



Evaluación de peligrosidad geológica en los Macrolotes 5 y 6 de la ciudad de Villa La Angostura, Provincia del Neuquén

Dirección Museo Olsacher - Alberto C. Garrido
Dirección General Técnica - Horacio A. Lucesoli

Serie Contribuciones Técnicas
Peligro Geológico - Boletín N° 01

Evaluación de peligrosidad geológica en los Macrolotes 5 y 6 de la ciudad de Villa La Angostura, Provincia del Neuquén

Dirección Museo Olsacher - **Alberto C. Garrido**
Dirección General Técnica - **Horacio A. Lucesoli**

Zapala, 2023

Gobernador

Gobernador de la Provincia del Neuquén: Cr. Rolando Figueroa

Vicegobernadora

Vicegobernadora de la Provincia del Neuquén: Téc. Gloria Ruiz

Ministerio de Energía y Recursos Naturales

Ministro de Energía y Recursos Naturales: Ing. Gustavo Medele

Subsecretaría de Energía, Minería e Hidrocarburos

Subsecretario de Energía, Minería e Hidrocarburos: Ing. Fabricio Gulino

Dirección Provincial de Minería

Director Provincial de Minería: Lic. Carlos Portilla

Sugerencia de referencia bibliográfica

Garrido (A.C.) y Lucesoli (H.A.). 2023. Evaluación de peligrosidad geológica en los Macrolotes 5 y 6 de la ciudad de Villa La Angostura, Provincia del Neuquén. Dirección Provincial de Minería. Serie Contribuciones Técnicas - Peligro Geológico, Boletín N° 01: 23 p. Zapala, Neuquén.

Dirección Provincial de Minería

Elena de la Vega 472 I (8340)

Zapala | Neuquén | Argentina

Tel: (0299) 449 - 4626

halucesoli@neuquen.gov.ar

Contenido

Resumen.....	6
Introducción	8
Ubicación	8
Metodología	9
Geología regional del área de estudio	10
Geología de los Macrolotes 5 y 6	12
Geomorfología	14
Hidrogeología	18
Discusión sobre la problemática observada	20
Consideraciones y recomendaciones	25
Agradecimientos	27
Referencias bibliográficas.....	28

Resumen

Los denominados Macrolotes 5 y 6, conforman una superficie de terreno que ha sido destinada para la ejecución de loteos sociales por parte de la Municipalidad de Villa La Angostura. Los mismos, se encuentran emplazados sobre el piedemonte del Cerro Bayo, dentro de una zona ya señalada en estudios previos como susceptible a la ocurrencia de flujos de detritos e inundaciones. En este sentido, el sector de emplazamiento del Macrolote 5, se ubica sobre depósitos de un pequeño abanico aluvial, el cual ha sido además fuertemente modificado tras su explotación para el su empleo de sus depósitos como áridos para la construcción de la ruta de circunvalación.

El relevamiento de campo ha permitido observar la reciente ocurrencia de fenómenos de explayamientos de flujo, los cuales afectan a un 63% del área correspondiente al Macrolote 5. Dichos explayamientos, se han producido como consecuencia de las crecidas registradas en los caudales de los Arroyos Colorado y Florencia (Norte y Sur). Debe señalarse que, si bien este fenómeno es de desarrollo normal en el sistema deposicional aluvial referido; las obras de alcantarillado y de drenaje vial ligados a la traza de dicha ruta (actualmente en ejecución), posibilitan que los explayamientos se manifiesten con mayor expresión. Por otro lado, las modificaciones generadas en la dinámica del drenaje subsuperficial asociado, provoca la total saturación de los depósitos aluviales; produciéndose múltiples puntos de surgencia de agua que afectan hasta un 21% de la superficie del Macrolote 5.

Para el caso del Macrolote 6, las tareas de desmonte y de remoción del suelo efectuadas en este sector, favorece la acción erosiva por parte de la escorrentía superficial. Sobre el extremo sur del mismo, se ha observado la existencia de un relleno de terreno efectuado con restos vegetales provenientes de las tareas de desmonte. El mismo, posee una estructura caótica, no organizada y con baja compactación; factor que favorece la erosión por sufusión y el desarrollo de fenómenos de hundimientos y de asentamientos diferenciales.

Dada la dinámica de los procesos observados en el Macrolote 5, se considera que cerca del 70% de su superficie no es apta para su urbanización; toda vez que dicho sector se encontrará sujeto de manera periódica y reiterativa a los fenómenos de explayamiento de flujos e inundación. En el caso del Macrolote 6, el mismo puede resultar apto para el

desarrollo de infraestructura poblacional; sin embargo, es necesario la ejecución previa de medidas y obras destinadas a lograr la mitigación de los procesos erosivos actuantes, así como realizar el reacondicionamiento del relleno del terreno con fines a asegurar su estabilidad y capacidad soporte.

Finalmente, se sugiere efectuar la remediación del terreno considerado no apto para su urbanización. En este sentido, se deberá también contemplar que dicha remediación sea acompañada de acciones que impidan la futura realización de obras no autorizadas en dicho sector.

Palabras clave: Villa La Angostura, peligro geológico, urbanización, abanico aluvial, riesgo de inundación, descarga brusca de sedimentos.

Introducción

El crecimiento poblacional que presentan las distintas ciudades y pueblos del territorio neuquino, plantea a los municipios la constante necesidad de ejecutar loteos sociales a fin de dar respuesta a la demanda generada por la falta de viviendas. Sin embargo, uno de los mayores problemas que se presenta con frecuencia, es la efectiva disponibilidad de terrenos susceptibles de ser empleados para dicho fin.

En todo estudio a efectuar para analizar la potencial urbanización de un terreno, resulta imperioso evaluar, entre otros aspectos, las condiciones y características geológicas del mismo; con el objetivo de identificar a aquellos fenómenos o procesos naturales que pudiesen desarrollarse y afectar, ya sea en su totalidad o en parte, a la zona analizada. En este sentido, la identificación y caracterización de los peligros geológicos existentes en una determinada región permite, en primera instancia, advertir sobre los riesgos implícitos hacia la seguridad e integridad física de las personas y sus bienes materiales.

En respuesta a la solicitud efectuada por parte de la Secretaría de Planeamiento de la Municipalidad de Villa La Angostura, personal técnico de la Dirección Provincial de Minería de la Provincia del Neuquén (DPM), acudió a dicha localidad a fines de realizar una evaluación de peligrosidad geológica sobre un terreno destinado a la ejecución de un loteo social. En este sentido, las tareas de campo fueron desarrolladas durante los días 25 al 27 de septiembre de 2023. Los resultados obtenidos, son presentados en el presente informe.

Ubicación

Acorde a la nomenclatura utilizada por la Secretaría de Planeamiento de la Municipalidad de Villa La Angostura, el terreno analizado comprende a los denominados Macrolote 5 y Macrolote 6; ambos emplazados sobre el sector norte de la ciudad y aproximadamente a 1.150 m del centro urbano (Fig. 1). Estos macrolotes, forman parte de la ampliación de la frontera de alta densidad urbana que el municipio viene desarrollando a partir de los anteriores Macrolotes 2, 3 y 4; hoy ya urbanizados.

Los Macrolotes 5 y 6, forman parte de un conjunto de obras complementarias a la ruta de circunvalación que la Empresa Conevial S.A. viene realizando desde el año 2017, la cual aún se halla en ejecución. La superficie total destinada a loteo de ambos macrolotes es de 82.500 m².



Figura 1. Ubicación de los Macrolotes 5 y 6 de la ciudad de Villa La Angostura (figura elaborada sobre la base de la información aportada por Secretaría de Planeamiento de la Municipalidad de Villa La Angostura). Fuente de la imagen satelital: Google Earth (fecha 03/01/2023).

Metodología

La inspección sobre el terreno se efectuó de manera ocular, con un recorrido que abarcó la superficie total de los Macrolotes 5 y 6; como así también la región correspondiente al faldeo occidental del Cerro Bayo. Durante las tareas de campo, se contó también con el apoyo de un dron, con el objetivo de realizar un relevamiento fotográfico y fotogramétrico que permitan la posterior elaboración de productos digitales (modelo digital de elevación 3D por nube de puntos y ortomosaico). Asimismo, se

procedió a efectuar la toma de muestras litológicas para su análisis y caracterización macroscópica en laboratorio.

Los instrumentos utilizados para el relevamiento consistieron en brújula Brunton, cinta métrica de 50 mts, piqueta geológica, GPS GARMIN Montana 680, cámara Nikon Coolpix P900 y drone DJI Mini 2. Los softwares utilizados para todo el proceso fueron Corel Draw 2021, Global Mapper Versión 20.0.0, Arcmap en ArcGis 10.2.2 para PC versión 10.2.2.3552, QGis para PC Versión 2.18.21 con GRASS Versión 7.4.1, Google Earth Pro 7.3.4.8248 y WebODM.

Geología regional del área de estudio

La zona de estudio pertenece al ámbito geológico de los Andes Patagónicos Septentrionales (*sensu* Dessanti, 1972), Cordillera Neuquina (*sensu* González Díaz y Nullo, 1980) o Cordillera Patagónica Septentrional (*sensu* Ramos, 1999). En general, el relieve se integra por un conjunto de cordones montañosos orientados meridionalmente y cuya evolución responde a la dinámica de la orogenia andina. Dicha estructuración, comenzó a tomar relevancia a fines del Mesozoico, prolongándose con diverso grado de intensidad a lo largo de todo el Cenozoico.

La altura media de los cerros de esta franja andina, se ubica entre los 2.000 y 2.500 msnm; alcanzando de forma excepcional los 3.776 msnm como en el caso del volcán Lanín y los 3.491 msnm como el caso de cerro Tronador (Pereyra, 2003). A nivel local, sobre el área de estudio, las mayores alturas se conforman por los cerros Bayo (1.782 msnm), Incayal (1.840 msnm) y Belvedere (1.992 msnm) (Instituto Geográfico Militar, 1946). Toda la zona se presenta cubierta por una densa cobertura vegetal, conformado por un bosque de tipo caducifolio en el que predomina del género *Nothofagus* (lengas y ñires). Estos bosques cubren localmente los faldeos hasta proximidades la cota 1.450 msnm, a partir de la cual es posible observar afloramientos más o menos continuos.

Las rocas más antiguas de la región pertenecen a la Formación Montes de Oca (González Díaz, 1978; González Díaz y Nullo, 1980), compuestas por una potente sucesión de volcanitas mesosilíceas (dacitas y andesitas), sedimentitas clásticas y piroclastitas (tufitas e ignimbritas); cuya edad se sitúa tentativamente en el Jurásico Inferior (Ecosteguy *et al.*, 2013). Esta unidad conformaría la mayor parte del macizo

orogénico expuesto en el sector, aunque solo resulta parcialmente visible en las cotas superiores. En este sentido, Dalla Salda *et al.* (1987) mencionan en el cerro Bayo la presencia de horizontes calcáreos, con intercalaciones estromatolíticas y evaporitas; las cuales son tentativamente vinculadas al Grupo Cuyo de la Cuenca Neuquina.

Sobre la cresta del Cerro Bayo y a lo largo del valle del Arroyo Las Piedritas, González Díaz (1978) señala la presencia de granitoides mesozoicos que incluyen cuerpos de composición granodiorítica, granítica, tonalítica y diorítica; los cuales son agrupados bajo la denominación de Formación Los Machis (González Díaz, 1978, 1982; González Díaz y Valvano, 1978; González Díaz y Nullo, 1980; Ecosteguy *et al.*, 2013). Estas rocas poseen una amplia distribución a lo largo de los Andes nordpatagónicos, conformando parte del denominado Batolito Patagónico Cordillerano (Gordon y Ort, 1993).

En cercanías a Villa La Angostura, González Bonorino (1946) caracterizó puntualmente a las rocas aflorantes de esta unidad como granodioritas y tonalitas. En general, la intrusión de las mismas afecta a las rocas de caja; generando amplias zonas con metamorfismo de contacto (facies de *hornfels* o corneanas). Hasta el momento, las edades radiométricas obtenidas en estos cuerpos plutónicos permiten diferenciar dos grandes rangos de edades cretácicas, comprendidas entre los 125 a 121 Ma (Barremiano) y los 113 a 95 Ma (Albiano-Cenomaniano) (González Díaz y Valvano, 1978; Rapela *et al.*, 1987; Crosta *et al.*, 2008).

Sobre los valles de la región, es posible también observar remanentes de depósitos glaciares de edad pliocena, descriptos y caracterizados por González Díaz (1978) como tillitas. De acuerdo a Flint y Fidalgo (1963, 1968), durante el Pleistoceno el área estuvo sometida a los efectos de una glaciación del tipo "manto de hielo de alta montaña"; actuando como un importante agente modelador del relieve y el cual ha configurado la mayor parte de su morfología actual.

Finalmente, un variado volumen de materiales piroclásticos inconsolidados posglaciares (holocenos), se extienden sobre la región conformando a los actuales horizontes edáficos; depósitos que han sido descriptos y agrupados por Laya (1972, 1977) bajo la denominación de Formación Río Pireco. Estos depósitos edafizados de origen tefrítico, dominan sobre la región andina sur del territorio neuquino (Ferrer *et al.*, 1998), conformando suelos andosoles de tipo Dystrandepts y Vitrandepts (Irisarri *et al.*, 1985;

Ferrer *et al.*, 2006). En general, estos suelos se presentan con mayor potencia en los sectores con pendientes menores al 1,5%; preservando muchas de las características originales de la roca madre tales como la alta permeabilidad y una marcada susceptibilidad a la erosión.

Geología de los Macrolotes 5 y 6

Los movimientos de suelo efectuados en el área con motivo de la obra de la ruta de circunvalación de la ciudad de Villa La Angostura, han dejado al descubierto sobre el sector sur del Macrolote 5 (puntos 40°45'20.0"S / 71°38'04.9"O y 40°45'20.0"S / 71°38'06.2"O) un basamento compuesto por rocas plutónicas caracterizadas por el desarrollo de una marcada alteración propilítica (Figs. 2A y 2B). Estas rocas presentan en origen una textura granular, compuesta principalmente por cuarzo, plagioclasas y mafitos alterados. Entre los minerales de alteración se reconoce macroscópicamente la presencia de clorita, epidota, actinolita y piritita (Figs. 2C y 2D).

Muestras extraídas de los bloques yacentes sobre el cauce del Arroyo Colorado, sin dudas provenientes desde el sector de cabecera de la cuenca, permiten observar la presencia de plutonitas no alteradas compuestas principalmente por cuarzo y plagioclasa, junto a proporciones variables de hornblenda y biotita. Las proporciones relativas de estos minerales, permiten clasificar a esta roca como una granodiorita (Fig. 2E). En algunos casos, estos bloques granodioríticos suelen exhibir enclaves microgranulares de composición diorítica (Fig. 2F).

En principio, puede inferirse una relación genética entre las granodioritas y las plutonitas alteradas yacentes en el Macrolote 5; toda vez que comparten una mineralogía primaria similar. Sobre la base de su caracterización petrológica, estas rocas son aquí atribuidas a la Formación Los Machis (Cretácico Inferior alto a Cretácico Superior bajo). A partir de las líneas de cota 875 a 860 msnm, franja sobre la que se produce un importante quiebre en la pendiente del relieve, los cauces fluviales (arroyos) tienden a generar acumulaciones locales de depósitos gravosos como producto del explayamiento de los flujos discurrentes desde las cabeceras. Este fenómeno de explayamiento, se produce precisamente como consecuencia de la marcada disminución ocurrida en el

gradiente de inclinación de las laderas; lo que genera una repentina pérdida energética de las corrientes y la consecuente merma en sus capacidades de carga.

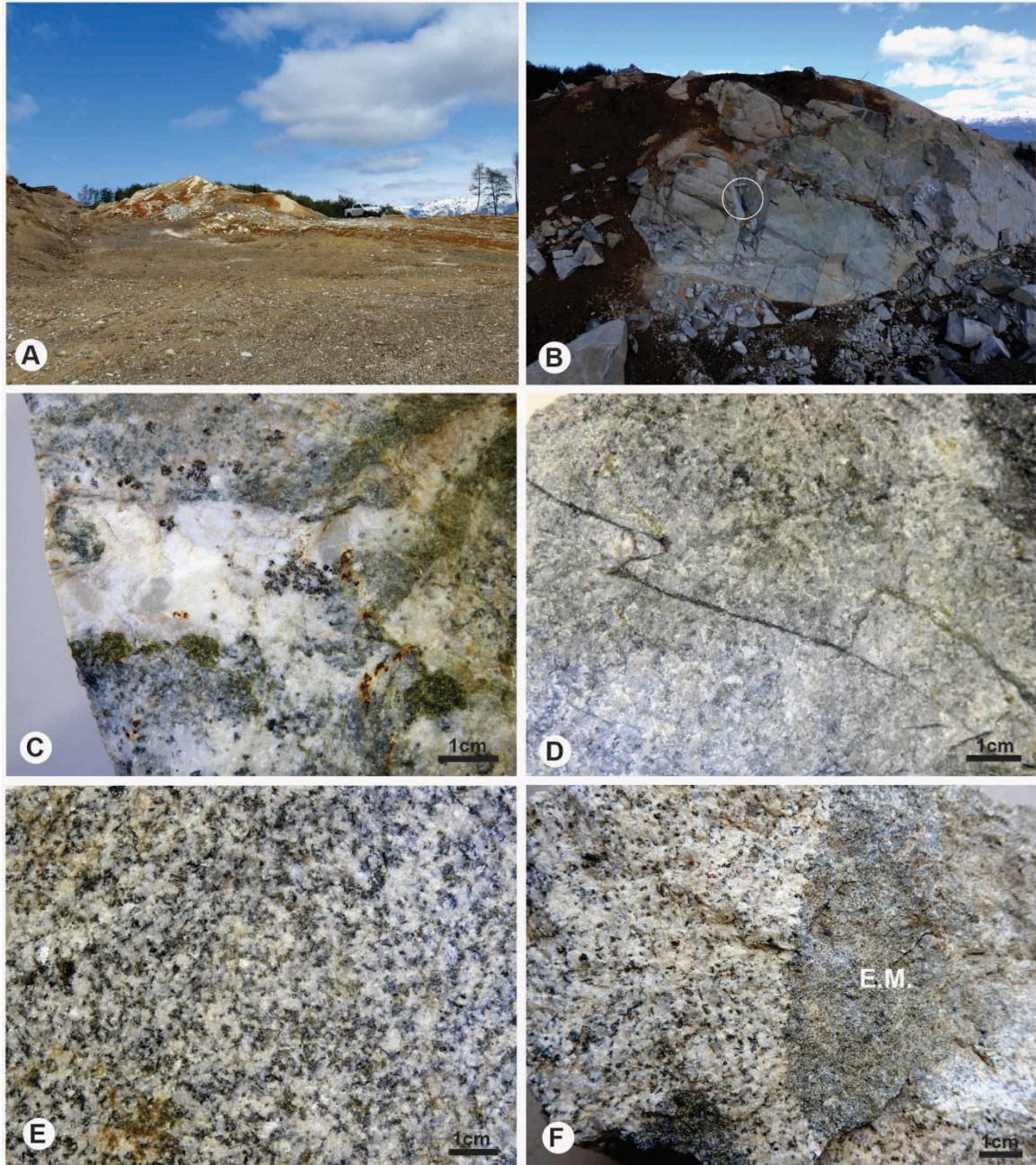


Figura 2. A) Vista general de la exposición de plutonitas alteradas en el extremo sur del Macrolote 5. B) Aspecto general (en campo) que ofrecen las rocas propilitizadas. C) y D) Detalle macroscópico de las rocas alteradas (propilitizadas). En las mismas se ha identificado la presencia de clorita, epidota, plagioclasa (¿albitizada?), actinolita, cuarzo y pirita. E) Detalle macroscópico de la plutonita no alterada (granodiorita). F) Muestra de mano de granodiorita con enclave microgranular (E.M.) de composición diorítica.

En estos sectores, las corrientes fluviales suelen también sufrir un menor confinamiento; lo que provoca que, sobre todo en momentos de altos caudales, se suceda aquí junto a la descarga de sedimento, la generación de una pequeña red de cursos distributarios. En general, los cuerpos sedimentarios así resultantes corresponden a pequeños abanicos aluviales; los que localmente suelen ser de pequeña a mediana envergadura y arealmente restringidos por las irregularidades locales del relieve.

Sobre el área de estudio, estos depósitos se han desarrollado principalmente en el sector de la confluencia de los arroyos Colorado y Florencia (con sus dos brazos); afectando gran parte de la superficie correspondiente al Macrolote 5 (Fig. 3). En los cortes de desmonte realizados próximos a dicha confluencia, se puede observar a dichos depósitos conformados litológicamente por un dominio de conglomerados brechosos y brechas matriz-soportadas (Figs. 4A y 4B). Dadas las características sedimentológicas de estos últimos sedimentos (Fig. 4B), se los atribuye a antiguos depósitos de flujos de detritos.

Sobre una superficie mucho más extendida y cubriendo en algunos sectores a los depósitos aluviales anteriormente descritos, se desarrollan los suelos de composición tefrítica pertenecientes a la ya citada Formación Río Pireco. Estos depósitos se caracterizan por presentar un dominio de material lapillítico, pudiendo presentarse también algunos horizontes de constitución cinerítica-tobácea (Figs. 4C y 4D). Cabe destacar que estos horizontes edáficos han sido totalmente eliminados en el Macrolote 5, y severamente afectados y/o perturbados en el área del Macrolote 6.

En general, se asigna en este trabajo para estos dos últimos grupos de depósitos (aluviales y edáfico-tefríticos), edades comprendidas entre el Pleistoceno superior y el Holoceno.

Geomorfología

Los Macrolotes 5 y 6 se encuentran emplazados en la zona de piedemonte del Cerro Bayo; donde a su vez, la traza de la ruta de circunvalación coincide con la línea de mayor quiebre de pendiente en el área. Tal como se señalara anteriormente, esta particularidad influye directamente en la ocurrencia de explayamiento de flujos y en la consecuente generación de depósitos aluviales, los cuales son desarrollados bajo la forma de pequeños

abanicos locales. Cabe destacar que esta particularidad fue también anteriormente expuesta y descripta, con diverso grado de desarrollo, por Baumann *et al.* (2012) y Meier y Herrero (2016); dejando implícitamente expresada la inconveniencia del uso de estos sectores para obras de asentamiento poblacional.

En este sentido, sobre la base de la información brindada por Baumann *et al.* (2012), se puede apreciar que a las actuales áreas de los Macrolotes 5 y 6 se sitúan dentro de la zona de alta susceptibilidad a la ocurrencia de flujos de detritos e inundaciones

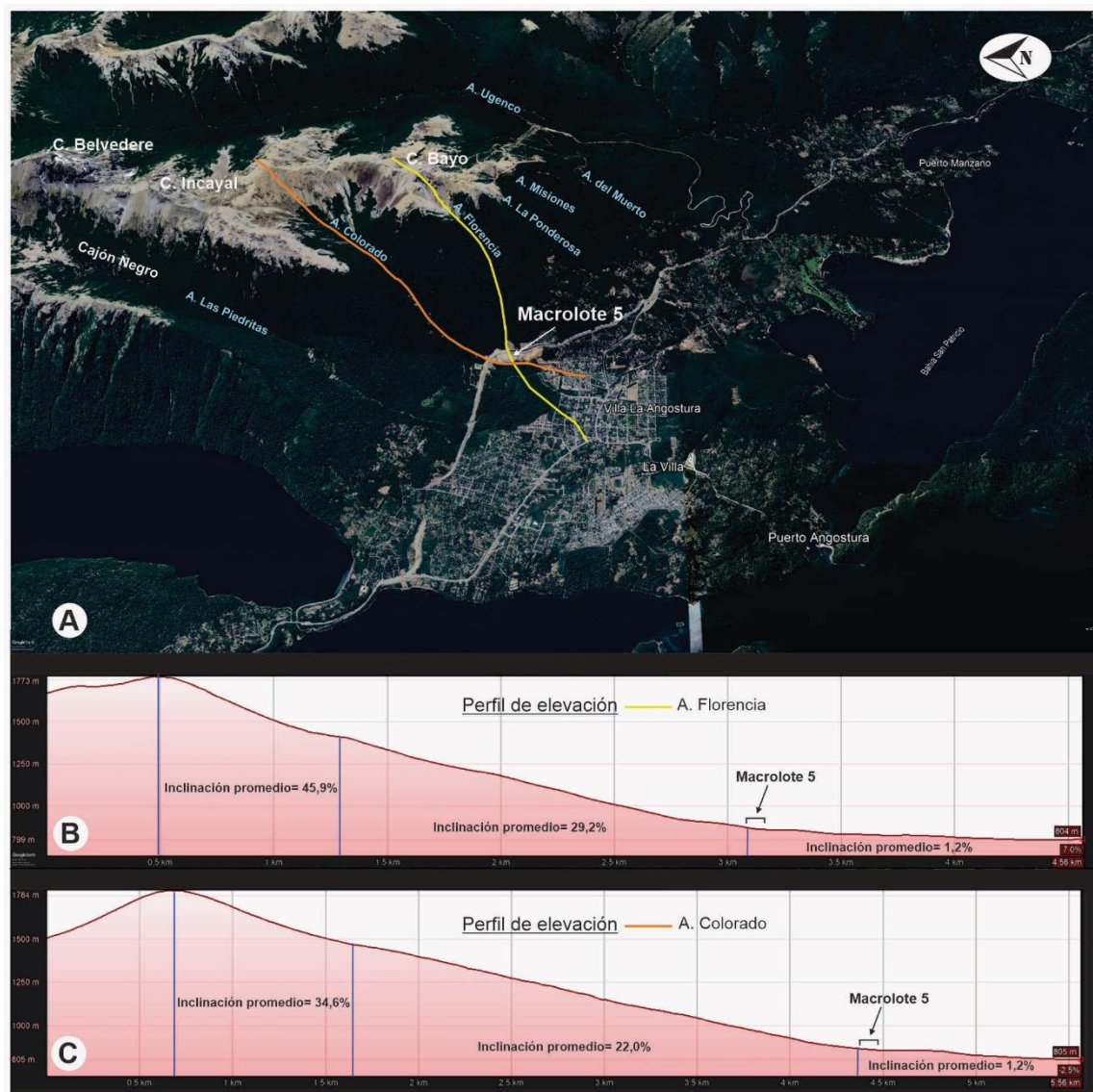


Figura 3. A) Imagen satelital 3D del área cerro Bayo – Villa La Angostura; donde se señalan las transectas trazadas para la obtención de los perfiles de elevación sobre el valle de los Arroyos Florencia y Colorado (imagen obtenida de Google Earth de fecha 03/01/2023. B) y C) Perfiles de elevación efectuados sobre las transectas señaladas en A), con datos suministrados por Google Earth.

definida por estos autores; mientras que Meier y Herrero (2016), señalan también a esta área como sensible al riesgo de inundaciones.

Acorde a nuestras observaciones de campo, el Macrolote 5, es el que se encuentra mayormente influenciado por los fenómenos de explayamiento (ver Figs. 3 y 5); llegando a afectar hasta un 63% de su superficie de desmonte actual. En el caso del Macrolote 6, su ubicación topográfica más elevada inhibe el alcance de la acción del explayamiento de flujos; no obstante, presenta otro tipo de condicionamientos que son discutidos más adelante.

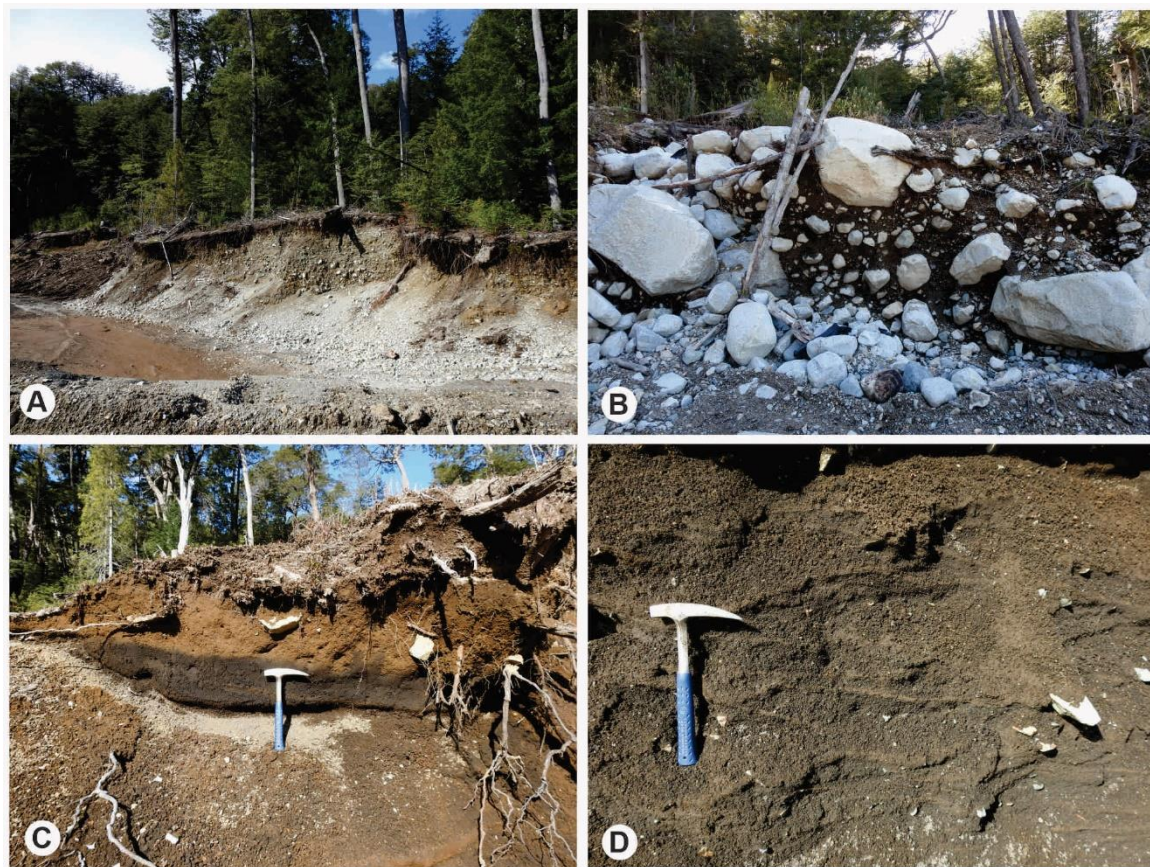


Figura 4. A) Vista general de los depósitos gravosos aluviales desarrollados próximos a la confluencia de los Arroyos Colorado y Florencia. B) Depósitos de bloques (granodioríticos) matriz-soportados de dimensiones decimétricas a métricas, formando parte de las sucesiones aluviales. C) Suelo actual desarrollados sobre los depósitos tefríticos de la Formación Río Pireco. D) Depósitos lapillíticos retrabajados de la Formación Río Pireco.

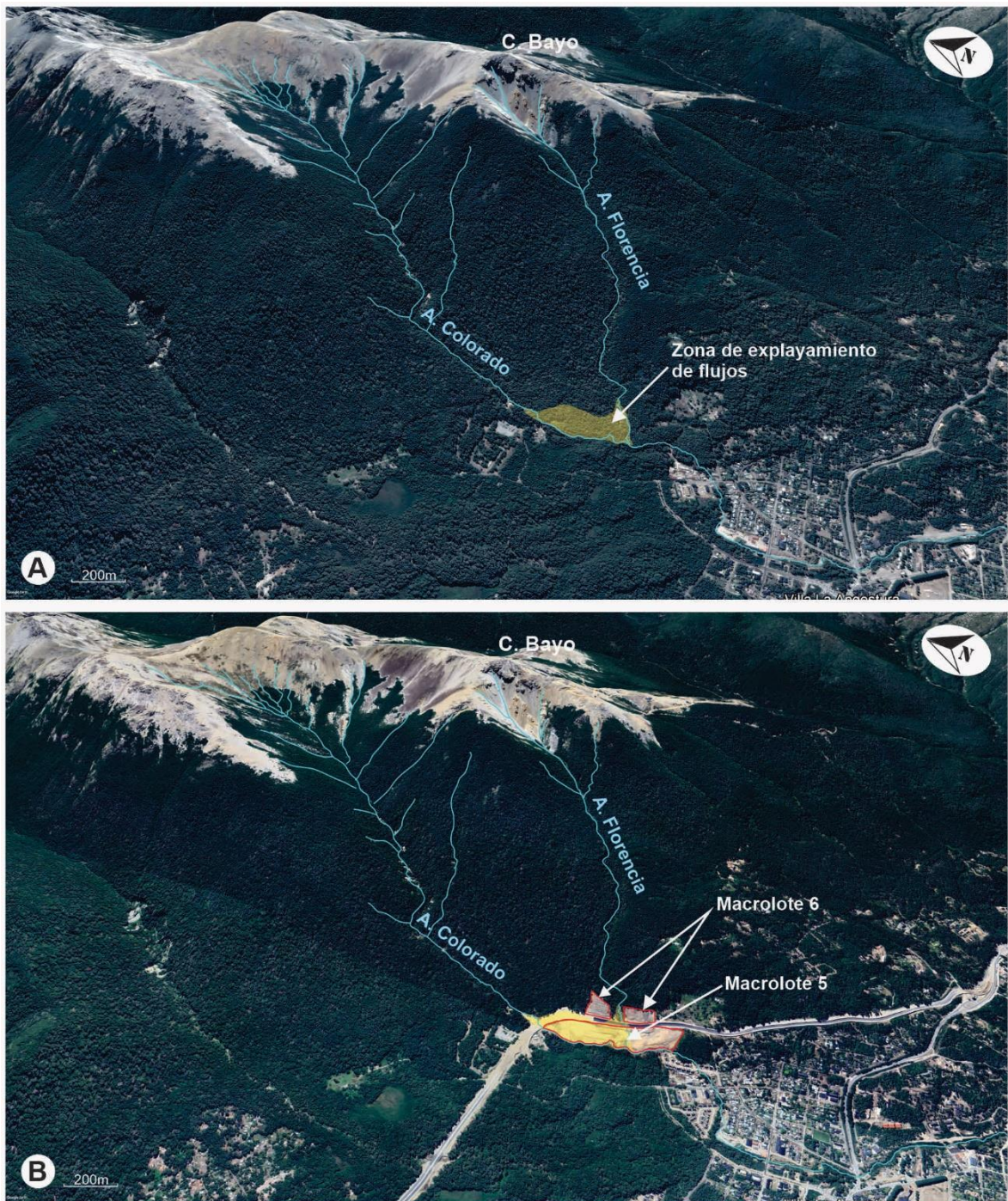


Figura 5. A) Zona de explayamiento de flujos y generación de depósitos aluviales en la zona de confluencia de los arroyos Colorado y Florencia. Datos de campo volcados sobre imagen satelital obtenida de Google Earth correspondiente a fecha 13/03/2016. B). Proyección de la zona de explayamiento de flujos sobre la actual zona de loteo, imagen satelital obtenida de Google Earth de fecha 03/01/2023.

Hidrogeología

Superficialmente, el sector de emplazamiento de los Macrolotes 5 y 6 se encuentra atravesado por los cauces permanentes de los Arroyos Colorado, Florencia Sur y Florencia Norte (Fig. 6). A éstos, se suman también pequeños arroyos intermitentes innominados de carácter distributivo; los cuales se activan cuando las corrientes principales adquieren caudales extraordinarios, ya sea por la ocurrencia de lluvias intensas o deshielos. Dicho sistema fluvial superficial, influye y regula de manera directa al acuífero freático (no confinado) que se desarrolla a lo largo y ancho del cuerpo sedimentario aluvial (abanico aluvial); cuya disposición, tal lo ya expuesto precedentemente, abarca la mayor parte del Macrolote 5.

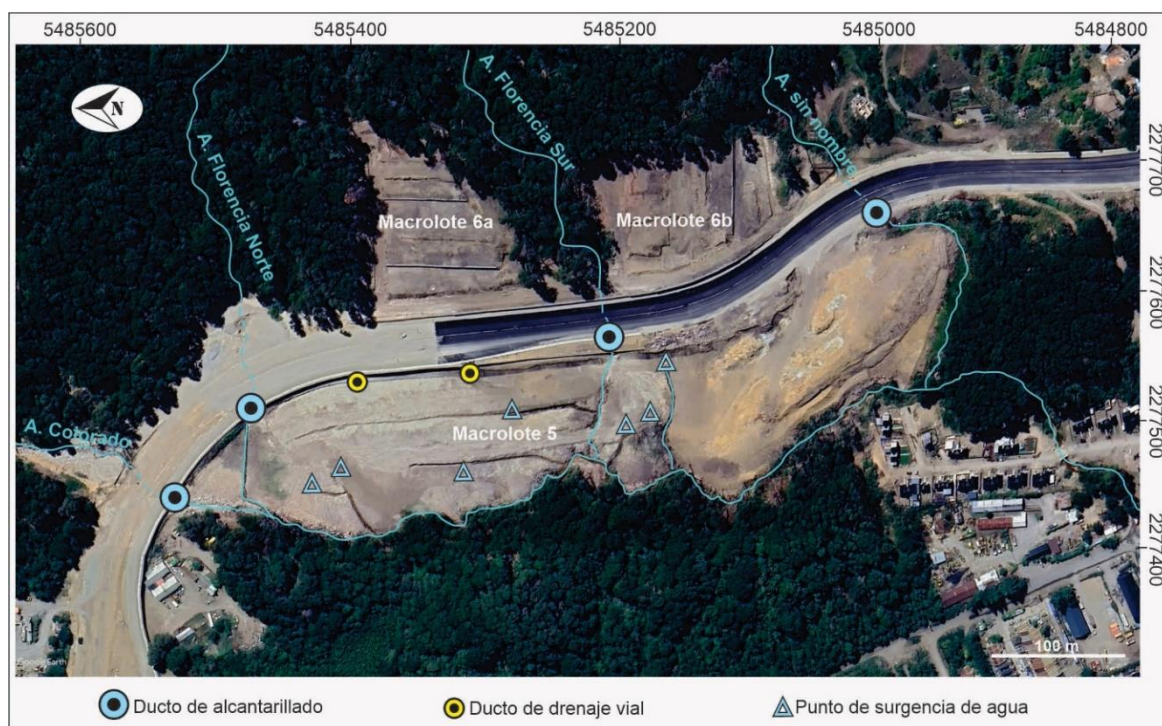


Figura 6. Cauces de la red de drenaje superficial que atraviesa y/o linda con el área de los Macrolotes 5 y 6. Se señala también la ubicación de los ductos de alcantarillado y red de drenaje vial, así como los puntos en los que se observó surgencias de agua. Fuente de la imagen satelital: Google Earth (fecha 03/1/2023).

El sistema de drenaje subsuperficial se conforma litológicamente por dos grandes unidades: los depósitos gravosos de abanico aluvial, y los horizontes tefríticos edafizados. En el caso de estos últimos, su constitución de dominio lapillítico le imprimen buenas condiciones de porosidad y permeabilidad, favoreciendo el desarrollo de una escurrentía

de tipo hipodérmica (Fig. 7). Esta particularidad se observa principalmente en las adyacencias del Macrolote 6 (en los sectores no perturbados); donde los horizontes tefríticos edafizados, aun poco potentes, se disponen sobre las laderas de moderada a marcada pendiente y de manera suprayacente a las rocas granodioríticas de la Formación Los Machis.

En el caso de los depósitos gravosos de abanico aluvial, su conformación detrítica no consolidada les confiere asimismo una alta permeabilidad; observándose en todo el sector, surgentes con notables caudales y altas velocidades de flujo (Fig. 8A). Debe señalarse que estos depósitos han estado sujetos a extracción para su empleo como áridos, siendo en este caso principalmente utilizados para relleno, terraplenado y engavionado en la obra vial actualmente en ejecución.



Figura 7. A) Manto tefrítico (lapillítico). Un importante flujo de agua emerge del mismo a través del desarrollo de una esorrentía hipodérmica. B). Detalle del agregado lapillítico (fuertemente humedecido).

En este sentido, es importante destacar que el volumen de árido extraído en el Macrolote 5, ha generado que las condiciones de drenaje se manifiesten actualmente como una esorrentía de tipo epidérmica; alterando de esta manera no solo la configuración y distribución del complejo sedimentario aluvial, sino también las características hidrogeológicas originales del sistema (Figs. 8B y 8C).

Discusión sobre la problemática observada

El sector de emplazamiento de los macrolotes aquí analizados, con especial referencia al Macrolote 5, constituye en su mayor parte un sector no favorable para la urbanización. Tal limitación, se debe a la generación sobre dicho sector de una zona de explayamiento de flujos y descarga de sedimentos provenientes de los Arroyos Colorado y Florencia (Norte y Sur); factor que ha propiciado, bajo condiciones naturales, el desarrollo de un pequeño abanico aluvial.

Tales características, tornan a este sector de ser susceptible a inundaciones y/o descargas bruscas de detritos; factores que fueron oportunamente señalados y advertidos en los informes de Baumann *et al.* (2012) y Meier y Herrero (2016). Si bien la ejecución de la obra de la ruta de circunvalación incide con diferente magnitud sobre el natural desarrollo del sistema sedimentario y su dinámica fluvial e hidrogeológica, ello no suprime o anula a los riesgos asociados. Por el contrario, las labores de desmonte y extracción de áridos, pueden contribuir a acrecentar el impacto producido por algunos de los fenómenos naturales que operan sobre el área.

En este sentido, debe recalcar el efecto producido por la pérdida del volumen detrítico original del abanico aluvial; lo que propició el afloramiento del nivel freático en el sector. Este factor lleva a que, al menos gran parte del año, el terreno permanezca saturado incluso a nivel de superficie (ver Fig. 8).

Las obras de alcantarillado y de drenaje vial ligados a la ruta de circunvalación, generan asimismo un impacto importante en la dinámica de la escorrentía pluvial y de las corrientes fluviales que atraviesan el sector. En ese sentido, el alcantarillado vial efectuado sobre los Arroyos Colorado y Florencia, genera una zona de estrangulamiento en sus cauces naturales; obra que, por otro lado, podría oficiar de obstáculo ante la ocurrencia de un fenómeno de flujos de detritos de gran envergadura. Si bien este factor podría ser beneficioso a los fines de evitar o atenuar el impacto directo de un potencial flujo de detritos sobre el área de emplazamiento del Macrolote 5; no evita de ninguna manera el fenómeno de explayamiento que sufren allí las corrientes.

En la figura 9, pueden observarse algunos de los ductos de alcantarillado y del drenaje vial que vuelcan sus aguas hacia el sector del Macrolote 5 (ver también Fig. 6). En dichas imágenes, puede advertirse el desnivel existente entre el punto más bajo del



Figura 8. A) Vista general del Macrolote 5, donde los depósitos gravosos del abanico aluvial fueron extensamente explotados para su utilización como áridos. Nótese la marcada escorrentía superficial presente en el área. B) Surgencia y escorrentía superficial en depósitos gravosos del Macrolote 5. C) Surgencia en depósitos del abanico aluvial (fuertemente explotado). El color rojo de las aguas, posiblemente se deba a la presencia de ácidos orgánicos de origen vegetal propios de los suelos de la región.

perímetro de la tubería del ducto, en relación a la superficie de nivelación más alta del macrolote. Este desnivel, varía en cada caso desde algunos decímetros hasta los 3 m de altura; factor que le imprime mayor potencial de erosión a las aguas que descargan en este sector.

Por otro lado, las corrientes de agua quedan, tras atravesar los citados ductos, sin confinamiento alguno; hecho que favorece aún más el fenómeno de explayamiento. En las figuras 10 y 11, puede apreciarse el efecto y alcance de los explayamientos de flujo sucedidos sobre el Macrolote 5; como consecuencia de las precipitaciones ocurridas los días 18 y 19 de septiembre último. En este sentido, la zona afectada abarca el área comprendida entre los puntos de descarga de los Arroyos Florencia Norte y Florencia Sur; es decir, afecta casi a unas 2/3 partes de la superficie del mencionado macrolote.

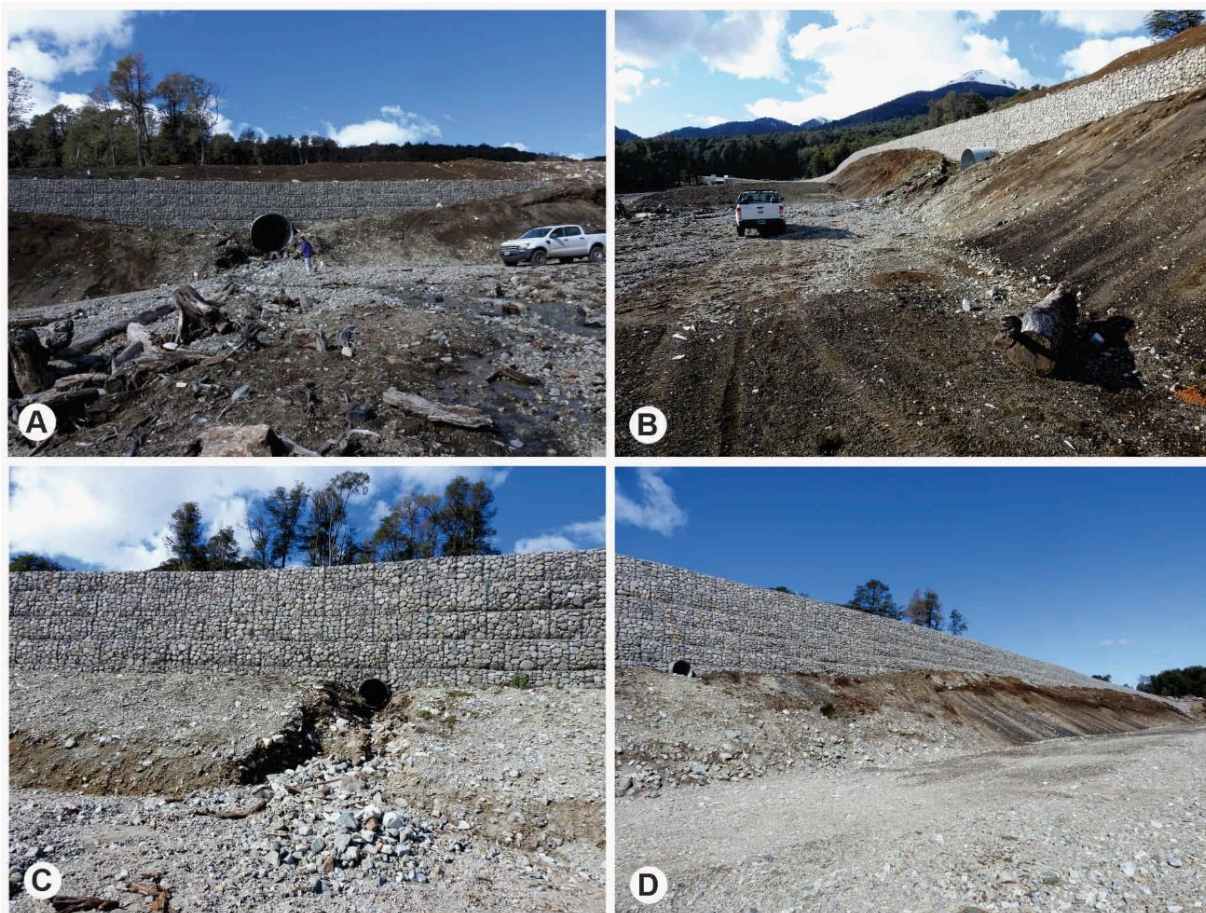


Figura 9. Vista de algunos de los ductos de alcantarillado y de drenaje vial que desembocan hacia el área del Macrolote 5. A) y B). Distintas vistas del ducto de alcantarillado del Arroyo Florencia Sur. C) Ducto de alcantarillado de cauce intermitente (sin nombre). D) Vista de uno de los ductos de drenaje vial ubicados sobre el sector (aún no habilitado).

Cabe agregar que, si bien se realizaron sobre el terreno obras de zanjeo con el fin de contener y/o encausar a las aguas provenientes de los mencionados arroyos; la evidencia de campo demuestra que, ante el crecimiento de sus caudales, los fenómenos de explayamiento dominan la dinámica y comportamiento del flujo en este sector.

Respecto al Macrolote 6, se ha observado la ocurrencia de un efecto combinado de erosión hídrica y generación de lóbulos de explayamiento (Fig. 12). En este caso, la erosión hídrica se origina como consecuencia del encauzamiento de aguas superficiales en la huella generada por el tránsito de excursionistas, bicicletas y/o motos; la cual se ubica sobre la ladera suroeste del Cerro Bayo y adyacente al extremo norte del citado macrolote. Dicha senda, que en ciertos lugares no posee más de 50 centímetros de ancho, actúa como vía preferencial del escurrimiento superficial; generando una importante erosión sobre el suelo desprotegido y/o removido en dicho sector.

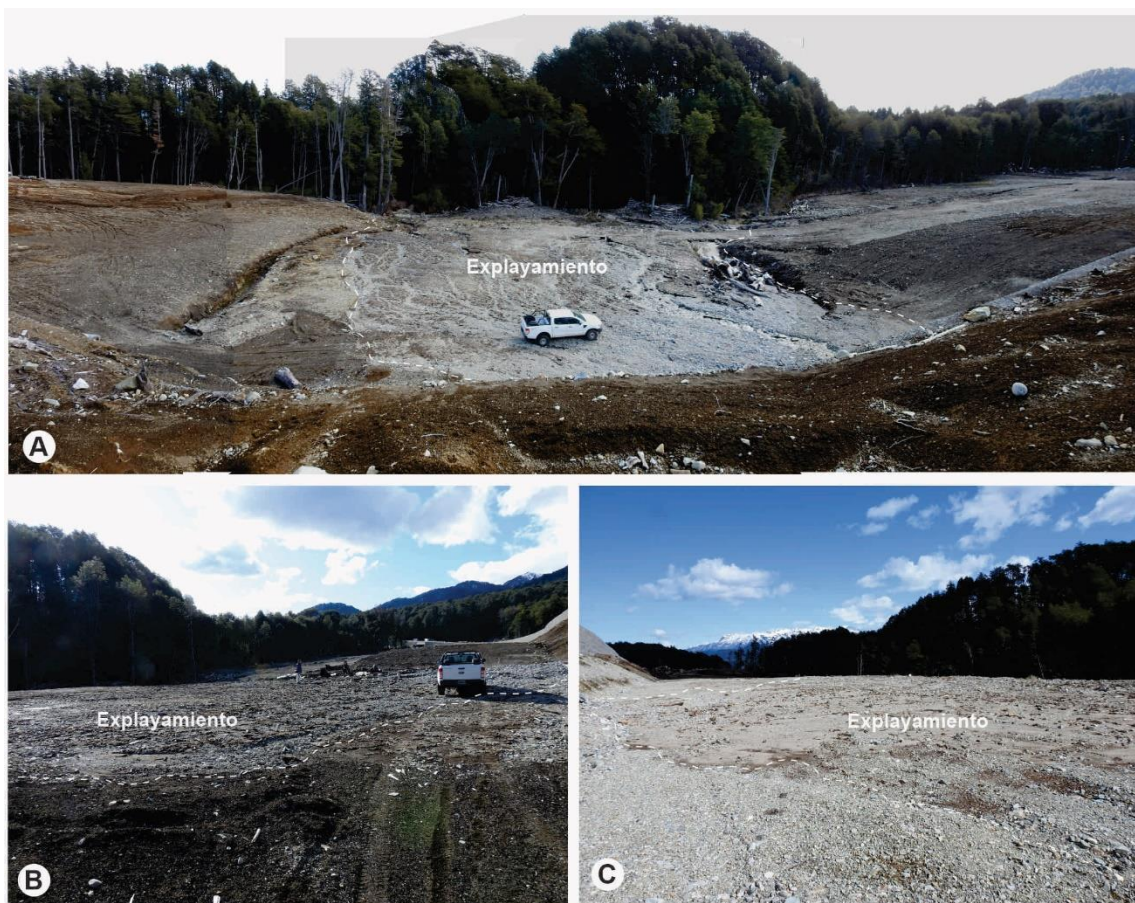


Figura 10. Vistas generales de los explayamientos de flujo producido sobre el Macrolote 5, tras las precipitaciones de los días 18 y 19 de septiembre de 2023. A) y B) Explayamiento generado por el Arroyo Florencia Sur a la salida de su ducto de alcantarillado. C) Explayamiento producido por la descarga de uno de los ductos de drenaje vial.

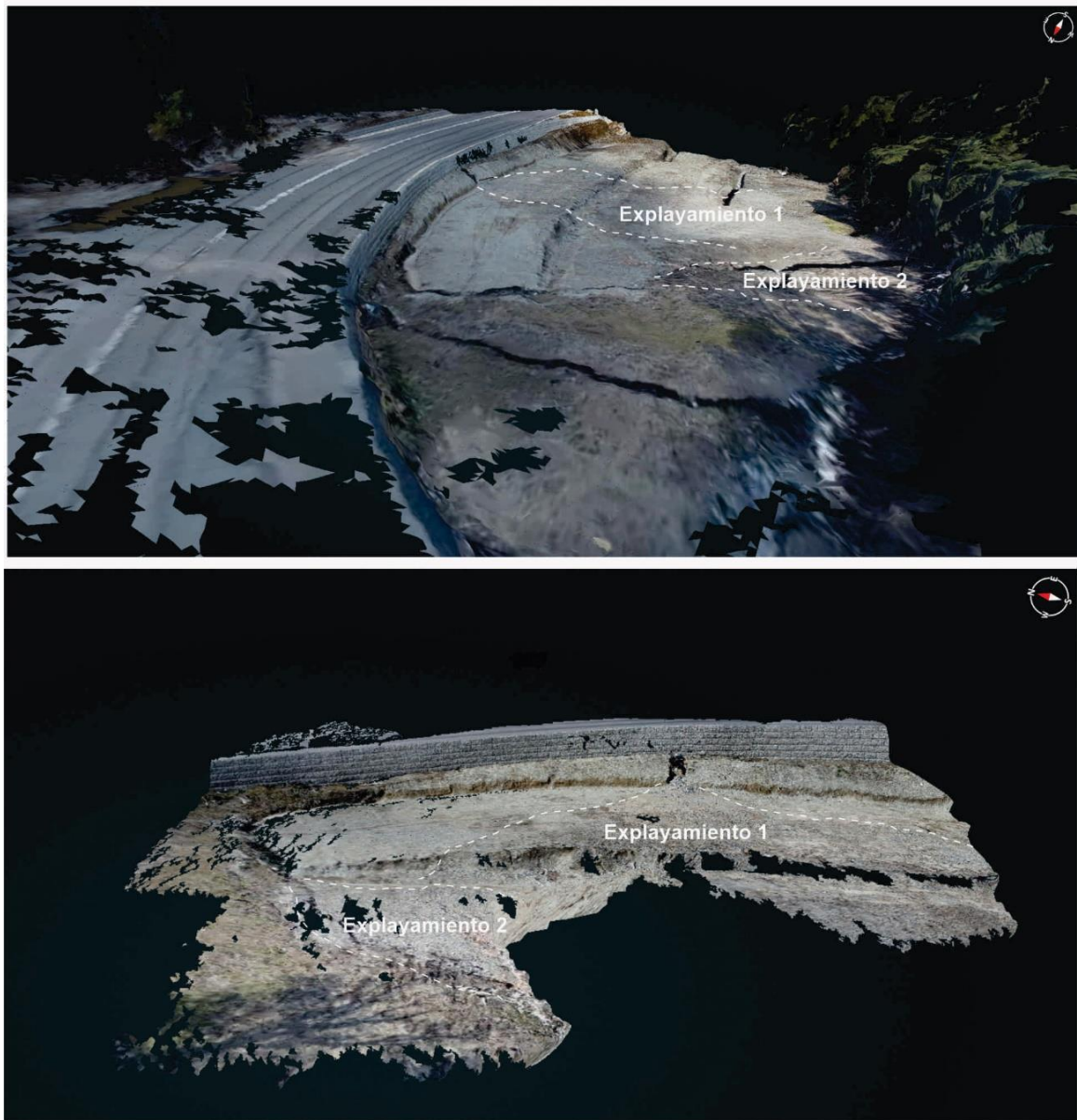


Figura 11. Modelo digital 3D para el extremo norte del Macrolote 5. Puede apreciarse los sectores afectados por los explayamientos originados a partir de la descarga producida por uno de los ductos de drenaje vial. El explayamiento 1 afectó las superficies de nivelación 1, 2 y 3 del terreno (esta última no representada en el modelo); mientras el explayamiento 2 se desarrolló a partir de la segunda superficie de nivelación.

Por otro lado, y bajo un efecto similar al ocurrido en el Macrolote 5, en los sectores donde los flujos pierden su confinamiento se produce el explayamiento de los mismos bajo la forma de pequeños lóbulos de descarga sedimentaria (ver Fig. 12A). Sin embargo, a diferencia del ejemplo anterior, dicho fenómeno puede ser regulado en su desarrollo e incidencia con una serie de obras y trabajos correctivos sobre el terreno.

Asimismo, es importante señalar que en el sector sur del Macrolote 6, se ha observado la existencia de una franja de terreno relleno con gran cantidad de materia vegetal procedente de las tareas de desmonte; lo que genera importantes asentamientos diferenciales, hundimientos y aparición de vacíos en el perfil del suelo. En tal sentido, esta situación fue oportunamente comunicada por la Secretaría de Planeamiento de la Municipalidad de Villa La Angostura en su informe de fecha 30 de junio de 2022. Vale destacar que dicha situación, limita y/o imposibilita la realización de obras civiles para el desarrollo urbano en este sector; ante lo cual resulta imperioso realizar tareas de reacondicionamiento del terreno a los fines de asegurar su estabilidad y capacidad soporte.

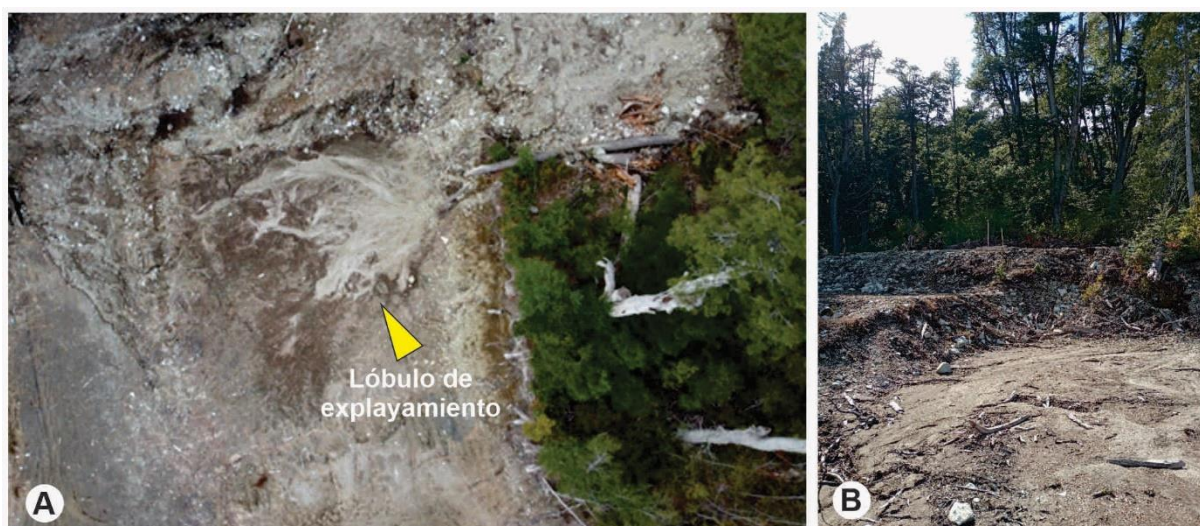


Figura 12. A) Imagen aérea obtenida por dron, donde se observa el desarrollo de un pequeño lóbulo de explayamiento sobre parte del Macrolote 6. B) Fenómeno de erosión hídrica (vista parcial), Macrolote 6.

Consideraciones y recomendaciones

- Los Macrolotes 5 y 6 se encuentran emplazados sobre el piedemonte del Cerro Bayo, dentro de una zona ya señalada en estudios previos como susceptible a la ocurrencia de flujos de detritos e inundaciones. Esta condición limita o restringe, en principio, cualquier desarrollo urbano; situación que debiera ser evaluada y considerada previo a cualquier inicio de proyecto.
- La extracción y explotación de los depósitos gravosos del pequeño abanico aluvial allí desarrollado, junto a la ejecución de las obras de alcantarillado de los Arroyos

Colorado y Florencia (Norte y Sur); ha generado modificaciones en la dinámica del sistema fluvial y del drenaje subsuperficial asociado. En este sentido, se ha observado durante el relevamiento de campo, que hasta un 21% de la superficie del Macrolote 5 se encontraba saturada (con múltiples puntos de surgencias); a la par que un 63% de la misma se encontraba afectada por el desarrollo de explayamientos de flujo ocasionados por las corrientes de crecida. Contribuye además a la ocurrencia de este último fenómeno, el desnivel existente entre la base de los ductos de alcantarillado y del drenaje vial, en relación a la nivelación del terreno efectuado en el Macrolote 5. Esto último genera que las corrientes desagüen, tras atravesar los ductos, en caída libre y de manera no confinada, lo que favorece la acción erosiva y el explayamiento de las mismas.

- En el Macrolote 6, las tareas de desmonte y de remoción del suelo favorece la acción erosiva por parte de la esorrentía superficial; ocasionando sobre el terreno un marcado sistema de regueros y acanaladuras. Asimismo, los senderos que atraviesan o rodean a esta zona ladera arriba, favorecen el encauzamiento del drenaje; provocando fuertes incisiones erosivas sobre el terreno y propiciando, en algunos casos, el explayamiento de flujos sobre los sectores bajos y próximos al cambio de pendiente. Finalmente, el relleno caótico y no organizado con materia vegetal observado en el extremo sur de este macrolote, favorece la erosión por sufusión; generando vacíos (oquedades) en el perfil del suelo con el consiguiente desarrollo de fenómenos de hundimientos y asentamiento diferencial.

- Dada la dinámica de los procesos observados en el Macrolote 5, se considera que cerca del 70% de su superficie no es apta para su urbanización; toda vez que dicho sector se encontrará sujeto de manera periódica y reiterativa a los fenómenos de explayamiento de flujos e inundación. En este sentido, solo sería aprovechable para tal fin el área ubicada sobre el extremo sur de este macrolote, correspondiente al sector de afloramientos rocosos de la Formación Los Machis (Fig. 13).

- El Macrolote 6 puede resultar apto para el desarrollo de infraestructura poblacional; sin embargo, es necesario la ejecución previa de medidas y obras destinadas a lograr la mitigación de los procesos erosivos actuantes, así como realizar el reacondicionamiento del relleno del terreno con fines a asegurar su estabilidad y capacidad soporte. Asimismo, se sugiere verificar en este sector, la conveniencia de reforzar el sistema de engavionado existente.

▪ Finalmente, se sugiere efectuar la remediación del terreno considerado no apto para su urbanización. En este sentido, se deberá también contemplar que dicha remediación sea acompañada de acciones que impidan la futura implantación de obras no autorizadas en dicho sector.

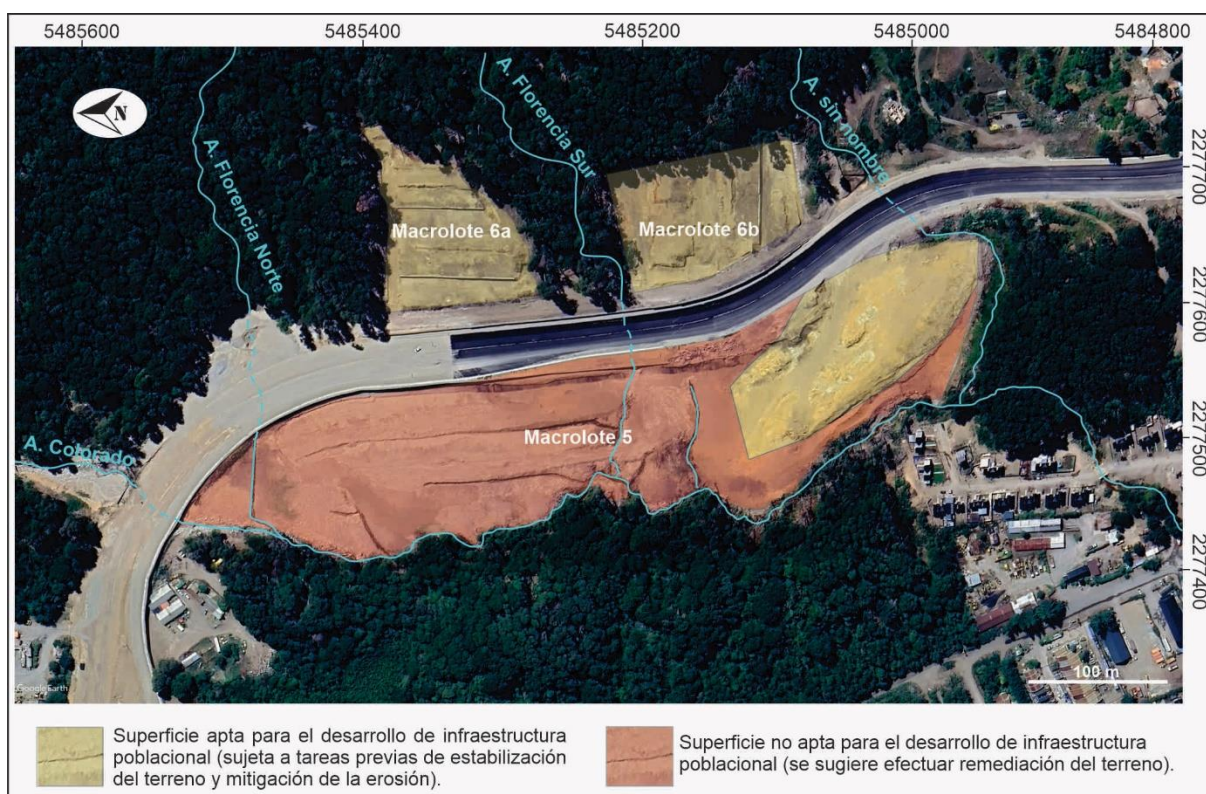


Figura 13. Sectorización de superficies aptas (sujeta a tareas previas de estabilización del terreno y mitigación de la erosión) y no aptas para su urbanización en los Macrolotes 5 y 6 de Villa La Angostura. Fuente de la imagen satelital: Google Earth (fecha 03/1/2023).

Agradecimientos

Agradecemos la colaboración recibida por parte del personal de la Municipalidad de Villa La Angostura: MMO Beatriz Tyczinski (Secretaria de Planificación y Catastro), Lic. Jessica Marini (Dirección de Medio Ambiente), Lic. Nair Peña, Ing. Forestal Rodolfo Herrero y Téc. Emilio Molla (Oficina de Planeamiento); quienes aportaron información, experiencia y observaciones durante las tareas de relevamiento de campo. Asimismo, dejamos expresada nuestra gratitud a la Sra. Andrea Derlys por la atención recibida durante nuestra estadía.

Referencias bibliográficas

Baumann (V.), Elisondo (M.) y Fauqué (L.) y González (R.). 2011. Peligro de generación de flujos de detritos o lahares secundarios en Villa La Angostura. Dirección de Geología Ambiental y Aplicada, Servicio Geológico Minero Argentino. Informe Preliminar (inédito), 29 p. Buenos Aires.

Crosta (S.), Vattuone (M.E.) y Latorre (C.O.). 2008. Edad, caracterización petrográfica y geoquímica del granitoide del cerro Falkner, Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 63 (1): 152-155.

Dalla Salda (L.H.), Rapela (C.W.) y Dias (G.F.). 1987. Calizas marinas jurásicas? En Villa La Angostura, Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 42 (1-2): 194-195.

Dessanti (R.N.). 1972. Andes Patagónicos Septentrionales. Academia Nacional de Ciencias. Primer Simposio de Geología Regional Argentina: 655-687. Córdoba.

Escosteguy (L.), Geuna (S.), Franchi (M.), González Díaz (E.), Dal Molín (C.), Cegarra (M.), Wilson (C.), Etcheverría (M.) y González (R.). 2013. Hoja Geológica 4172-II, San Martín de los Andes. Provincias del Neuquén y de Río Negro. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 409, 92 pp., Buenos Aires.

Ferrer (J.A.), Irisarri (J.A.) y Mendia (J.M.). 1998. Mapa de suelos de la Provincia del Neuquén, República Argentina. Escala 1:500.000. Consejo Federal de Inversiones (CFI) - Secretaría de Estado del COPADE. Neuquén.

Ferrer (J.A.), Irisarri (J.A.) y Mendia (J.M.). 2006. Suelos de la Provincia del Neuquén. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) – Consejo Federal de Inversiones (CFI). Informe, 224 p. Neuquén. <http://biblioteca.cfi.org.ar/wp-content/uploads/sites/2/2006/01/45388.pdf>

Flint (R.F.) y Fidalgo (F.). 1963. Geología glacial de la zona de borde entre los paralelos 9°10' y 41°20' de latitud sur en la Cordillera de los Andes, República Argentina. Dirección Nacional de Geología y Minería. Boletín N° 93, 35p. Buenos Aires.

Flint (R.F.) y Fidalgo (F.). 1968. Drift glacial al este de los Andes, entre Bariloche y Esquel. Instituto Nacional de Geología y Minería. Boletín N° 119, 18 p. Buenos Aires.

González Bonorino (F.). 1946. Contribución a la petrología del noroeste de la Patagonia. Revista del Museo de La Plata (Nueva Serie), Sección Geología 4: 1-89.

González Díaz (E.F.). 1978. Estratigrafía del área de la Cordillera Patagónica entre los paralelos 40°30' y 41° de latitud sur (provincia del Neuquén). 7° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 525-537. Buenos Aires.

González Díaz (E.F.). 1982. Chronological zonation of granitic plutonism in the Northern Patagonian Andes of Argentina: the migration of intrusive cycles. Earth-Science Reviews 18: 365-393.

González Díaz (E.F.) y Nullo (F.E.). 1980. Cordillera Neuquina. Academia Nacional de Ciencias. Segundo Simposio de Geología Regional Argentina 2: 1099-1147. Córdoba.

González Díaz (E.F.) y Valvano (J.). 1978. Plutonitas graníticas cretácicas y neoterciarias entre el sector norte del lago Nahuel Huapi y el lago Traful (provincia del Neuquén). 7° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 227-242. Buenos Aires.

Gordon (A.) y Ort (M.). 1993 Edad y correlación del plutonismo subcordillerano en las provincias de Río Negro y Chubut. 12° Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 120-127. Buenos Aires.

Instituto Geográfico Militar (IGM). 1946. Hoja topográfica Isla Victoria 4172-16, escala 1:100.000. Buenos Aires.

Irisarri (J.A.), Aparicio (A.), Schmid (P.), Blanco (H.) y Antiquio (A.). 1985. Unidades Edafoclimáticas de la Cuenca Lacar-Lolog. Neuquén. Actas 11° Jornadas Forestales Patagónicas. Neuquén.

Laya (H.A.). 1972. Génesis de suelos a partir de productos piroclásticos postglaciales. Sector entre Portezuelo Puyehue (Chile-Argentina) y Nahuel Huapi (Neuquén). 5° Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo. Actas: 387-397. Santa Fe.

Laya (H.A.). 1977. Edafogénesis y paleosuelos de la formación téfrica Río Pireco. (Holoceno), Neuquén. Revista de la Asociación Geológica Argentina 32 (1): 3-23.

Meier (D.) y Herrero (R.), 2016. Informe de Inspección Forestal. Evaluación Sensibilidad Ambiental Arroyo Colorado – bajo cota 900 hasta unión Arroyo Las Piedritas por loteo social Villa La Angostura. Departamento Forestal Villa La Angostura. Dirección de Gestión de Bosque Nativo. Dirección de Bosques. Provincia del Neuquén. Informe inédito. 12 p. Neuquén.

Pereyra (F.X.). 2003. Ecorregiones de la Argentina. Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR). Anales 37, 182 p. Buenos Aires.

Ramos (V.A.). 1999. Las provincias geológicas del territorio argentino. En: Caminos (R.). (ed.), Geología Argentina. Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), Instituto de Geología y Recursos Minerales. Anales 29 (3): 41-96. Buenos Aires.

Rapela (C.W.), Munizaga (F.), Dalla Salda (L.), Hervé (F.), Parada (M.A.) y Cingolani (C.). 1987. Nuevas edades K-Ar de los granitoides del sector nororiental de los Andes Patagónicos. 10° Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 18-20. San Miguel de Tucumán.

Secretaría de Obras Públicas, Catastro Planeamiento, Infraestructura, Medio Ambiente y Fiscalizaciones. 2022a. Informe s/relleno Macrolote 6 (30 de junio de 2022). Informe Interno, 16 p. Municipalidad de Villa La Angostura.

Secretaría de Obras Públicas, Catastro Planeamiento, Infraestructura, Medio Ambiente y Fiscalizaciones. 2022b. Informe s/relleno Macrolote 5 (5 de julio de 2022). Informe Interno 33 p. Municipalidad de Villa La Angostura.

