

ESTUDIO GEOCIENTÍFICO APLICADO A LA EVALUACIÓN DE LA APTITUD PARA LA URBANIZACIÓN EN LA CUENCA CARBONÍFERA DE RÍO TURBIO, SANTA CRUZ

Fernando PEREYRA¹, Pamela BOUJON¹, Andrea GÓMEZ¹, Norma TELLO¹, María I. TOBÍO¹ y Omar LAPIDO¹

¹ Dirección de Geología Ambiental y Aplicada, SEGEMAR, Buenos Aires. E-mail: fernap@minproduccion.gov.ar

RESUMEN

Se realizó un estudio geocientífico para la evaluación de la aptitud para la urbanización en la cuenca carbonífera de Río Turbio. Este estudio incluyó la caracterización de los recursos naturales: suelos, agua y paisaje y la evaluación de áreas de riesgo natural y antrópico, la pérdida de espacios verdes y tierras agrícolas. La zona implicada se encuentra localizada en el extremo SO de la provincia de Santa Cruz. Conforman la llamada cuenca carbonífera del Río Turbio. Las localidades de Río Turbio y 28 de Noviembre exhiben el mayor número poblacional. Estas poblaciones se desarrollaron a partir de la actividad minera y ganadera. En función de las características geológicas, geomorfológicas, bióticas, geotécnicas, hidrológicas y edafológicas, se han diferenciado 7 unidades de paisaje. A partir de la información generada previamente y como insumo básico para la producción del plan de desarrollo urbano, se ha realizado un mapa de aptitud para la urbanización del área. Las unidades de paisaje con mejores posibilidades para la expansión urbana son dos: Morenas con estepa herbácea y planicies glaciales con estepa mixta. La unidad paisaje erosivo glaciar con bosque y la unidad terrazas fluviales son aceptables para la urbanización, mientras que las unidades: Cañadones y pendientes aluvio-coluviales, serranías poligenéticas terciarias y mallines y bajos, son inapropiadas para la urbanización, por diferentes motivos.

Palabras clave: *Geología urbana, peligrosidad geológica, aptitud de uso para urbanización, ordenamiento territorial.*

ABSTRACT: *Geoscientific study applied to the evaluation of urbanisation suitability at the carboniferous basin of Río Turbio, Santa Cruz.* A geoscientific study was accomplished to evaluate suitability for urban developments in the carboniferous basin of the Turbio River. This research included the characterization of natural resources: soil, water and landscape; the evaluation of natural and anthropic hazardous areas and the loss of farming and green lands. The implied area is located in the SW end of the Province of Santa Cruz. It is part of the carboniferous basin of the River Turbio. The towns of Río Turbio and 28 de Noviembre hold the most numerous populations. These two locations developed from mining and cattle breeding activities. Taking into account geological, geomorphological, biotic, geotechnical, hydrological and soil features, eight (8) Landscape Units were identified and, resultant from the information produced, a Map of Aptitude for the urbanization of the area was produced as a basic input for the urban development plan. The landscape units found to have better possibilities for urban expansion are two: Moraine with herbaceous steppe and glacial plains with mixed steppe. The erosive glacier with forests and fluvial terraces have acceptable conditions for urbanization, while the valley borders, canyons and alluvio-colluvial slopes, polygenetic Tertiary hills and *mallines* (humid meadows) and Lowlands are, for several reasons, units inappropriate for urbanization.

Keywords: *Urban geology, geohazards, aptitude for the urbanization, land management.*

INTRODUCCIÓN

La localización de asentamientos humanos, su estructura interna y funcionamiento están fuertemente influenciados por los factores ambientales y, particularmente por la configuración del terreno. Una gestión poco efectiva de las tierras en zonas urbanas o por urbanizar resulta en una generalizada degradación de suelos, agua y paisaje y en la ocupación de áreas riesgosas, pérdida de espacios ver-

des y de tierras agrícolas. La zona estudiada se encuentra localizada en el extremo SO de la provincia de Santa Cruz, en el límite con Chile, entre los paralelos de 51°40'S y 51°30'S y los meridianos de 72°10'O y 72°23'O (véase fig. 1). Conforman la denominada cuenca carbonífera del Río Turbio y constituye la mayor concentración de población de la provincia, detrás de Río Gallegos y Caleta Olivia, así como la mayor urbanización en el área cordillerana patagónica desde Esquel.

Dentro del área considerada se encuentran las localidades de Río Turbio y 28 de Noviembre, así como poblaciones menores, Julia Dufour e instalaciones mineras, las que integran un conjunto urbano que se extiende por más de 7 km, sobre el valle del río Turbio. Aguas abajo del área considerada, se encuentran las poblaciones de Rospenteck y Turbio Viejo, a escasos kilómetros de 28 de Noviembre. Estas poblaciones se desarrollaron esencialmente en relación a la actividad mine-

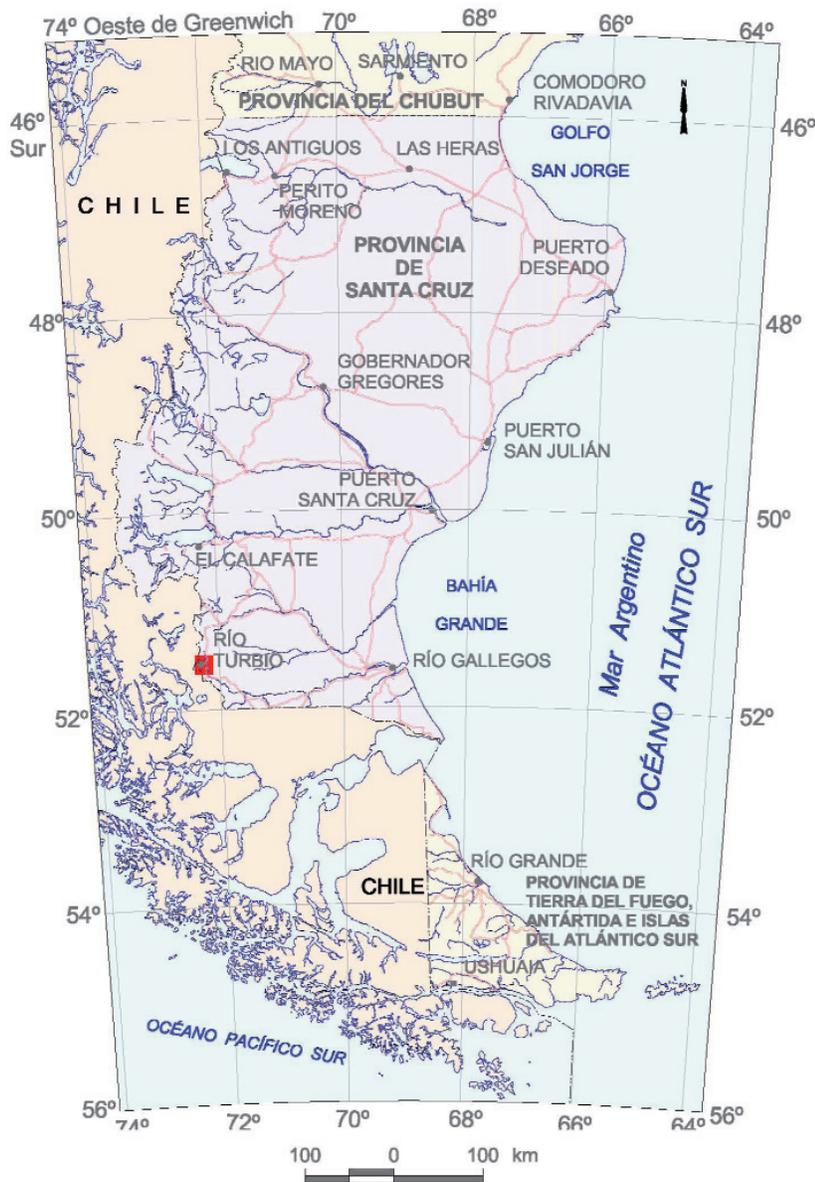


Figura 1: Mapa de ubicación.

ra de Río Turbio, la que imprimió un sello particular y distintivo al poblamiento y a la urbanización de la región. En tal sentido, se ha diferenciado claramente del típico patrón de poblamiento patagónico asociado a la actividad ganadera. Sin embargo, en las últimas décadas el turismo ha surgido como una alternativa económica importante creciendo sostenidamente e implicando nuevas demandas sobre el espacio. La población urbana de la Cuenca Carbonífera, tomada como base el 100% de la población de 1970, que alcanzaba a 5.245 habitantes, creció

hasta el censo del 2001 en un 216%, llegando a 11.336 habitantes. En 1991, Río Turbio tenía 6.746 habitantes, mientras que, 28 de Noviembre tenía 3.317. En el 2001, Río Turbio pasó a tener 6.650 pobladores, mientras que 28 de Noviembre creció significativamente, llegando a 4.686 habitantes. Debe señalarse que Río Turbio se encuentra espacialmente más limitada, lo que explica parcialmente el fenómeno observado. Estos aspectos, sumados al sostenido aumento de la población ocurrido en las últimas décadas, ciertamente no vinculada a la actividad

minera, justifican la necesidad de encarar estudios de ordenamiento ambiental, especialmente en lo concerniente a la aptitud para la urbanización de las diferentes unidades de paisaje, así como en lo referente a los conflictos de usos. La presente contribución se focaliza en el primero de los aspectos. La metodología seguida fue aplicada para San Carlos de Bariloche (Pereyra *et al.* 2005).

RESULTADOS

Caracterización del medio físico

Caracteriza el clima de la región una temperatura mínima media anual de 0,7°C y una máxima media anual de 10,9°C. La amplitud anual de los valores medios mensuales de temperatura es de 9,6°C. La temperatura media anual es de 5,9°C. Las precipitaciones en la región alcanzan los 443 mm/anales, con el mes más lluvioso en marzo (44,7 mm) y el mes menos lluvioso es septiembre (21 mm). En líneas generales las mayores precipitaciones tienen lugar en primavera y verano. Durante todo el año predominan los vientos del NO, O y SO. Utilizando la clasificación de Thornthwaite la zona corresponde a un clima subhúmedo-seco (C1 B'1 d a'). Las características del medio natural fueron reconocidas a partir de la fotointerpretación de fotos de diferentes escalas y años, así como a partir de imágenes satelitarias ASTER y Landsat en diferentes combinaciones de bandas. Consecuentemente, se elaboraron una serie de mapas previos y posteriormente fueron controlados en el campo elaborándose los mapas finales a escala 1:20.000. Las principales características del medio físico han sido tomadas de SEGEMAR (2006). El área de estudio se ubica en la provincia geológica Cordillera Patagónica Austral. En la misma se desarrolla el Batolito Patagónico, aunque sus afloramientos están principalmente en territorio chileno. También, a estas latitudes, se desarrolla una faja plegada y corrida que es responsable del importante acortamiento y levantamiento orogénico. En la Meseta Patagónica Austral, al este, afloran los de-

pósitos marinos y continentales cretácicos y cenozoicos. (Furque y Caballé 1983 y Malumián y Panza 2000).

La Formación Río Turbio (Paleógeno) es una secuencia alternante entre sedimentitas marinas y continentales portadoras de bancos de carbón ubicadas al oeste del valle del río Turbio. La sección inferior está compuesta por conglomerados y areniscas medianas a gruesas, pardo amarillentas, e intercalada con niveles de invertebrados fósiles y de tafoflora. En la parte superior de esta sección se interponen los mantos de carbón. La sección superior está formada por areniscas finas a gruesas, en parte conglomerádicas, pardo verdosas, en la que alternan niveles con invertebrados y plantas. La Formación Río Turbio presenta una estructura homoclinal regional, de rumbo norte-sur e inclinaciones al este de entre 12° y 15°. Localmente está afectada por fallas de poco rechazo y pliegues secundarios de reducidas dimensiones.

Al este de la Formación Río Turbio, en la zona de la sierra Dorotea sigue la sucesión la Formación Río Guillermo formada por sedimentitas de origen continental. Esta unidad está integrada por una secuencia alternante de conglomerados finos a gruesos y areniscas medianas a gruesas y, en menor cantidad, niveles de areniscas muy finas, limolitas y arcilitas. El color dominante de las psamitas y psefitas es castaño amarillento, grisáceo y verdoso. Los conglomerados son polimícticos, con rodados redondeados a subredondeados de vulcanitas, metamorfitas y cuarzo lechoso. El contacto basal es una superficie de discordancia erosiva y la estructura es homoclinal, con rumbo norte-sur, con valores de inclinación menores a 10° al este.

Le sigue la Formación La Escondida (Oligoceno superior a Mioceno inferior) constituida por dos secuencias, una inferior continental y otra superior marina. La secuencia continental (cerro Mirador) comienza con bancos de conglomerados gruesos, de 20 a 60 cm de potencia, de color castaño oscuro a negro, en una matriz arenosa gruesa. Dentro de las psefi-

tas, que forman un resalto marcado en el relieve local, se observan lentes de areniscas medianas con estratificación entrecruzada. Le siguen estratos de areniscas finas a medias, hasta conglomerádicas, castaño-amarillentas a rojizas hasta gris claro y verdosas, bien estratificadas, en bancos tabulares con entrecruzamiento. Se observan abundantes fragmentos de troncos silicificados. En la secuencia marina predominan las areniscas finas a medianas, pardo amarillentas, con estratificación paralela. Asimismo, se visualizan intercalaciones de conglomerados finos con concreciones, restos de vegetales carbonizados y dos niveles de invertebrados marinos, como ostréidos y gastrópodos. Luego, continúa la Formación Santa Cruz en el faldeo occidental de la meseta Latorre correspondiendo a la transición del Mioceno inferior al medio. El color dominante de la formación es blanco a gris amarillento y gris azulado. Está constituida por areniscas, arcilitas y tobas con algunos niveles conglomerádicos de grano fino intercalado.

En el norte afloran coladas que corresponden a basaltos alcalinos de plateaux, de edad miocena media a superior. Hacia el sur, los basaltos ocupan superficies menores, destacando las grandes planicies de diversos orígenes (incluyendo a los “rodados patagónicos”). Estas planicies son disectadas por amplios valles con depósitos glaciares y fluvio-glaciares.

En función de los procesos que le dieron origen es posible diferenciar tres conjuntos de depósitos cuaternarios: 1) Depósitos glaciares, 2) Depósitos glaciares y fluviales. Los Depósitos glaciares (Pleistoceno) conforman un conjunto heterogéneo de sedimentos de till, con intercalaciones que indican una mayor participación del agua, incluyendo niveles de varves. En general, son bloques y gravas inmersos en una matriz areno-gravilosa a areno-limosa, carentes de estructuras y mal seleccionados. En algunos casos se observan estructuras convolutas y *drop-stones*. Los Depósitos glaciares pleistocenos, forman estratos de 1 m de potencia con estratificación entre-

cruzada. Predominan los rodados y gravas, inmersos en una matriz gravilosa y arenosa, con bajo grado de consolidación. Finalmente, los Depósitos fluviales (edad holocena a reciente) grisáceos corresponden a dos niveles de terrazas de conglomerados gruesos poco consolidados, con matriz arenosa gruesa mal seleccionada, con algunas intercalaciones más finas (areno-limosas).

Los depósitos antrópicos son el producto de la actividad minera desde fines de la década del '40 en la Cuenca Carbonífera de Río Turbio. Se sitúan en ambos márgenes y en la planicie aluvial del arroyo San José. Basándose en la selección granulométrica, al proceso que lo genera y a la ubicación final se distinguen tres tipos de depósitos antrópicos: 1) estériles, en las escombreras escalonadas, 2) “lodo”, en las piletas de la planta depuradora y 3) cenizas de la usina térmica.

El relieve de la zona estudiada se debe esencialmente al modelado glaciar que modificó sustancialmente el paisaje estructural pre-existente. Con posterioridad al retiro de los hielos, las geoformas presentes fueron modificadas parcialmente por el accionar del proceso fluvial, mientras que la remoción en masa imprimió sus particulares rasgos a las pendientes (véase fig. 2). Las geoformas glaciares corresponden a morenas marginales y frontales, terrazas glaciares y planicies glaciares. Las morenas forman lomadas elongadas de till con bloques facetados de grandes dimensiones (mayores a 1 m) inmersos en una matriz areno-gravilosa, generalmente carente de estructuras sedimentarias. En algunos sectores (como inmediatamente al sur de Julia Dufour) se encontrarían ligados a varves y sedimentos mejor seleccionados y estratificados de ambientes ácuos asociados con la masa de hielo. Vinculadas a las morenas se encuentran las Terrazas glaciares. Las mismas presentan relieve horizontal y materiales gruesos, generalmente poco cementados por carbonatos. Los rodados en general son menores a 20 cm, inmersos en una matriz areno-gravilosa; en comparación con el *till*, están mucho me-

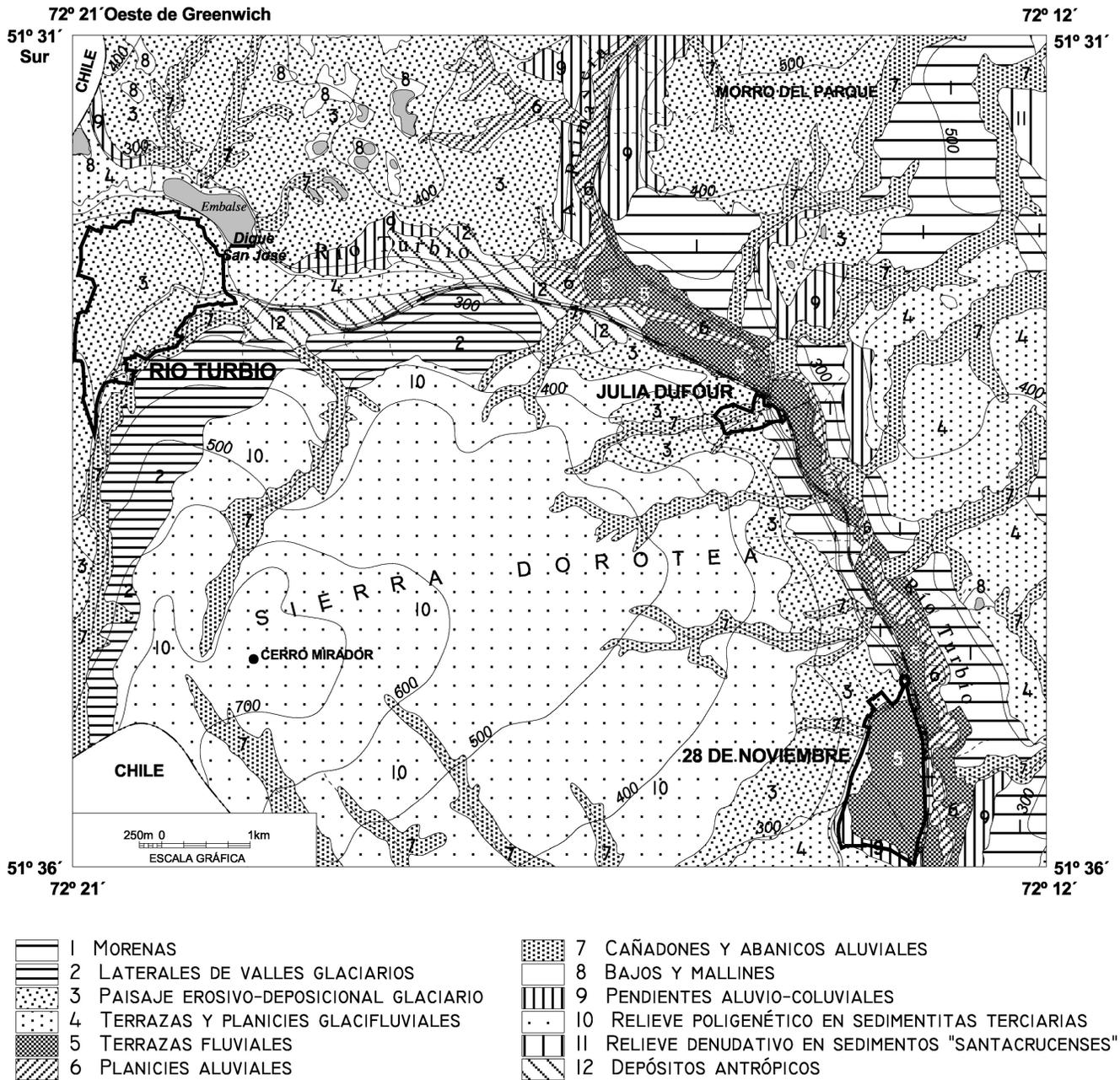


Figura 2: Mapa geomorfológico.

mejor seleccionados y es posible advertir estratificación entrecruzada y en artesa. Las planicies glaciales están definidas por la existencia de numerosos cauces entrelazados que ocupan todo el sector ubicado al frente de las lenguas glaciares. Se visualizan dos niveles relativamente bien preservados. El nivel superior al pie de la meseta Latorre que se encuentra disectado por numerosos cañadones, al este de Rospentek y Turbio Viejo está mejor preservado. El nivel inferior se halla inmedia-

tamente al sur de 28 de Noviembre. Como geoformas glaciares dominadas por erosión se desarrollan el paisaje erosivo-deposicional glaciario y los Laterales de valles glaciares geoformas labradas en las diferentes litologías aflorantes en las áreas más elevadas. Además, es posible observar depósitos de *till*, que podrían corresponder a morenas de fondo para la primera de las unidades. En las cercanías del área afectada al prospector (inmediatamente al oeste) se ubica

una forma mixta glaciaria, probablemente correspondiente a un drumlins (de tipo *crag and tail*). Dentro del conjunto de geoformas fluviales se pueden diferenciar las planicies aluviales, las terrazas fluviales y los cañadones. El río Turbio presenta hábito sinuoso, aumentando su sinuosidad hacia el sur. Las planicies aluviales presentan una amplitud variable. Los materiales que actualmente acarrea el curso no son demasiado gruesos (areno-gravillosos). Desde

el Pleistoceno superior se han formado varios niveles de terrazas fluviales. Su génesis se vincula a cambios del nivel de base (cambios del nivel del mar) y climáticos que resultaron en variaciones de caudal. Estas unidades tienen una extensión menor que las terrazas glacifluviales y su número difiere entre los valles, reconociéndose dos niveles principales en la cuenca de Turbio-Primavera-San José. Los depósitos son de bloques, gravas y arenas, moderadamente seleccionados, no cementados y con estratificación entrecruzada. En la zona de Julia Dufour es posible diferenciar dos niveles de terrazas. La acción erosiva de cursos fluviales generalmente temporarios ha producido numerosos cañadones. Debido al mayor relieve relativo, la máxima concentración de cañadones se encuentra en la zona oriental del área estudiada. Numerosos cursos provenientes de la meseta Latorre discurren con alta sinuosidad hasta desembocar en el río Turbio y en el arroyo Primavera. Es posible observar en la margen izquierda del río Turbio en la zona del arroyo de los Loros y en el cañadón ubicado próximo a 28 de Noviembre, pequeñas geoformas de acumulación, como abanicos aluviales disectados por los cursos actuales. El piso de algunos de los cañadones de mayores dimensiones está ocupado por mallines y lagunas.

Pequeños cursos también han labrado algunos cañadones en la zona serrana en la cual se localiza la mina (Sierra Dorotea). Estos cursos poseen, a diferencia de los anteriores, mayores pendientes y fuerte control estructural por lo que son mucho más rectilíneos. Uno de los principales se sitúa en la zona de los talleres y otro en las cercanías de Mina 5. En la zona de Julia Dufour coalescen dos pequeños arroyos formándose un mallín sobre el cual se asienta parte del loteo de la población. Finalmente, cerca de 28 de Noviembre (escasos cientos de metros aguas arriba) se observa otro cañadón importante que desagua buena parte del drenaje superficial del flanco oriental de la sierra Dorotea.

El relieve poligenético serrano se desarro-

lla sobre las rocas continentales y marinas de las formaciones, Río Turbio, Río Guillermo y La Escondida de edad paleógena. Es el resultado del accionar de los procesos glaciario, fluvial y de remoción en masa. En líneas generales el rumbo de los bancos es aproximadamente norte-sur con inclinación hacia el este. Es posible observar en la mayor parte de la unidad una cobertura de till de espesores variables, así como rasgos evidentes de procesos criogénicos. Las pendientes elevadas de los valles están afectadas por caída de rocas (en aquellos sectores donde las paredes son empinadas y carecen de vegetación), también por reptaje (que puede formar conos de deyección), y por deslizamientos y flujos del tipo *debris flow*. En la zona ubicada por encima de la actual Usina, de la planta de procesamiento y de Mina 5, al pie de los afloramientos rocosos de areniscas masivas y conglomerados que constituyen paredones verticales, se encuentran numerosos bloques caídos, los que en algunos casos conforman pequeños conos de caída de roca. Los bloques alcanzan grandes dimensiones (a veces varios metros) y en general son angulosos y aproximadamente equidimensionales, situación favorecida por el escaso recorrido y el diaclasamiento y estratificación de las rocas aflorantes. El crioclastismo también es importante, compone una carpeta detrítica en los sectores topográficamente más altos.

Los bajos constituyen, cuando las depresiones son mayores, cuencas endorreicas con diseño de avenamiento centrípeto y cursos efímeros; mientras que en el caso de los bajos menores, suelen alinearse sugiriendo vías de drenaje difuso. En las terrazas glacifluviales y planicies estructurales, se forman *piping* por sublavado. En los mismos se encuentran suelos hidromórficos y orgánicos (turberas). La mayor concentración de bajos y mallines está en el relieve erosivo-depositacional glaciario y en las terrazas glacifluviales, así como alineadas en los cañadones.

Marginando los valles principales se han diferenciado las pendientes aluvio-columbales. Las mismas son resultado de la

combinación del escurrimiento superficial (erosión hídrica) y la remoción en masa (reptaje y deslizamientos). Las inclinaciones de las pendientes son elevadas (mayores a 30°) si se las compara con el resto de las unidades geomórficas. Constituyen las formas más inestables de la zona estudiada. Por ejemplo, sobre la margen izquierda del río los deslizamientos de pequeñas dimensiones son frecuentemente generados por la acción de socavamiento producido por la erosión lateral del río. En algunos sectores se originan conos de deyección los que, al coalescer lateralmente, conforman taludes. En otros casos ocasionan conos de caída de rocas y taludes de caída de rocas (*rock fall talus*).

Finalmente, ocupando un pequeño sector, se encuentra el relieve denudativo en sedimentos santacruceses. Estas planicies son remanentes de antiguos pedimentos labrados en rocas neógenas con anterioridad a las glaciaciones. Luego, con el avance de los hielos, estas geoformas actuaron como divisorias de hielos y aguas, que fueron erosionadas parcialmente. Al pie de las mismas se formaron extensas pendientes en las que se combinan diferentes rasgos geomorfológicos. En este caso se distinguen numerosos cañadones que exponen afloramientos de la Formación Santa Cruz, deslizamientos rotacionales, conos de deyección y carpetas detríticas. Hacia la zona de menor altitud se interdigita con las morenas marginales más antiguas y con pequeños afloramientos de las formaciones más antiguas. Estas pendientes establecen zonas de activa morfogénesis.

La región sur de la provincia de Santa Cruz muestra características eco-ambientales específicas que la diferencian del resto de la Patagonia. En la misma, las condiciones climáticas y fisiográficas han determinado la existencia de un menor déficit hídrico estacional o incluso la ausencia del mismo. Consecuentemente, la disponibilidad de agua en el perfil del suelo es mayor que en otros sectores extraandinos y precordilleranos. El INTA (1990) diferenció, en función de las particularidades climáticas, geomorfológicas,

bióticas y edáficas, un sector que denominó Patagonia Extra-andina Austral, dentro de la cual se ubicaría la zona abarcada en este estudio. Esta región comparte algunas de las propiedades de la Región Andina Patagónica, las cuales se manifiestan, en algunas propiedades, semejantes a los suelos presentes. En primer lugar se destacan, al igual que en la zona andina, los contenidos mayores de materia orgánica, especialmente en los horizontes superficiales, si se comparan los suelos con los ubicados en la zona extraandina. Por el contrario, si se compara con la zona andina, el menor volumen de precipitaciones y de excedente hídrico, así como una menor cobertura vegetal y desarrollo del bosque, se plasma en un menor grado de lavado y lixiviación de los suelos. Asimismo, la menor participación de tefras como material originario, y las apuntadas diferencias bioclimáticas, resultan en la menor aparición de propiedades ándicas y por lo tanto en la ausencia de Andosoles.

La gran variabilidad geomorfológica y bioclimática, ya señalada, resulta en un complejo mosaico edáfico, encontrándose representados suelos pertenecientes a 5 Órdenes. Ésta es la categoría taxonómica mayor de la *Soil Taxonomy*, clasificación de suelos utilizada en nuestro país, en su última versión (*Soil Survey Staff* 2006). Los suelos examinados pertenecen a los Órdenes: Molisoles, Entisoles, Inceptisoles, Alfisoles e Histosoles. En función de las condiciones climáticas imperantes en la zona y los parámetros establecidos por la taxonomía de suelos, el régimen de humedad de los suelos dominante es el Xérico, observándose hacia el oeste cierta transición al régimen Údico. El régimen Xérico presenta inviernos húmedos y fríos, con veranos comparativamente secos y cálidos, por lo que el déficit hídrico se verifica en los meses de verano. El régimen Údico no muestra estación seca marcada y el déficit hídrico tiene menor duración o directamente no se produce. El régimen de temperatura de los suelos es Crídico a Mésico, por lo cual la temperatura media anual de los suelos es por

debajo de 8°C o entre 8° y 15°C respectivamente y no hay permafrost en los suelos, si bien ocasionalmente pueden congelarse.

Predominan los Molisoles, éstos son suelos que se caracterizan por tener un horizonte superficial rico en materia orgánica. Los requerimientos para considerar a un horizonte como Mólico es poseer más del 1% de materia orgánica, tener un porcentaje de saturación con bases superior al 50% y un espesor de más de 25 centímetros. Estos horizontes se forman usualmente bajo vegetación de estepa herbácea, si bien también pueden formarse en zonas de ecotono con el bosque. Los materiales originarios son variados, si bien en general las texturas son francas y franco-arenosas, aunque exhiban pedregosidad, favorecen su formación. En general tienen moderado a bajo grado de desarrollo pedogenético. Dentro de este Orden, los suelos dominantes en el área estudiada son los Crioles, particularmente los Haplocrioles. Éstos en general poseen perfiles simples, A-AC-C o, en menor medida existe cierto enriquecimiento en materiales más finos en el horizonte subsuperficial, teniéndose así perfiles de tipo A-Bw-C. En el primero de los casos, se trata de Haplocrioles énticos o líticos (si la roca se encuentra somera, usualmente a menos de 50 cm), mientras que en el segundo se trata de Haplocrioles típicos. Los Haplocrioles en general presentan un horizonte superficial potente (A), bien provisto de materia orgánica. Son oscuros (10YR3/3), con textura arenosa y estructura migajosa, media, moderada. Usualmente son pedregosos desde la superficie, aunque la misma aumenta en profundidad.

Por debajo del horizonte A, en las terrazas glacifluviales, fluviales y en las morenas, se suelen encontrar horizontes AC de transición también arenosos, si bien la pedregosidad puede superar el 30 %. En general son masivos o tienen estructura en bloques angulares débiles y son más claros (10YR5/3 en seco). En las terrazas fluviales, los moteados son frecuentes

desde la superficie y se incrementan en profundidad, hallándose a veces el nivel freático a menos de 1 m, por lo que en muchos casos se trata de suelos transicionales a Endoacuoles. En las geoformas más antiguas (morenas y terrazas glacifluviales) se encuentran horizontes Bw (en vez AC), de coloraciones más rojizas y texturas francas lo que evidencia incipiente argiluvación.

En las zonas de mayor pendiente y en la boscosa y de ecotono, en general, los Molisoles son menos potentes si bien los contenidos de materia orgánica pueden ser incluso mayores. Los subgrupos líticos (con afloramientos rocosos a menos de 50 cm) son frecuentes. En líneas generales las cementaciones de carbonato de calcio son poco comunes en la zona abarcada en el presente estudio, volviéndose más comunes hacia el SE de la misma, en ambientes de terrazas glacifluviales y antiguas planicies estructurales.

En los sectores boscosos (incluyendo grandes extensiones actualmente deforestadas) y de ecotono, generalmente a cotas más elevadas que en los Molisoles y con pendientes mayores, los suelos dominantes pertenecen al Orden Inceptisoles. Son principalmente Crieptes, o sea Inceptisoles fríos con perfiles simples (A-AC-C). En general están bien provistos de materia orgánica en su horizonte superior. Los horizontes A son oscuros, usualmente arenosos y franco arenosos, ligeramente pedregosos y con estructura en bloques subangulares débiles o migajosa. El espesor es muy variable, dependiendo de la morfodinámica del sector considerado, si bien en todos los casos los suelos muestran discontinuidades litológicas, evidencias de erosión-depositación o variaciones irregulares en el contenido de materia orgánica, aspectos que revelan la inestabilidad del paisaje. Asimismo, carecen de horizontes de lixiviación, salvo en los casos de incipiente formación de horizontes Bw y pequeñas evidencias de podzolización. Pueden ser clasificados como Eutrocrieptes húmicos, si el contenido de materia orgánica es muy alto en el horizonte A o líticos, si

la roca se encuentra somera.

En los sectores del paisaje con más actividad morfodinámica, con materiales originarios más gruesos, en geoformas más jóvenes o más elevadas (donde no hay bosque), predominan los Entisoles. Estos suelos muestran muy bajo grado de desarrollo pedogenético, lo que se materializa en los perfiles poco potentes y diferenciados y en la ausencia de horizontes diagnósticos. En general se trata de Ortentes, esencialmente Criortentes. Presentan perfiles simples A-C o A-1-2-3, etc., con horizontes superficiales apenas insinuados por color y estructura débil. En algunos casos es posible observar integrados a Molisoles, en estos casos los contenidos de materia orgánica son mayores y la existencia de los Entisoles se debería solamente al factor tiempo. Texturalmente son gruesos, predominantemente areno-gravillosos y la pedregosidad suele ser alta en todos los horizontes. Dadas las características geomorfológicas y climáticas de la región, la existencia de sectores deprimidos y anegables es un rasgo frecuente. En algunos casos forman mallines y pequeñas lagunas temporarias o semi-permanentes. En estos sectores se hallan suelos hidromórficos, los que según el aumento del grado de desarrollo pedogenético, pertenecen a los Órdenes Entisoles, Inceptisoles y Molisoles. Se trata de Acuentes, Acueptes y Acuoles respectivamente. En todos los casos se trata de suelos profundos, con problemas de drenaje desde la superficie (evidenciados por moteados y coloraciones particulares). Predominan las texturas arenosas, son frecuentes las discontinuidades litológicas y las presencia de capas gruesas y finas alternantes. Los horizontes orgánicos, o sea con más del 20 % de materia orgánica, son un aspecto común en la zona de mallines, dando lugar a subgrupos históricos o a la existencia de Humacueptes. Finalmente, debe señalarse que la sostenida actividad minera de la región ha dado lugar a la formación de suelos antrópicos o, al menos, han modificado fuertemente los suelos naturales. El aspecto más destacado es la presencia de

grandes acumulaciones aterrazadas de material estéril proveniente de la mina. En estos materiales, granulométricamente heterogéneos, especialmente en los depósitos más antiguos, se han formado suelos con la consiguiente colonización por parte de algunas especies vegetales. Como todos los suelos antrópicos, éstos exhiben bruscas variaciones laterales y verticales, y alta compactación. Asimismo, las propiedades químicas difieren de los suelos naturales circundantes. La mayor extensión areal de estos suelos antrópicos se localiza en el valle del arroyo San José, entre la población de Río Turbio y Mina 5.

La vegetación incluye los elementos más australes del bosque Andino-patagónico, si bien el mismo se encuentra muy degradado debido a la acción antrópica. A estas latitudes está compuesto casi exclusivamente por lengas. Hacia el este y en los valles fluviales la vegetación dominante es la estepa herbácea, mientras que en los sectores más altos y más orientales domina la estepa mixta, con importante participación del componente arbustivo.

En relación a los recursos hídricos, en primer lugar considerando las aguas superficiales, puede señalarse que el área de estudio se encuentra en el sistema río Gallegos-río Turbio de la cuenca del río Gallegos y atraviesa la región precordillerana hasta su desembocadura en el estuario Atlántico. El curso principal del río corre en sentido N-S sobre depósitos marinos-fluviales. El caudal aumenta en la época de deshielo, donde también recibe el aporte de cauces temporarios (Nicoli y Merino, 1993). La red hidrográfica tiene un diseño dendrítico, presenta arroyos tributarios subparalelos entre sí y en ángulo agudo sin control estructural y un régimen influenciado por la estacionalidad. Toda la cuenca tiene una situación de déficit hídrico. No hay almacenamientos lacustres significativos. La existencia de humedales, tales como vegas y mallines, constituyen reservorios valiosos en períodos secos.

El sistema de la cuenca del río Turbio está conformado por arroyos principales, como el San José, Santa Flavia y

Primavera y cursos secundarios que originan el río Turbio. Tanto las actividades mineras como los centros urbanos vierten sus efluentes y aguas servidas directamente a los cursos de agua. El arroyo Primavera es el único curso de agua que se utiliza para el suministro de las poblaciones de Julia Dufour y 28 de Noviembre, a diferencia de la localidad de Río Turbio que es provista por agua de pozos. Por su parte, el arroyo San José tiene un embalse para el aprovisionamiento de agua que actualmente está fuera de uso. En la margen derecha del arroyo se emplaza el ferrocarril que transporta el carbón hasta la ciudad de Río Gallegos. En este tramo, el cauce ha sido rectificado, desarrollándose paralelo al ferrocarril.

El arroyo Santa Flavia, que atraviesa la mencionada localidad, recoge los desagües pluviales, efluentes urbanos y las aguas servidas. En la unión de los arroyos San José y Santa Flavia, es donde desembocan los efluentes cloacales sin tratamiento, de la ciudad de Río Turbio se hizo un único muestreo en el mes de marzo de 2006, las conclusiones de estos estudios no deberían ser extrapoladas a otras épocas del año. De los resultados de los análisis físico-químicos se concluye que la mayoría de los parámetros están dentro de los límites establecidos como aceptables en la legislación. En términos generales las aguas son de tipo Bicarbonatada cálcica-sódica y Sulfatada sódica. Sin embargo, se advierten valores de amoníaco levemente superiores en los sitios coherentes con el uso ganadero y donde confluyen los efluentes cloacales. Con respecto al análisis bacteriológico se obtuvieron altos valores tanto en coliformes totales como en coliformes fecales, que determina un importante nivel de contaminación. Con respecto a la turbidez y al color aparente, todos los valores hallados sobrepasan en gran medida los parámetros aceptables.

En relación a la hidrogeología, se determinó que las terrazas fluviales y glaciales se comportan como áreas de recarga ya que están constituidas por materiales de bloques, gravas y arenas moderada-

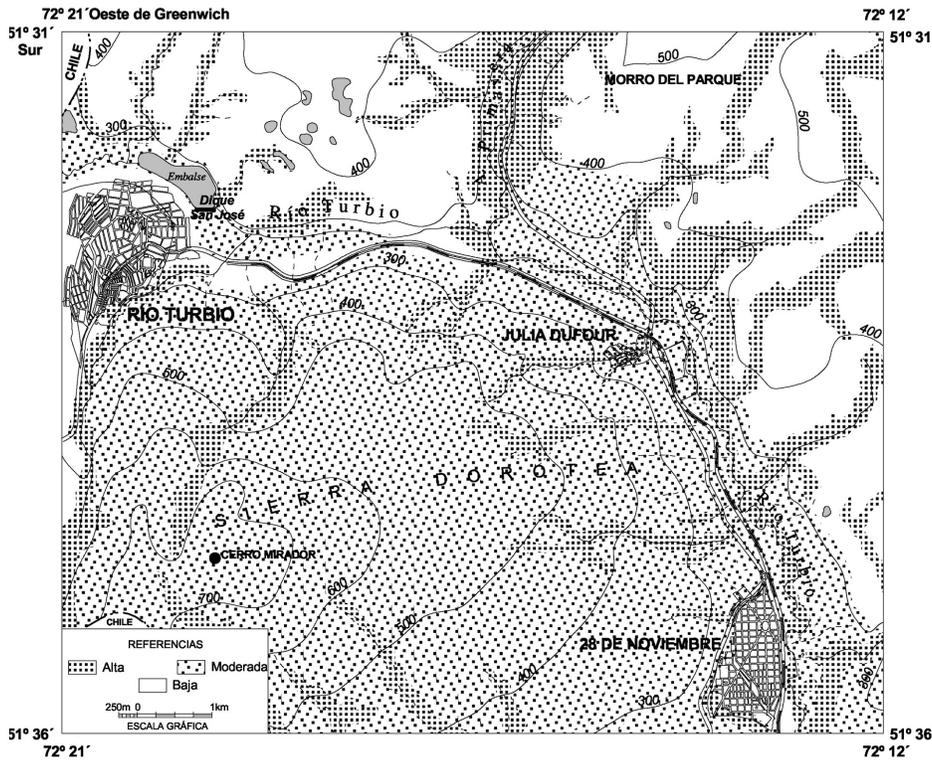


Figura 3: Mapa de susceptibilidad a la erosión hídrica.

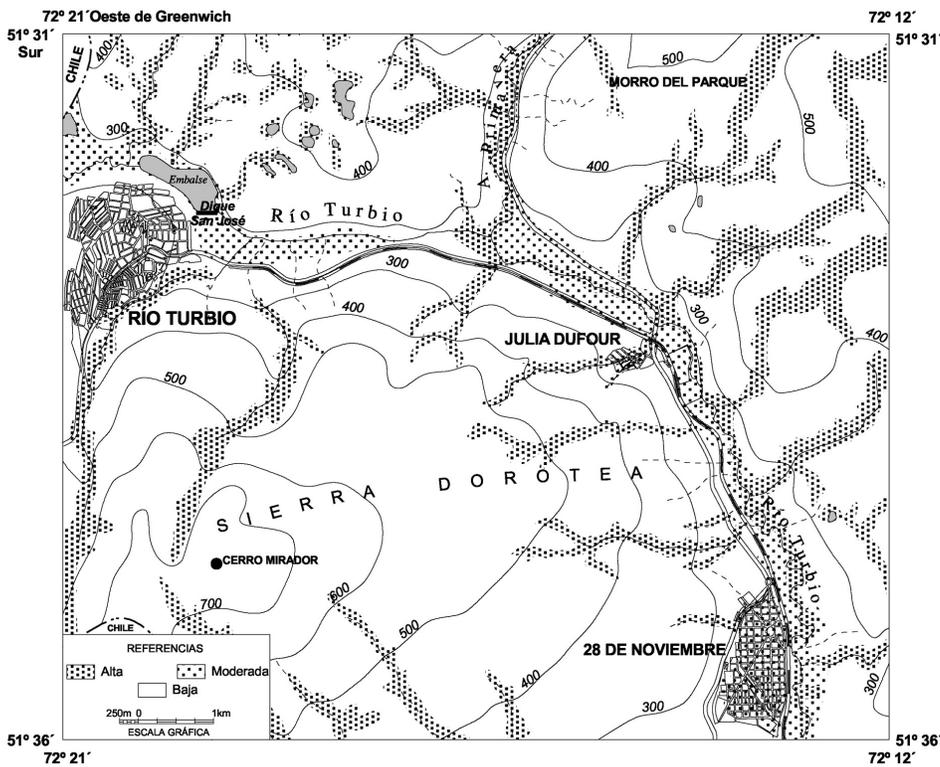


Figura 4: Mapa de susceptibilidad a las inundaciones y anegamientos.

mente bien seleccionados y limos en sectores cercanos al río. Además, durante el relevamiento en el campo, el arroyo San José presentaba tramos indefinidos como consecuencia de la infiltración del agua hacia el subsuelo. En ese sector de la vega el arroyo San José confluye con el arroyo Santa Flavia y con los efluentes cloacales formando una gran zona de mezcla en un suelo altamente permeable.

Los valores de permeabilidad para la zona subsaturada se encuentran entre 10^1 - 10^3 m/día, según la tabla de Breddin (1963) son materiales con alta permeabilidad. La red de flujo subterránea para los niveles freáticos presenta una dirección de escurrimiento ENE a OSO en sentido inverso al escurrimiento superficial. La relación de conductividad es en aguas superficiales menor que en aguas subterráneas. La red de flujo del acuífero semi-confinado tendría un comportamiento efluente del río para este período del año. De acuerdo con la muestra tomada en el predio para el acuífero libre, la composición del agua es sulfatada cálcica y para el acuífero semiconfinado la composición es bicarbonatada magnésica, bicarbonatada sódica y sulfatada cálcica, quizás en algunos pozos existiría mezcla del agua del acuífero sobreyacente.

El pH del medio en términos generales es ligeramente ácido a alcalino, con valores entre 6,2-8,3. La temperatura responde a la media del medio ambiente ($10,7^{\circ}\text{C}$) aproximadamente. Los valores de turbidez no exceden los límites establecidos por las normas del Código Alimentario Argentino. Las características químicas, muestran algunas anomalías en el contenido de NH_4 y bajo contenido en F-. Puede señalarse que la vulnerabilidad del acuífero libre es alta.

El relleno aluvial moderno contiene a ambos acuíferos y tiene una gran heterogeneidad en sentido vertical y horizontal con altos valores de permeabilidad. Además, se observan sectores en que no hay un aislamiento definido para el acuífero semiconfinado, generando una relación directa entre los niveles freáticos y piezométricos. El nivel freático, en la

zona de estudio, se encuentra a 1,87 m promedio de profundidad, muy cercano a la superficie.

Los estudios se hicieron en la estación de otoño, en la que no existe un gran aporte de agua por deshielo pero es el mes más lluvioso del año. Es importante tener en cuenta si cambia el comportamiento del río con respecto al agua subterránea en períodos de mayor caudal.

Existen valores de NH_4^+ (amonio) que superan los admitidos por el Código Alimentario Argentino, este componente en el agua puede ser un índice de contaminación. El contenido en fluor es bajo en algunos pozos de toma de agua, se recomienda evaluar la concentración de este componente.

Peligrosidad geológica

En general los factores de peligrosidad natural se encuentran en estrecha relación con el grado de morfodinámica existente en cada unidad geomorfológica o sector del paisaje. La sostenida presión humana sobre el medio natural ha generado condiciones de inestabilidad que han aumentado la probabilidad de ocurrencia de diferentes fenómenos peligrosos o que puedan resultar en una degradación del medio natural (físico y biótico) de alta magnitud. Las principales acciones antrópicas, en la región considerada, han sido la intensa deforestación, vinculada tanto a la ganadería como a la minería, y el desarrollo de las poblaciones y la acumulación de grandes masas de material antrópico (escombreras, piletas de lodo, cenizas, etc.) debido a la explotación minera sostenida en el tiempo y realizada hasta el presente con escaso sentido ambiental.

Los principales procesos potencialmente peligrosos considerados para la zona son: 1) inundaciones y anegamientos, 2) erosión hídrica, 3) remoción en masa, 4) volcanismo (caída de tefras) y 5) terremotos. Los tres primeros son peligros naturales que se han visto potenciados por la acción antrópica antes señalada, por lo que podrían considerarse inducidos (ver figuras 3, 4 y 5). Los dos últimos por el con-

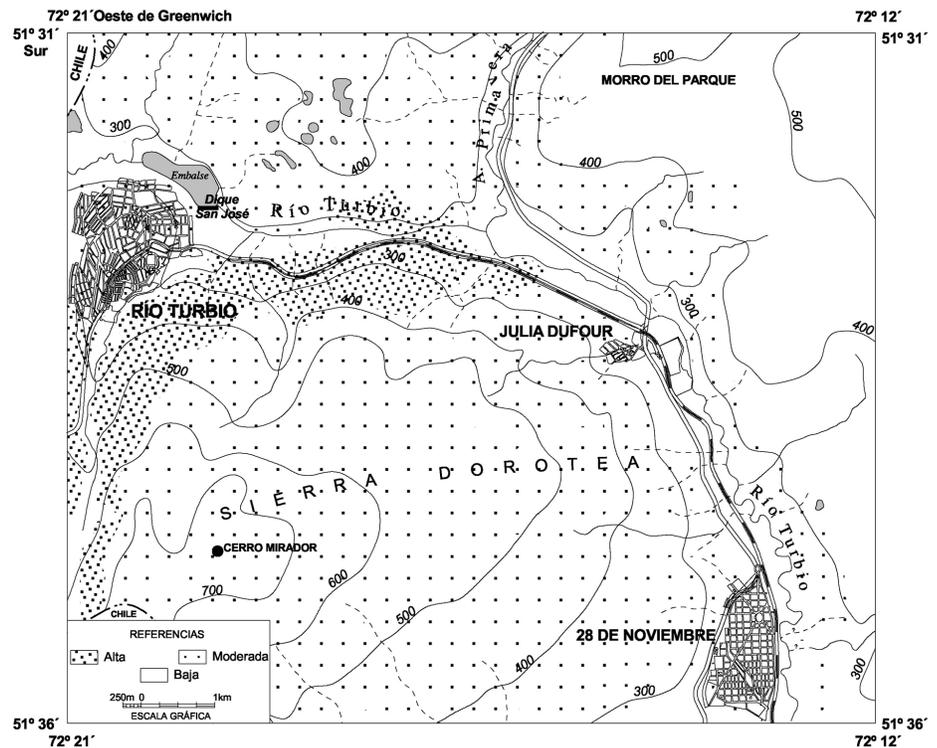


Figura 5: Mapa de susceptibilidad a la remoción en masa.

trario, al tratarse de procesos endógenos, ocurren sin participación humana alguna y en forma independiente a la misma. Consecuentemente, son más difíciles de prever y la mitigación de sus potenciales efectos negativos es más dificultosa.

Tanto por su impacto como por su frecuencia y extensión de sus efectos, las inundaciones y los anegamientos constituyen el principal factor de peligrosidad de la región estudiada. Dentro de las características geomorfológicas, como factor condicionante se destaca la existencia de numerosos cursos fluviales con planicies aluviales amplias y terrazas bajas con escaso desnivel respecto del nivel medio de los ríos, así como la abundancia de bajos y mallines. Las pendientes longitudinales relativamente altas de los cursos fluviales, especialmente en los sectores serranos o los procedentes de la meseta Latorre, implican altas tasas de escurrimiento superficial y comparativamente menor infiltración, por lo que proporciones altas de volúmenes precipitados llegan rápidamente a los cursos troncales, especial-

mente al río Turbio.

Respecto al clima de la región, este se caracteriza por presentar cierta estacionalidad, con las precipitaciones (tanto lluvias como nevadas) concentradas en los meses de otoño e invierno. Por lo tanto, los cursos fluviales muestran marcada estacionalidad con picos máximos ubicados después del deshielo, principalmente en la primavera. En esta época del año, los cursos fluviales aumentan considerablemente sus caudales, produciéndose frecuentes desbordes. Debe tenerse en cuenta que en ambientes de este tipo, las diferencias de caudales entre épocas de estiaje y crecidas (generalmente producidas por combinación de tormentas y bruscos deshielos en inviernos muy nevadores) pueden ser de varios órdenes de magnitud (diferencias de más de 10 veces son frecuentes). Se suma a los anteriores aspectos, la existencia de un nivel freático relativamente alto (cercano a la superficie) en las terrazas fluviales lo que limita considerablemente la capacidad de almacenamiento y de retención hídrica que

pueden realizar los suelos en los sectores antes señalados.

Si bien no existe un registro pormenorizado de inundaciones en la región, en función de las características observadas y de lo expresado por los pobladores y técnicos, la mayor parte de los cursos fluviales de la región han presentado eventos de inundaciones, particularmente los arroyos San José, Primavera y el río Turbio. En el caso del primero, la situación se ve agravada por la intensa modificación antrópica que expone.

Otro aspecto a considerar es el grado de exposición de la localización de los asentamientos humanos, instalaciones de servicios y otros aspectos antrópicos. La ubicación en planicies aluviales, terrazas fluviales bajas y abanicos aluviales aumenta ampliamente los riesgos de inundación.

La erosión hídrica es un fenómeno generalizado en la región, el cual puede alcanzar, localizadamente, valores alarmantes, lo que conduce a una pérdida total de los suelos, así como contribuye a la degradación de las aguas superficiales (aumento de la turbidez), de la vegetación y hábitat (como por ejemplo destrucción de mallines); conduciendo a la pérdida de la capacidad productiva de los suelos. Se presenta en la zona de dos formas: encauzada y mantiforme. En el primero de los casos se limita a las vías de avenamiento permanentes y efímeras existentes, mientras que el segundo, afecta sectores de las pendientes. En la erosión encauzada las evidencias son la existencia de *rills*, cárcavas, formación de cañadones, la erosión lateral y la incisión vertical tanto de los cauces en los cañadones como en los cursos mayores y la erosión de mallines. La erosión mantiforme implica esencialmente la erosión de los horizontes A de los suelos y puede conducir a su desaparición o una degradación lo suficientemente importante.

Diversos factores determinan la generalizada ocurrencia de fenómenos erosivos. Algunos son de origen natural, mientras que otros son de origen antrópico o inducidos. Se destacan entre otros: 1) importante relieve relativo, 2) suelos y mate-

riales superficiales gruesos, 3) Moderado a bajo grado de desarrollo pedogenético, 4) Frecuentes tormentas, 5) importante grado de degradación antrópica de la cobertura vegetal natural, 6) uso no sostenible del suelo (sobrepastoreo y minería), 7) deforestación, 8) acumulaciones antrópicas de material (escombreras).

Los sectores más afectados se localizan sobre la margen oriental del río Turbio, coincidente con el límite de la franja ecotonal y su transición a la estepa mixta. Sobre el lateral occidental del valle, en la zona del predio destinado para la construcción de la central termoeléctrica, si bien se observan numerosos *rills* y cárcavas, la magnitud de la erosión hídrica actual no es tan elevada. Sin embargo, la erosión potencial, en caso de modificarse la cobertura edáfica puede ser alta. El río Turbio, en la zona del codo, concentra su erosión sobre el lateral opuesto del cauce. Aguas abajo, la sinuosidad del curso aumenta, observándose evidencias de erosión por migración lateral, sobre ambas márgenes, por lo que deberían encararse, en la zona de Julia Dufour algunas obras menores de protección de la ribera oeste. Los movimientos gravitacionales acontecen en forma generalizada en toda la región. Éstos pueden ser eventos continuos en el tiempo, como el reptaje, o producirse en forma episódica, como por ejemplo los flujos densos, caídas y vuelcos de rocas y deslizamientos planares. En este segundo caso, dado lo repentino de su ocurrencia, los efectos son potencialmente más dañinos. La frecuencia, amplia distribución y variada tipología que presenta la remoción en masa, en la zona, se debe a la combinación de una serie de aspectos (naturales y antrópicos) entre los que se destacan: 1) pendientes altas, 2) proporción elevada de afloramientos rocosos, 3) Importantes acumulaciones de materiales gruesos inconsolidados en las pendientes, 4) suelos de moderado grado de desarrollo, 5) macizos rocosos proclives a experimentar procesos gravitacionales (estructural-litológicamente aptos), 6) deforestación y degradación de la cobertura vegetal, 7) usos de la

tierra, 8) acumulaciones de materiales antrópicos inestables, 9) sismos, 10) ocurrencia de tormentas y 11) excavaciones y movilizaciones de materiales. Los tres últimos aspectos actúan esencialmente como factores disparadores.

Las caídas-vuelcos de roca son comunes en las zonas más elevadas, donde los afloramientos rocosos forman pendientes subverticales. Las características litológicas condicionantes son: presencia de diferentes juegos de diaclasas y estratificación, alternancia de bancos de areniscas y conglomerados, meteorización (crioclastismo) y erosión glaciaria. Los sectores que concentran mayor cantidad de caídas se localizan inmediatamente por encima del área del yacimiento y por encima de J. Dufour. En estos lugares se encuentran numerosos bloques caídos aislados, bloques erráticos de morenas, así como conos de caídas de roca y conos coalescentes (*rock fall talus*). Los bloques son de gran dimensión, algunos de varios metros de diámetro y ocasionalmente al caer alcanzan las zonas más bajas (terrazas fluviales y morenas).

Los flujos densos incluyen a los flujos de detritos (*debrisflows*). Estos se encauzan parcialmente en cauces o cañadones preexistentes y su presencia se relaciona esencialmente a la época de deshielo o como respuesta a importantes precipitaciones pluviales o níveas. No se han observado evidencias de grandes movimientos de este tipo, si bien las condiciones geo-ambientales son propicias para su ocurrencia. La degradación de la cobertura vegetal constituye un factor de primer orden en su generación. Es muy poco probable que un flujo denso pueda alcanzar la zona del emprendimiento.

Los deslizamientos planares y rotacionales implican, en la zona, especialmente materiales inconsolidados que tapizan las pendientes. Consecuentemente, son movimientos de pequeñas dimensiones, si bien bastante usuales. La acción erosiva fluvial actúa como factor disparador, siendo frecuentes en el lateral oriental del valle del río Turbio.

Con respecto al peligro volcánico, el área

estudiada pertenece al segmento fueguino de la Zona Volcánica Austral, entre los 49° 00' LS y los 54° 00' LS, originada por el mecanismo de subducción de la placa oceánica Antártica por debajo de la placa continental Sudamericana.

En función de su actividad, los volcanes pueden dividirse en tres grupos: 1) activos, 2) inactivos y 3) dormidos. En el presente apartado solo se consideran los volcanes activos. Los volcanes de los Andes del Sur de la Argentina y de Chile, son esencialmente volcanes compuestos o estratovolcanes en los que predominan las erupciones explosivas y efusivas (estrombolianas, vesubianas y plinianas) y por consiguiente presentan grados de peligrosidad moderada a alta. En el cuadro 1 se observan los volcanes activos a estas latitudes. Debe destacarse que el principal factor de riesgo volcánico para la zona es la caída de cenizas.

En cuanto a la peligrosidad sísmica, el área de estudio está ubicada en una zona de margen tectónico activo. Según el INPRES, se registran sismos con magnitudes alrededor de 5 en la escala de Richter desde el año 1930 (aproximadamente) hasta el 2004 (ver cuadro 2).

El INPRES, considerada al área dentro de una zona en la que cada 100 años puede ocurrir un sismo de grado mayor a VI en la escala de intensidades de Mercalli. Al efecto destructor de un sismo se suma su acción como elemento disparador de fenómenos de remoción en masa, teniendo en cuenta las características geomorfológicas de la zona y la existencia de depósitos antrópicos de gran magnitud.

A los peligros naturales se suma el alto riesgo generado por la actividad antrópica, debido a la existencia de piletas de lavado y escombreras del YCRT (Yacimiento Carbonífero Río Turbio). Este material extraído es acopiado en el valle del arroyo San José, aguas abajo de la población de Río Turbio e inmediatamente aguas arriba de la confluencia de este arroyo con el Primavera. Así, se han acumulado pilas de cientos de metros de altura sobre el piso del valle y sobre el lateral norte del mismo. El material ha obs-

CUADRO 1: Volcanes Activos.

| Volcán | Ubicación | | Altura | Tipo | Últimas erupciones | Actividad |
|------------|-----------|-----------|--------|--------------------------|--------------------|-----------|
| | Lat. Sur | Long. O | | | | |
| Lautaro | 49°01'00" | 73°33'00" | 3607 | Estratovolcán | Octubre de 1981 | Activo |
| Viedma | 49°21'30" | 73°17'00" | 1500 | Volcán subglacial | Noviembre de 1988 | Activo |
| Aguilera | 50°20'00" | 73°45'00" | 2546 | Estratovolcán | (Holoceno Tardío) | Activo |
| Rectus | 50°57'50" | 73°35'00" | 1000 | Cono de ceniza volcánica | 1908,1879,1869 | Activo |
| Mte Burney | 52°20'00" | 73°24'00" | 1758 | Estratovolcán | Marzo de 1910 | Activo |

CUADRO 2: Sismos según el INPRES.

| Fecha | Fuente | Latitud | Longitud | Profundidad (km) | Magnitud | Intensidad | Fuente | Lugar |
|------------|--------|---------|----------|------------------|----------|------------|--------|-------------------------|
| 13/07/1930 | LPA | -51,100 | -70,700 | 33,0 | 6,2 | | | |
| 19/03/1932 | LPA | -51,000 | -65,500 | 33,0 | 0 | | | |
| 19/03/1932 | LPA | -51,500 | -62,000 | 33,0 | 0 | | | |
| 13/05/1950 | LPA | -51,880 | -72,000 | 33,0 | 0 | | | |
| 14/06/1970 | OAU | -52,030 | -73,900 | 33,0 | 4,6 | | | |
| 13/04/1973 | CGS | -52,500 | -72,000 | 11,0 | 5,1 | | | |
| 29/06/1987 | GS | -51,736 | -71,973 | 10,0 | 5 | | | |
| 27/05/1998 | GS | -51,530 | -71,900 | 33,0 | 4,5 | | | |
| 24/06/1998 | GUC | -51,500 | -71,900 | 33,0 | 4,2 | | | |
| 30/03/2000 | GS | -52,022 | -72,209 | 33,0 | 4,1 | | | |
| 27/01/2001 | IAA | -51,072 | -62,390 | 33,0 | 3,5 | | | |
| 21/04/2001 | IAA | -52,116 | -65,103 | 33,0 | 3,3 | | | |
| 21/08/2001 | IAA | -52,688 | -70,292 | 33,0 | 2,8 | | | |
| 21/09/2002 | IAA | -52,393 | -61,489 | 33,0 | 3,4 | | | |
| 19/03/1932 | LPA | -51,000 | -65,500 | 33 | 0 | | | |
| 21/01/1944 | SJA | -50,200 | -72,150 | 30 | 5 | V | SJA | El Calafate, Santa Cruz |
| 08/04/1959 | CGS | -50,500 | -73,000 | 33 | 6,2 | | | |
| 29/09/1966 | ISC | -50,470 | -72,400 | 52 | 4,7 | | | |
| 10/09/1986 | GS | -50,240 | -71,290 | 33 | 5 | | | |
| 21/01/1992 | GS | -50,421 | -72,158 | 33 | 5,1 | | | |
| 30/07/1992 | GS | -50,357 | -72,095 | 10 | 5,5 | IV | GS | El Calafate, Santa Cruz |
| 09/04/1999 | GS | -50,460 | -72,230 | 33 | 4,3 | | | |
| 30/09/2000 | IAA | -50,387 | -72,932 | 33 | 3,8 | | | |
| 30/08/2004 | GS | -50,695 | -72,137 | 25 | 5 | IV | SJA | El Calafate, Santa Cruz |
| 31/08/2004 | GS | -50,630 | -72,327 | 19 | 4,7 | | | |
| 07/09/2004 | GS | -50,686 | -72,237 | 37 | 3,6 | | | |
| 05/10/2004 | GS | -50,627 | -72,296 | 28 | 4,7 | II | SJA | Río Turbio, Santa Cruz |
| 06/12/2004 | SJA | -50,500 | -72,750 | 33 | 4,7 | IV | SJA | El Calafate, Santa Cruz |
| 05/07/2005 | PDE | -50,668 | -72,074 | 22 | 5,1 | | | |

truido el curso normal del arroyo San José a lo que se suma las piletas de lodo y la deposición de cenizas de la usina actualmente operativa.

La localización del material estéril de la mina es claramente inadecuada, desde el punto de vista ambiental. Además, es susceptible de ser movilizado por procesos de remoción en masa, ya sean flujos densos o deslizamientos, cuyos disparadores son: la erosión basal fluvial, las grandes lluvias, los eventos de deshielo extraordinarios, los sismos o el propio acopio desde arriba del estéril. Si bien el

estéril se compacta naturalmente hasta cierto punto, las terrazas artificiales que se han formado presentan pendientes claramente inestables y se observan evidencias de movimientos gravitacionales, potenciados por la acumulación desde arriba de nuevas cantidades de material (véase figura 6).

Debe hacerse notar que existen numerosos antecedentes de flujos densos y deslizamientos en las pilas de estéril de las minas. A los peligros potenciales, se añade la contaminación del agua del arroyo y la degradación de los recursos agua, suelo,

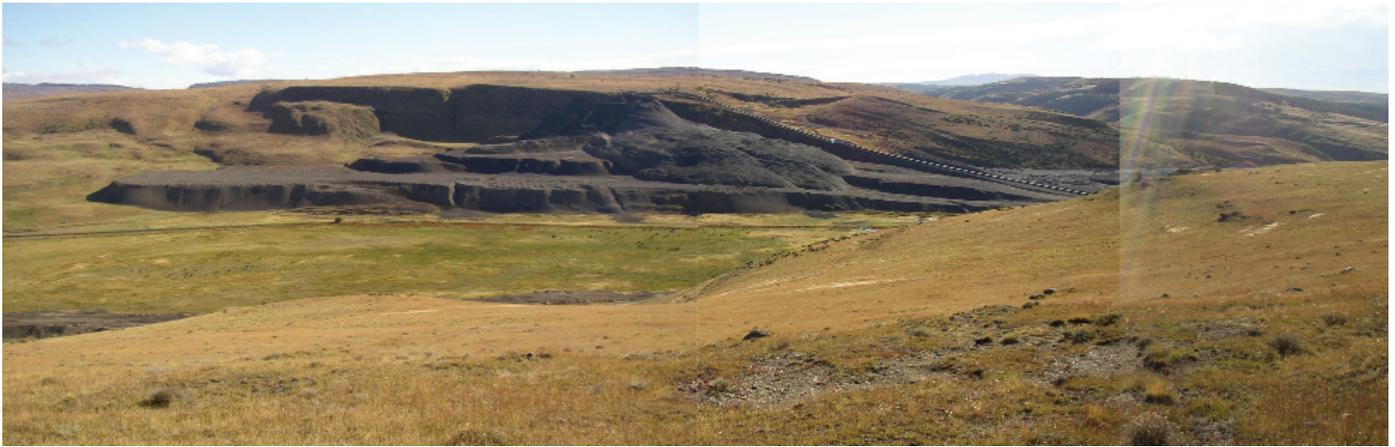


Figura 6: Terraza de material estéril del yacimiento Río Turbio.

CUADRO 3: Caracterización de las Unidades de Paisaje.

| Unidad de paisaje | Material Superficial | Morfod. actual | Relie. relat. pendientes | Suelos principales | Vegetación | Agua subterránea |
|--|--------------------------------|----------------|--------------------------|---------------------------|---|---------------------------------------|
| I - Morenas | Grueso, arenas y tefras | Baja | Moderado | Molisoles Entisoles | Estepa arbustiva con lenga | Acuíferos porosos discontinuos |
| II - Planicies glacifluviales | Grueso y arenoso | Baja | Muy bajo | Molisoles Entisoles | Estepa herbácea y mixta con lenga | Acuíferos porosos discontinuos |
| III - Cañadones pend. aluvial-coluvial | Grueso y arenoso | Alta | Bajo | Entisoles | Estepa arbustiva y mixta con parches de lenga | Acuíferos pequeños discontinuos |
| IV - Terrazas y plan. aluviales | Grueso y arenoso | Alta | Muy bajo | Entisoles Molisoles | Estepa arbustiva y mixta, humedal | Acuíferos porosos |
| V - Mallines y bajos | Fino con rodados | Baja | Muy bajo | Orgánicos y hidromórf. | Hidrófitas y estepa herbácea, humedal | Nivel freático aflora estacionalmente |
| VI - Paisaje erosivo glaciar | Grueso, tefras y afloramientos | Moderada | Moderado | Entisoles Inceptisoles | Estepa herbácea arbustiva, bosque de lenga y matorral de Ñire | Sin acuíferos, perm. fisural |
| VII - Serranías poligenéticas terciarias | Grueso y afloramientos | Muy alta | Muy Alto | Entisoles Inceptisoles | Bosque lenga y estepa herbácea y arbustiva con lenga | Sin acuíferos, perm. fisural |

paisaje y vegetación. Los problemas relacionados con este tipo de disposición del material sobrante (tanto por la forma de disposición y como por la localización) indican claramente que éste no puede ser el mecanismo utilizado nuevamente para la disposición de las cenizas de la futura central termoeléctrica.

Determinación de la aptitud para la urbanización

El ordenamiento territorial es la forma de plasmar espacialmente las políticas sociales, culturales y económicas de una sociedad, tal que sean compatibles con las características naturales del medio físico. El objetivo es conseguir un desarrollo equilibrado y sustentable de las regiones, optimizar la utilización de los recursos

naturales a la vez que la organización física del territorio y así mejorar la calidad de vida de todos los habitantes actuales y futuros de una región o país.

La resolución de los conflictos que se plantean en diversos niveles entre los diferentes actores sociales implica llegar a diferentes grados de consensos y acuerdos que permitan el mantener las condiciones de vida adecuadas para toda la población. Estos compromisos, plasmados en las primeras etapas de cualquier plan, son el verdadero componente del ordenamiento territorial.

Existen cuatro conflictos paradigmáticos y recurrentes: 1) la contradicción entre conservación y desarrollo, 2) la pugna entre intereses públicos y privados, 3) el conflicto de intereses entre diversos sec-

tores y 4) la confrontación entre intereses locales y provinciales / nacionales. De la no resolución equilibrada de los conflictos planteados se desprenden una serie de problemas cuya síntesis puede ser: a) desequilibrio territorial, b) impactos ecológicos y paisajísticos debido a usos incompatibles con el medio físico, c) mezcla y superposición de usos, d) derroche de recursos naturales, e) localización de actividades sin considerar los peligros naturales, f) incoherencia en la distribución de infraestructuras y servicios, g) conflicto entre usos, actividades y sectores y h) desorganización administrativa, superposición de incumbencias.

En función de las características geológicas, geomorfológicas, bióticas, hidrológicas y edáficas, se han diferenciado 7 uni-

dades de paisaje: I) morenas (morenas con estepa herbácea, II) planicies glaci-fluviales (terrazas glaci-fluviales con estepa mixta), III) cañadones y pendiente aluvial-coluvial, IV) terrazas fluviales (terrazas fluviales y planicies aluviales con estepa mixta), V) mallines y bajos, VI) paisaje erosivo glaciario (paisaje erosivo-deposicional glaciario y laterales de valles glaciarios con remanentes de bosque), VII) serranías poligenéticas terciarias (relieve poligenético en sedimentitas terciarias y relieve denudativo en sedimentos “santacrusenses” con manchones de bosque y estepa mixta). Véase cuadro 3, donde se caracterizan las unidades de paisaje.

A partir de la consideración de las diferentes características relevantes en cada una de las unidades de paisaje se ha realizado una valoración cualitativa de la distribución y potencial respuesta del medio natural frente a los principales factores de peligros naturales y problemas ambientales detectados en la región. Véase cuadro 4, de las amenazas naturales.

Se proponen los usos, basados en las capacidades de acogida de cada una de las unidades de paisaje diferenciadas. La capacidad de acogida de un territorio puede definirse en forma empírica a través de una serie de aproximaciones (Gómez Orea 1994). Se desprende del compromiso existente entre la aptitud potencial de los ecosistemas y el impacto o fragilidad de los mismos, los que combinados permiten realizar una valoración de la capacidad de acogida de un ecosistema.

En una segunda etapa se ha combinado este resultado con la valoración de los procesos activos y peligros naturales lo que permite establecer la capacidad de acogida del territorio. Finalmente las categorías de ordenamiento han resultado de la combinación de las capacidades de acogida y del mapa de unidades de paisaje. En relación a la capacidad de acogida se ha evaluado, en este trabajo, la aptitud para la urbanización. Se han definido cinco clases de acciones según los usos: recomendado, aceptable, aceptable con restricciones, inaceptable y no corresponde. En el caso de aceptable con res-

CUADRO 4: Amenazas naturales según las unidades de paisaje (A: alta, M: moderada, B: baja y N: nula).

| Unidad de Paisaje | Inundación | Ascensos freáticos | Deslizamientos y flujos densos | Avalancha de nieve | Caídas de rocas | Erosión hídrica | Erosión eólica |
|---------------------------------|------------|--------------------|--------------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| Morenas | B | M | B | N | B | B | B |
| Planicies glaci-fluviales | M | A | B | N | N | M | M |
| Cañad. y Pend. aluvial-coluvial | M | M | A | N | A | A | N |
| Terrazas y planicies aluviales | A | M | B | N | N | M | B |
| Mallines y bajos | A | A | N | N | N | M | M |
| Paisaje erosivo glaciario | B | M | M | N | A | M | B |
| Serranías poligenét. terciarias | B | B | A | B | A | M | M |

CUADRO 5: Aptitud de las diferentes unidades de paisaje frente a potenciales usos.

R: recomendado; A aceptable; AL, aceptable con limitaciones, necesita EIA específicos, I, inaceptable; - no corresponde.

| Unidades de paisaje | Morenas glaci-fluviales | Planicies | Cañadones pend. aluvial-coluvial | Terrazas Planicies aluviales | Mallines y bajos | Paisaje erosivo glaciario | Serranías polygen. terciarias |
|--|-------------------------|-----------|----------------------------------|------------------------------|------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Protección de ecosistemas | - | A | A | A | R | R | R |
| Conservación estricta | - | - | - | - | - | R | R |
| Recreación y turismo | A | I | R | R | R | R | A |
| Urbanización de alta densidad | AL | AL | I | I | I | I | I |
| Urbanización de baja densidad | R | AI | I | AL | AL | AL | I |
| Industrial | AL | AL | I | I | I | I | I |
| Instalaciones técnicas de servicios | A | AL | AL | A | A | A | I |
| Disposición de residuos | AL | AL | I | I | I | I | I |
| Minería de áridos | AL | A | I | AL | I | I | AL |
| Horticultura-floricultura-fruticultura | A | A | AL | A | A | A | AL |
| Ganadero | A | A | A | A | A | A | A |
| Vías de transporte | A | A | I | A | AL | AL | AL |
| Líneas de tendido aéreo | A | A | A | A | A | AL | AL |
| Forestación | AL | AL | I | AL | I | I | AL |

tricciones, esta clase implica la necesidad de estudios de evaluación de impacto ambiental (EIA) específicos frente a potenciales acciones (véase cuadro 5).

A partir de la información generada previamente y como insumo básico para la elaboración del plan de desarrollo urbano, se ha realizado un mapa de aptitud para la urbanización para el área sobre la base de la consideración cuali-cuantitativa de una serie de aspectos considerados relevantes (véase fig. 7).

Los factores considerados son:

1. Naturaleza del sustrato (roca-suelo-consolidación-factoración, etc)
2. Pendientes

3. Peligrosidad geológica y morfodinámica actual (grado relativo según zonificación previa)

4. Incompatibilidad de usos (excluyente)

5. Distancia a cursos fluviales y cuerpos de agua

6. Profundidad del nivel freático

A su vez, en cada una de los factores analizados se ha realizado una categorización según la:

Naturaleza del sustrato (roca-suelo-consolidación-factoración, etc.)

- Roca en buen estado
- Roca fracturada y/o meteorizada
- Suelo grueso
- Suelo fino

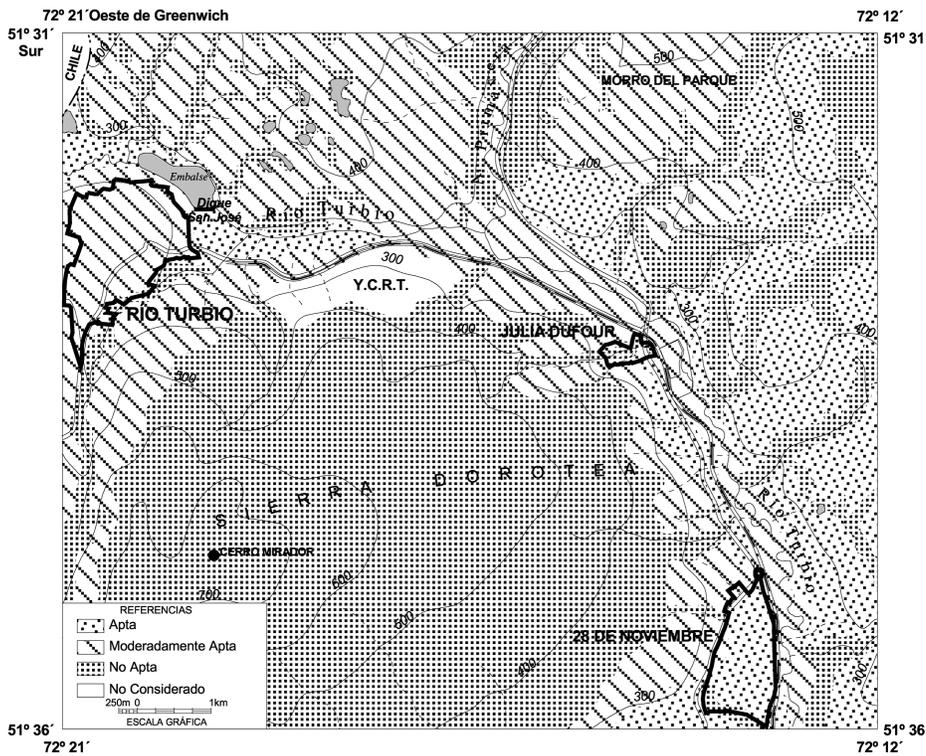


Figura 7: Mapa de aptitud para la urbanización.

CUADRO 6: Aptitud para la urbanización de las diferentes unidades de paisaje.

Referencias de clases: I muy apta, II apta, III moderadamente apta y IV no apta. A: facilidad/dificultad para construcción de viviendas. B: facilidad/dificultad para construcción infraestructura de servicios. C: facilidad/dificultad para construcción infraestructura vial. D: facilidad/dificultad para construcción de instalaciones comunitarias. De A a D, los valores son de 1 a 4, correspondiendo el 1 a fácil y el 4 muy difícil.

| | Facilidad/dific. Suma para constr. de viviendas | Facilidad/dific. Clases para constr. infraestructura | Facilidad/dific. para constr. infraestructura | Facilidad/dific. para constr. de instalaciones | S | CL |
|--|---|--|---|--|----|-----|
| Morenas | 1 | 2 | 1 | 2 | 6 | II |
| Planicies glaciafluviales | 1 | 1 | 1 | 2 | 5 | I |
| Cañadones y pendient. aluvio-columviales | 3 | 3 | 3 | 4 | 13 | IV |
| Terrazas fluviales | 2 | 3 | 2 | 3 | 10 | III |
| Mallines y bajos | 3 | 3 | 3 | 4 | 13 | IV |
| Paisaje erosivo glaciar | 2 | 3 | 2 | 3 | 10 | III |
| Serranías poligenéticas terciarias | 4 | 4 | 4 | 4 | 16 | IV |

- Suelo expansivo
- Pendientes
 - Alta (más de 30°)
 - Mediana (entre 5 y 30°)
 - Baja a horizontal (menos de 5°)
- Peligrosidad geológica y morfodinámica actual (grado relativo según zonificación)
 - Alta
 - Moderada
 - Baja y muy baja
- Incompatibilidad de usos
 - Protección naturaleza
 - Recreativos-turísticos
 - Forestal

Distancia a cursos fluviales y cuerpos de agua

- Aledaño
 - Próximo (menos de 50 m)
 - Alejado (más de 50 m)
- Profundidad del nivel freático
- Somero o aflorante (a menos de 1 m)
 - Profundo

La consideración de estos aspectos fue aplicada a cada unidad de paisaje (o subunidad cuando correspondiera o justificara su desagregación) en forma ponderada y relativa obteniendo una diferenciación de las mismas en clases de aptitud para la urbanización. En tal sentido fueron diferenciadas tres clases las que se encuentran representadas en el mapa adjunto (véase fig. 7). La existencia de sectores moderadamente aptos no significa la imposibilidad de su loteo ni de su ocupación, sino que su utilización implicará estudios específicos en cada caso.

Consecuentemente, se han clasificado las unidades de paisaje en función de su mayor o menor aptitud frente a los diferentes tipos de urbanización, teniendo en cuenta la necesidad de controlar el desarrollo y expansión urbana y la localización espacial de la misma ante las demandas sociales, las restricciones naturales, el uso sustentable de los recursos naturales y la conservación de la naturaleza. La propuesta surge de la consideración de todos los aspectos analizados en este trabajo en forma cuali-cuantitativa, ponderándolos de acuerdo a su participación específica en los factores considerados. Se consideraron dentro de la urbanización una serie de aspectos, los cuales fueron luego evaluados por separado para cada una de las unidades de paisaje. Se asignó un puntaje según la mayor o menor facilidad frente a cada tipo de construcción. En este aspecto, no solo se considero la facilidad/dificultad ingenieril, sino también los costos relativos de construcción y mantenimiento. Las actividades consideradas dentro de la categoría urbanización son: A) Construcción de viviendas B) Infraestructura de servicios (agua, gas, electricidad, cloacas, teléfono), tanto

aérea como subterránea

C) Infraestructura vial (caminos asfaltados, caminos de ripio y zonas de transferencias para pasajeros, cargas, tránsito en general)

D) Instalaciones comunitarias, incluyendo industriales, de servicios, sociales (escuelas, unidades sanitarias, policía, bomberos), recreativas, turísticas y comerciales.

Se definieron cuatro conjuntos en función de las actividades anteriores: A) considera la facilidad/dificultad para construcción de viviendas; B) la facilidad/dificultad para construcción infraestructura de servicios; C) considera facilidad/dificultad para construcción infraestructura vial y D) la facilidad/dificultad para construcción de instalaciones comunitarias. El cálculo de la mayor o menor aptitud se realiza a partir de la suma de los valores obtenidos para cada conjunto en cada unidad de paisaje. De A a D, los valores son de 1 a 4, correspondiendo el 1 a fácil y el 4 muy difícil.

En función de los puntajes asignados y la suma de los mismos, las unidades fueron agrupadas en cuatro clases de aptitud a la urbanización: I muy apta (valores menores o iguales a 5), II apta (valores mayores que 5 y menores que 10), III moderadamente apta (valores mayores que 10 y menores que 13) y IV no apta (13 o mayores). Los resultados obtenidos se observan en el cuadro VI. En el mapa de aptitud a la urbanización se unificaron las unidades muy apta y apta como APTA por razones de escala (véase fig. 7).

Del análisis de los factores antes señalados, su ponderación relativa y de su combinación se desprenden una serie de conclusiones. Las mismas pueden ser incorporadas a cualquier plan futuro de desarrollo urbano, con el objetivo de dirigir la expansión urbana de forma tal que sea compatible con la preservación del medio natural y con la mejora de la calidad de vida de los pobladores.

Las unidades de paisaje que presentan las mejores posibilidades (aptas) para ser utilizadas en un futuro como sectores de expansión urbana son dos planicies glaciales y morenas (véase cuadro V). En menor medida aparecen también como moderadamente aptas las unidades paisaje erosi-

vo glacial y terrazas fluviales. La unidad paisaje erosivo glacial presenta una aptitud aceptable para la urbanización, si bien su posible utilización como zona de expansión urbana debería hacerse con algunas limitaciones y precauciones diferentes, considerando que no puede pensarse en una ocupación densa. También, deberán realizarse Estudios de Impacto Ambiental de detalle previo a loteos y construcción, así como para la construcción de vías de comunicación e infraestructura de servicios. Respecto a la unidad terrazas fluviales, solo las terrazas altas son efectivamente aptas para la urbanización como por ejemplo la localidad de 28 de Noviembre, mientras que las planicies aluviales son absolutamente inapropiadas para la urbanización. La utilización del resto de las unidades de paisaje, para futura expansión urbana, es totalmente desaconsejable, a riesgo de producir impactos irreversibles sobre el medio natural y poner en riesgo la vida y salud de las personas. Esta situación es especialmente manifiesta en el caso de los mallines y bajos (turberas) y en los cañadones. Respecto a los cursos fluviales sería necesario establecer zonas de seguridad. Así como también disponer de zonas "colchón" o amortiguadoras entre las diferentes instalaciones mineras y los otros usos existentes o que fueran a establecerse con el potencial crecimiento urbano de la zona, como la futura central termoeléctrica. Los usos que aparecen como dominantes en el desarrollo actual y futuro de la región son: la minería (incluyendo la generación local de energía eléctrica) y el turismo. Ambos usos aparecen hasta cierto punto como excluyentes por lo que compatibilizarlos sería una tarea permanente y complicada. En tal sentido la delimitación de áreas específicas hasta cierto punto excluyentes puede ser de utilidad. Debe tenerse en cuenta que la actividad turística depende esencialmente de la preservación del medio natural, incluyendo todos sus componentes.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Breddin, M. 1963. Hidrogeología. En Custodio, C. y Llamas, E. (eds.) Segunda

Edición 1996, 2: 1447-1460, Barcelona.

Boujón, P., Cavallaro, S., Galdo, J., Gómez, A., Pereyra, F. y Tello, N. 2006. Estudio de Impacto Ambiental. Central Termoeléctrica de Río Turbio. Santa Cruz. Convenio SEGEMAR-YCRT. Inédito, 310 p., Buenos Aires.

Furque, G. y Caballé, M. 1993. Geología de la Cuenca Superior de Río Turbio, Provincia de Santa Cruz. Consejo Federal de Inversiones. Serie de Investigaciones Aplicadas. Colección Hidrología Subterránea 6: 9-39.

INTA 1990. Atlas de suelos de la República Argentina, 2 tomos, 23 planos, Buenos Aires.

Malumián, N. y Panza, J. 2000. Yacimiento Río Turbio. Hoja Geológica 5172-III. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina 1:250.000. SEGEMAR. Boletín 247, 125 p., Buenos Aires.

Nicolli, H. y Merino, M. 1993. Caracterización geoquímica de las aguas de las cuencas de los ríos Turbio y Gallegos, Provincia de Santa Cruz. Consejo Federal de Inversiones, informe final, 137 p., Buenos Aires.

Pereyra, F., Albertoni, C., Breard, S., Cavallaro, M., Coscia, E., Ducos, M., Dzenoletas, S., Fookes, E., Getino, F., Helms, W., Kruck, C., López, R., Muzio, D., Roverano, M., Tobío, M., Toloczyki, M. y Wilson, C. 2005. Estudio Neocientífico aplicado al Ordenamiento Territorial. S.C. de Bariloche. Convenio SEGEMAR-BGR. SEGEMAR Anales 42, 173 p., Anexo Mapas en CD.

Soil Survey Staff 1999. Soil Taxonomy, A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. USDA. Agriculture Handbook 436, 819 p., Washington.

Recibido: 20 de Noviembre, 2009

Aceptado: 25 de Marzo, 2010