejan las ondas infrarrojas cercanas, por lo que el falso color a partir de la composición de bandas 8-4-3 (infrarrojo cercano visible VNIR-rojo-verde) de la imagen satelital Sentinel-2 de ambos sectores de estudio, permite hacer un análisis visual de la vitalidad de la vegetación (Figura 28 y 29). Mientras más intenso el color rojo, más vigorosa la vegetación. Los colores castaños a marrones claros sobre las laderas de la barda y su superficie indican zonas de vegetación arbustiva escasa, y nula vegetación para los colores próximos al blanco. En gris azulado, aparecen las áreas urbanas. Por otro lado, el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI) relaciona la cantidad la biomasa presente sobre el terreno, permitiendo un análisis cuantitativo de la presencia de vegetación sobre la meseta y sus laderas. Los valores alcanzan los 0.34 en el sector de estudio en Neuquén, y 0.41 en Vista Alegre (Rapacioli, 2007; Muñoz Aguayo, 2013) (Figura 28 y 29; Tabla 11).

**Tabla 11:** Rangos del índice NDVI (Muñoz Aguayo, 2013).

<b>NDVI</b>	
$-1 > NDVI > 0$	Superficies sin vegetación
$NDVI = 0$	Comienzo de ausencia de vegetación
$0 < NDVI < 1$	Presencia de vegetación



#### 4. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

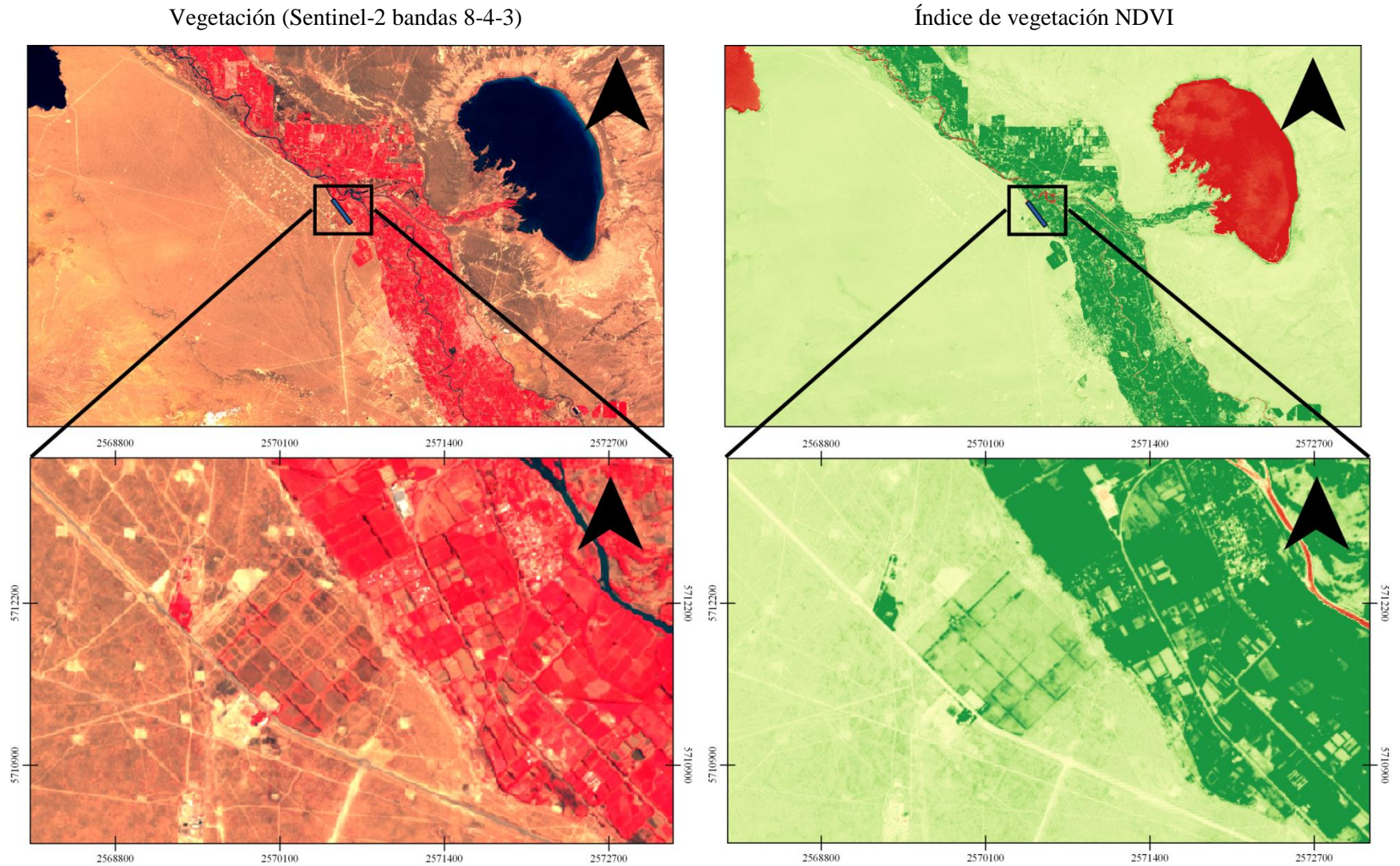


**Figura 28:** (Izq.) Combinación de bandas 8-4-3 de imagen satelital Sentinel-2 para realce de la vegetación (en rojo). (Der.) Índice NDVI. Los valores próximos al cero corresponden a roca desnuda, mientras que los cercanos al uno indican mayor vegetación.

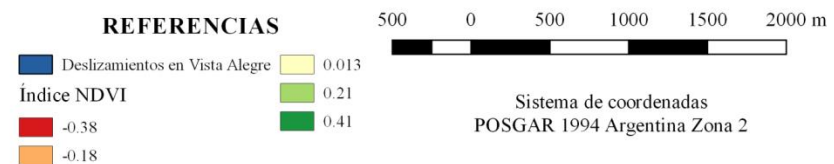




#### 4. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



**Figura 29:** (Izq.) Combinación de bandas 8-4-3 de imagen satelital Sentinel-2 para realce de la vegetación (en rojo). (Der.) Índice NDVI. Los valores próximos al cero corresponden a roca desnuda, mientras que los cercanos al uno indican mayor vegetación. Al momento de la realización de este trabajo, la plantación de manzanas se observa prácticamente seca.





#### 4. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El sector de meseta de la Ciudad de Neuquén se caracteriza por un predominio de fenómenos aluvionales asociados principalmente a las lluvias estivales torrenciales. La red de drenaje del sector puede observarse en la Figura 30, donde los principales cauces efímeros de régimen pluvial corresponden a las cárcavas desarrolladas sobre las laderas (Figura 31), configurando un diseño dendrítico. Las obras de control pluvioaluvional en la ladera y base de la meseta impiden el escurrimiento del agua precipitada hacia los barrios lindantes, mientras que en el área urbanizada en el sector de pedimento el agua se canaliza a través de las calles paralelas a la pendiente, definiendo un patrón rectangular.

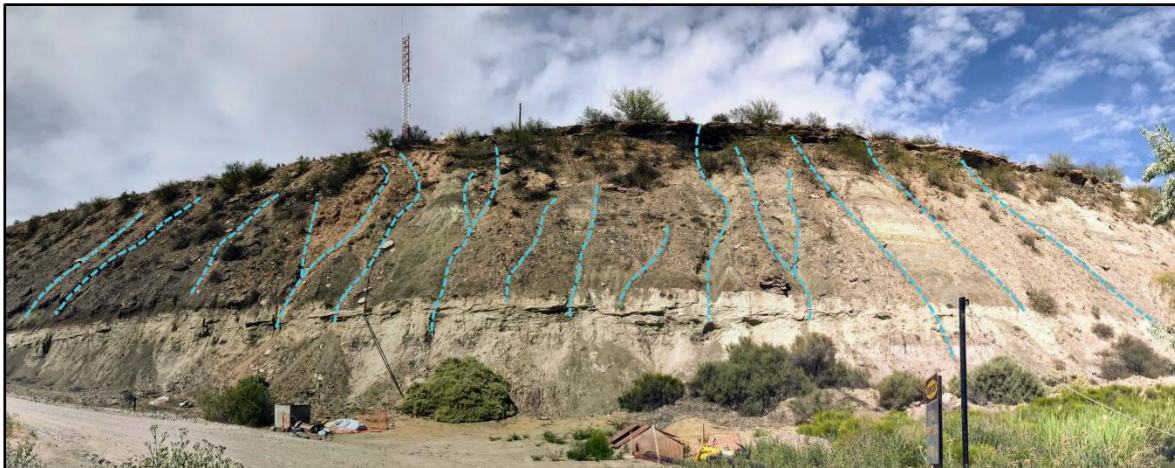
En el sector de comparación en Vista Alegre, por otro lado, el escurrimiento se da por regueros de poco desarrollo sobre las laderas como consecuencia de la menor escorrentía superficial y erosión asociada. Esta característica constituye una de las principales diferencias entre ambos lugares (Figura 32).



**Figura 30:** Red de drenaje del sector de estudio en Neuquén.



**Figura 31:** El escurrimiento del agua de lluvia genera cárcavamiento en las laderas neuquinas.



**Figura 32:** Fotografía panorámica de la ladera en Vista Alegre, con su escurrimiento a través de regueros.

### 4.5 Población y viviendas

Los barrios lindantes a la zona de estudio en el norte de la Ciudad de Neuquén son Bardas Soleadas, Islas Malvinas, Melipal, Terrazas del Neuquén y Villa Ceferino (véase *Sección 4.1*). De acuerdo con la Dirección Provincia de Estadística y Censos de la Provincia de Neuquén, existe un total de 11270 viviendas habitadas por 38913 personas en estos cinco barrios, siendo Villa Ceferino el más poblado y el que presenta el mayor índice de hacinamiento por persona, seguido por Islas Malvinas y Melipal (Tablas 12 y 13).



#### 4. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

**Tabla 12:** Habitantes y viviendas por barrio.

Habitantes	
Barrio	Cantidad
BS	1847
IM	10943
M	10763
TN	2355
VC	13005
Viviendas	
Barrio	Cantidad
BS	673
IM	3149
M	3084
TN	783
VC	3581

BS: Bardas Soleadas; IS: Islas Malvinas; M: Melipal; TN: Terrazas del Neuquén; VC: Villa Ceferino.

Fuente: Dirección Provincial de Estadística y Censos de la Provincia del Neuquén, en base a datos del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010, INDEC.

**Tabla 13:** Índice de hacinamiento por barrio.

Índice de hacinamiento (personas)							
Barrio	Hasta 0.5	0.51-1	1.01-1.5	1.51-2	2.01-3	>3	% (>2)
BS	403	973	367	94	10	0	0.54%
IM	694	3471	2379	1970	1454	968	22.14%
M	786	4084	2692	1703	948	472	13.29%
TN	462	1322	391	143	23	14	1.57%
VC	606	3436	2708	2907	2055	1293	25.74%

BS: Bardas Soleadas; IS: Islas Malvinas; M: Melipal; TN: Terrazas del Neuquén; VC: Villa Ceferino.

Fuente: Dirección Provincial de Estadística y Censos de la Provincia del Neuquén, en base a datos del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010, INDEC.

Con respecto a la condición de actividad de la población allí asentada, más de un tercio de los habitantes de los barrios Villa Ceferino, Islas Malvinas y Melipal se encuentran desocupados o son económicamente inactivos, mientras que Bardas Soleadas y Terrazas del Neuquén presentan valores que rondan el treinta por ciento (Tabla 14).

El uso del suelo en este sector de la ciudad es mayormente residencial (los datos referentes a las condiciones constructivas de las viviendas se indican en la Tabla 15), existiendo también usos recreativos en el área protegida del Parque Bardas Soleadas; educativos, con el Jardín de Infantes N° 46, la Escuela Primaria N° 289 y la Escuela Secundaria C.P.E.M. N° 48, y funerarios, con el Cementerio Parque El Progreso.

#### 4. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

**Tabla 14:** Condición de actividad por barrio.

<b>Condición de actividad (por persona)</b>			
Barrio	Ocupado	No ocupado	% (No ocupado)
BS	1059	478	31.1%
IM	5546	2904	34.37%
M	5327	2757	34.10%
TN	1296	527	28.91%
VC	6282	3550	36.11%

BS: Bardas Soleadas; IS: Islas Malvinas; M: Melipal; TN: Terrazas del Neuquén; VC: Villa Ceferino.

Fuente: Dirección Provincial de Estadística y Censos de la Provincia del Neuquén, en base a datos del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010, INDEC.

**Tabla 15:** Condición de viviendas por barrio.

<b>Calidad constructiva de la vivienda (por persona)</b>					
Barrio	Satisfactoria (S)	Básica (B)	Insuficiente (I)	% (B e I)	
BS	1400	444	3	24.20%	
IM	7474	2143	1319	31.66%	
M	8340	1514	831	21.95%	
TN	2240	109	6	4.88%	
VC	8628	2753	1624	33.66%	
<b>Calidad de los materiales (por persona)</b>					
Barrio	CalMat 1	CalMat 2	CalMat 3	CalMat 4	% (2,3,4)
BS	1400	144	303	0	24.40%
IM	7696	1910	785	545	29.63%
M	8460	1265	558	4022	40.86%
TN	2246	102	7	0	4.63%
VC	8988	2251	1172	594	30.88%

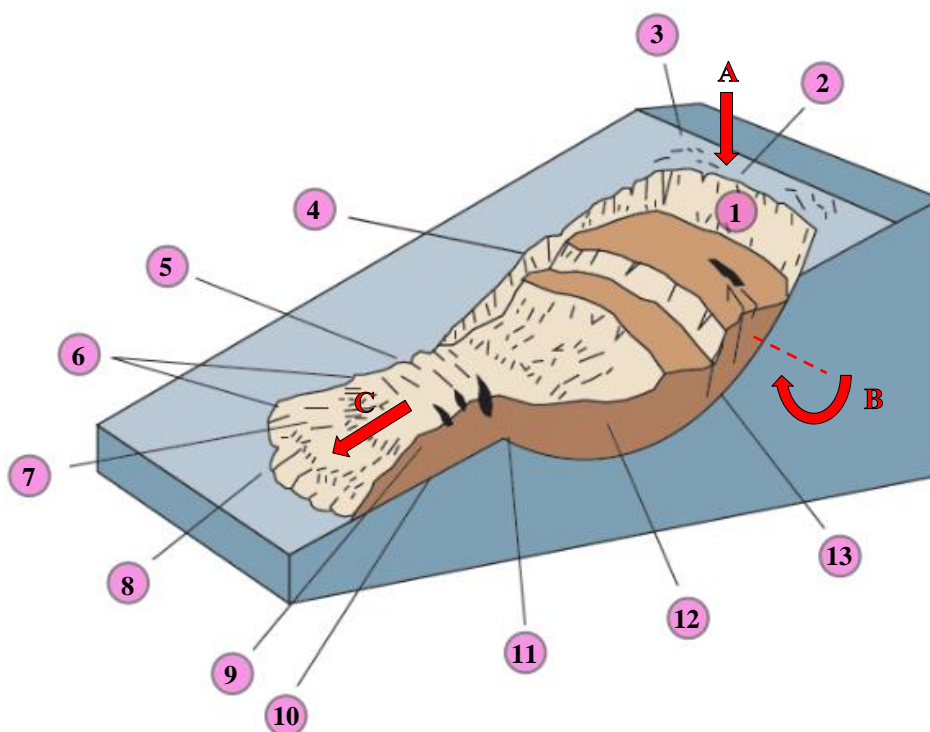
BS: Bardas Soleadas; IS: Islas Malvinas; M: Melipal; TN: Terrazas del Neuquén; VC: Villa Ceferino.

Fuente: Dirección Provincial de Estadística y Censos de la Provincia del Neuquén, en base a datos del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010, INDEC.

## 5. DISCUSIÓN

### 5.1 El caso de los deslizamientos en Vista Alegre

Los fenómenos de remoción en masa que afectan a la localidad de Vista Alegre Norte son clasificados por Jurio *et al.* (2014) como movimientos de tipo complejo, por consistir en deslizamientos rotacionales iniciales y finalizar con coladas de barro (Figura 33). Además, existen caídas de detritos y volcamientos menores en distintos sectores. Las características principales de estos movimientos se ilustran en la Tabla 16 y la Figura 34.



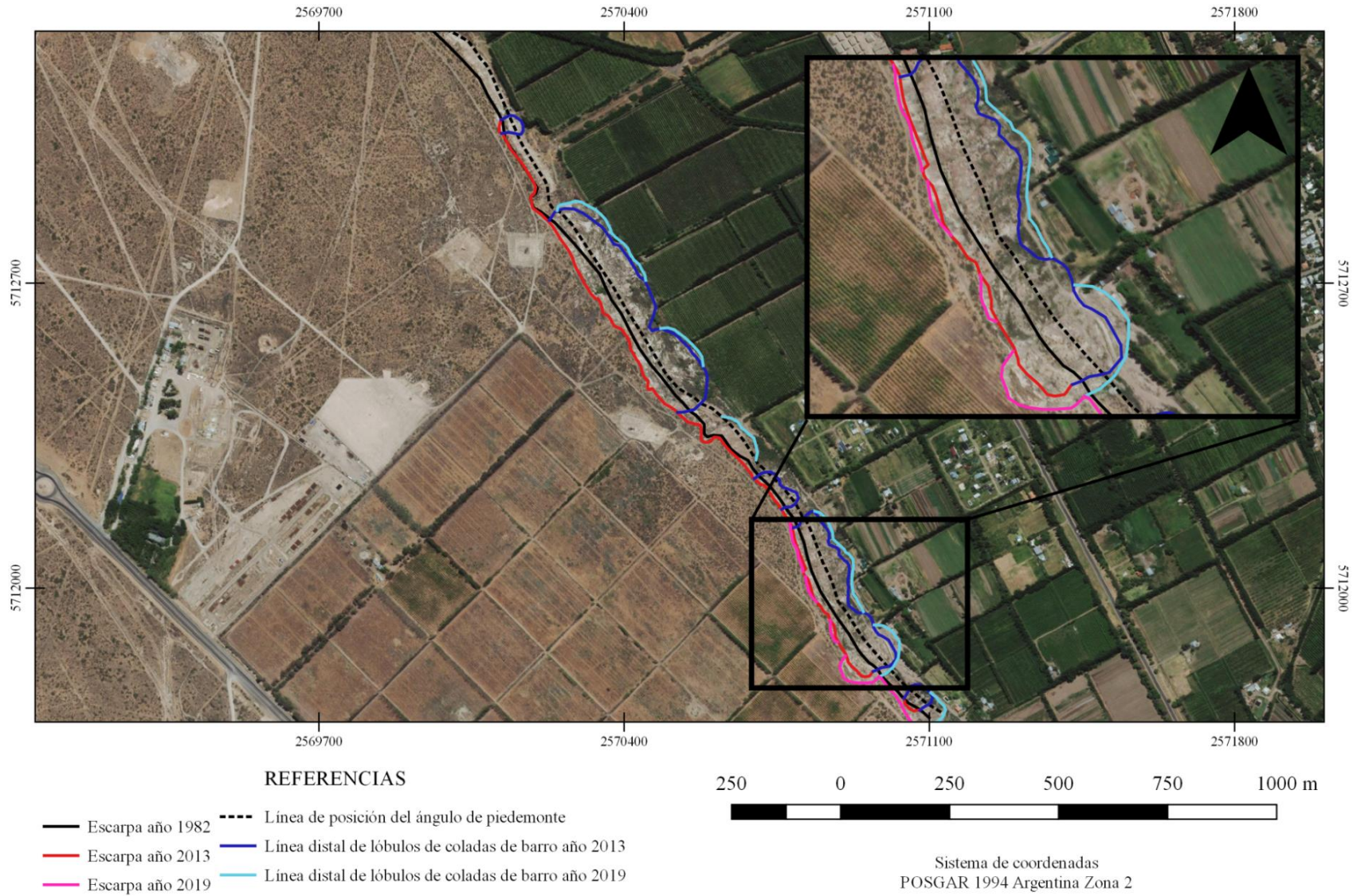
**Figura 33:** Partes principales de un deslizamiento rotacional con flujo. 1: Escarpa principal. 2: Corona. 3: Grietas de coronación. 4: Escarpa menor. 5: Grietas transversales. 6: Crestas transversales. 7: Grietas radiales. 8: Punta. 9: Pie. 10: Superficie de separación. 11: Borde de la superficie de ruptura. 12: Cuerpo principal. 13: Superficie de ruptura. El movimiento se inicia verticalmente hacia abajo (A), seguido por la rotación del bloque descendido en el sentido de la ladera (B), y finalizando con el flujo en sentido longitudinal a la masa (C) (Modificado de Highland y Johnson, 2004; terminología de Gutiérrez Elorza, 2008).

**Tabla 16:** Características de la remoción en masa de Vista Alegre (Jurio *et al.*, 2014).

Remoción en masa en Vista Alegre	
Superficie de la meseta colapsada	3.3 ha
Superficie ocupada por la remoción en masa	12 ha
Retroceso medio del frente de barda	23.5 m
Retroceso máximo del frente de barda	35-40 m (70 m al año 2019)
Máxima extensión desde escarpa a punta	150 m
Volumen total de roca movilizado	1.160.000 m <sup>3</sup>



## 5. DISCUSIÓN



**Figura 34:** Evolución de los procesos de remoción en masa en Vista Alegre (modificado de Jurio *et al.*, 2014).



Los movimientos principales en Vista Alegre (Figura 35) se hallan actualmente en un estado de agotamiento<sup>8</sup>, debido al presunto cese del aporte de agua de riego sobre la superficie de la meseta, que constituyó el factor disparador de los mismos. Sin embargo, la actividad petrolífera (Yacimiento Río Neuquén), responsable por el desarrollo de los deslizamientos de menor tamaño, continúa (Tipping y Bassani, 1994; Jurio *et al.*, 2014).

Es posible observar agrietamientos superficiales de algunos milímetros a decenas de centímetros de ancho en el lugar, lo que da prueba de la prolongación del movimiento y de su futura extensión de continuar la infiltración de agua (Figura 36). También se observan espejos de fricción (slickensides) en las fangolitas rojas a lo largo del margen lateral del deslizamiento, los que constituyen rasgos comunes en los escenarios de este tipo de remoción en masa (Varnes, 1978).



**Figura 35:** Deslizamientos rotacionales mayores asociados a la plantación agrícola sobre la meseta.

<sup>8</sup> Ver Sección 1.2.



**Figura 36:** Agrietamientos sobre la superficie de la meseta en Vista Alegre Norte, que en sectores alcanza los 40 cm, dejando bloques de aproximadamente 2 m al borde del movimiento.

### La remoción en masa y el rol del agua

La saturación de las laderas es una de las principales causas de los movimientos en masa. Esta saturación puede darse como consecuencia de lluvias intensas, entre otros factores. De acuerdo con González Díaz (2004), el desencadenante de los deslizamientos rotacionales en Barda Negra y otras mesetas basálticas de la Patagonia Extrandina, es la infiltración y saturación de los estratos sedimentarios de materiales finos subyacentes a los mantos lávicos, por precipitaciones intensas. Además, las lluvias importantes también son las responsables de promover flujos densos, tal como ejemplifica este autor con el caso de los debris flows en las mesetas aledañas a la ciudad de General Roca en el año 1999, que generaron graves consecuencias.

Los movimientos en masa en Vista Alegre son principalmente el resultado de la irrigación periódica con fines agrícolas a lo largo de más de 30 años (hoy sin continuidad), mientras que las caídas de rocas presentes en las bardas del norte de la ciudad capitalina se dan como consecuencia de lluvias torrenciales.

El caso de Vista Alegre es una clara lección de cómo los cambios en el régimen hídrico sobre la meseta pueden tener graves consecuencias medioambientales y sociales. De acuerdo con fuentes periodísticas, varias viviendas fueron completamente destruidas por los materiales movilizados en el sector, y otras han tenido que ser abandonadas por el riesgo inminente (Figura 37).





**Figura 37:** Vivienda afectada por coladas de barro producto de los deslizamientos rotacionales (Fuente Diario *La Mañana de Neuquén*)<sup>9</sup>.

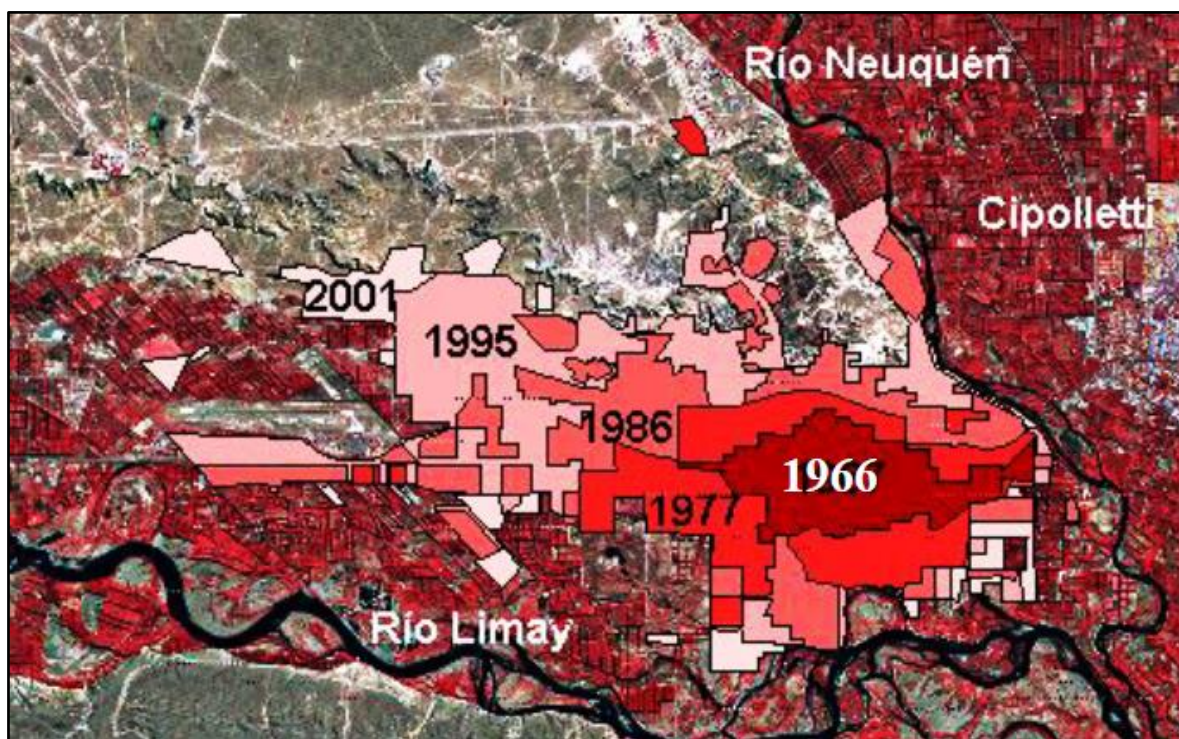
## 5.2 La problemática de Bardas Soleadas y barrios aledaños en Neuquén

### Evolución de la mancha urbana

La Ciudad de Neuquén ha experimentado una expansión rápida y desordenada. Previo a la década del '70, la mancha urbana se encontraba rodeada de áreas agrícolas, acotada por los límites naturales definidos por los cursos fluviales y la meseta (Capua y Jurio, 2011). En la Figura 38 se observa que la tendencia de crecimiento de la ciudad se fue dando inicialmente en sentido este-oeste a lo largo de la ruta nacional N° 22 y del ferrocarril, continuando luego hacia el sur, sobre la planicie de inundación de los ríos; finalmente avanza hacia el sector de mesetas al norte y noroeste del ejido municipal a partir de la mitad de la década del '80, ocupándose las laderas de la barda y los cauces aluvionales, con los problemas que esto conlleva (Jurio y Torrens, 2015; Torrens, 2015).

---

<sup>9</sup> Vecinos temen por derrumbes en la barda (11 de septiembre de 2014). *La Mañana de Neuquén*. Recuperado de: <https://www.lmneuquen.com/>

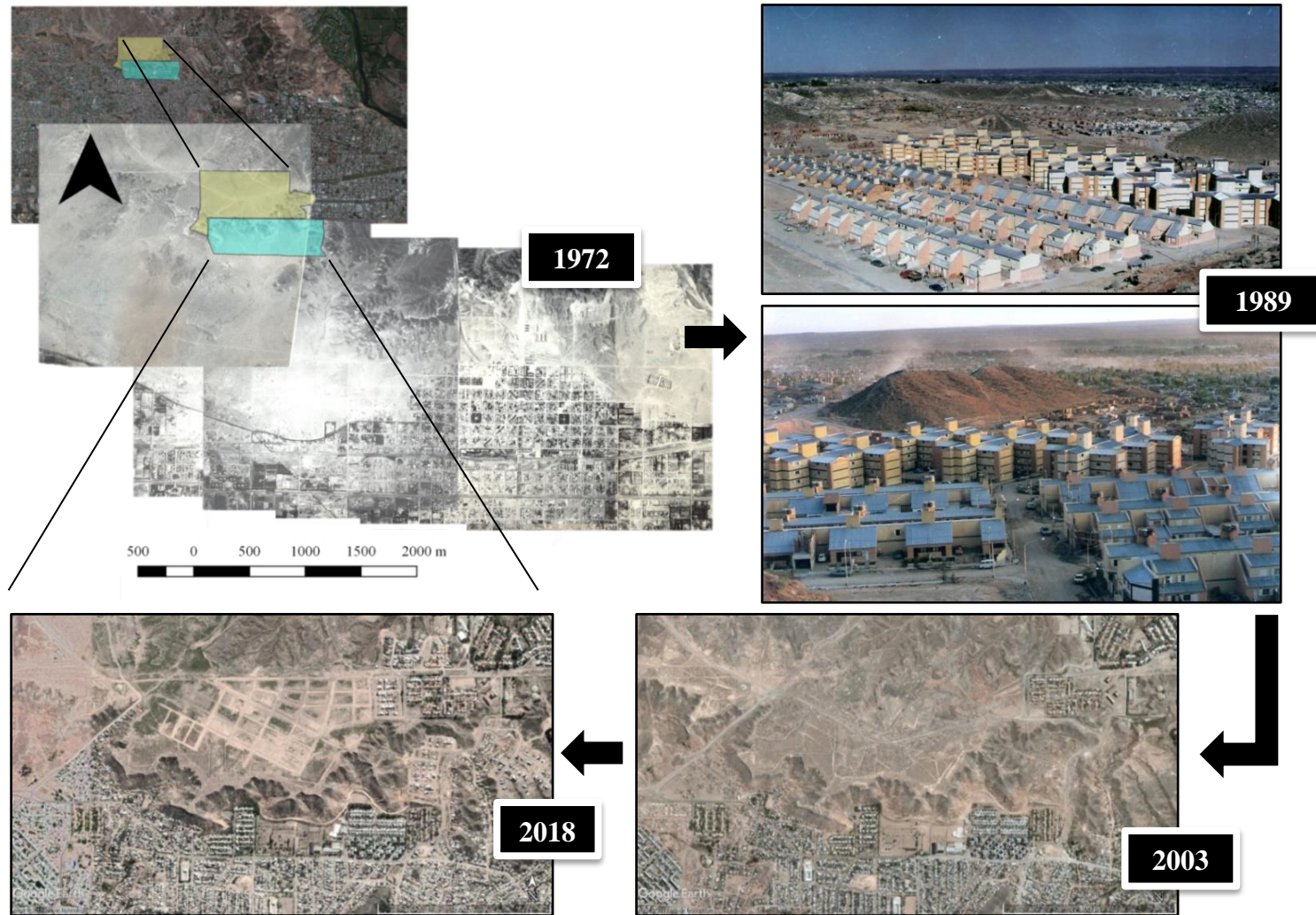


**Figura 38:** Evolución de la Planta Urbana en Neuquén Capital entre los años 1966-2001 (Torrens, 2015).

No solamente fueron los asentamientos irregulares sino también barrios planificados los que se desarrollaron en estos sectores no adecuados para la urbanización por su alta inestabilidad. Tal es el caso del barrio Bardas Soleadas, localizado al pie de la meseta, zona naturalmente receptora del material erosionado de la misma. El sector de meseta de la ciudad había sido clasificado como de oferta natural baja para la urbanización por Colantuono *et al.* (1988) quienes, además, propusieron priorizar la densificación en áreas ya urbanizadas dotadas de todos los servicios, en lugar de urbanizar nuevos sectores en la barda. Según los autores, esto ayudaría, entre otras cosas, a frenar la expansión desordenada y aprovechar la infraestructura ya instalada.

En la Figura 39 se ilustra la evolución del uso del suelo y el avance urbano en la zona de estudio desde el año 1972 (sin ocupación), pasando por 1989 (entrega del barrio Bardas Soleadas), 2003 (desarrollo de un basural sobre la meseta) y el 2018 (desarrollo de la nueva urbanización).





**Figura 39:** Avance de la urbanización. En 1972, el sector de bardas de la ciudad permanecía aún despoblado (fotos aéreas de la DPCeIT). En el año 1989, se hace entrega del barrio Mudon, parte de Bardas Soleadas (fotografías propias). En el 2003, la superficie de la meseta aledaña al barrio se encontraba colmada por un basural (Google Earth). En el 2018, la urbanización Balcón de la Ciudad sobre la meseta ya se encontraba en su primera etapa de construcción (Google Earth).

Precipitación pluvial

La combinación de la ascendente urbanización en la zona de bardas y las condiciones naturales que la caracterizan, ha llevado a que el sector sea uno de los más castigados cada vez que se producen lluvias de magnitudes inusuales en la ciudad, dejando graves consecuencias (Figura 40): Desde las lluvias históricas y los aluviones asociados de marzo de 1975, donde cayeron aproximadamente 150 mm en dos días dejando un saldo de 20 muertos y miles de personas evacuadas y casas destruidas<sup>10</sup>, a las recientes precipitaciones del 2014, que alcanzaron los 200 mm en seis días con un máximo de 100 mm en 24 horas y dejaron gran parte de la ciudad inundada y miles de personas afectadas (Jurio y Torrens, 2015).



<sup>10</sup> La feroz lluvia de 1975 (2 de mayo de 2013). *Río Negro*. Recuperado de: <https://www.rionegro.com.ar/>

<sup>11</sup> Neuquén capital: los barrios de las bardas son los más afectados (7 de abril de 2014). *Río Negro*. Recuperado de: <https://www.rionegro.com.ar/>

<sup>12</sup> El agua tiene memoria y no se olvida de que faltan obras (29 de octubre de 2016). *Río Negro*, Recuperado de <https://www.rionegro.com.ar/>



Es de prever que la frecuencia y torrencialidad de estos fenómenos incrementen en el futuro como consecuencia del cambio climático (Barros y Bejarán, 2005). La Tabla 17 indica las lluvias mensuales medias (serie 1981-2010) y extremas (serie 1961-2019) ocurridas en Neuquén. Cabe destacar que dos de los máximos valores se registraron en la última década (abril de 2014 y octubre de 2016).

**Tabla 17:** Precipitaciones mensuales promedio y máximas en Neuquén (Servicio Meteorológico Nacional).

Precipitaciones mensuales en la Ciudad de Neuquén												
Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Media (mm)	12.9	11.9	23.6	15.3	21.1	23.5	15.9	11.4	19.3	20.3	14.5	11.2
Máxima (mm)	123.6	100.9	200.2	229.0	86.3	62.1	65.1	51.7	75.7	196.0	90.5	95.1

Además, como ya fuera mencionado en la *Sección 4.3.1*, en el sector de estudio ya existen fenómenos de remoción en masa como desprendimientos y caídas de rocas, estas últimas principalmente del conglomerado que corona la meseta. Como consecuencia de los mismos, en el 2011 se registró una muerte por un derrumbe ocasionado por las precipitaciones acaecidas en la ciudad<sup>13</sup>, en cercanías al área de trabajo (Figura 41).



**Figura 41:** Artículos de los medios locales haciendo alusión a los procesos de remoción en masa que tienen lugar en la zona de estudio. (Izq.) Muerte por desprendimiento de rocas en la barda de Neuquén.<sup>14</sup> (Der.) Riesgo de derrumbes en el sector Estrella Federal del barrio Villa Ceferino, aledaño a Bardas Soleadas.<sup>15</sup>

<sup>13</sup> Murió al derrumbarse la barda (8 de octubre de 2011). *La Mañana de Neuquén*. Recuperado de: <https://www.lmneuquen.com/>

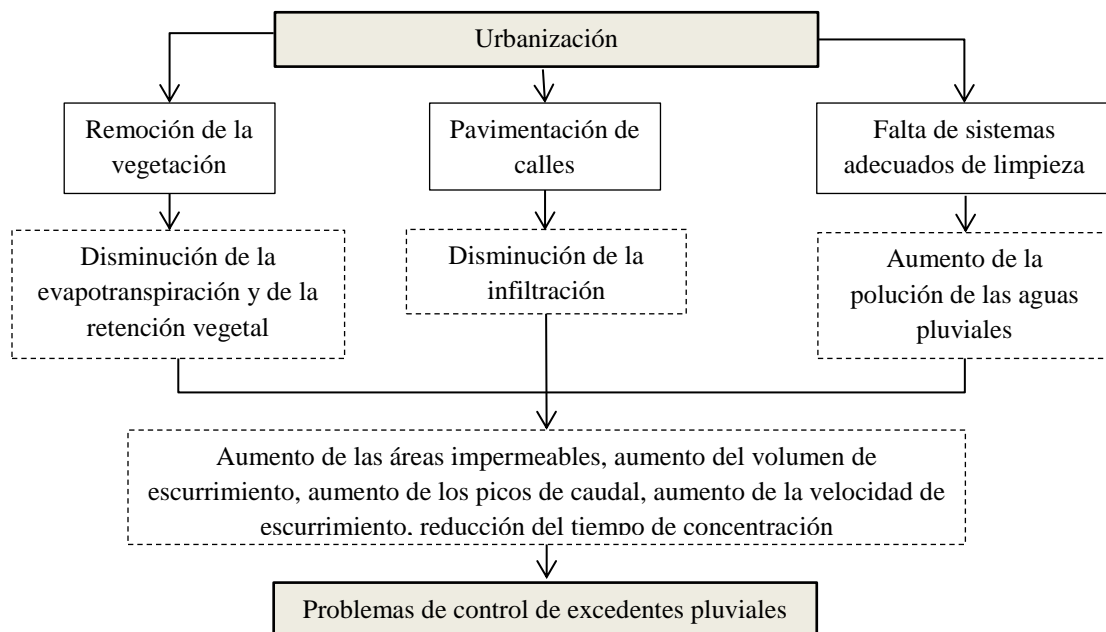
<sup>14</sup> Murió un hombre por derrumbe de la barda (7 de octubre de 2011). *Río Negro*. Recuperado de: <https://www.rionegro.com.ar/>

<sup>15</sup> Dudas sobre el riesgo de derrumbe en Estrella Federal (21 de marzo de 2018). *La Mañana de Neuquén*. Recuperado de: <https://www.lmneuquen.com/>

Escorrentía superficial

La disminución de las áreas de infiltración por impermeabilización del suelo a partir de la construcción de viviendas y la pavimentación de calles, sumado a la eliminación de la vegetación, genera un incremento de la escorrentía superficial. Se reducen, además, los tiempos de concentración provocando consecuentemente el aumento de los caudales máximos ante iguales precipitaciones, lo que agrava la problemática aluvional que afecta principalmente a los pobladores de los barrios ubicados al pie de la meseta, en la zona de pedimento (Capua *et al.*, 1999; Fatorelli y Fernández, 2011) (Figura 42).

La eliminación de la vegetación no sólo se da sobre la superficie de la meseta en proceso de urbanización sino también sobre las laderas, al desarrollarse caminos peatonales (principalmente perpendiculares a las curvas de nivel) utilizados como vías de comunicación alternativas entre los barrios vecinos, los que favorecen el escurrimiento superficial del agua de lluvia (Capua y Jurio, 2011).



**Figura 42:** Acciones y efectos de la urbanización (basado en Fatorelli y Fernández, 2011 y Giménez *et al.*, 2003).

Aportes por infiltración

En una urbanización, no sólo existe impermeabilización de parte de la superficie, sino también desarrollo de zonas parquizadas. Debe considerarse, por lo tanto, el agua a utilizar para mantenimiento de los futuros espacios verdes (jardines de las viviendas y



plazas públicas), donde se incrementa la infiltración por riego, sumado a la posibilidad de existencia de pérdidas de los caños de la red cloacal. El agua infiltrada aumenta la presión poral de los materiales en la ladera al saturar sus poros, disminuyendo la cohesión entre partículas y la fricción; además, añade peso al material y actúa como agente de meteorización (Tarbuck *et al.*, 2005; Gutiérrez Elorza, 2008). Actualmente, el único aporte sobre la meseta proviene de las precipitaciones, por lo que el riego sería un nuevo factor interviniente en la dinámica del agua en el sector. Si bien los volúmenes distan de los utilizados en plantaciones comerciales como la de Vista Alegre (que, de acuerdo con Jurio *et al.* (2014) eran de 9 mm diarios<sup>16</sup> en las aproximadamente 40 ha en producción en ese momento, lo que equivale a 3600 m<sup>3</sup> por día<sup>17</sup>), no deja de ser un factor de importancia a considerar. El aporte antrópico de agua sobre la nueva urbanización puede aproximarse a partir de lo establecido en la Ordenanza N° 13524 de la Ciudad de Neuquén<sup>18</sup>, que limita a un máximo de 1600 m<sup>3</sup>/ha/año el agua para riego de jardines domiciliarios. Si se considera que el área mínima para patios de acuerdo al código de planificación urbano de la ciudad es de 16 m<sup>2</sup> (Bidart *et al.*, 2009), la superficie mínima ocupada por jardines domiciliarios en los 589 lotes será de 9424 m<sup>2</sup>. Por lo tanto, el uso de agua para riego de jardines sería de mínimamente 4.13 m<sup>3</sup> por día. En adición, deben considerarse las zonas verdes planificadas (Figura 43), que en la primera etapa de construcción ocupan un área total de 18636.93 m<sup>2</sup>, lo que implica 8.17 m<sup>3</sup> de agua por día. Por lo tanto, el riego en la urbanización puede estimarse en un mínimo de 12.3 m<sup>3</sup> diarios, o 0.438 mm/día, lo que representa un 4.9% del agua para riego utilizada en Vista Alegre.

La Ordenanza anteriormente mencionada estima en 260 litros por día por persona el total de efluentes de una vivienda (de los cuales el 85% corresponde a efluentes de aguas negras), que son descartados a través de los desagües domiciliarios. Suponiendo que cada uno de los 589 lotes sea habitado por una familia tipo de 4 personas, el volumen de desechos líquidos producidos será de 612.56 m<sup>3</sup>/día que, considerando las 31.85 ha

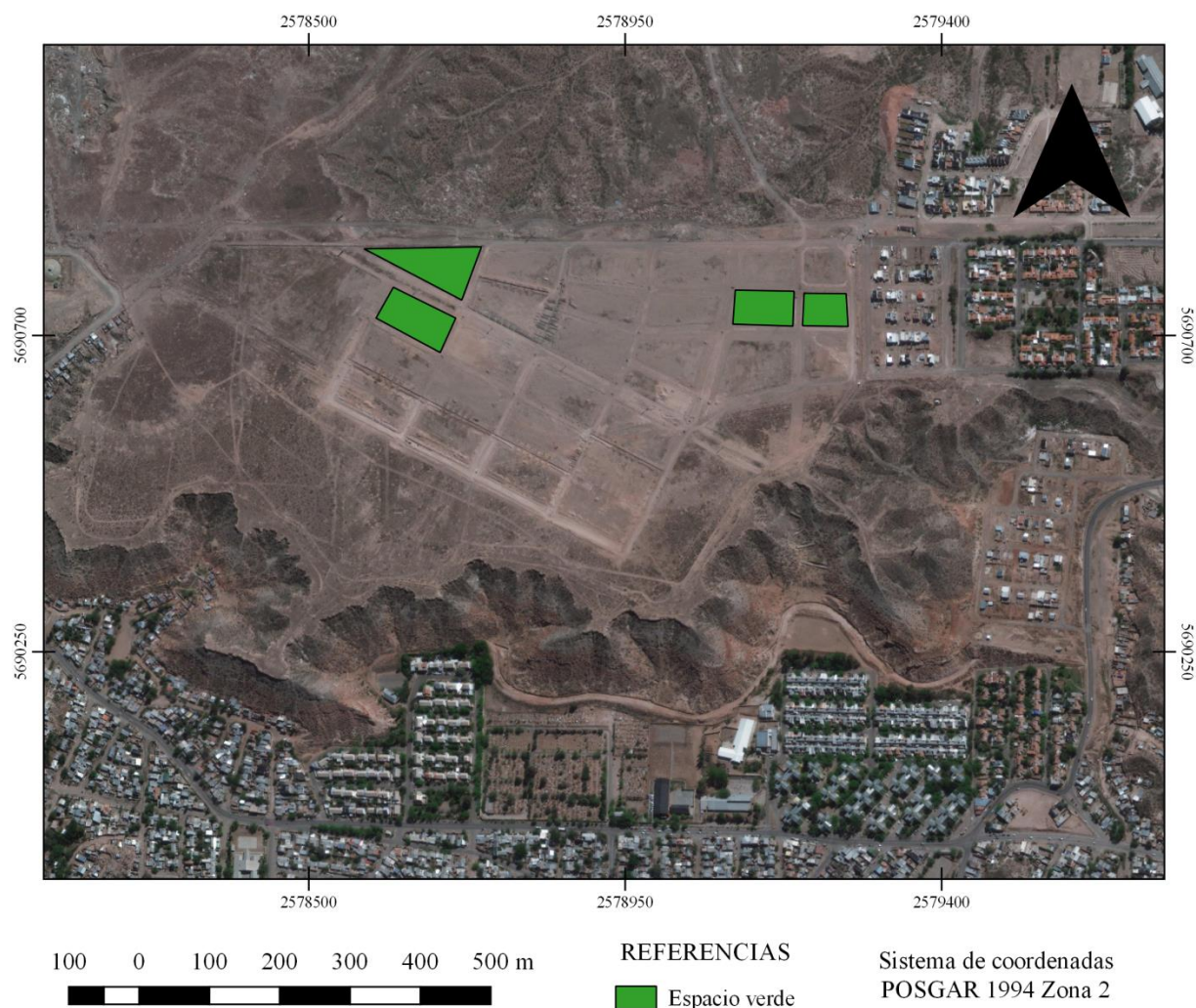
---

<sup>16</sup> Según la experiencia de riego por goteo en manzanos del Alto Valle realizada por Requena *et al.* (2016), este valor es muy superior a la irrigación promedio durante los meses de mayor demanda hídrica (diciembre y enero), que es de 6.7 mm/día.

<sup>17</sup> Esta cantidad se ajustaba mes a mes de acuerdo al estado de las plantas y la época del año, y semanalmente en función del pronóstico del tiempo (Jurio *et al.*, 2014). En ese trabajo, se indica que los sistemas de riego de goteo y microaspersión usados en la plantación de Vista Alegre son altamente eficientes, pero, de acuerdo con Horne (1994), 10% del aporte no es captado por las plantas y se acumula en los estratos inferiores.

<sup>18</sup> Ordenanza N° 13424. Concejo Deliberante de la Ciudad de Neuquén, Neuquén, Argentina, 18 de agosto de 2016.

ocupadas por la urbanización, equivale a 1.92 mm/día. Teniendo en cuenta que a diciembre de 2019, la red cloacal en el lugar se encontraba instalada pero no habilitada, el presente análisis de riesgo, de carácter conservador, considerará el aporte por riego de 0.438 mm/día y el aporte por aguas residuales de 1.923 mm/día, obteniéndose un total de aporte por infiltración sobre la meseta de 2.361 mm/día.



**Figura 43:** Espacios verdes planificados en la primera etapa de construcción de la urbanización Balcón de la Ciudad (fuente: Asociación Mutual de Empleados Municipales de Neuquén).

De acuerdo con Fatorelli y Fernández (2011), la urbanización indefectiblemente conlleva efectos hidrológicos; sin embargo, el buen manejo y control del escurrimiento de las aguas pluviales, tal como trazados de calles que no favorezcan el escurrimiento de las

aguas desde las zonas altas a las zonas más bajas<sup>19</sup> (Figura 44), mantenimiento de bocas de tormenta limpias tanto en la superficie de la meseta como en las calles de los barrios en el sector de pedimento, y la captación y utilización del agua con los fines propuestos en la Ordenanza Municipal N° 13524 antes citada<sup>20</sup>, puede ayudar a amortiguar estos efectos. No obstante, para este último caso, debe evaluarse la complejidad de instalación de los sistemas de captación y los costos asociados, ya que son aspectos que limitan la posibilidad real de implementación de los mismos.



**Figura 44:** Camino sobre la sección superior de la ladera aleña a la urbanización Balcón de la Ciudad.

Como la utilización del agua es el factor disparador de los procesos de remoción en masa en la zona de Vista Alegre, queda claro que el manejo del agua en la urbanización Balcón de la Ciudad es clave en el sector, ya que su potencialidad como agente desencadenante, junto con las precipitaciones intensas, es muy importante.

### 5.3 Comparación entre las zonas de estudio en Neuquén y Vista Alegre

Si bien existen diferencias entre la zona de estudio y el sector de deslizamientos de Vista Alegre principalmente en lo que a los volúmenes de agua intervinientes respecta (ver

---

<sup>19</sup> En su estudio sobre los deslizamientos en Vista Alegre, Jurio *et al.* (2014) mencionan un camino de comunicación entre la parte superior e inferior de la meseta, destruido completamente por los procesos de remoción en masa. Los autores afirman que cortes de ladera de ese estilo aumenta la inestabilidad de la misma e incrementan el potencial de ocurrencia de este tipo de fenómenos.

<sup>20</sup> La Sección 7.6.4.4 de la Ordenanza establece que “los edificios (...) deberán almacenar las aguas pluviales recogidas en las cubiertas en un depósito que se utilizará para proveer la red de riego, si hay, y los depósitos de los inodoros, complementando la red de aguas grises. (...) Se recogerán las aguas pluviales de cubiertas y terrazas del propio edificio y otras superficies impermeables no transitadas por vehículos ni personas”.



Sección 5.2), los rasgos comunes predominan. En la Tabla 18 se resumen las principales características de ambos sectores.

**Tabla 18:** Comparación entre el sector de estudio de Neuquén y la zona de deslizamientos de Vista Alegre.

Parámetro	Sector de estudio en Neuquén	Sector de comparación en Vista Alegre
<b>Litología</b>	De base a techo: Fangolitas rojas y areniscas finas (Fm. Bajo de la Carpa); pelitas con material piroclástico (Fm. Agua de la Caldera); Conglomerado con y sin cementación carbonática (depósitos fluviales antiguos del Río Neuquén del Pleistoceno).	De base a techo: Fangolitas rojas y areniscas finas (Fm. Allen); caliza pedogenética; conglomerados con y sin cementación carbonática (depósitos fluviales antiguos del Río Neuquén del Pleistoceno).
<b>Geomorfología y topografía</b>	Meseta (370msnm); ladera con caída de rocas; pedimento (330msnm). Desnivel de 40m.	Meseta (330msnm); ladera con procesos de remoción en masa; planicie aluvial (305msnm). Desnivel de 25m.
<b>Pendientes</b>	Supera el 60% en sectores de la ladera, alcanza los 5% sobre la meseta y ronda los 15% en el pedimento. Orientación de las laderas preferentemente hacia el sur-sudeste.	Supera el 60% en sectores de la ladera, es hasta 1% sobre la meseta, y llega a 10% en la zona de planicie aluvial actual. Orientación de las laderas preferentemente hacia el noreste.
<b>Uso antrópico sobre la meseta<sup>21</sup></b>	Actual: 31.85 ha; Máxima: 90 ha (según plan urbano)	Actual: 33.2 ha; Máxima: 115.7 ha
<b>Mínima distancia al frente de barda<sup>22</sup></b>	14 m	50 m
<b>Clima</b>	Árido, precipitaciones inferiores a 200 mm anuales, déficit hídrico anual de 500-600mm.	Árido, precipitaciones inferiores a 200 mm anuales, déficit hídrico anual de 500-600mm.
<b>Suelos</b>	Aridisoles (Petrocalcides) con horizonte petrocálcico que disminuye la capacidad de infiltración.	Entisoles (Torriortentes) con material de origen eólico altamente permeable.
<b>Uso del suelo</b>	Residencial (viviendas unifamiliares, multifamiliares y parques).	Agricultura irrigada y explotación de hidrocarburos.
<b>Vegetación y cobertura</b>	Provincia fitogeográfica de Monte. Vegetación xerófito. Cobertura de 36.2% sobre la meseta y 36.47% sobre la ladera.	Provincia fitogeográfica de Monte. Vegetación xerófito (nativa) y monte frutal de manzanas (plantado). Cobertura de 100% en el área de plantación, y 42.07% y 38.82% sobre la meseta y la ladera respectivamente.

<sup>21</sup> Medido con GIS a partir de imágenes satelitales actuales de ambos sectores.

<sup>22</sup> Mínima distancia del perímetro en uso al frente de barda, medida con SIG. Para el caso de Neuquén, se consideró el trazado de la calle más externa que bordea el barrio Balcón de la Ciudad. Para Vista Alegre, se utilizaron los mapas presentados por Jurio *et al.* (2014).

## 6. RESULTADOS

### 6.1 Mapeo con tecnología SIG

#### 6.1.1 Mapa de Peligrosidad

De acuerdo con Van Westen (1994), para la realización del mapeo de peligrosidad debe asumirse que es más probable que los movimientos en masa ocurran en los lugares donde existe una combinación de condiciones que ya ha llevado a la generación de remoción en masa en el pasado.

Los factores determinantes de la peligrosidad considerados fueron la pendiente, la distancia a la ladera, la litología, el aporte antrópico de agua estimado sobre la meseta y la vegetación, siendo los cuatro primeros los de mayor relevancia para este trabajo (ver *Sección 4.2; 4.3; 4.4 y 5.2*).

La reclasificación de cada uno de estos factores y su posterior ponderación se realizó a partir de sus similitudes con el sector de comparación en Vista Alegre. La asignación de las cinco clases se llevó adelante determinando un valor de peligrosidad mínimo (asignado con un '1' en la nueva clasificación) y un valor máximo (correspondiente a un '5') (Tabla 19). El valor mínimo considerado en todos los casos fue de cero (con excepción de la vegetación, cuyo valor mínimo coincide con el máximo dato obtenido en el histograma de la capa ráster NDVI del sector de Vista Alegre, que ronda los 0.41; y la distancia a la ladera, donde el valor mínimo se corresponde con las distancias mayores a 100 metros), mientras que el valor máximo para cada factor se basó en:

- Pendiente: Los valores correspondientes a una ladera muy escarpada en la clasificación de la FAO (Vargas Rojas, 2009), que son aquellos superiores al 60%.
- Distancia a la ladera: El sector de deslizamientos en Vista Alegre, definiéndose como distancia de máxima peligrosidad el intervalo entre 0 y 15 metros. Esta medida se tomó en relación tanto al borde de la meseta como al pie de la ladera.
- Litología: El promedio de materiales finos presentes en la columna estratigráfica de Vista Alegre, que es de aproximadamente 35%.
- Aporte antrópico de agua: El riego de 9 mm/día en la plantación de Vista Alegre.
- Vegetación: Los mínimos valores obtenidos en el histograma de la capa raster NDVI del sector de Vista Alegre, que son los números menores a 0.

## 6. RESULTADOS

Las ponderaciones se indican en la Tabla 20. Con esta información, se generaron dos mapas de peligrosidad para la zona de estudio en Neuquén. El primero, considerando el aporte de agua estimado de 2.361 mm/día (ver *Sección 5.2*) (Figura 45); y el segundo, con una irrigación de 4.827 mm diarios, lo que equivale a un aporte antrópico de agua total de 6.75 mm/día, cantidad a partir de la cual el riesgo comienza a ser alto en determinadas áreas del sector (Figura 46). Este último valor, por lo tanto, corresponde al umbral de aporte. Vale la pena aclarar, sin embargo, que ese excedente de infiltración sobre la meseta no generará procesos de remoción en masa de forma inmediata sino que, al igual que en Vista Alegre, deberá ser sostenido en el tiempo para generar estos fenómenos.

**Tabla 19:** Factores determinantes de la peligrosidad.

<b>Pendiente</b>	
%	Reclasificación
0-15	1
15-30	2
30-45	3
45-60	4
≥ 60	5
<b>Distancia a la ladera</b>	
Metros	Reclasificación
> 100	1
100-60	2
60-30	3
30-15	4
15-0	5
<b>Litología</b>	
% Materiales finos	Reclasificación
0-10%	1
10-20%	2
20-30%	3
30-35%	4
≥ 35%	5
<b>Aporte antrópico de agua</b>	
Volumen diario (mm/día)	Reclasificación
0-2.25	1
2.25-4.5	2
4.5-6.75	3
6.75-9	4
≥ 9	5
<b>Vegetación</b>	
NDVI	Reclasificación
0.3-0.41	1
0.2-0.3	2
0.1-0.2	3
0-0.1	4
< 0	5



**Tabla 20:** Ponderación de los factores determinantes de la peligrosidad.

Indicador	Ponderación
Pendiente	30%
Aporte antrópico de agua	25%
Distancia a la ladera	25%
Litología	15%
Vegetación	5%

### 6.1.2 Mapa de Vulnerabilidad

Para la realización del mapeo (Figura 47) se tomaron como unidades espaciales los barrios aledaños al sector de meseta en la zona de estudio, mapeados por la Dirección de Estadística y Censos de la Provincia de Neuquén. La reclasificación de los factores considerados (ver *Sección 4.5*) y sus ponderaciones se indican en las Tablas 21 y 22 respectivamente.

**Tabla 21:** Reclasificación de los factores socioeconómicos considerados.

Uso del suelo <sup>23</sup>	
Fin de la ocupación	Reclasificación
Cementerio	3
Recreativo	4
Educativo	4
Residencial	5
Calidad constructiva de la vivienda	
% Básica e Insuficiente	Reclasificación
0-10	1
10-20	2
20-30	3
30-40	4
> 40	5
Calidad de los materiales	
% Calidad 2, 3 y 4	Reclasificación
0-10	1
10-20	2
20-30	3
30-40	4
> 40	5
Condición de actividad	
% No ocupado	Reclasificación
0-10	1
10-20	2
20-30	3
30-40	4
> 40	5

<sup>23</sup> Basado en Mujica y Pacheco (2013).

**Tabla 21** (continuación).

<b>Índice de hacinamiento</b>	
% (>2)	Reclasificación
0-10	1
10-20	2
20-30	3
30-40	4
> 40	5

**Tabla 22:** Ponderación de los indicadores para el cálculo de la vulnerabilidad.

<b>Indicador</b>	<b>Ponderación</b>
Uso del suelo	30%
Calidad de viviendas	30%
Calidad de materiales	30%
Condición de actividad	5%
Índice de hacinamiento	5%

### 6.1.3 Mapa de Exposición

El mapeo de la exposición (Figura 48) se realizó en base a la información demográfica descrita en la Sección 4.5. Las reclasificaciones y las ponderaciones de los factores considerados se presentan en las Tablas 23 y 24.

**Tabla 23:** Reclasificación de los factores considerados.

<b>Habitantes</b>	
Cantidad	Reclasificación
$0 \leq 500$	1
$500 \leq 1000$	2
$1000 \leq 1500$	3
$1500 \leq 2000$	4
$> 2000$	5
<b>Viviendas</b>	
Cantidad	Reclasificación
$0 \leq 250$	1
$250 \leq 500$	2
$500 \leq 750$	3
$750 \leq 1000$	4
$> 1000$	5

**Tabla 24:** Ponderación de los indicadores para el cálculo de la exposición.

<b>Indicador</b>	<b>Ponderación</b>
Cantidad de viviendas	50%
Habitantes	50%

### 6.1.4 Mapa de Riesgo

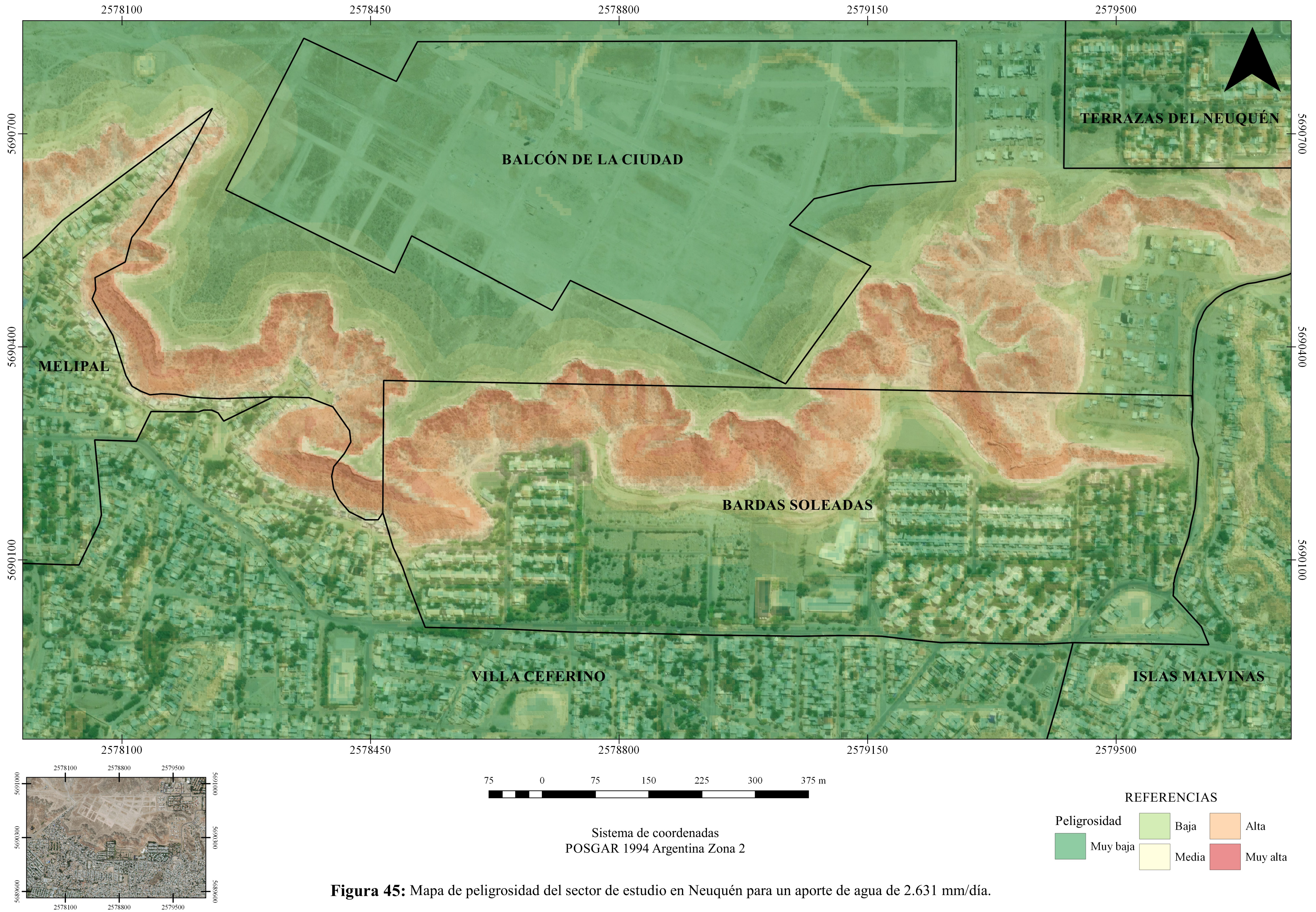
Siguiendo las palabras de Chacón *et al.* (2007), el riesgo expresa la probabilidad de ocurrencia de un proceso destructivo en presencia de elementos vulnerables, por lo que, para la obtención de los mapas de riesgo, se combinaron los mapas de peligrosidad, vulnerabilidad y exposición. La ponderación de cada mapa se expresa en la Tabla 25. El mapa resultante para un aporte de agua de 2.361 mm/día se presenta en la Figura 49, mientras que el mapa obtenido para un aporte de agua de 6.75 mm diarios se presenta en la Figura 50.

**Tabla 25:** Ponderación de los indicadores para el cálculo del riesgo.

Mapa	Ponderación
Peligrosidad	50%
Vulnerabilidad	25%
Exposición	25%



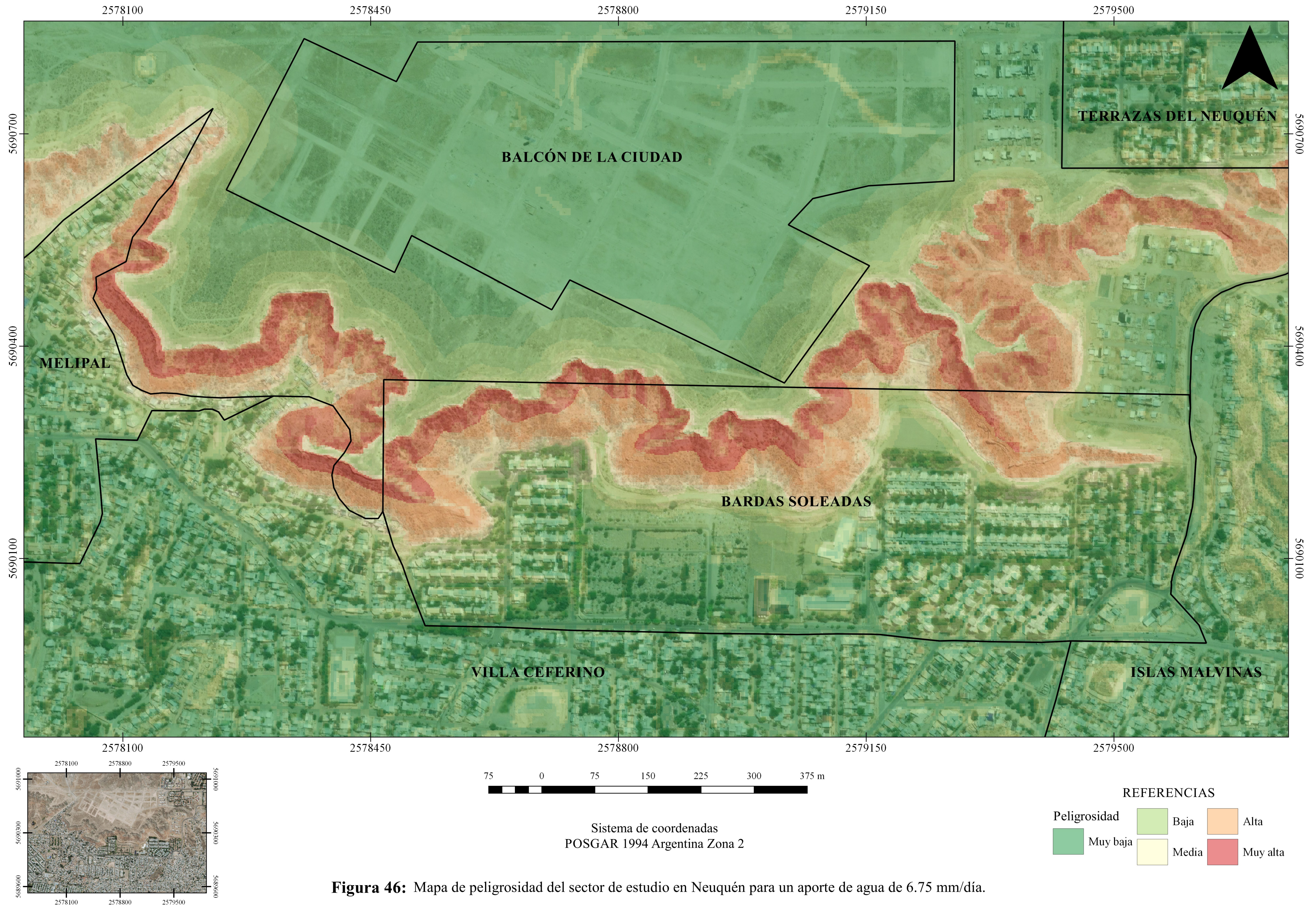
# MAPA DE PELIGROSIDAD



**Figura 45:** Mapa de peligrosidad del sector de estudio en Neuquén para un aporte de agua de 2.631 mm/día.



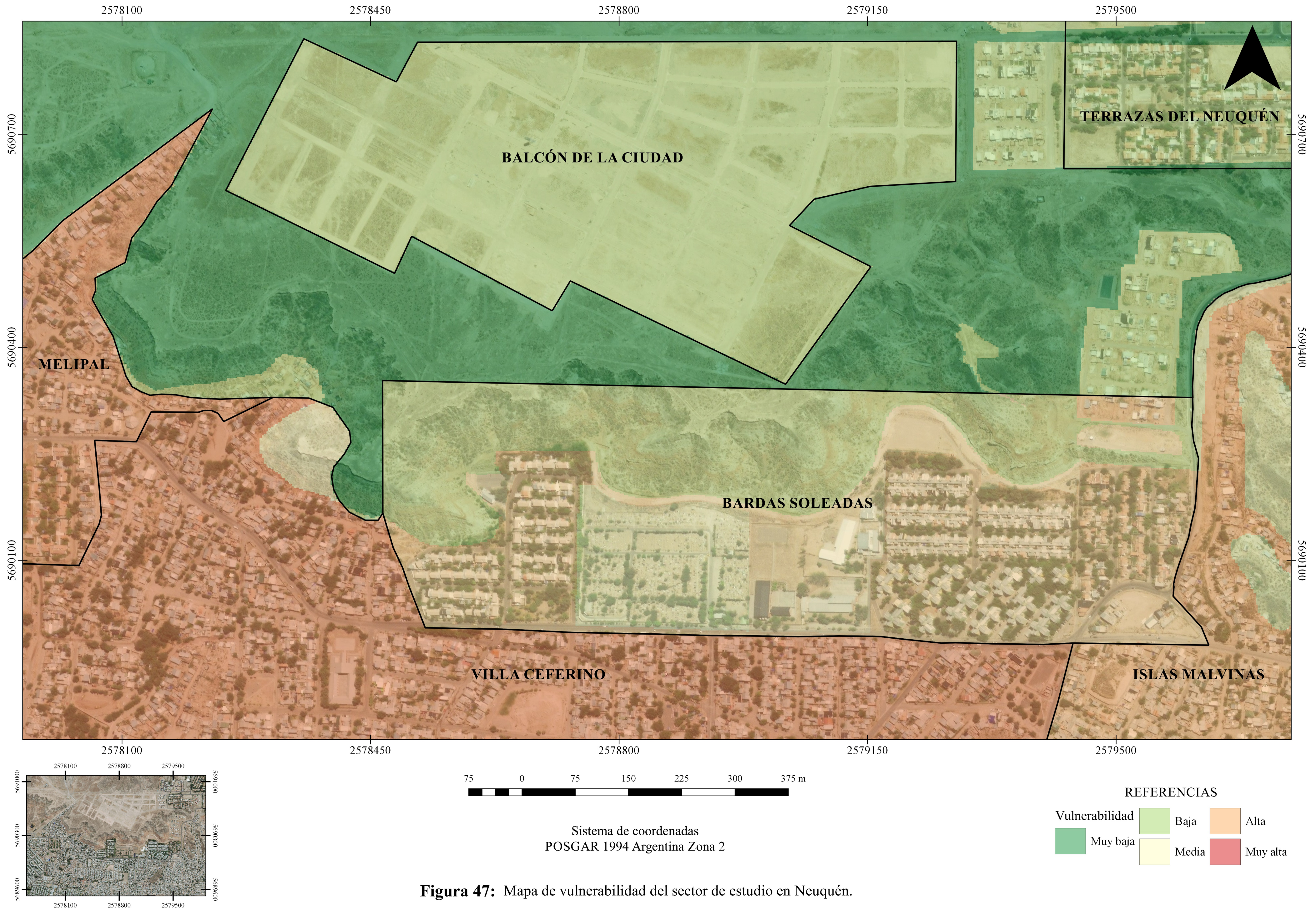
# MAPA DE PELIGROSIDAD



**Figura 46:** Mapa de peligrosidad del sector de estudio en Neuquén para un aporte de agua de 6.75 mm/día.



# MAPA DE VULNERABILIDAD



**Figura 47:** Mapa de vulnerabilidad del sector de estudio en Neuquén.



# MAPA DE EXPOSICIÓN

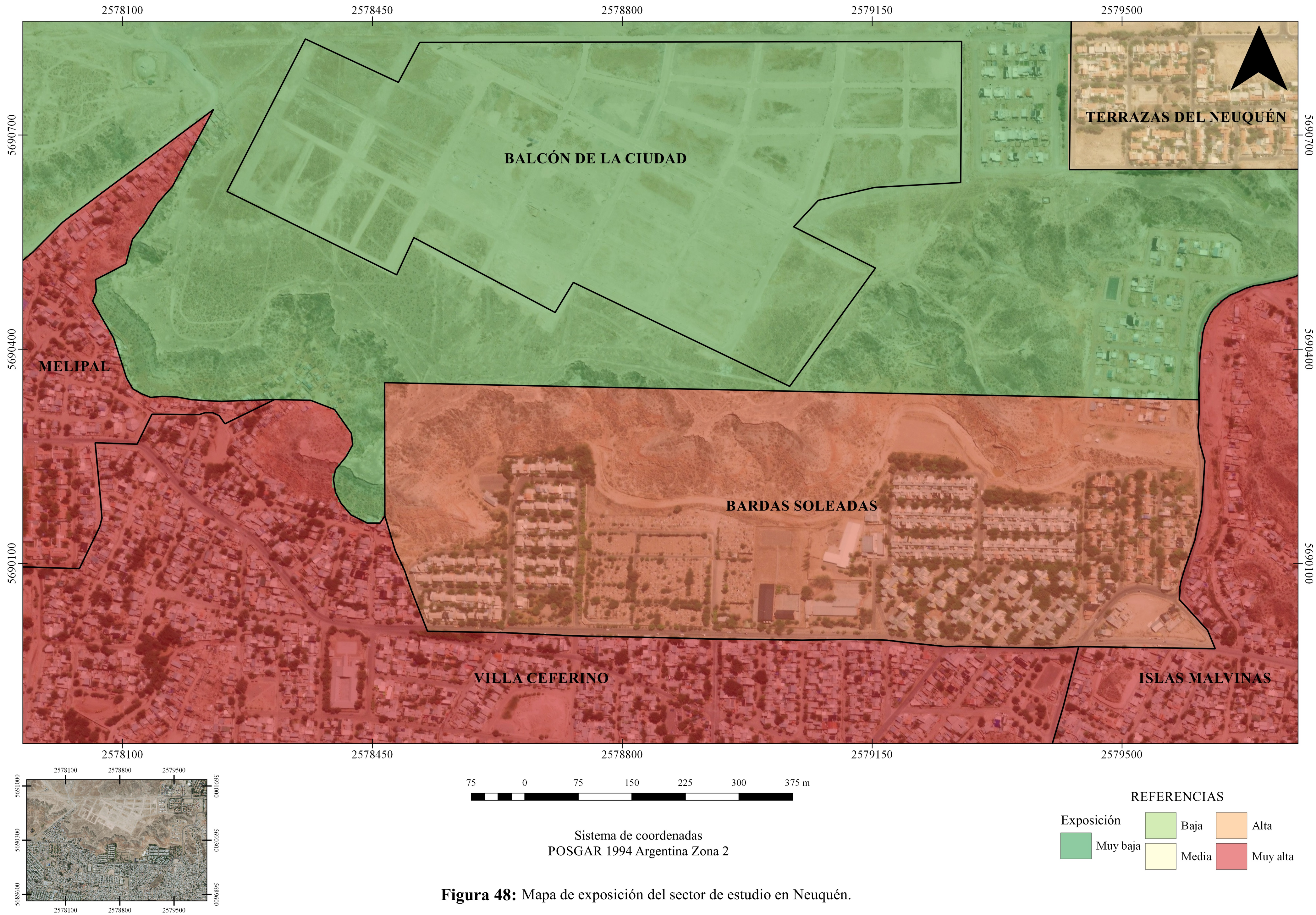


Figura 48: Mapa de exposición del sector de estudio en Neuquén.



# MAPA DE RIESGO

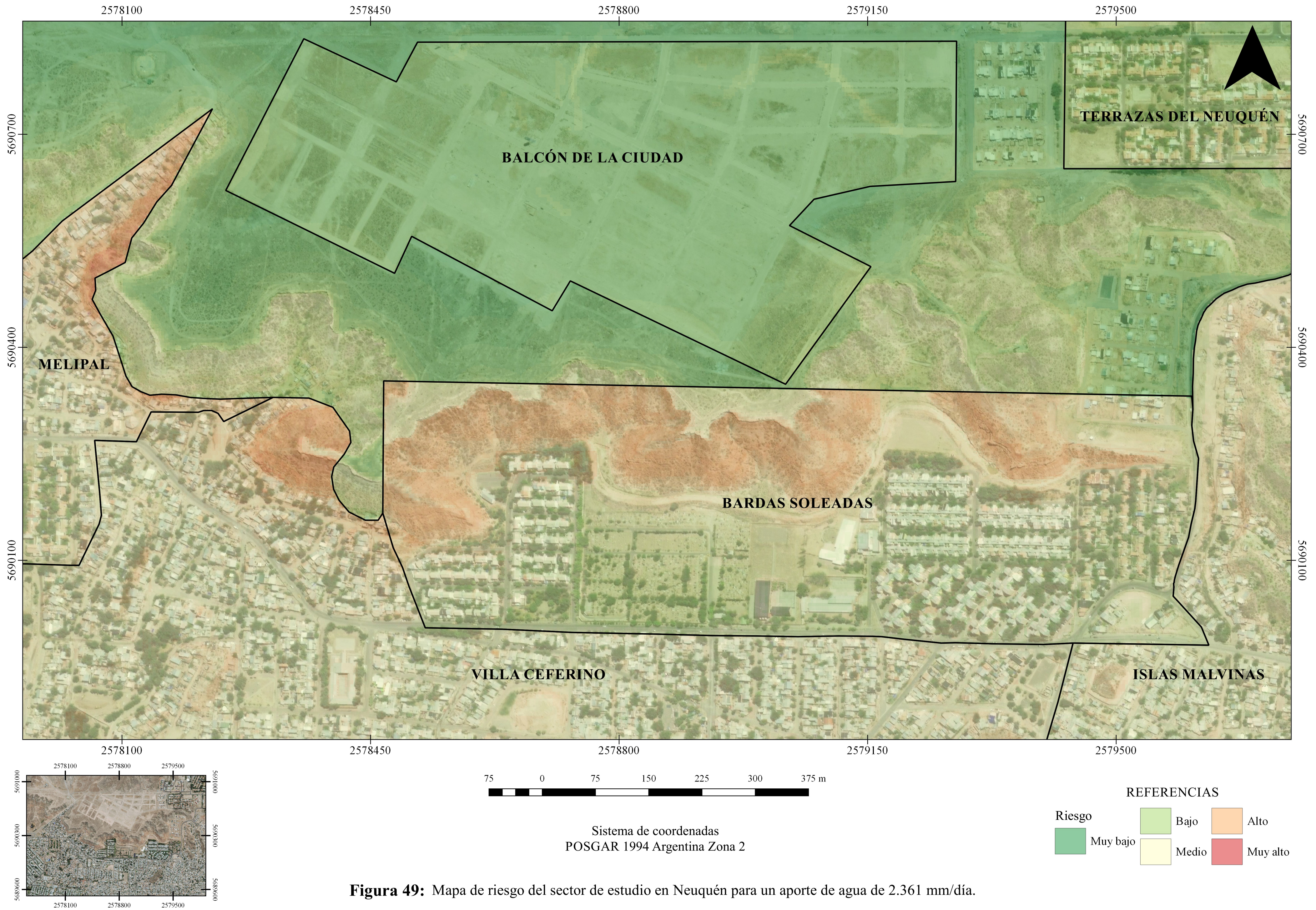
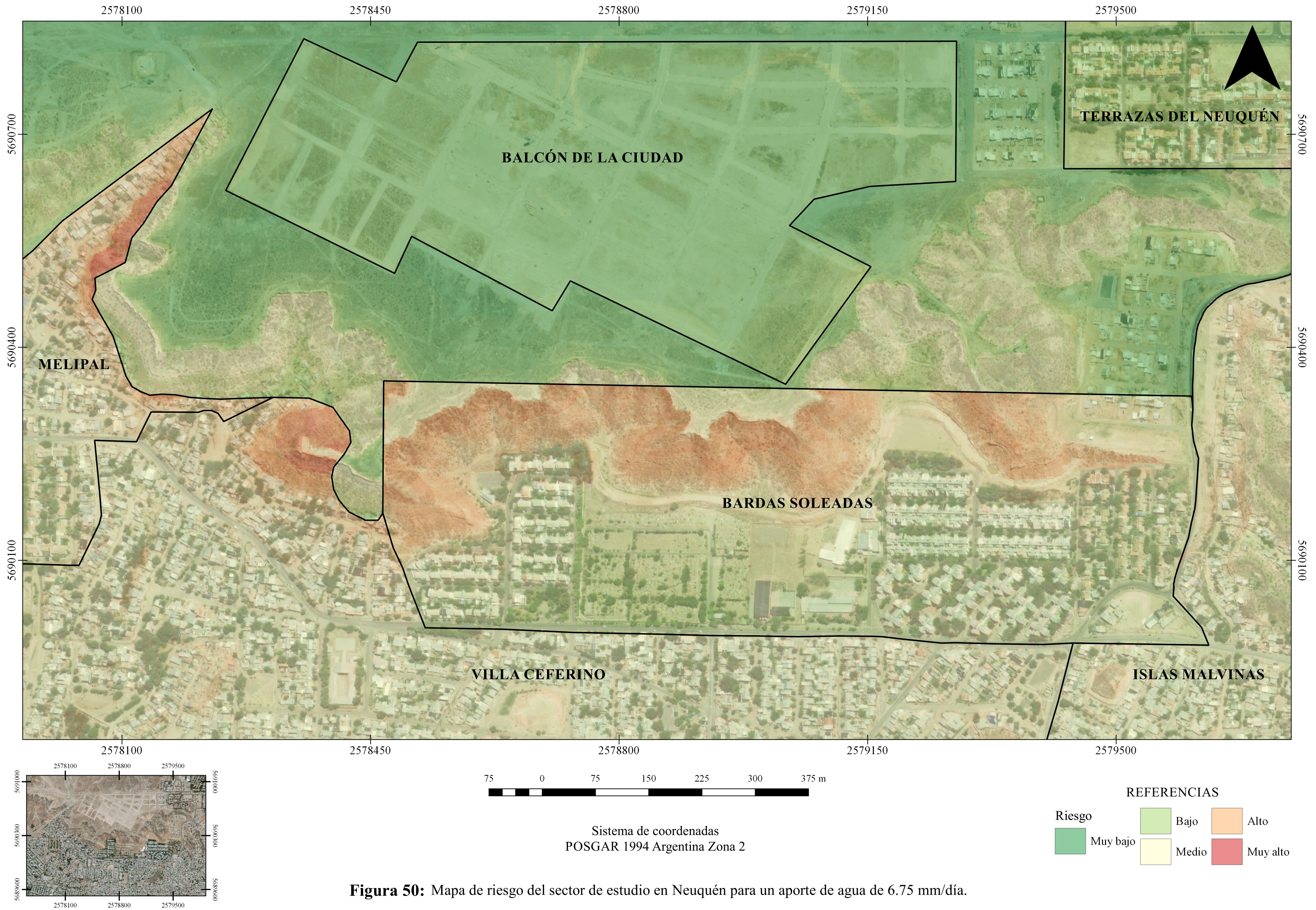


Figura 49: Mapa de riesgo del sector de estudio en Neuquén para un aporte de agua de 2.361 mm/día.



# MAPA DE RIESGO



**Figura 50:** Mapa de riesgo del sector de estudio en Neuquén para un aporte de agua de 6.75 mm/día.



## 6.2 Simulación con Scoops3D USGS

El programa computacional de simulación Scoops3D del USGS analiza el factor de seguridad (F) de cada celda del DEM del sector para realizar sus estimaciones. La clasificación de la estabilidad de las laderas basada en el valor de F se ilustra en la Tabla 26.

**Tabla 26:** Estabilidad de laderas a partir del factor de seguridad (Zhang y Wang, 2019).

Factor de seguridad	Estabilidad de la ladera
$F \leq 0.75$	Muy inestable
$0.75 < F \leq 1$	Inestable
$1 < F \leq 1.25$	Casi estable
$1.25 < F \leq 1.5$	Estable
$F > 1.5$	Muy estable

Los resultados de la simulación se indican en la Tabla 27. El área total con potencialidad de falla es de aproximadamente 430 m<sup>2</sup> y representa un volumen total de materiales de 1013 m<sup>3</sup>, con un peso aproximado de 15.8 Tn. En las Figuras 51 y 52 se ilustran tanto la variación del factor de seguridad como la superficie crítica en la zona de estudio de Neuquén.

**Tabla 27:** Resultados de la simulación con Scoops3D.

Potencialidad de falla del terreno	
Factor de seguridad medio con método de Bishop 3D	0.6522
Factor de seguridad medio con método ordinario 3D	0.6344
Volumen (m <sup>3</sup> )	1.01321e <sup>+03</sup>
Área superficial horizontal (m <sup>2</sup> )	4.28397e <sup>+02</sup>
Área de la superficie de deslizamiento (m <sup>2</sup> )	6.00496e <sup>+02</sup>
Peso (kg)	1.57985e <sup>+04</sup>





REFERENCIAS

Factor de seguridad	1
0	1.25
0.75	> 1.5

**Figura 51:** Representación de los resultados de la simulación con el software del USGS Scoops3D (escala vertical exagerada 3 veces). Variación del factor de seguridad (F) en el sector de estudio.



**Figura 52:** Representación de los resultados de la simulación con el software del USGS Scoops3D (escala vertical exagerada 3 veces). En rojo, la superficie crítica a ser movilizada.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con este trabajo, se intentó realizar un aporte a la comunidad y poner en eje de discusión una situación cada vez más naturalizada en la Ciudad de Neuquén: la ocupación de zonas de riesgo para fines residenciales, poniendo en peligro principalmente a la población más vulnerable socio-económicamente, que es la que reside en el sector norte de la ciudad.

Como quedó evidenciado, el área de estudio posee un riesgo medio a alto a la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa. Las modificaciones que se introducirán sobre la meseta con la urbanización Balcón de la Ciudad (que, de acuerdo a los análisis efectuados con técnicas SIG, posee un perímetro aproximado de 2920 m, ocupando una superficie aproximada de 31.85 ha), indiscutiblemente generarán un agravamiento de los procesos erosivos existentes en el lugar. De forma directa e indirecta, se verán afectadas las 38913 personas que habitan en las 11270 viviendas emplazadas en los barrios aledaños a la meseta en el sector (Bardas Soleadas, Islas Malvinas, Melipal, Terrazas del Neuquén y Villa Ceferino)<sup>24</sup>, las que representan aproximadamente el 17% de la población de la ciudad, sin contabilizar las familias que residirán en la nueva urbanización, que actualmente es de 589 lotes (365 correspondientes a la primera etapa de construcción y 224 en construcción en la segunda etapa), pero cuya proyección máxima es de un total de 14112 habitantes de acuerdo al plan de urbanización del sector realizado por el municipio en el año 2009, en el marco de la Urbanización de la Meseta.

Las áreas con mayores posibilidades de ocurrencia de procesos de remoción en masa deben ser el foco de atención de las autoridades y moradores; los indicadores tempranos como agrietamientos en la superficie próxima al frente meseta, son indicios de la etapa inicial de ciertos fenómenos como deslizamientos rotacionales, y su aparición debería ser la primera alarma ante la ocurrencia de procesos similares a los de Vista Alegre.

Como fuera mencionado reiteradas veces en este trabajo, el agua es el principal factor que contribuye en la desestabilización de la ladera en Vista Alegre. Con el correr del tiempo, se dispondrá de mayor información sobre la alteración del régimen de agua en la zona de estudio en Neuquén, y de forma precisa y concreta se podrá conocer la evolución de la remoción en masa en el área. Se sugiere, por lo tanto, avanzar con los estudios

---

<sup>24</sup> Véase *Sección 4.1.*



relacionados a la temática tanto en el sector como en otras zonas similares en plan y/o en proceso de urbanización en la capital neuquina. Así mismo, el desarrollo de nuevos estudios en la zona afectada por remoción en masa en Vista Alegre permitirá ampliar la comprensión de estos fenómenos.

Como forma de prevención, se propone:

1. Limitar la distancia al frente de barda para la construcción, a través de la promulgación de una nueva Ordenanza Municipal. Se sugieren mínimamente 100 metros, que se corresponde al máximo retroceso del frente de barda registrado al presente en Vista Alegre como consecuencia de los deslizamientos rotacionales (70 m), más un margen de seguridad (30 m). Se sugiere, además, revegetar este espacio con flora nativa.
2. Determinar puntos de control en las áreas de mayor riesgo indicadas en este trabajo y diseñar un plan de monitoreo de signos precursoros de procesos de remoción en masa (por ejemplo, agrietamientos en cercanías al frente de barda) para, en caso de ser necesario, ejecutar acciones preventivas estructurales puntuales, como puede ser la ampliación del terraplén existente.
3. Observar constantemente cambios en la humedad de las fangolitas como consecuencia de filtraciones de agua, para el monitoreo de la aparición/evolución de un posible nivel freático artificial que puede generar una superficie de deslizamiento, como ocurrió en Vista Alegre.
4. Garantizar la instalación de los sistemas cloacales y cerciorar su funcionamiento ante nuevas urbanizaciones y/o construcciones con fines industriales sobre la meseta, a fin de evitar aumentos en la infiltración. Para estos últimos casos, además, regular los volúmenes de descarga de líquidos permitidos sobre la superficie, evitando vertidos directos o pozos absorbentes<sup>25</sup>, principalmente en los establecimientos más próximos al frente de barda.
5. Evaluar la posibilidad de implementar las recomendaciones sobre retención y utilización del agua pluvial “(...) para riego de parques y jardines, limpieza de interiores y exteriores, cisternas de inodoros y cualquier otro uso adecuado a sus características” presente en la Sección 7.6.4.4 de la Ordenanza N° 13524 de la

---

<sup>25</sup> Empresas del PIN vierten sus efluentes a las cloacas (25 de octubre de 2018). *La Mañana de Neuquén*. Recuperado de <https://www.lmneuquen.com/>

Ciudad de Neuquén, lo que podría contribuir tanto con la problemática aluvional como con la remoción en masa.

6. Favorecer la vegetación que requiera poca agua en los espacios verdes de la urbanización (evitando el césped), como también recomienda la Ordenanza antes mencionada, para minimizar la irrigación del suelo, principalmente en el área más próxima al frente de barda. La disminución del riego es una de las sugerencias del Servicio Geológico de Estados Unidos (2004) para reducir la ocurrencia de procesos de remoción en masa. Asimismo, replantar con vegetación autóctonas las laderas, cárcavas y piedemonte, tal como sugirieran Capua *et al.* en 1999 para mitigar la problemática aluvional, pero que hasta el momento nunca fue llevado a cabo.
7. Mantener la limpieza de los canales pluvioaluvionales y azudes presentes en el sector, de gran importancia para los fenómenos aluvionales, ya que los problemas de mantenimiento y conservación descritos por Capua *et al.* (1999) persisten.
8. Planificar la construcción de más azudes para la contención de sedimentos. Como ya mencionaron Capua *et al.* (1999) y Marizza *et al.* (2010), las obras de defensa existentes son insuficientes. Con una mayor densidad de población en la zona, el aumento de la escorrentía superficial con los aluviones asociados y los procesos de remoción en masa harán necesarias más estructuras del tipo.
9. Continuar con la re excavación y limpieza de los márgenes de los terraplenes al pie de la meseta de manera constante. Luego de las inundaciones del 2014, el municipio suele realizar estas tareas como forma de prevención aluvional ante cada pronóstico de precipitaciones de magnitud en la ciudad. Sin embargo, estos espacios son rápidamente colmados por los sedimentos erosionados.

Con una tasa de crecimiento anual del 14,8 por cada 1000 habitantes (Dirección de Estadística y Censos de Neuquén), es evidente la importancia de la creación de planes de viviendas y nuevas urbanizaciones para cumplir con la demanda habitacional. La planificación territorial acorde<sup>26</sup> es clave en este crecimiento. Debe tenerse presente que una de las metas del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) N°11 de la ONU “Ciudades y Comunidades Sostenibles” es la implementación de una planificación territorial eficiente

---

<sup>26</sup> La planificación urbana en “Balcón de la Ciudad” se realizó en forma paralela al diseño urbanístico del sector, lo que, como se menciona en ese documento técnico, no es lo ideal (Yunes *et al.*, 2009): Debe primeramente desarrollarse el plan urbano para luego, realizar el diseño del barrio. Sin embargo, allí se justifica el accionar por la urgencia de la demanda habitacional.



para asegurar el acceso a todas las personas a viviendas y servicios básicos adecuados, seguros y mejorar los barrios marginales.

Las futuras urbanizaciones, tanto en Neuquén como en el resto de las localidades vecinas<sup>27</sup>, deberían llevarse a cabo en lugares que no pongan en riesgo la seguridad física de sus moradores ni sus propiedades, comprendiendo que no todo terreno inhabitado es apto para urbanizar. Las inversiones en mantenimiento de las obras de control en los sectores de riesgo podrían disminuirse si se ocuparan únicamente zonas aptas.

---

<sup>27</sup> Un ejemplo del inminente riesgo de procesos de remoción en masa en la ciudades del Alto Valle asentadas en cercanías a la meseta se dio en la vecina localidad de Villa Regina en el año 2016, donde debió removerse parte del frente de barda para evitar su caída sobre las viviendas ubicadas al pie del mismo (Véanse los artículos “Regina hará un talud en la barda” (4 de julio de 2015) y “Finalmente cayó la piedra de la punta de la barda en Regina” (18 de mayo de 2016), publicados en el diario *Río Negro*).

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abril Abril, A. L., 2011.** Estudio e implementación de un modelo para la zonificación de áreas susceptibles a deslizamiento mediante el uso de sistemas de información geográfica: caso de estudio sector Quimsacocha, Ecuador. Universidad de Cuenca, Cuenca, 153 p.
- Apcarian, A., Aruani, C., Schmid, P., Broquen, P., Imbellone, P. A., 2002.** Prácticas de rehabilitación de Aridisoles y Entisoles del norte de la Patagonia afectados por la apertura de líneas sísmicas. *Revista Ciencia del Suelo* 20 (2). Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo, Buenos Aires, pp. 88-97.
- Apcarian, A., Schmid, P. M., Aruani, M. C., 2014.** Suelos con acumulaciones calcáreas en el Alto Valle de Río Negro, Patagonia Norte. En: Imbellone, P. A. (Ed.) *Suelos con acumulaciones calcáreas y yesíferas de Argentina*, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Buenos Aires, pp.151-181.
- Barros, V., Bejarán, R., 2005.** Adaptación al Cambio Climático en Argentina: ¿Dónde estamos? Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Universidad de Buenos Aires, 43 p.
- Bidart, N., Santamarina, A. M., Medrano, O., 2009.** Bloque Temático N°1 “Usos y Ocupación del Suelo” del Código de Planeamiento y Gestión Urbano Ambiental de la Ciudad de Neuquén. Municipalidad de Neuquén, Secretaría de Obras Públicas, Gestión Urbana y Vivienda, Neuquén, 167 p.
- Bloom, A. L., 1974.** La superficie de la Tierra. *Fundamentos de la Ciencia de la Tierra*. Edición Omega, Barcelona, 151 p.
- Cabrera A. L., 1951.** Territorios fitogeográficos de la República Argentina. *Boletín Sociedad de la Sociedad Argentina de Botánica* Vol. 4, Buenos Aires, pp. 21–65.
- Calvo, J. O., Ávila, L., Sánchez, M. L., 2016.** *Estratigrafía del Grupo Neuquén: Costa Norte del Lago Barreales, Provincia del Neuquén, Patagonia, Argentina*. Libro de Resúmenes del VII Congreso Latinoamericano de Sedimentología y XV Reunión Argentina de Sedimentología., Santa Rosa, pp. 47.
- Canfield, R., 1941.** Application of Line Interception Method in Sampling Range Vegetation. *Journal of Forestry*, 39, pp. 388-394.
- Capua, O., Giordano, A., Jurio, E., 1999.** Problemática del barrio Bardas Soleadas, Ciudad de Neuquén. Departamento de Geografía, Facultad de Humanidades, Universidad Nacional del Comahue, Neuquén, 31 p.
- Capua, O., Jurio, E., 2011.** Componentes y dinámica natural del ambiente de la Ciudad de Neuquén. *Boletín Geográfico* año XXXII N°33. Departamento de Geografía, Facultad de Humanidades, Universidad Nacional del Comahue, Neuquén, pp. 55-68.
- Cardozo, C. L., 2013.** Zonación de susceptibilidad por procesos de remoción en masa en la cuenca del río Tartagal, Salta (Argentina). Facultad de Matemática, Astronomía y Física e Instituto de Altos Estudios Espaciales Mario Gulich, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, 115 p.
- Chacón, J., Irigaray, C., Fernández, T., El Hamdouni, R., 2006.** Engineering geology maps: landslides and geographical information systems. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 65, Springer-Verlag, pp. 341-411.
- Chacón, J., Irigaray, C., Fernández Del Castillo, T., 2007.** Los movimientos de ladera de la Provincia de Granada. *Movimientos de Ladera. Atlas de Riesgos Naturales en la Provincia de Granada*. Diputación de Granada e Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Granada, pp. 45-82.



- Cippitelli, M. (12 de mayo de 2019).** La terrible inundación del 75: el día que colapsó el cementerio. *La Mañana de Neuquén*. Recuperado de: <https://www.lmneuquen.com/>
- Colantuono, M. R., Saint Lary, B., Anguita, J., 1988.** Contribución al ordenamiento territorial de la Ciudad de Neuquén. Boletín Geográfico N°16. Departamento de Geografía, Facultad de Humanidades, Universidad Nacional del Comahue, Neuquén, pp. 61-71.
- Cruden, D. M., 1991.** A simple definition of a landslide. Bulletin of the International Association of Engineering Geology N°43, Paris, pp. 27-29.
- Cruden, D. M., Varnes, D. J., 1996.** Landslide Types and Processes. In Turner, A. K., Schuster, R. L., 1996, Landslides: Investigation and Mitigation, Special Report 247. Transportation Research Board, National Research Council, National Academic Press 673, Washington D. C., pp. 36-75.
- Dana, J. D., 1863.** Manual of Geology: Treating of the Principles of the Science with Special Reference to American Geological History for the Uses of Colleges, Academies and Schools of Science. Theodore Bliss & Co., Philadelphia, 798 p.
- Dirección Provincial de Estadística y Censos, 2010.** Barrios de la Ciudad de Neuquén. Censo 2010: Publicación interactiva. Ministerio de Economía y Obras Públicas, Gobierno de la Provincia de Neuquén, Neuquén, 60 p.
- Dufilho, A. C., Horne, F., Navedo, R., Polla, G., 2001.** Diseño de obras de control de aluviones basada en simulación de procesos hidrológicos torrenciales en cuencas de la Patagonia. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Vol. 5 (2), Universidade Federal de Paraíba, Campina Grande, pp. 198-203.
- Fatorelli, S., Fernández, P. C., 2011.** Diseño Hidrológico. Segunda edición en español. Edición digital. Water Assessment & Advisory Global Network, Zaragoza, 531 p.
- Ferrer, J. A., Irisarri, J. A., Mendia, J. M., 2006.** Suelos de la Provincia del Neuquén. Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Consejo Federal de Inversiones (CFI), Buenos Aires, 224 p.
- Garrido, A. C., 2010.** Estratigrafía del Grupo Neuquén, Cretácico Superior de la Cuenca Neuquina (Argentina): Nueva propuesta de ordenamiento litoestratigráfico. Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales, Nueva Serie 12 (2), Buenos Aires, pp. 121-177.
- Garrido, A. C., 2011.** El Grupo Neuquén (Cretácico tardío) en la Cuenca Neuquina. Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino, Neuquén, pp. 231-244.
- Giménez, J. C., Bergman, L. A., Devoto, G., Picasso, J., 2003.** Manual para el diseño de Planes Maestros para la mejora de la infraestructura y la gestión del drenaje urbano. Presidencia de la Nación, Secretaría de Obras Públicas, Unidad Coordinadora de Programas con Financiación Externa, Buenos Aires, 205 p.
- González, M. A., 2004.** Remoción en masa. En: González M. A. y Bejerman, N. J. (Eds.) Peligrosidad Geológica en Argentina. Metodologías de análisis y mapeo. Estudio de casos. Publicación especial N° 4 de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería, Buenos Aires, pp. 358-362.
- González Díaz, E. F., 2004.** Remoción en masa. En: González M. A. y Bejerman, N. J. (Eds.) Peligrosidad Geológica en Argentina. Metodologías de análisis y mapeo. Estudio de casos. Publicación especial N° 4 de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería, Buenos Aires, pp. 411-422.
- González Díaz, E. F., 2009.** Síntesis histórica del estudio del proceso de la remoción en masa en la Argentina. Revista de la Asociación

- Geológica Argentina 65 (4), Buenos Aires, pp. 688-690.
- González Díaz, E. F., Di Tommaso, I., 2011.** Geomorfología. Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino, Neuquén, pp. 421-438.
- Gutiérrez Elorza, M., 2008.** Geomorfología. Pearson Prentice Hall, Madrid, 920 p.
- Heredia, S., Calvo, J. O., 2002.** Estratigrafía de las bardas de la Ciudad de Neuquén, Argentina. Actas del XV Congreso Geológico Argentino, Tomo I, El Calafate, pp. 699-705.
- Highland, L., Johnson, M., 2004.** Landslide types and processes, Fact Sheet 2004-3072. United States Geological Survey, Department of the Interior, Washington D. C., 4 p.
- Highland, L. M., Bobrowsky, P., 2008.** The landslide handbook: A guide to understanding landslides. United States Geological Survey Circular 1325, Reston, Virginia, 129 p.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2013.** Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010. Definiciones de la base de datos, Buenos Aires, 12 p.
- Jurio, E. M., Chimenton, M. E., Mare, M. D., 2014.** Desestabilización del sistema natural a partir de cambios en el uso del suelo: el caso de los deslizamientos de Vista Alegre, Provincia del Neuquén. Boletín Geográfico año XXXV N°36, Departamento de Geografía, Facultad de Humanidades, Universidad Nacional del Comahue, Neuquén, pp. 11-26.
- Jurio, E. M., Torrens, C. V., 2015.** Lo que la lluvia nos dejó: impacto de las inundaciones en la Ciudad de Neuquén. Seminario Internacional sobre Ciencias Sociales y Riesgo de Desastre: un encuentro inconcluso, Buenos Aires, 16 p.
- Keller, E. A., Blodgett, R. H., 2007.** Riesgos Naturales. Procesos de la Tierra como riesgos, desastres y catástrofes. Pearson Prentice Hall, Madrid, 448 p.
- Lara Castillo, M., 2007.** Metodología para la evaluación y zonificación de peligro de remociones en masa con aplicación en Quebrada San Ramón, Santiago Oriente, Región Metropolitana. Tesis para optar el Grado de Magíster en Ciencias Mención Geología. Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago de Chile, 212 P.
- Lyell, C., 1833.** Principles of Geology, being an attempt to explain the former changes of the Earth's surface, by references to causes now in operation Vol. III. John Murray, London, 398 p.
- Marizza, M. S., Rapacioli, R., Vives, L., 2010.** La problemática aluvional en el Alto Valle del Río Negro, Argentina. Tecnología y Ciencias del Agua, Vol. I (1), México, pp. 21-34.
- Moreiras, S., 2004.** Remoción en masa. En: González M. A. y Bejerman, N. J. (Eds.) Peligrosidad Geológica en Argentina. Metodologías de análisis y mapeo. Estudio de casos. Publicación especial N° 4 de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería, Buenos Aires, pp. 357-431.
- Mujica, S., Pacheco, H., 2013.** Metodología para la generación de un modelo de zonificación de amenaza por procesos de remoción en masa, en la cuenca del río Camurí Grande, estado Vargas, Venezuela. Revista de Investigación N° 80 Vol. 37, Camurí Grande, pp. 215-244.
- Muñoz Aguayo, P., 2013.** Apuntes de teledetección: índices de vegetación. Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN), Información para el Desarrollo y la Innovación, Ministerio de Agricultura, Santiago, 15 p.
- Pereyra, F. X., Irisarri, J. A., Ferrer, J. A., 2011.** Suelos: factores de formación, procesos pedogenéticos y distribución. Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino, Neuquén, pp. 871-880.
- Rapacioli, 2007.** La problemática aluvional en el desarrollo urbano de la región del Alto Valle



- del Río Negro. Maestría en Gestión Ambiental del Desarrollo Urbano (GADU), Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue, Neuquén, 136 p.
- Reid, M. E., Christian, S. B., Brien, D. L., Henderson, S. T., 2015.** Scoops3D - Software to Analyze Three-Dimensional Slope Stability Throughout a Digital Landscape. Chapter 1 of Section A, Modeling Methods. Book 14, Landslide and Debris-Flow Assessment. Techniques and Methods 14-A1. United States Department of the Interior, Virginia, 236 p.
- Renda, E., Rozas Garay, M., Moscardini, O., Torchia, N. P., 2017.** Manual para la elaboración de Mapas de Riesgo. Ministerio de Seguridad, Secretaría de Protección Civil y Abordaje Integral de Emergencias y Catástrofes, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Buenos Aires, 74 p.
- Requena, A., Ponce, V., Sánchez, L., Montenegro, A., Castillo, E., 2016.** Riego por goteo en frutales en producción: Manzanas Cripps Pink y Granny Smith. Especial Riego por Goteo en Frutales, Fruticultura y Diversificación Año 22 (78). Estación Experimental Agropecuaria Alto Valle, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Allen, pp. 28-33.
- Rodríguez, M. F., Leanza, H. A., Salvarredy Aranguren, M., 2007.** Hoja Geológica 3969-II Neuquén, provincias del Neuquén, Río Negro y La Pampa. Instituto de Geología y Recursos Naturales. SEGEMAR. Boletín 370, Buenos Aires, pp. 1- 165.
- Rodríguez, M. F., 2011.** El Grupo Malargüe (Cretácico Tardío-Paleógeno Temprano) en la Cuenca Neuquina. Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino, Neuquén, pp. 245-264.
- Sharpe, C. F. S., 1938.** Landslides and related phenomena. A study of mass movements of soil and rock. Columbia University Press, New York, 137 p.
- Skempton, A. W., Hutchinson, J., 1969.** Stability of Natural Slopes and Embankment Foundations. Seventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, State-of-the-Art Report, Mexico City, pp. 291-340.
- Strahler, A. N., 1950.** Equilibrium Theory of Erosional Slopes Approached by Frequency Distribution Analysis. American Journal of Science, 248 (10), pp. 673-696.
- Tambo Encalada, W. S., 2011.** Estudio del peligro de deslizamiento del norte de la Ciudad de Loja, Provincia de Loja, Ecuador. Facultad de Geografía, Universidad de La Habana, La Habana, 84 p.
- Tarbut, E. J., Lutgens, F. K., Tasa, D., 2005.** Ciencias de la Tierra. Una introducción a la Geología Física. 8ª Edición. Pearson Prentice Hall, Madrid, 736 p.
- Tipping, E., Bassani, S., 1994.** Deslizamientos Vista Alegre Norte (Neuquén). Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas, Neuquén, 12 p.
- Terzaghi, K., Peck, R. B., Mesri, G., 1996.** Soil Mechanics in Engineering Practice, 3rd Edition. John Wiley and Sons, Inc., New York, 592 p.
- Torrens, C., 2015.** El mapa social de Neuquén. Revista digital del Grupo de Estudios sobre Geografía y Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica (GESIG), Año 7, Número 7, Sección I: Artículos. Programa de Docencia e Investigación en Sistemas de Información Geográfica (PRODISIG), Universidad Nacional de Luján, Luján, pp. 76-89.
- Torrens, C., Ciminari, M., Jurio, E., 2015.** Problemáticas ambientales derivadas de la expansión urbana. Departamento de Geografía, Facultad de Humanidades, Universidad Nacional del Comahue, Neuquén, 9 p.

- United Nations Disaster Relief Organization (UNDRO), 1979.** Natural Disasters and Vulnerability Analysis. Report of Expert Group Meeting. Geneva, 48 p.
- Valles, J. M., Impiccini, A., 1999.** Bentonitas de la Cuenca Neuquina, Río Negro, Neuquén y La Pampa. En: Zappettini, E. O. (Ed.) Recursos minerales de la República Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Anales 35, Buenos Aires, pp. 1113-1125.
- Van Westen, C.J., 1994.** GIS in landslide hazard zonation: a review, with examples from the Andes of Colombia. En: M. Price, D. I. Heywood, Taylor and Francis (Eds). Mountain Environment and Geographic System, London, pp. 135-166.
- Van Westen, C. J., Rengers N., Terlien, M. T. J., Soeters, R. 1997.** Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS-based hazard zonation. Geologische Rundschau 86, Springer-Verlag, pp. 404-414.
- Vargas Rojas, R., 2009.** Guía para la descripción de suelos. Cuarta edición. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma, 99 p.
- Varnes, D. J., 1958.** Landslide Types and Processes. In Eckel, E. B. (Ed.), Landslides and Engineering Practice, Highway Research Board (HRB), Special Report 29, Washington D. C., pp. 20-47.
- Varnes, D. J., 1978.** Slope movement types and processes. In Schuster, R. L., Krizek, R. J. (Eds.), Landslides: Analysis and Control. Transportation and Road Research Board, Special Report 176, National Academy of Science, Washington D. C., pp. 11-33.
- Varnes, D. J., 1984.** Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice. International Association of Engineering Geology, Commission on Landslides and Other Mass Movements on Slopes, UNESCO, Paris, 63 p.
- Washburn, A. L., 1938.** [Review of] Landslides and related phenomena, by Charles Farquharson Stewart Sharpe, 1938. American Journal of Science, Series 5 Vol. 35 (210), pp. 455-457.
- Yunes, M., Loaiza, M., Arroyo, C., Lardies, S., Arsuaga, C., Bacigalup, J., Bercovich, S., Cicoria, J. L., Genga, C., Inostrosa, O., Trpin, E., Vázquez, R., 2009.** Prefiguración Urbana Segundo Sector Urbanizable de la Meseta Distrito N°2: "Balcón de la Ciudad". Municipalidad de Neuquén, Subsecretaría de Gestión Urbana, Unidad de Gestión del Hábitat, Neuquén, 208 p.
- Zhang, S., Wang, F., 2019.** Three-dimensional seismic slope stability assessment with the application of Scoops3D and GIS: a case study in Atsuma, Hokkaido. Geoenvironmental Disasters 6 (9), Springer Open, Matsue, 14 p.