

SERIE
CONTRIBUCIONES
TÉCNICAS

*Peligrosidad
Geológica*

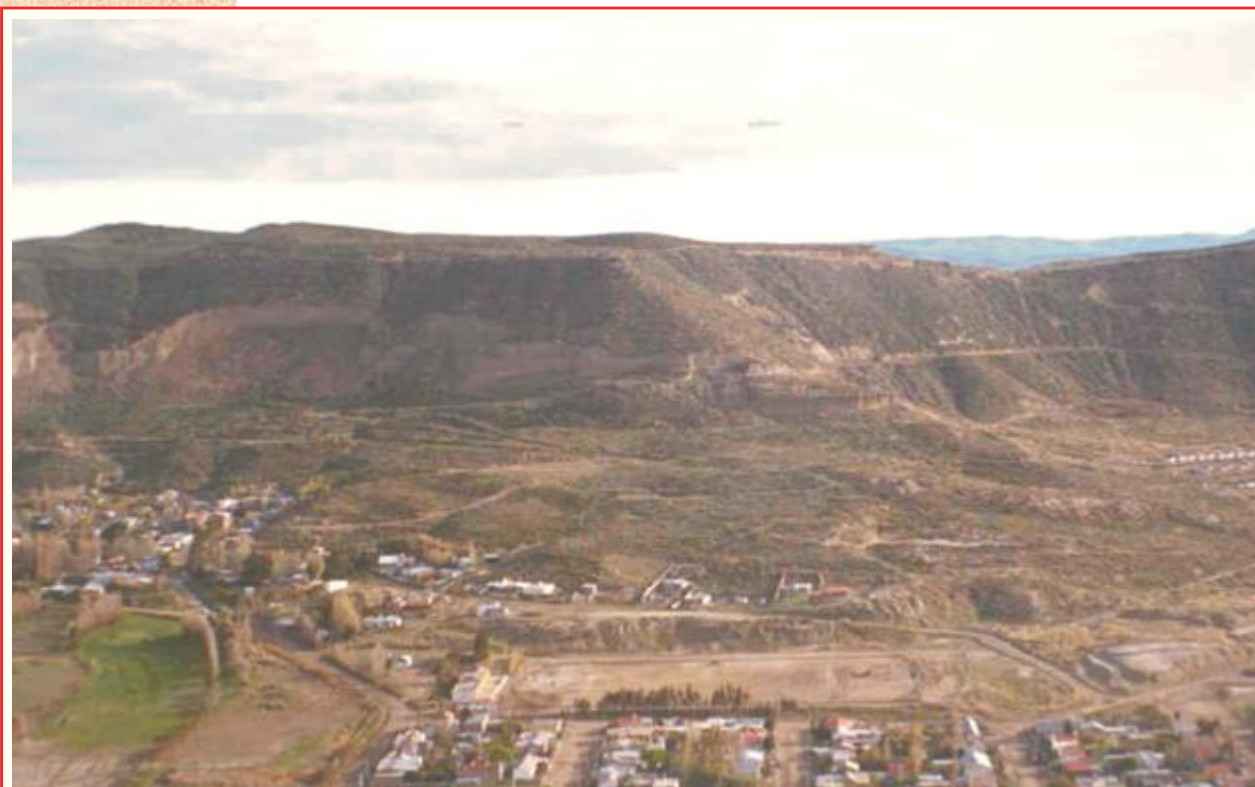
4



Estudio de Peligrosidad Geológica en el Barrio Sismográfica

*Comodoro Rivadavia
Provincia de Chubut*

María A. González
Diego Roverano
Luis Fauqué



**ESTUDIO DE PELIGROSIDAD GEOLÓGICA EN EL BARRIO
SISMOGRÁFICA, COMODORO RIVADAVIA,
CHUBUT**

**AUTORES: LIC. MARÍA A. GONZÁLEZ
LIC. DIEGO ROVERANO
LIC. LUIS FAUQUÉ**

**SERVICIO GEOLÓGICO MINERO ARGENTINO
PRESIDENTE A/C
JORGE MAYORAL**

**SECRETARIO EJECUTIVO
PEDRO ALCÁNTARA**

**DIRECTOR DEL INSTITUTO DE GEOLOGÍA
Y RECURSOS MINERALES.
ROBERTO F. N. PAGE**

**DIRECTOR DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y APLICADA
OMAR R. LAPIDO**

AÑO 2002

ESTUDIO DE PELIGROSIDAD GEOLÓGICA EN EL BARRIO SISMOGRÁFICA, COMODORO RIVADAVIA CHUBUT

Indice.	Pag.
1. Resumen Ejecutivo.	3
2. Introducción.	8
2.1. Marco del proyecto.	8
2.2. Objetivo.	8
2.3. Ubicación y vías de acceso.	8
2.4. Características geológicas.	9
2.5. Rasgos geomorfológicos.	14
2.6. Características climáticas.	16
3. Procesos geológicos presentes en los alrededores del Bo. Sismográfica.	
3.1. Inundación.	17
3.2. Erosión.	20
3.3. Sedimentación de cenizas volcánicas.	23
3.4. Sismicidad.	24
3.5. Expansión de arcillas.	24
3.6. Movimientos sobre ladera.	25
3.6.a. Antecedentes.	25
3.6.b. Factores condicionantes:	27
-morfología y disposición de la pendiente.	
-litología.	
-estructura del macizo.	
3.6.c. Factores desencadenantes.	31
3.6.d. Morfología y tipología del movimiento.	33
3.6.e. Dinámica y etapas del movimiento.	34
4. Análisis de la Peligrosidad Geológica.	43
5. Sugerencias y/o recomendaciones.	44
5.1. Restricciones de uso y Monitoreo.	
6. Agradecimientos.	50
7. Bibliografía.	51
8. Anexo Laboratorio.	54

1. RESUMEN EJECUTIVO.

En cumplimiento del acuerdo marco entre la Municipalidad de Comodoro Rivadavia y el Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), se presenta el “Estudio de Peligrosidad Geológica en el Barrio Sismográfica”. El mismo fue elaborado por la Dirección de Geología Ambiental y Aplicada del Instituto de Geología y Recursos Minerales del SEGEMAR.

El estudio involucró el análisis de los procesos geológicos actuantes sobre la ladera sur del Cerro Hermitte y su consecuente correspondencia con la Peligrosidad Geológica en el área. Sin embargo es importante destacar que el principal problema del barrio es que se está extendiendo sobre materiales removidos naturalmente (depósitos de deslizamientos), que poseen gran cantidad de espacios abiertos subterráneos, producidos por el sublavado o erosión hídrica subsuperficial. Esto seguramente originará hundimientos del terreno una vez que el mismo sea sometido a intensa urbanización, causando roturas en las viviendas, ductos y afectando todo el tendido de la red de servicios que el barrio requiera en un futuro.

El segundo punto que es importante remarcar es que no es posible descartar una reiteración de los movimientos de ladera, con lo cual el municipio tendría la responsabilidad de establecer una red de monitoreo permanente de la ladera si continúa la expansión del barrio.

Finalmente sería importante instruir a los vecinos del barrio sobre las características del sustrato sobre el que están asentando sus viviendas, a fin de que tomen conciencia de la peligrosidad y puedan de este modo, comprender la problemática vinculada a la ampliación del Barrio Sismográfica

A modo de síntesis, en las tablas siguientes se enumeran los procesos actuantes, sus áreas de influencia y los perjuicios que causan. Se destaca además, que los procesos y factores de riesgo que están presentes en gran parte de la ladera sur del Cerro Hermitte exceden la localización del Barrio.

Proceso	Área (ver figura adjunta)	Daños Potenciales / Perjuicios
Remoción en Masa	Ladera sur del Hermitte desde el Supe hasta el barrio Marquesado. Se trata de 67ha involucradas Zona punteada en rojo en figura adjunta	-Inestabilidad y/o rotura de viviendas. -Rotura de ductos con pérdidas de fluido (reactivando el proceso) y en caso de gas, explosiones repentinas. -Inestabilidad de postes del tendido eléctrico con probable rotura del cableado. -Roturas de caños en los antiguos pozos de petróleo.
Expansión de Arcillas.	Toda la zona.	-Rotura de ductos rígidos con perdidas de fluido (reactivando el proceso) y en caso de gas, explosiones repentinas. -Roturas de plateas sobre las que se encuentran fundadas algunas casas. -Rotura de mampostería de aquellas casas que se encuentran fundadas en los materiales arcillosos que componen la ladera. -Agrietamiento del terreno, favoreciendo la infiltración del agua reactivando el movimiento sobre la ladera.
Piping.	En parte del material deslizado (hacia donde apunta el crecimiento futuro) y en la cresta de presión.(ver informe)	-Infiltración de agua que reactiva el movimiento de la ladera y la expansión de arcillas -Formación de canales subterráneos que puede generar hundimiento del terreno. -Aumento del carcavamiento. -Pérdida de material.
Inundación	Zonas de la cancha de Talleres Jrs y calle lindante, bajos generados entre el material deslizado. Cancha de golf.	-Infiltración de agua que reactiva el movimiento de la ladera y la expansión de arcillas.
Erosión	En toda el área y especialmente en la ladera.	-Formación de cárcavas. -Pérdida de terreno.

La sedimentación de cenizas volcánicas y la sismicidad presentan características regionales, por lo que no se analizan en detalle.

Recomendaciones:

El análisis de los procesos reseñados permite establecer las siguientes recomendaciones.

Restricciones:

- Evitar el tendido de cañerías subterráneas y proponer el tendido de cañerías subaéreas o en zanja enrejada para mejor control.
- Restringir el riego al máximo. No generar nuevas áreas que demanden riego.
- No efectuar movimientos de terreno.
- Prohibir la expansión del barrio sobre la ladera y área de influencia. No construir sobre lo ya construido.
- No realizar perforaciones, inyecciones, ni extracciones de fluidos ni materiales.
- Crear una comisión de control y alarma entre los habitantes del barrio Sismográfica. Esta deberá avisar a la autoridad competente por cualquier indicio de movimiento (rajadura en mampostería, inclinación de postes, grietas sobre terreno, etc.).

Monitoreo:

- Del movimiento de la ladera y la cresta de presión
- De pérdidas de fluidos de las cañerías.
- Monitoreo y control del contenido de humedad del material de la ladera.

Se recomienda propiciar reuniones informativas con los habitantes del barrio Sismográfica, barrios cercanos, y autoridades pertinentes (gubernamentales, educativas, etc.), para aclarar y explicar las connotaciones del informe.

El cumplimiento de estas observaciones, por parte de las autoridades competentes propenderá a un mejor aprovechamiento de los recursos contribuyendo a evitar mayores erogaciones.

En la figura adjunta se indican los sitios sobre los cuales se deben aplicar los puntos anteriormente citados. Desde el oeste abarcan la calle lateral al SUPE (A); el norte de la planicie de la meseta del Cerro Hermitte (ladera sur), y al sur, la Av. Avellaneda (B), la calle Santa Lucía (C), la calle al Sur de la cancha de Talleres Jr (D), la calle diagonal (E) hasta el Tiro Federal (F) y al este el Barrio Marquesado inclusive (F).



Figura adjunta: Imagen satelital de la zona del Barrio Sismográfica y zonas cercanas en donde se tienen que aplicar las recomendaciones efectuadas.
Ver vista panorámica (página siguiente) tomada desde el C°Viteau.



Fotomosaico tomado desde el Co. Viteau, hacia el N, observando la ladera S del Co. Hermitte.

 Zona de arranque o Cicatriz
 Zona de influencia del movimiento

2. INTRODUCCIÓN.

2.1. Marco del proyecto

En cumplimiento del acuerdo marco entre la Municipalidad de Comodoro Rivadavia y el Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), se presenta el “Estudio de Peligrosidad Geológica en el Barrio Sismográfica”. El mismo fue elaborado por la Dirección de Geología Ambiental y Aplicada del Instituto de Geología y Recursos Minerales del SEGEMAR.

2.2. Objetivo

El objetivo de dicho estudio es brindar información respecto de:

- ✓ Identificación y descripción de los procesos geológicos actuantes en la ladera sur del Cerro Hermitte (Barrio Sismográfica)
- ✓ Zonificación de los procesos geológicos.
- ✓ Estudio de los factores condicionantes y desencadenantes de dichos procesos.
- ✓ Análisis de la peligrosidad geológica.

2.3. Ubicación y vías de acceso

El Barrio Sismográfica se encuentra ubicado aproximadamente 3 Km al norte de la ciudad de Comodoro Rivadavia (Figura 1), Departamento de Escalante, Provincia de Chubut.

Se accede a él desde el llamado “kilómetro tres” de la ruta Nacional N° 3 por la Avenida Avellaneda, hacia la zona de los barrios Saavedra y Divina Providencia. Por la calle Aimar se accede al sector más antiguo del barrio.

Abarca un área aproximada de 11 hectáreas, con el eje mayor en dirección este-oeste. Está limitado al sur por el campo de golf Santa Lucía, la cancha de fútbol de Talleres Junior y el barrio Paso. Al norte se encuentra limitado por el coronamiento del cerro Hermitte (ver panorámica en el Resumen Ejecutivo).

El barrio se estableció en la década del ´50, con el crecimiento de los estudios sísmicos en la Cuenca Petrolera del Golfo San Jorge. En sus comienzos lo poblaron unos pocos habitantes que trabajaban en los talleres que allí se instalaron. Luego, en las décadas de los ´80 y ´90 dicho barrio tuvo una gran expansión, pasando de 25 familias a aproximadamente 130 en el presente.

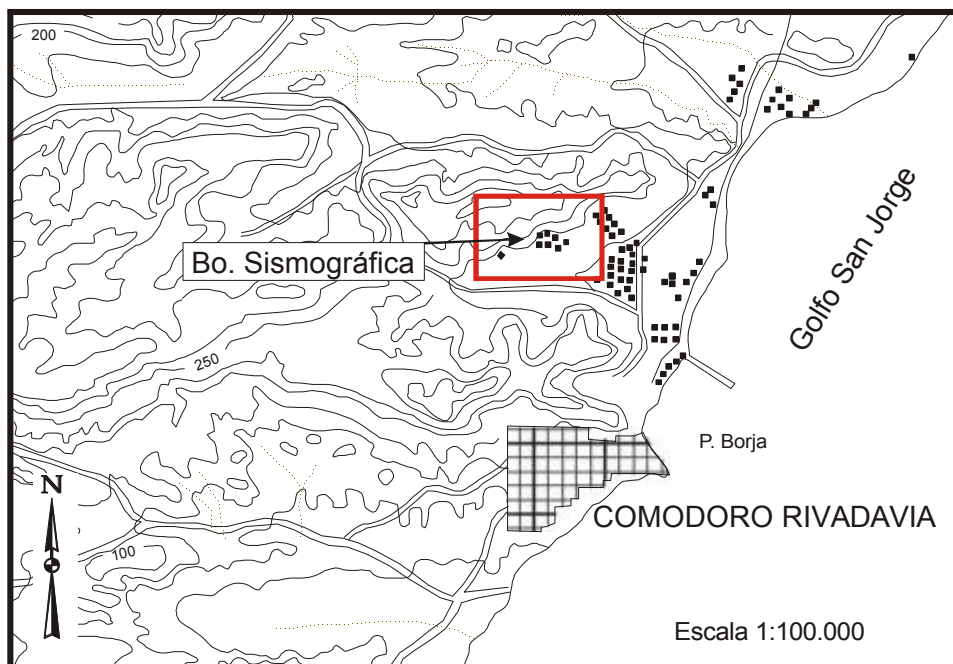


Figura 1:  Ubicación del área de estudio.

2.4. Características geológicas (ver Mapa N°1).

A escala regional, la zona de estudio se ubica en la Cuenca del Golfo San Jorge, que abarca parte de las provincias de Chubut y Santa Cruz.

Está compuesta por un basamento Pre-Cretácico que soporta la columna sedimentaria Cretácico-Terciaria.

-Estructura:

El área es parte de una Cuenca distensiva que presenta fallamiento normal, formando bloques o horst y grábenes, los cuales han tenido gran influencia en la cubierta sedimentaria post-cretácica (Figura 2)

En el sector prevalecen fallas normales, de rumbo este-oeste, las que han sufrido distintas reactivaciones a lo largo de la historia geológica. A ellas corresponden las denominadas fallas A, B y C de Feruglio (Feruglio, 1950; Fossa Mancini, 1935; Leidhold, 1934; Braccacini, 1943). Estas fallas presentan rechazos variables, pudiendo superar las decenas de metros en profundidad, disminuyendo este valor hacia la superficie, siendo visibles en algunos casos (Foto 1). La falla B de Feruglio es una falla directa subvertical que inclina hacia el sur (aproximadamente 60°).(Foto 2 y Figuras 2 y 3).

-Estratigrafía

La cubierta sedimentaria cretácico-terciaria (ver Cuadro 1) se encuentra generalmente en posición subhorizontal, con una inclinación que no supera los 3°, hacia el este-sudeste.

El área está dominada por afloramientos de la Formación Chenque, y por pequeños afloramientos de la Formación Sarmiento, que asoman por debajo. Sobre la Formación Chenque, en discordancia yacen los materiales cuaternarios que representan la depositación fluvial, eólica (aluvio-coluviales) y marina (playas de grava) actual. Existen además depósitos de remoción en masa de extensión significativa.

La Formación Sarmiento, (Spalletti y Mazzoni 1979) esta compuesta principalmente por tobas y chonitas, que son conocidas como las tobas con mamíferos de edad Eoceno-Oligoceno. Estas tienen una característica muy particular ya que expuestas al intemperismo generan las conocidas tierras malas o “huaiquerías”.

En el sector del Barrio Sismográfica, los afloramientos del faldeo del Co. Hermitte, son de la Formación Chenque, (Bellosi, 1990), correspondiente a la trasgresión marina del Oligoceno.

La Formación Chenque (Bellosi, 1990) se compone de 5 secuencias deposicionales de carácter regresivo, de gran desarrollo areal, controladas por variaciones globales del nivel del mar y que internamente se ordenan en ciclos de granulometría granocreciente. Las facies principales de estos depósitos son desde plataforma fangosa a facies litorales y estuáricas, y pasa a fluviales y eólicas de la unidad Superior (Formación Santa Cruz).

Hirtz, et al. (1989 y 1994) describe las dos secuencias inferiores de la Formación Chenque que se encuentran representadas en el faldeo del Cerro Hermitte:

-la primer secuencia está compuesta por arcilitas y arcilitas tobáceas de color gris, gris verdosas, y gris amarillentas, intensamente alteradas y fracturadas. Se intercalan bancos de areniscas y areniscas calcáreas de pocos centímetros de espesor. La secuencia culmina con un banco de 25 metros de espesor, compuesto por areniscas mas consolidadas (banco guía según Hirtz 1989 y 1994).

-por encima, se desarrolla la segunda secuencia la cual comienza como las arcilitas anteriores y hacia el coronamiento pasa a areniscas, finalizando con un banco de coquina bien consolidado.

Sobre la Formación Chenque, en discordancia yacen los materiales cuaternarios que representan la depositación fluvial, eólica (aluvio-coluviales) y marina (playas de grava) actual. Existen además depósitos de remoción en masa de extensión significativa.

Edad	Formaciones	Litología
Cuaternario	Sedimentos cuaternarios.	Depósitos: aluvio-coluviales, de remoción en masa, eólicos, etc.
Plioceno-Pleistoceno	Rodados Patagónicos	Rodados patagónicos (gravas arenosas)
Mioceno (continental)	Formación Santa Cruz	Areniscas, conglomerados intraformacionales, fangolitas tobáceas, paleosuelos, tobas arenosas friables
Eoceno medio-Mioceno medio (marino)	Formación Patagonia o Chenque	Conglomerado basal, areniscas, pelitas, coquinas, yeso en venillas, arenas tobáceas y arcillas tobáceas, cineritas.
Eoceno-Oligoceno (continental)	Formación Sarmiento	Tobas y chonitas retransportadas. Niveles de paleosuelos.
Paleoceno (continental)	Formación Río Chico	Areniscas y arcillas varicolores, con intercalaciones epiclásticas y piroclásticas
Paleoceno temprano (marino)	Formación Salamanca	Arenas y pelitas intercaladas, presencia de bancos fosilíferos consolidados.
Jurásico	Complejo Marifil y equivalentes	Vulcanismo Jurásico

Cuadro 1: cuadro estratigráfico simplificado de la Cuenca del Golfo San Jorge en la zona de Comodoro Rivadavia. Tomado de Sciutto et. al. (2000).

Mapa N°1

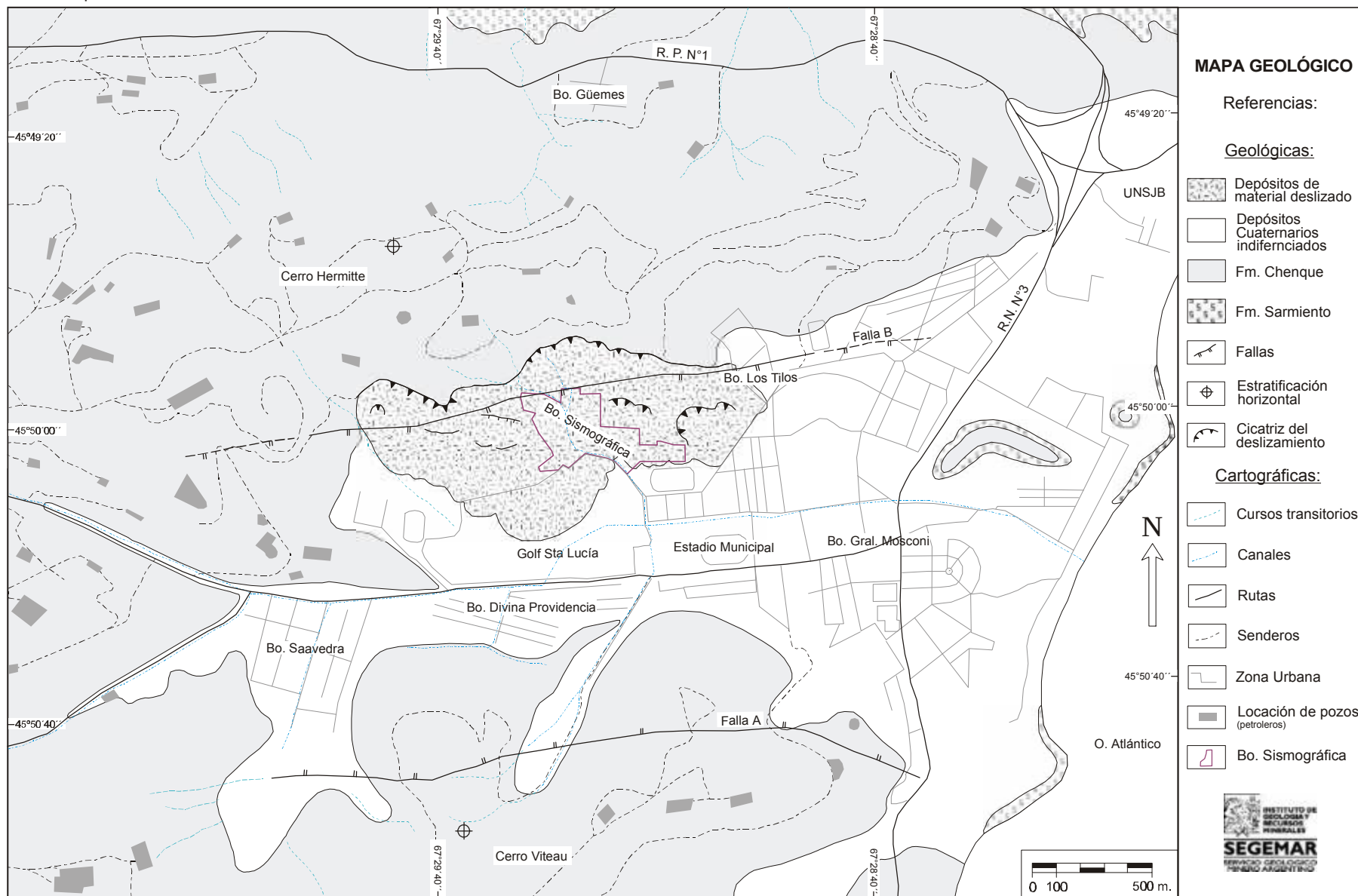




Foto 1: Falla A () sobre la ladera norte del Cerro Viteau. La línea amarilla marca un nivel guía cortado por la falla.



Foto 2: Falla auxiliar (Feruglio, 1950) sobre la ladera sur del Co. Hermitte, en la escarpa del movimiento.

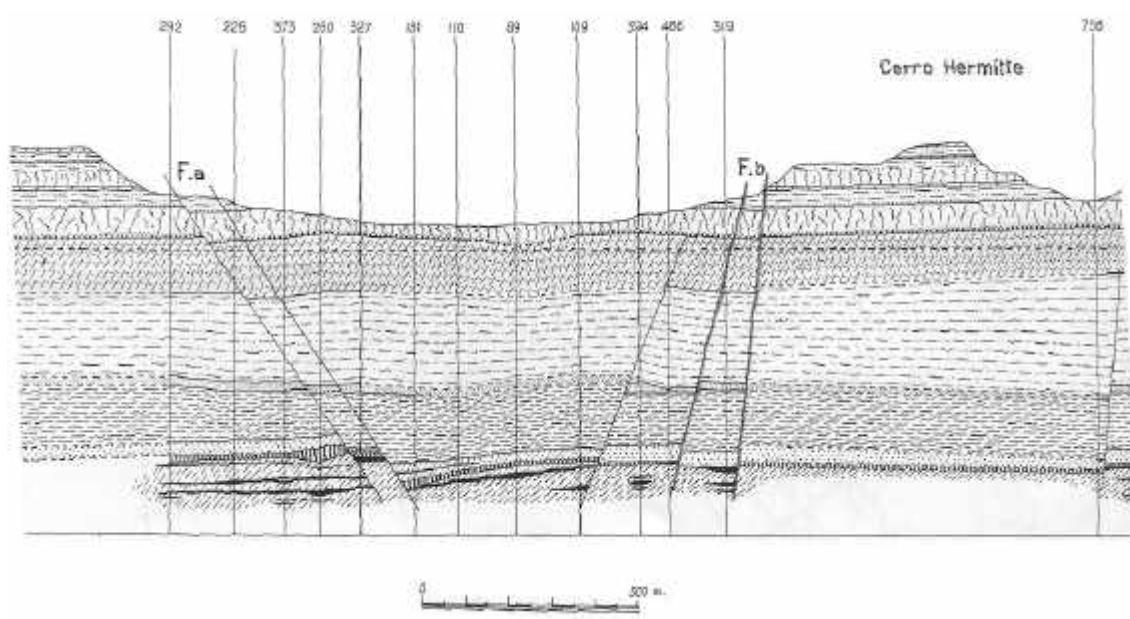


Figura 2: Corte de la Reserva Fiscal de Comodoro Rivadavia Feruglio (1930) tomado de Feruglio (1950). En esta se observan la Falla A y Falla B.

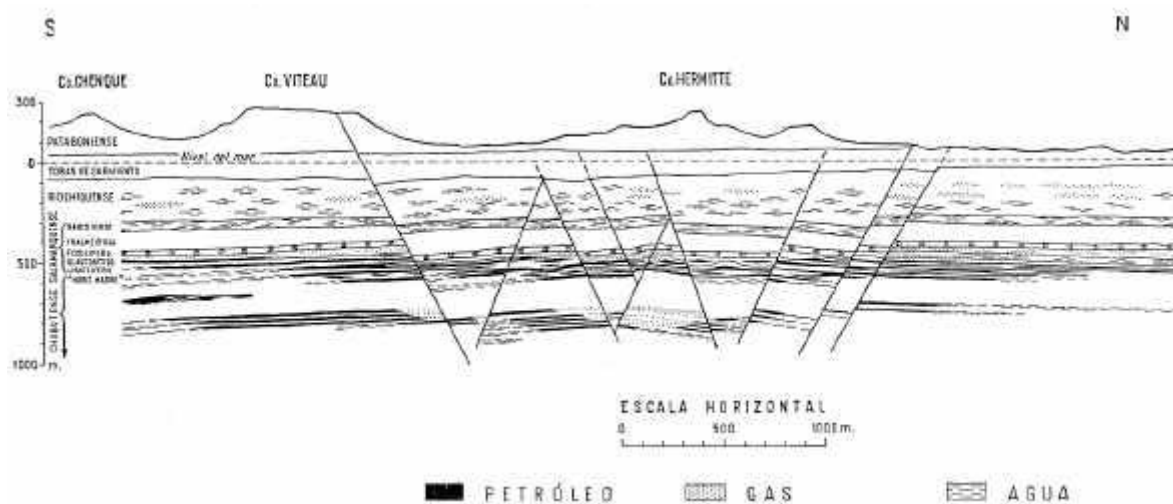


Figura 3: Corte de la antigua Reserva Fiscal de Comodoro Rivadavia, según Braccacini (1945) en Feruglio (1950).

2.5. Rasgos geomorfológicos (ver Mapa N°2).

La región considerada presenta geomorfológicamente el paisaje típico de la Patagonia Extraandina, y un borde litoral marino. Por ello se pueden diferenciar dos sectores donde interactúan distintos procesos geomorfológicos.

Sector Costero: la acción marina, importante modeladora del paisaje litoral, modifica la línea de costa a través del frente de olas y de las macro mareas.

Ambos influyen directamente sobre los acantilados costeros activos en cuyas pendientes se observan importantes procesos de remoción en masa. Entre ellos, podemos citar caídas de rocas, vuelcos y deslizamientos rotacionales. Otras zonas litorales están constituidas por playas areno-gravosas, en las cuales predomina el aporte de materiales clásticos, producto de la deriva litoral, sobre la erosión costera

Sector continental: está esencialmente representado por una planicie estructural (PE) disectada o arrasada, la cual fue modificada a través del tiempo. Estas PE se definen por la existencia de bancos endurecidos de coquinas que demoran la erosión, confiriéndole así un aspecto característico al paisaje (mesetiforme).

Para la zona se reconocieron varios niveles de PE (hasta 4 en el área del mapa) los que aumentan su altitud hacia el interior del continente. Estos niveles han sido modificados a lo largo del tiempo por los distintos procesos geomorfológicos actuantes. Hacia la zona costera se observan dos mesillas de escasas dimensiones como remanentes de erosión de las planicies estructurales.

Este relieve ha sido disectado por la acción fluvial dando lugar a valles de orientación este-oeste, llamados por los lugareños “cañadones”, que responden íntimamente a la estructura regional de la cuenca, pues se ubican en los bloques hundidos. Los fondos de los cañadones son definidos en este trabajo como planicies fluviales antropizadas (PFA), debido a la gran alteración que ellas presentan desde el punto de vista urbano-recreativa, principalmente.

Ente la PE y la PFA, se desarrollan pendientes con gradientes muy elevados donde se localizan extensos taludes. En ellos, son importantes los procesos erosivos del escurrimiento superficial, en forma de pequeños canalículos de carácter efímero (rills) que evolucionan, en algunos casos, a verdaderas cárcavas. Los taludes llegan a presentar distintos gradientes y configuraciones, lo que brinda variados tipos de morfologías (plana, cóncava, convexa y combinaciones).

En los taludes ocurren diversos tipos del proceso de remoción en masa, algunos de gran magnitud, tales como deslizamientos traslacionales y rotacionales, caídas, flujos cuya tipología, causales y comentarios serán analizados más adelante.

Todas las geoformas están siendo modeladas por varios tipos de procesos geomorfológicos actuantes, los que generan distintas formas del paisaje. Entre ellos podemos citar:

PROCESO	GÉNESIS	LOCALIZACIÓN
Procesos de Remoción en Masa	Deslizamientos Caídas Extensión lateral	Bo. Sismográfica, Co. Chenque, Co. Viteau, RPN°1 a 1km del cruce con RNN° 3, etc.
Procesos eólicos:	Pavimento del desierto, ventifactos	Zonas elevadas de PE
Procesos fluviales:	Cárcavas Surcos de escurrimiento (rills) Escurrimiento en manto	Zonas de talud, Sed Terciarios fácilmente erosionables, Formaciones Sarmiento y Patagonia

Cuadro 2. Principales procesos, geoformas y algunos ejemplos de su localización.

Mapa N°2



2.6. Características climáticas

El clima, como en la mayor parte de la patagonia extraandina, es seco y frío, con vientos regulares a fuertes del cuadrante oeste en la época estival y con menor intensidad en los inviernos (Tejedo, et al. 2000). El viento en patagonia central alcanza intensidad y frecuencia excepcional. Entre 50 y 100 días por año los vientos pueden sobrepasar los 100 km/h con ráfagas de 200 km/h siempre con dirección Oeste – Este (Cesari y Simeoni 1993). Esta característica es de suma importancia para el tratamiento de la erosión.

Según la clasificación de Köpen (1953) el clima es clasificado como BWk. Esto corresponde a un clima desértico, seco y frío, con temperaturas medias anuales inferiores a 18° C.

El Servicio Meteorológico Nacional cuenta con registros meteorológicos publicados desde 1951 (Diario el Patagónico, en Sciutto, et al. 2000). Los mismos se resumen a continuación:

	Media Anual	Máxima Absoluta	Máxima Media	Mínima Media
Temperatura °C	12,7	39,4	26,5 (anual)	3,3 (anual)
Precipitaciones mm	226	483,6 (anual)	170 (junio 97)	123 (anual)
Vientos km/h	30	235 (11/12/68)	35 (enero)	26 (mensual)

Cuadro 3: Cuadro realizado a partir de los datos tomados de Sciutto, et al. (2000).

La distribución de las precipitaciones entre los años 1931 y 1994 (Figura 4) muestra una escasa variación a excepción de algunos picos que marcan un elevado incremento en la acumulación anual. Estos corresponden a los años 1939 con 393 mm, 1946 con 443 mm, 1976 con 443 mm y 1992 con 431 mm.

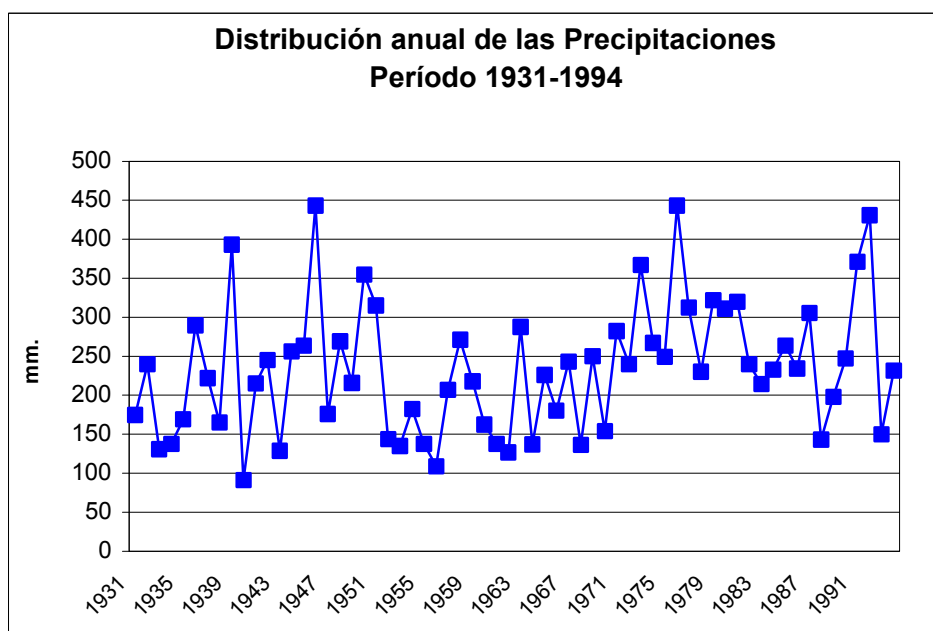


Figura 4: Distribución de las precipitaciones medias entre los periodos de 1931 y 1994. Datos tomados de INTA E. E. A (1998).

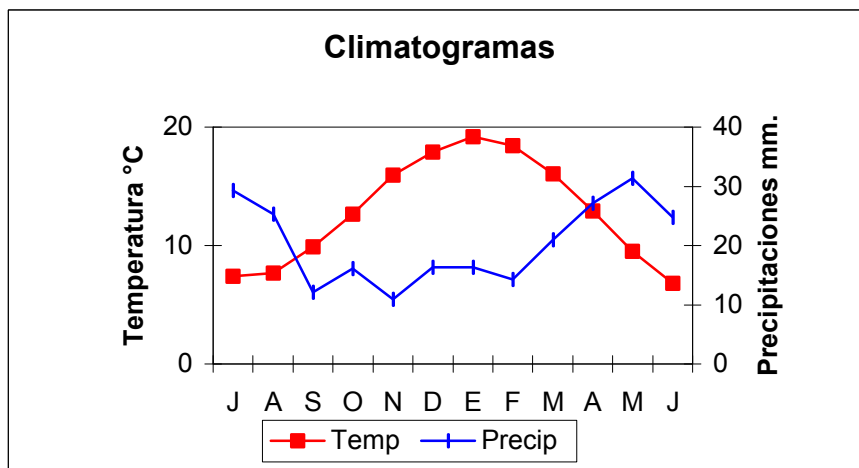


Figura 5: Climatograma realizado a partir de los datos tomados de INTA E. E. A (1998).

El Climatograma anterior corresponde al departamento de Escalante para el período entre 1951 y 1990. Debe destacarse la gran evapotranspiración que se sucede durante todo el año. Esto se puede observar en la posición relativa entre las curvas de precipitaciones medias mensuales y la temperatura media mensual. La baja cantidad de precipitaciones (media anual 226 mm.) y la baja humedad atmosférica que presenta toda la patagonia extraandina favorece a que, en la mayor parte del año, haya déficit hídrico produciendo escasa recarga en los meses invernales. A lo anterior se le debe sumar la alta intensidad de los vientos y la escasa humedad, factores que favorecen la alta evaporación.

3. PROCESOS GEOLÓGICOS PRESENTES EN LOS ALREDEDORES DEL BARRIO SISMOGRÁFICA. (Ver Mapa N°3)

3.1. Inundación

Las inundaciones se presentan en áreas reducidas y son localizadas en zonas bajas y/o depresiones, producto del exceso de las precipitaciones y la baja permeabilidad del terreno.

Los factores condicionantes son, por lo tanto, la litología y el relieve; y como desencadenantes se mencionan las precipitaciones torrenciales y en algunos casos la acción antrópica (riego).

Si bien en algunos sectores existe un mayor porcentaje de arena en los depósitos, la permeabilidad es muy baja (entre 10^{-9} y 10^{-10} m/s). Este factor asociado al relieve favorece a la concentración de agua en superficie. Los relieves **subhorizontales altos** (planicies estructurales) generalmente presentan en su tope un banco cementado lo cual disminuye aún más la infiltración, (solo existe permeabilidad por fracturamiento). En estos relieves el anegamiento está asociado a pequeños bajos de deflación eólica, o a las excavaciones realizadas por actividad antrópica. En los relieves **subhorizontales bajos** (planicie fluvial antropizada y zona de pie de talud), la acumulación de agua en superficie se observa a espaldas de la cresta de presión (ver capítulo 2.6) y en los sectores en los que el hombre intervino en la realización de obras, ya sea generando

áreas bajas (cancha de golf y piletas de decantación) o interrumpiendo el drenaje natural.

Como se indicara en la descripción del clima, el sector presenta bajas precipitaciones, pero no obstante cuando ocurren lluvias torrenciales provocan el anegamiento.

En oportunidad de la primera visita de campo, observamos precipitaciones de agua y nieve (Foto 3 y 4) entre el 10 y 20 de julio, aproximadamente. 48 mm de lluvia caída (Servicio Meteorológico del Aeropuerto de Comodoro Rivadavia, datos proporcionados por el Sr. Agustín García). Esta cantidad representa el 20 % de lo que llueve durante todo el año. Esta situación permitió relevar algunos de los sectores que en estas condiciones excepcionales, se encuentran anegados, como por ejemplo sectores de la cancha de futbol de Talleres Juniors (Foto 4) y de la cancha de golf Santa Lucia.

En los **relieves de pendiente**, solo se observa acumulaciones de agua en el área de material deslizado (ver capítulo 3.6). Entre los “bloques” deslizados se forman bajos que colectan agua y acumulan nieve.



Foto 3: Vista de la calle Aimar y la ladera del cerro cubiertas de nieve precipitada durante los días de la campaña de Julio.

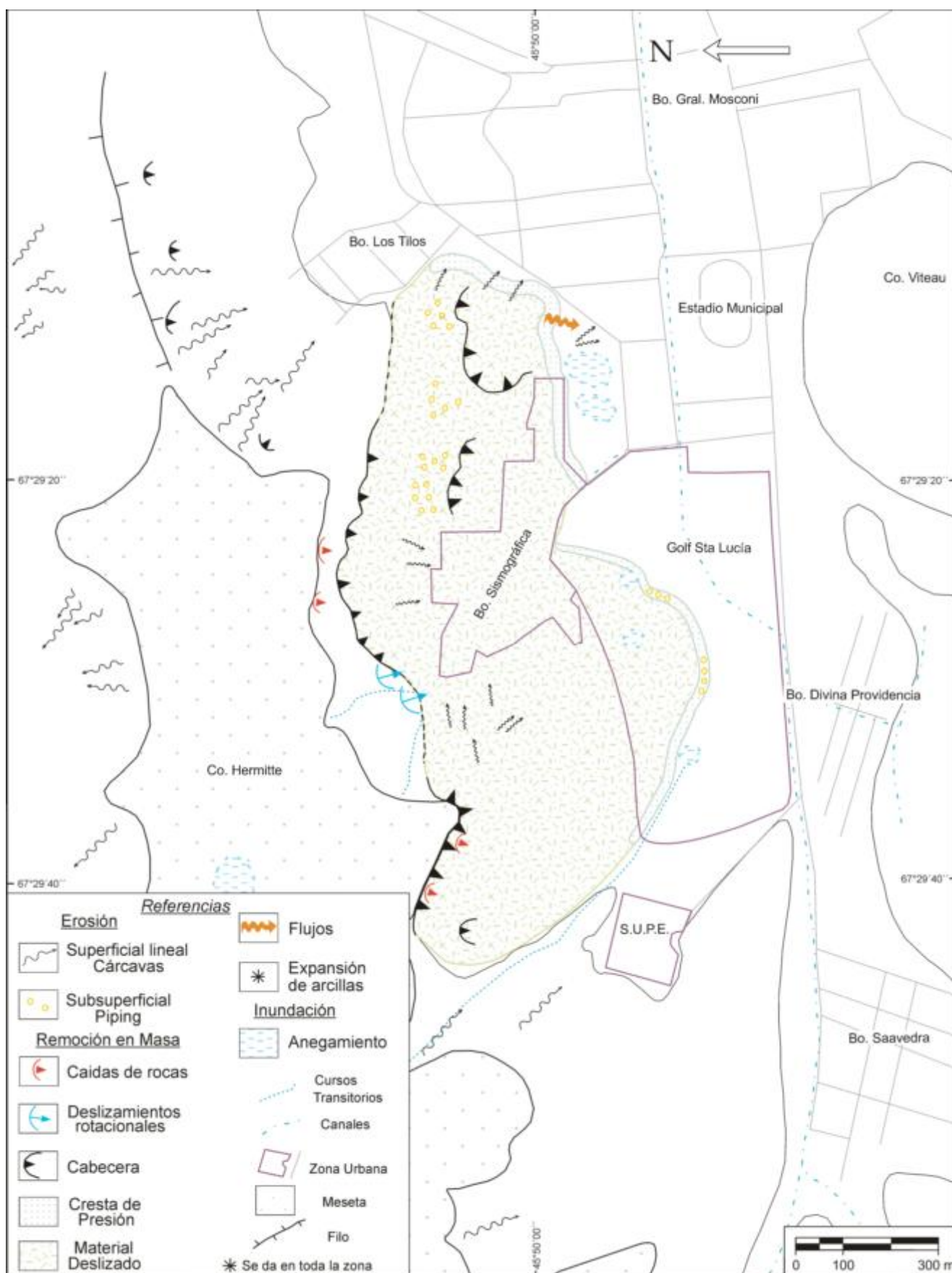




Foto 4: Acumulación de nieve en la parte distal del material deslizado, obsérvese la cresta de presión (ver ítem 3.6) y por debajo, edificaciones.



Foto 5: Sectores anegados de la Cancha de Talleres Junior luego de las precipitaciones de los primeros días de Julio.

3.2. Erosión

La erosión recurrente en la región, como en el resto de la patagonia extraandina es la eólica, además de la hídrica observada en el sector (piping¹, y erosión encauzada).

Los factores condicionantes para este proceso son la litología y el relieve, mientras que los desencadenantes son el viento, la lluvia y la acción antrópica.

La litología aflorante caracterizada por areniscas arcillosas, tobas y limoarcillitas (Formación Sarmiento y Formación Chenque), los depósitos de rellenos, y los suelos, son muy susceptibles a la erosión. Esta condición está dada en los primeros, por la baja consolidación, y en los suelos por la granulometría, mayoritariamente arenosa, y la pobre estructura. El relieve es generalmente subhorizontal, y en este actúa preponderantemente la erosión eólica. Los sectores de pendiente en cambio están más afectados por la erosión hídrica.

(¹Piping: erosión en túneles)

La intensidad, velocidad y frecuencia del viento (ver clima) provoca la formación de bajos por deflación en las zonas más expuestas (topes de las planicies estructurales).

Las lluvias provocan erosión diferencial de acuerdo a la intercalación de los materiales con distinta consolidación, quedando resaltos de bancos cementados entre los materiales más deleznales.

En las pendientes se concentra la erosión hídrica encauzada generando pequeñas cárcavas y drenajes incipientes (Foto 6).

En las crestas de presión y el sector distal del material deslizado (ver ítem 3.6.), se observó evidencias de piping en diferentes estados. Las características de este material similar, a una “esponja”, favorece, la infiltración efecto que no ocurre en los sectores de afloramiento natural. La percolación de agua de lluvia se efectúa entre las grandes y profusas grietas del material deslizado en la parte superior de la ladera (Foto 7) y en los pequeños hoyos que se forman en el material más deleznable (Foto 8). Luego, estos hoyos se van interconectando llegando a formar una cárcava (Foto 9). En algunos casos, sobre todo en la parte superior del talud, la interconexión de las grietas es solamente subterránea. Esto provoca que en superficie no se tenga la total dimensión de la erosión profunda que existe y la consecuente inestabilidad del material. Este proceso es muy común en toda la ladera especialmente hacia donde se está dirigiendo el crecimiento del barrio.

La acción antrópica a través del riego, aumenta el ingreso de agua al medio por lo que favorece la erosión, sobre todo la subterránea.



Foto 6: Formación de cárcavas en la ladera Sur del Co. Hermitte. Las flechas naranjas indican la dirección de escurrimiento.



Foto7: Grieta en el material deslizado. Nótese la morfología de la grieta, que evidencia sucesivas aperturas y las líneas de drenaje hacia la misma. Cuaderno de escala.



Foto 8: Piping en sus primeros estadios superficiales. Formación de hoyos por erosión subsuperficial.



Foto 9: Estadío más avanzado del piping. Luego por la subsiguiente erosión superficial y subsuperficial se forman cárcavas.

3.3. Sedimentación de cenizas volcánicas

La posición relativamente próxima al cordón de volcanes de la cordillera de los Andes, favorece que el área presente exposición a los materiales piroclásticos.

Existen dos antecedentes históricos de lluvias de cenizas en el área de estudio, registrados por los periódicos de Comodoro Rivadavia (El Patagónico: 14/08/71 Pág.3; 15/08/91, Pág. 5; 20/08/91, portada y Pág. 5; Crónica: 14/08/91, Pág. 21) a partir de la erupción del volcán Hudson.

El 12 de agosto de 1971, a las 9.30 hs. de la mañana, se registró una nube de cenizas que cubrió el cielo de Comodoro Rivadavia, impidiendo a los pobladores la buena visibilidad y una normal respiración, a tal punto que los automóviles debieron encender las luces.

Otro episodio de semejantes características se produjo el 20 de Agosto de 1991 a las 6 de la mañana, cuando una nube de cenizas cubrió nuevamente la ciudad de Comodoro Rivadavia (ver recorte periodístico).

La intensidad de la sedimentación fue mínima, pero de considerable importancia para las personas (molestias en la vista y en la respiración), y para la normal circulación vehicular.



Recorte periodístico del martes 20 de agosto de 1991, donde es noticia de tapa la nube de cenizas que cubrió Comodoro Rivadavia.

3.4. Sismicidad

El Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES) tiene instalados dos sismógrafos de banda ancha que cubren la actividad sísmica de la Patagonia. Uno de ellos está ubicado en Ushuaia y otro en Paso Flores (Río Negro), pero no existen registros históricos de actividad sísmica en el área de Comodoro Rivadavia. Aunque no se descarta la posibilidad de pequeñas reactivaciones tectónicas.

3.5. Expansión de arcillas

Las sedimentitas aflorantes en la ladera, presentan un alto porcentaje de material arcilloso (ver Cuadro 4). Este tipo de arcillas tiene una alta capacidad de hidratarse y luego de secarse, provocando la sucesiva expansión y contracción del material. Las muestras fueron analizadas en el laboratorio del INTEMIN, en sus instalaciones de Migueletes (provincia de Buenos Aires) y Córdoba (ver Anexo Laboratorio). Corresponden al material deslizado y presentan valores de presión de expansión elevados (Cuadro 4).

Muestra N°	01-126 G255	01-126-G256	6207
Presión de expansión (kg/cm ²)	2,21	3,11	1,718

Cuadro 4: Resultados de la determinación de la Presión de expansión.

Se analizaron los datos del estudio de suelos del barrio Divina Providencia, donde fueron clasificados geotécnicamente para el emplazamiento del mismo (Torres y Miura, 1977). Este barrio se encuentra enfrente del estudiado, al pie de la ladera norte del Cerro Viteau. De las seis perforaciones analizadas, en cinco, se determinaron suelos con arcillas de baja plasticidad. Solo la perforación ubicada en las cercanías del eje del Valle y más profunda, presenta resultados de alta plasticidad, semejantes a los obtenidos

para este trabajo en el área del barrio Sismográfica. Hay que destacar que estos datos corresponden a un nivel comparativamente más elevado de la Formación Chenque que aquellos obtenidos para el barrio Sismográfica. Las muestras analizadas corresponden a arcillas de muy alta plasticidad (muestras obtenidas de las crestas de presión) provenientes de un nivel inferior de la Formación Chenque.

El proceso de expansión de suelos afecta fundamentalmente a la fundación de viviendas y a la instalación de obras rígidas sobre todo cañerías. La mayoría de las viviendas de Comodoro Rivadavia y alrededores están fundadas a varios metros de profundidad y algunas hasta se construyen con encadenados. En aquellas donde no se toman estos recaudos, se observan grandes grietas en las paredes de las viviendas. Esto también se observa en las veredas. En una recorrida rápida por el área de la ciudad se observa muy frecuentemente el estacado de algunas viviendas, hasta con vigas de hierro atravesadas (como anclaje y sostenimiento).

La expansión de suelos podría actuar como disparador del movimiento sobre la ladera en la medida en que afecte las cañerías de agua del barrio. Una rotura en la red de agua, aumentaría el ingreso de agua al sistema, saturando el material, aumentando su plasticidad y favoreciendo el movimiento.

3.6. Movimientos sobre ladera.

Los movimientos de ladera constituyen el principal proceso geológico presente en el Barrio Sismográfica y alrededores, debido al gran volumen de material involucrado y a la peligrosidad geológica que causan.

En el sector se describen varios tipos de movimientos de ladera, pero es importante aclarar que los movimientos principales son las expansiones laterales. Los demás son secundarios y resultan, en muchos casos, de la morfología generada por los movimientos principales. Éstos involucran una etapa inicial (lenta) de despegue o corte profundo por flujo plástico o cizalla, que a medida que evoluciona quita sustento al material superficial de la ladera, habilitando de esta manera una segunda etapa del movimiento (más rápida) caracterizada por fracturación y extensión del material superficial.

La combinación de las fallas principal y secundarias del cerro Hermite (que permiten la infiltración de agua), con los niveles pelíticos de la base del patagoniense (que sufren licuación por las aguas infiltradas) son probablemente los condicionantes y generadores de los movimientos principales.

3.6.a. Antecedentes del movimiento.

En el paisaje de Patagonia extraandina, es frecuente encontrar fenómenos de remoción en masa en los bordes de las planicies estructurales. En los estudios geológicos realizados, básicamente para el conocimiento de la cuenca del golfo de San Jorge a partir de 1925, se encuentran identificados los siguientes procesos para el área de estudio.

El primero que los nombra es Windhausen (1925) describiendo lo siguiente: *“En diferentes partes de la región se observa el fenómeno de dilatamientos verticales de sedimentos que a menudo tienen la apariencia como si fueran encausados por procesos tectónicos. En realidad, se trata de deslizamientos producidos en la falda de barrancas cortadas a pique ... Con frecuencia se observa el aludido fenómeno en el horizonte*

límite entre las tobas eógenas y el patagónico, siendo las arcillas de la parte inferior del Patagónico, particularmente en estado húmedo, y descansando sobre un sustratum muy blando, se presentan muy bien para producir fenómenos de esta clase.”

La primera evidencia de movimiento documentada es la de la rotura de los caños de dos pozos de YPF instalados en 1925, sobre la ladera del Co. Hermitte.

En Fossa Mancini (1935), se muestra la topografía de la antigua zona de reserva fiscal de Comodoro Rivadavia (Figura 6), donde se puede observar la probable disposición del lóbulo o cresta de presión, que dibuja la curva de 60 metros que corresponde al nivel inferior.

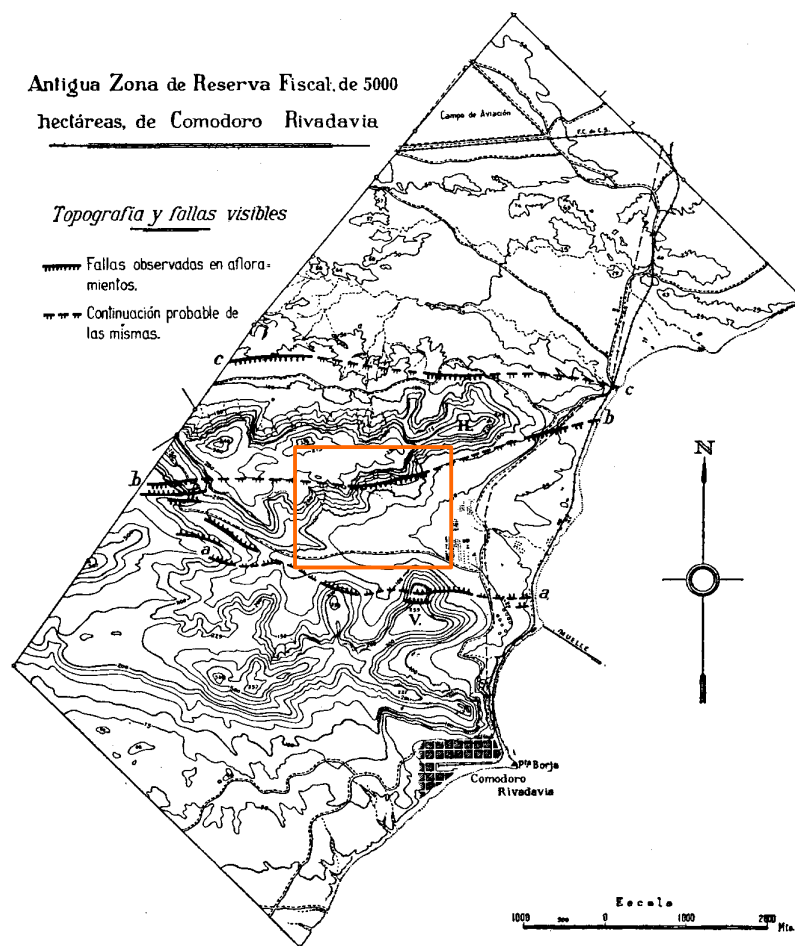


Figura 6: Topografía de la reserva fiscal tomada de Fossa Mancini (1935).
□ Ubicación de la zona de estudio

En fotografías de la década del 40 se observa la ladera en estudio con evidencias de movimiento (Boletín de Informaciones Petroleras 1943-1948).

Feruglio (1950) en su descripción geológica de la patagonia refiere deslizamientos en la ladera austral de la meseta situada al OSO del Co. Hermitte (Ver ítem Dinámica y etapas del movimiento punto 2º, pag. 39).

En una foto de 1958 cedida por el Sr. Simeoni (ver Foto 20), solo se observa la expresión superficial de una falla apenas abierta, pero la ladera no presenta evidencia de movimiento.

Trabajos más actuales y específicamente acerca del Bo. Sismográfica, fueron realizados por Hirtz (Hirtz, et al. 1989 y 1994). En estos trabajos se indican diferentes

fechas asociadas al movimiento. En estos informes realizados por la Universidad San Juan Bosco para la Municipalidad, se expresa que el deslizamiento se produjo en 1969, considerando que en el relevamiento topográfico de 1950 no se observa movimiento. Además mencionan roturas de cañerías ocurridas aproximadamente en el año 1945. En estos informes, concluye que han existido al menos dos procesos importantes, uno antiguo con sentido de deslizamiento NO-SE y otro documentado a partir de 1945 y hasta 1969 de sentido N-S.

En las campañas realizadas en el 2001, se recogen referencias de los vecinos que previo a 1969, ya existía una zona expuesta del plano de deslizamiento, de un par de metros de rechazo.

A pesar de una investigación en los periódicos locales, no se ha encontrado documentación gráfica ni escrita que puntualice las fechas del fenómeno.

3.6.b. Factores condicionantes

-Morfología y disposición de la pendiente: La geometría de la pendiente se corresponde en las diferencias de morfología y expresión del material deslizado que queda sobre la ladera. La escarpa que interviene en el movimiento se extiende a lo largo de 1500 metros en dirección E-O (ver Croquis, pag. 28). En el croquis separamos la ladera en tres sectores que llamamos A, B y C, dos de ellos sufren importantes modificaciones en el terreno (A y C) y la restante, B (zona de sombra), esta ubicada entre las dos zonas anteriores (ver Croquis, pag. 28). Los primeros 500 metros (sector A) hacia el O dibuja una pendiente de reptación (cóncava hacia abajo) y esparcidora de agua (Tipo III de Troeh, 1965 ver figura 7). El siguiente tramo (sector B) es de menor expresión areal (200 m), pero de gran importancia en el desarrollo del movimiento. Lo constituye una pendiente de lavado colectora de agua (perfil cóncavo hacia arriba) (Tipo I, de Troeh, 1965). El resto (sector C, 800 metros) es una pendiente de lavado, esparcidora de agua (Tipo IV de Troeh, 1965).

En los tres casos las pendientes son muy fuertes (mayor de 25%: según Demek (1972) y Marsh (1978)), y constituyen el talud de erosión de las planicies estructurales típicas de la región.

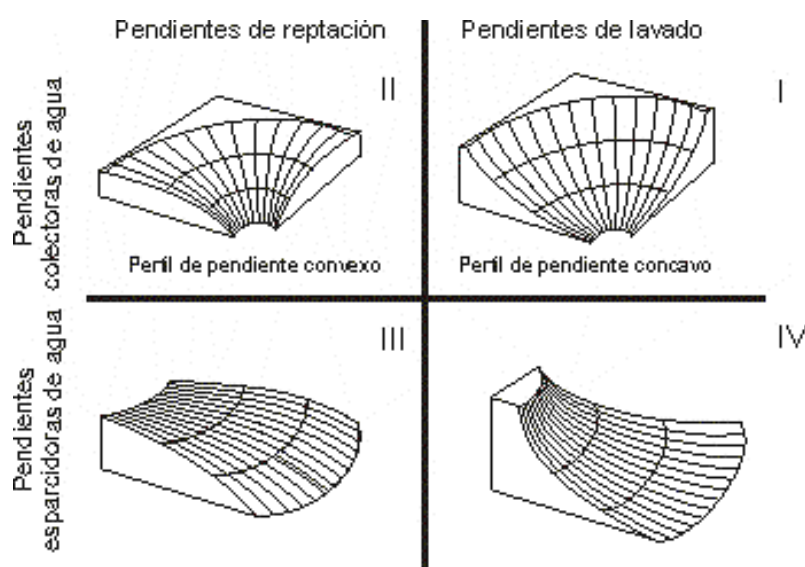
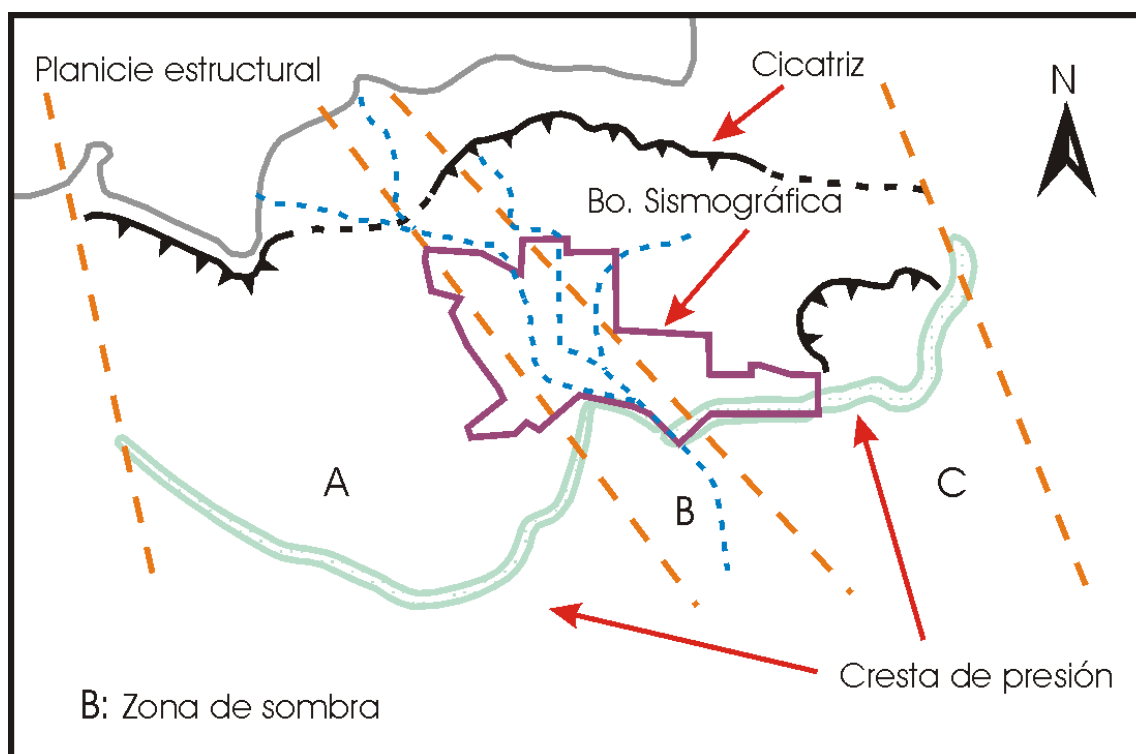


Figura 7: Clasificación de los elementos de pendiente de un paisaje de acuerdo con sus formas y procesos (tomado de Troeh, 1965).

El sector denominado de sombra (B en el Croquis) presenta su concavidad muy cerrada y estrecha, constituyendo una pequeña quebrada labrada por acción fluvial. Esto sumado a que existe poco material disponible, actuó como una zona de interferencia entre el material movilizado de los otros dos sectores (A y C). Estas condiciones probablemente sean el motivo por el cual no fue muy afectado este sector del barrio a fines de los '60. En esa época estaba construido sobre parte de la cresta de presión, que ya existía (escalón de la calle Aimar en la entrada del barrio, Foto 10).

Además de la morfología de la pendiente, se debe considerar la exposición (orientación) de la misma. El movimiento se presenta en la ladera sur del Cerro Hermitte, que es aquella que recibe menos incidencia de los rayos solares. Es por ello que puede retener mayor cantidad de humedad, infiltrando mayor cantidad de agua en los meses invernales. Este fenómeno favorecería el aumento de la plasticidad del material y por ende los movimientos (ver Litología).



Croquis: Vista en planta del Bo. Sismográfica donde se observan los distintos sectores (A, B, y C). El área B corresponde al llamado sector de sombra.



Foto 10: Escalón en la calle J. Aimar, que responde a la cresta de presión (A). Se señala también un deslizamiento rotacional en la parte posterior del Barrio (B)

-Litología: La ladera está labrada en sedimentos marinos areno arcillosos con intercalaciones de bancos cementados de coquinas y bancos arcillosos. Su tope lo constituye uno de los bancos de coquina. Estos bancos resistentes intervienen en las caídas y la constitución de los bloques dislocados. Las arcillas en cambio, son del tipo susceptible, actúan reteniendo humedad, facilitando el despegue y el movimiento.

Los casos más típicos de arcillas susceptibles (Quick clay) son las de origen marino. Estas se han desarrollado en un estado muy floculado y presentan gran resistencia debido al tipo de enlace, formado en el contacto borde – cara. Por una lixiviación posterior estas arcillas disminuyen espectacularmente su resistencia al corte. (IGME, 1987).

Para el análisis de las características se recogieron tres muestras M G255, M G266 y M G207 ubicadas en la cresta de presión, ellas fueron analizadas en el INTEMIN en sus laboratorios de Migueletes y Córdoba, obteniendo los siguientes resultados (ver Anexo Laboratorio):

Granulometría: El conjunto de las muestras tienen una composición bimodal areno arcillosa, con contenidos elevados de arcillas.

	Muestra G255	Muestra G256	Muestra G207
Pasante Tamiz 200	48,64	44,04	47,8
% arcilla	38,66	40,64	32,6

Mineralogía: Se utilizó la técnica de difracción de Rayos X, empleando un difractor Philips, modelo X'Pert MPD.

Muestra G255	esmectitas, cuarzo, yeso, zeolitas (clinoptilolita), feldespatos, calcita, caolinita/cloritas, cristobalita/opalo, y material amorfo
Muestra G256	cuarzo, feldespatos, esmectitas, zeolitas (clinoptilolita), yeso, calcita, cristobalita/opalo, caolinita/cloritas, y material amorfo en menor cantidad.
Muestra G207	Esmectitas, cuarzo, yeso, zeolitas (clinoptilolita) y feldespatos.

En las tres muestras es importante el contenido de esmectitas (tipo de arcilla) en la fracción fina. Este mineral presenta características tales como tixotropía, plasticidad y expansión, fundamentales para este proceso. Para dimensionarlas se realizaron ensayos geotécnicos.

CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA	MUESTRA G255	MUESTRA G256	MUESTRA G207
Clasificación unificada	CV	CV-CH	CE
Susceptibilidad al cambio volumétrico	1,55	1,14	32,6
Presión de expansión (kg/cm ²)	2,21	3,11	1,718

Los límites de Atterberg indican que son materiales de elevada a muy alta plasticidad. Esto está vinculado con el índice de actividad a la expansión que indica una elevada susceptibilidad para dos de las tres muestras (tercera no analizada). Esto fue verificado con la determinación de la presión de expansión. La diferencia entre estos valores está controlada por la permeabilidad del contorno de los bloques intactos, que induce a que las muestras lleguen a su grado de saturación en distintos tiempos.

Este tipo de litología se comporta mecánicamente como un material viscoplasticoelástico de acuerdo al modelo reológico de Kostak, et al. (1977).

-Estructura del macizo rocoso: La inestabilidad de la ladera está vinculada con la disposición de los bancos, la tectónica regional y las discontinuidades del macizo rocoso.

La disposición subhorizontal de los estratos favorece la constitución de la superficie de patinaje (subhorizontal), que coincide con un banco de arcillas más plásticas, y que la dirección general de la fuerza de despegue sea horizontal.

Sobre la ladera se ubica una falla normal (ver Mapa N° 1 y N° 2, y Figura N° 2) que corta la pendiente. Esta correspondería a la cabecera del movimiento. Además presenta fallas auxiliares por donde percolaría con facilidad el agua, aumentando la saturación del material. Esta falla es la denominada falla B que atraviesa la ladera sur del Hermitte (ver Figura 2). Si bien también existe una falla que cruza la ladera de enfrente (ladera norte del Co. Viteau), movimientos semejantes sobre ésta no se han detectado. La Falla B intersecta a ladera muy cerca del tope, diferente de la falla A que tiene una traza de cota menor, atravesando el sector medio y bajo de la ladera. Además, se han recogido comentarios de que en el sector Este (donde la falla A aflora casi en el pie), en oportunidad del movimiento del Hermitte, se produjeron rajaduras en la pileta del Club Huergo y en la capilla del Colegio Salesiano. Sin embargo, no fue posible obtener la documentación que avale esta información. Si se comprobara que los movimientos fueron simultáneos se podría afirmar que el detonante del movimiento de la etapa más rápida, haya sido una reacomodación tectónica del graben que limitan estas fallas (A y B de Feruglio, ver Figura 2). Aunque esto no explicaría el inicio del movimiento.

3.6.c. Factores desencadenantes

No es fácil definir el o los disparadores de movimientos complejos como los que estamos describiendo. Lo que podemos decir es que no se ha registrado ningún movimiento sísmico de consideración, aunque no se descarta la posibilidad de un reacomodamiento estructural.

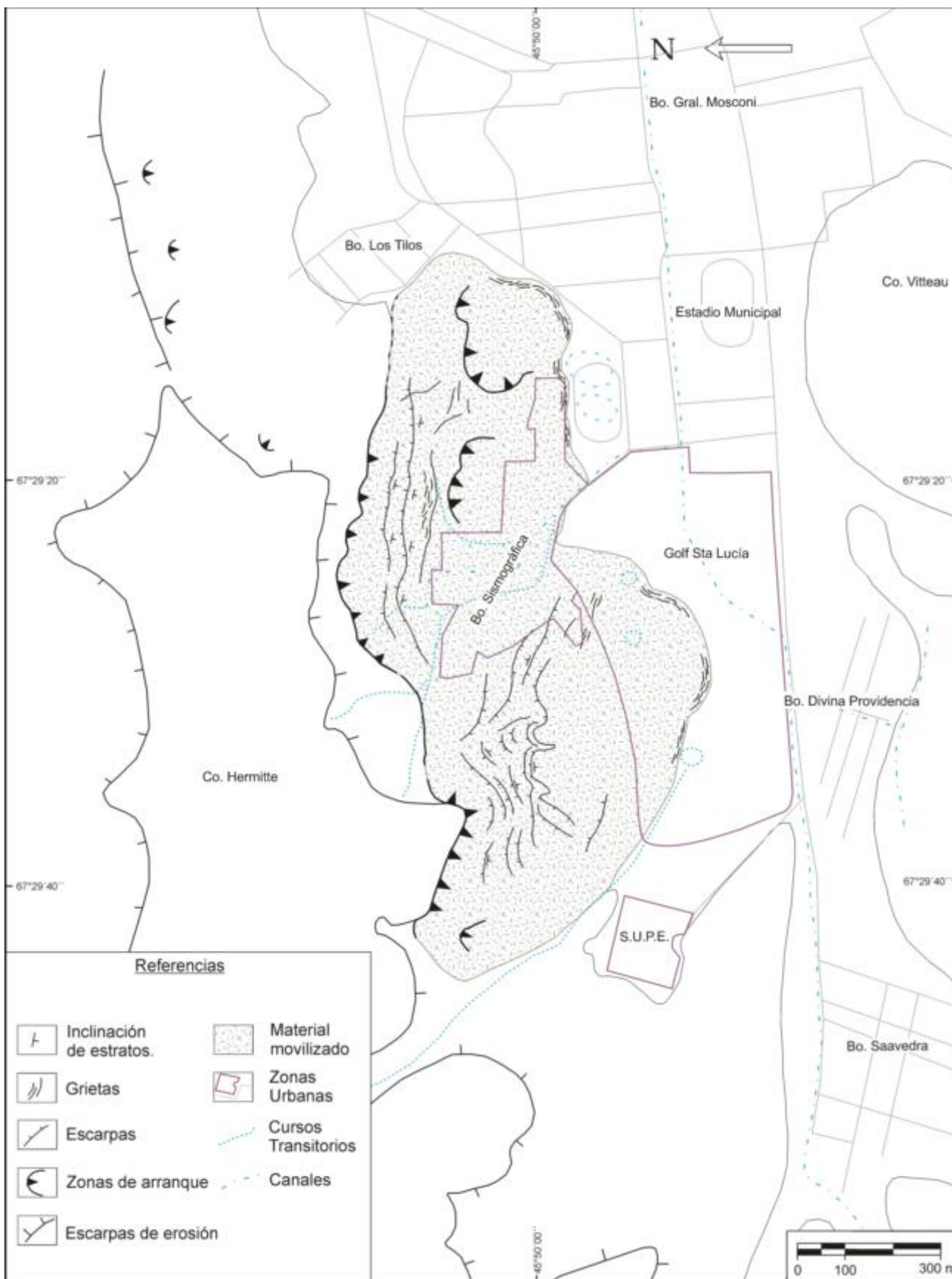
Por lo tanto es más probable que el factor desencadenante haya sido la infiltración de agua a través del área de debilidad producida por el fracturamiento en el tope de la ladera. Estas discontinuidades están constituidas por grietas formadas en el banco duro del tope. A éstas se suma la presencia de la falla B y sus fallas auxiliares, que cortan la pendiente (ver figura 2). Estas últimas permiten el ingreso de agua meteórica hasta la intersección del banco de arcillas suceptibles. De este modo el agua infiltrada va embebiendo el material arcilloso que actuaría como superficie de patinaje. Como este proceso (la infiltración) es muy lento debido al elevado déficit de agua, el movimiento (en la mayoría de su desarrollo), también es lento. Esto provocaría además que el empuje no sea lo suficientemente grande como para que la superficie de deslizamiento corte la superficie del terreno. Por lo tanto se forma la cresta de presión como respuesta a la deformación del material (ver dinámica y etapas del movimiento, pag. 35). El material removido sobre la ladera generó grietas (Foto 11, ver Mapa N°4) y bajos por donde se sigue infiltrando el agua de lluvia.

Como ejemplo se puede citar el caso de Ventura, California (Kerr et al., 1971), caso donde aumentos en las precipitaciones provocan la saturación del material, un aumento de su peso, favoreciendo de esa manera posteriores movimientos. En este caso a pesar de estar controlado con drenajes artificiales, estos también sufren roturas y deslizamientos.

El siguiente factor a considerar es la actividad antrópica. Desde 1918 (por lo menos) se han realizado modificaciones a la pendiente natural. Para la explotación petrolera se trazaron senderos y trincheras para la ubicación de los diferentes pozos (por lo menos diez). Además de la modificación de la geometría, la realización de las perforaciones requiere de actividades (punción, inyección de fluidos, etc.) que generan presiones y vibraciones muy elevadas sobre el material natural. Estas fuerzas favorecen las características tixotrópicas y plásticas del material arcilloso, favoreciendo el movimiento.



Foto 11: Bajos y grietas en el material movilizado.



Mapa N° 4.

3.6.d. Morfología y tipología del movimiento.

La ladera sur del Cerro Hermitte, evidencia gran inestabilidad debido a que en ella se han producido varios tipos de movimientos de remoción en masa. Los más antiguos y de mayor envergadura se asimilan a expansiones laterales. La morfología generada a partir de estas expansiones (empinadas cicatrices de arranque y depósitos de material movilizado caracterizado por su fracturación y desagregación), dio lugar a movimientos de menor envergadura como caídas, deslizamientos rotacionales y flujos, que afectan tanto a las escarpas de arranque como a los depósitos de los movimientos previos (expansiones laterales). A continuación describiremos cada uno de estos movimientos.

La *expansión lateral* (Figura 8) (Selby, 1993; IGME y EPTISA, 1987; Varnes, 1978; Hansen, 1965) según Corominas y Yagüe (1997) es un tipo de “movimiento con extrusión plástica lateral”. El mecanismo de movimiento consiste en la fracturación y extensión del material compacto superficial (tanto suelo como roca), debido a la licuefacción del material subyacente, en algunos casos debido a una sacudida sísmica. También se producen expansiones laterales, cuando se encuentran litologías blandas deformables por debajo de los materiales resistentes y densos, extruyendo lateralmente las primeras debajo de los últimos, debido al peso que estos ejercen (López Jimeno y García Bermúdez, 1999). No son movimientos muy frecuentes y su velocidad varía entre 10 m/s y 10^{-8} cm/año según IGME y EPTISA, 1987.

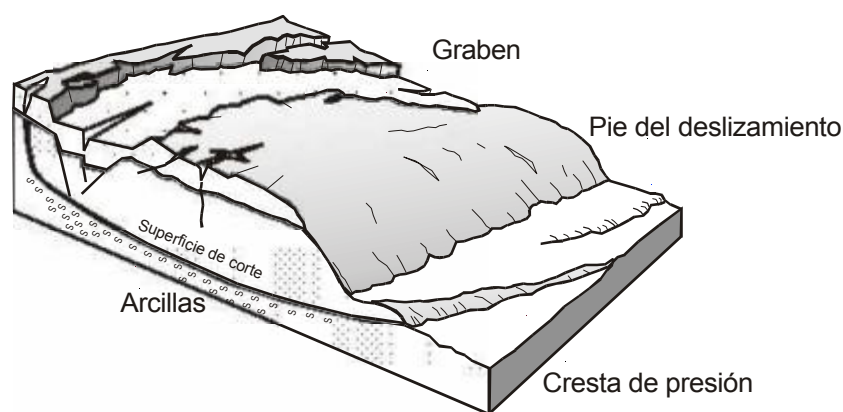


Figura 8: Esquema de Expansión lateral adaptado de Hansen (1965).

La *caída* de bloques individualizados por planos de rotura de un talud se define como una caída libre al menos en parte de su recorrido (Figura 9). El material se deposita a cotas más bajas. La superficie de rotura que individualiza a los bloques, en este caso, es una grieta de tracción provocada por el estado tensional al que está sometido el material.



Figura 9: Esquema de caídas tomado de Varnes (1958) en Erskine (1973).

Los *deslizamientos rotacionales* (Figura 10) son movimientos gravitacionales de masas de roca o suelo que deslizan sobre una superficie curva de rotura, al superarse la resistencia al corte. Suelen ser movimientos rápidos.

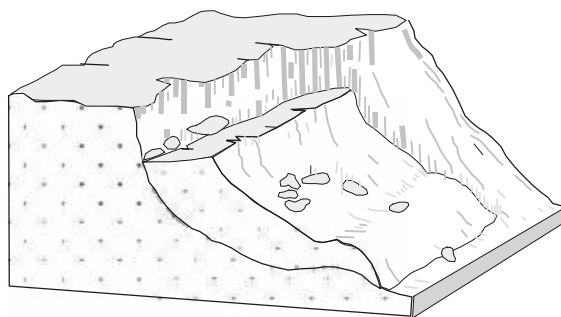


Figura 10: Esquema de deslizamiento rotacional tomado de Varnes (1958).

Los *Flujos* (Figura 11) son movimientos de masas, más o menos rápidos, característicos de materiales inconsolidados. Los materiales actúan temporalmente como un fluido, sufriendo una deformación continua y sin presentar superficie de rotura definida.

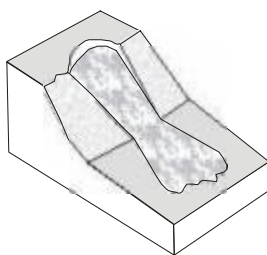


Figura 11: Esquema de un Flujo de barro tomado de Varnes (1958) en IGME (1987).

3.6.e. *Dinámica y etapas del movimiento.*

La dinámica de estos movimientos es compleja y no del todo conocida. Algunos han sido generados por un disparador instantáneo y brusco, pero en nuestro caso las evidencias históricas demuestran que en mayor medida corresponde a un movimiento lento.

El mecanismo de rotura de la ladera tiene dos sectores con distinto comportamiento, uno subterráneo y otro superficial, que integran el complejo movimiento.

En profundidad la presencia de niveles con elevada plasticidad favoreció la deformación plástica por el peso que ejercen los materiales superiores más densos y resistentes. Se genera de esta manera un movimiento lento en profundidad, con extrusión plástica lateral, que generó una cresta de presión (Foto 12) que enmarca distalmente al material movilizado (Foto 13). Esta deformación pudo estar también asociada a un frente de propagación de la superficie de deslizamiento comportándose como un “pliegue de propagación de falla”.

En superficie la masa de material compacto superior, sufre expansión expresada a través de estructuras de tracción (Foto 14). Éstas generan bloques elevados (horst) y deprimidos (graben) por fallamiento normal; en algunos casos en estos bloques se producen rotaciones o traslaciones. Las coquinas superiores son bancos resistentes, que conservan perfectamente la estructura de tracción. Ellas se pueden ver en la parte proximal de los depósitos, donde además de los horst y graben, se aprecia que la mayor parte de las pequeñas escarpas de falla normales, se hallan mirando hacia la cicatriz de arranque principal del movimiento, pues se trata de fallas antitéticas, opuestas a la dirección de transporte de la masa (Foto 15). Esta ubicación de las escarpas de falla es un elemento diagnóstico importante en la determinación de las expansiones laterales, debido a que miran aguas arriba, a diferencia de las que se producen en los deslizamientos rotacionales, que se ubican hacia la cara libre (aguas abajo). En la parte distal de los depósitos no son claras las estructuras de tracción resultantes de la expansión de la masa. Ello es debido a que por debajo de las coquinas los bancos arenosos y arcillosos menos competentes, perdieron identidad durante la deformación por expansión, pudiendo llegar en algunos casos a originar flujos en las etapas finales del movimiento. A pesar de ello, hay superficialmente evidencias indirectas de la tracción sufrida por expansión, debido a la gran cantidad de sumideros donde se pierden las aguas superficiales. Ellos están insinuando la presencia de espacios abiertos en profundidad, resultado de sublavado (piping) por infiltración de las aguas a favor de las estructuras de tracción.

Teniendo en cuenta la mecánica del movimiento y en base a los antecedentes históricos aportados por los pobladores, es posible inferir que el movimiento tiene diferentes etapas en su movilidad. Una etapa cuasi-estática inicial, caracterizada por deformación plástica en profundidad (superficie de despegue), evidenciada por la generación y crecimiento de la cresta de presión; una etapa dinámica que corresponde al movimiento principal superficial, durante el cual se generaron las estructuras superficiales de tracción por expansión de la masa, y la actual que correspondería a una nueva etapa cuasi-estática.

Si bien la cronología de estos movimientos presenta algunas incógnitas, sí se puede asegurar que tuvo varias etapas distintas. Considerar esto es de suma importancia ya que es evidente que no es un movimiento puntual en el tiempo, sino que se está manifestando desde principios del siglo XX y con distinta magnitud. Esto quiere decir que se debe tener mucho cuidado en la apreciación del fenómeno ya que se trata de un fenómeno probablemente activo que es necesario monitorear.



Foto 12: Fotografía aérea donde se señala la ubicación de la cresta de presión.



Foto 13: Foto aérea de una zona de la cresta de presión con la formación de grietas sobre la cresta (detalle de Foto 12).



Foto 14: Bloques separados por fracturas de tracción afectados por la expansión lateral.

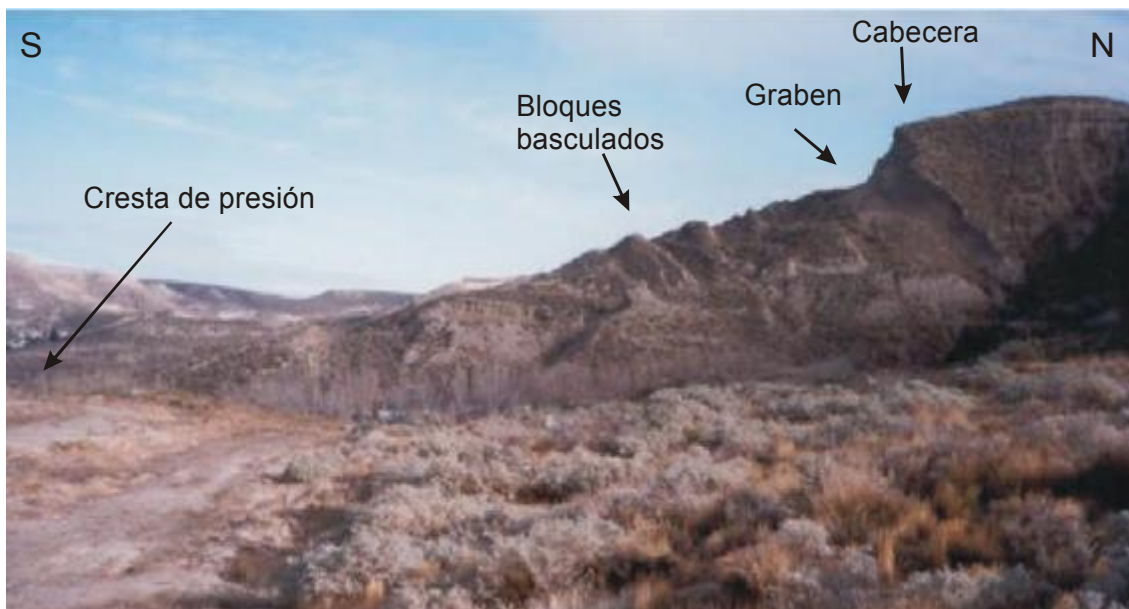


Foto 15: Perfil S-N donde se observan las distintas morfologías producto de la expansión lateral.

Cronología tentativa de los movimientos:

1º) La evidencia más antigua encontrada es una foto de 1918, (Foto 16) donde se observa en el sector C de la ladera del Croquis (ver Croquis, pag. 28), una incipiente cicatriz. El material por debajo de la misma está deformado y sobre este la formación de otra zona de arranque (Foto 16 sector a) que desplaza el material hacia el SE. Bordeando todo el material se ve un “albardón frontal” que adjudicamos a una cresta de presión (pressure ridge, Hansen, 1965; toe out, Kerr et al, 1971). En la foto, la vista de la ladera es parcial por lo que no se puede asegurar si la cresta continuaba hacia el sector Oeste, aunque, probablemente existía con menor desarrollo de altura. Esto se conjetura a partir de que la cancha de golf Santa Lucía se fundó en la década del 30 en un sector que presentaba ondulación apropiada para este tipo de canchas; y testimonios del Sr. Marcelo Simeoni que explica que cuando se instaló en el sector, a principios de los años 40, existían “lomos de burro” que iban creciendo con el tiempo. Agregó que tenía fotos de su hijo cuando era pequeño al lado de estas “lomas” y que no sobrepasaba su altura, mientras que ahora son más altas (llegan hasta 4 metros de altura). Lamentablemente no pudo encontrar las fotos. En este caso, la cresta de presión sería la primera expresión del movimiento (etapa cuasi estática) que afecta el material más plástico y tixotrópico de la ladera (ver ítem litología).

La presencia de la segunda cicatriz (Foto 16, sector a) se explicaría por una diferencia en la velocidad del movimiento y de rozamiento del material, que provoca que parte del material (Foto 16 punto c) continúe su desplazamiento a diferencia del resto, generando un corte.

Además, para esta misma época, están las menciones realizadas por Windhausen (1925), ya comentadas en el ítem Antecedentes.

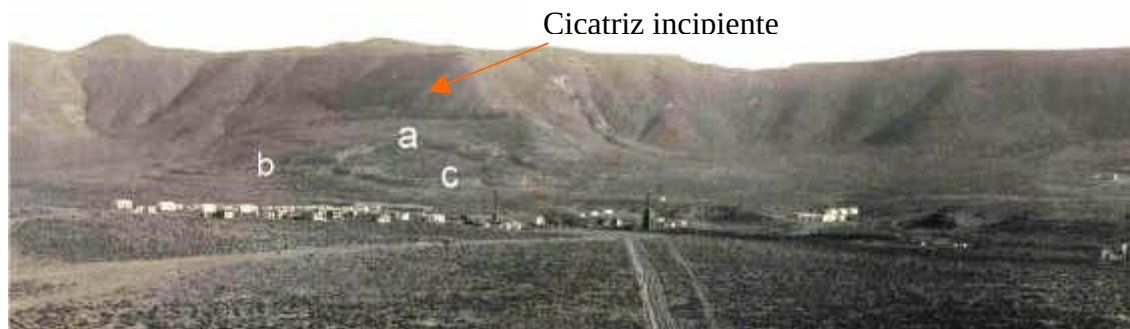


Foto 16: Foto de 1918 donde se observa la cicatriz secundaria (a), la cresta de presión (b) y el material con movimiento diferencial (c). Esta foto pertenece al archivo de la Biblioteca del SEGEMAR.

2º) La siguiente evidencia proviene de datos bibliográficos de YPF, topográficos, fotográficos y de archivos. En los registros del pozo 392, iniciado en el año 1925 consta que “Según informa el volante n° 355 del Servicio de Producción, rindiendo el pozo aún 1,150 l/d de petróleo se vio imposibilitado el bombeo a causa del aplastamiento de las cañerías de entubación, motivado por el deslizamiento del Cerro Hermitte”, debiéndose abandonar en el año 1937. En el mismo archivo, pero del pozo 318 iniciado en el mismo año que el anterior, se expresa que “....se constató al desentubar la columna de 124/137 mm, que la misma estaba cortada en 52 metros de profundidad, debiéndose esta rotura

a la gran deformación de la cañería de 227/241 mm, cementada en 525 m. La deformación de la columna 227/241 mm, se debe al movimiento del terreno en esta zona como ya se ha podido comprobar en el pozo 392....Fuera de esta deformación se constataron en la columna de 227/241 mm, otras en 25 m, 50 a 55 m, 80 a 85 m y en 280 metros, deformaciones éstas que vuelven a aparecer a pesar de corregido repetidas veces mandrilando...”

En fotografías publicadas en el Boletín de Informaciones Petroleras de 1943 (Foto 17 y 18) y 1948 (Foto 19), se puede observar la ladera sur del Co. Hermitte. En ambos casos se observa la cresta de presión y la falta de expresión de la cicatriz del movimiento. Otra fotografía social, pero en este caso cedida por el Sr. Marcelo Simeoni, muestra con buen detalle el denominado sector A de la ladera (ver Croquis, pag.28). En esta se deja ver la apertura de una grieta la cual podría corresponder a la expresión superficial de una falla auxiliar (Feruglio, 1950) (Foto 20), pero la ladera no presenta evidencia de movimiento. El Sr. Simeoni, también comentó que el gran movimiento en esa ladera se produjo en una tarde sin poder precisar la fecha exacta aproximándose a fines de 1969.

Feruglio (1950) describe: *“En la ladera austral de la situada al WSW del Co. Hermitte, la falla del Valle B está acompañada por otra auxiliar y por deslizamientos más o menos extensos del suelo (como puede verse en el perfil adjunto), cuyo derrumbe fue probablemente facilitado por superficies de falla, que son superficies de menor resistencia”*. Figura 12

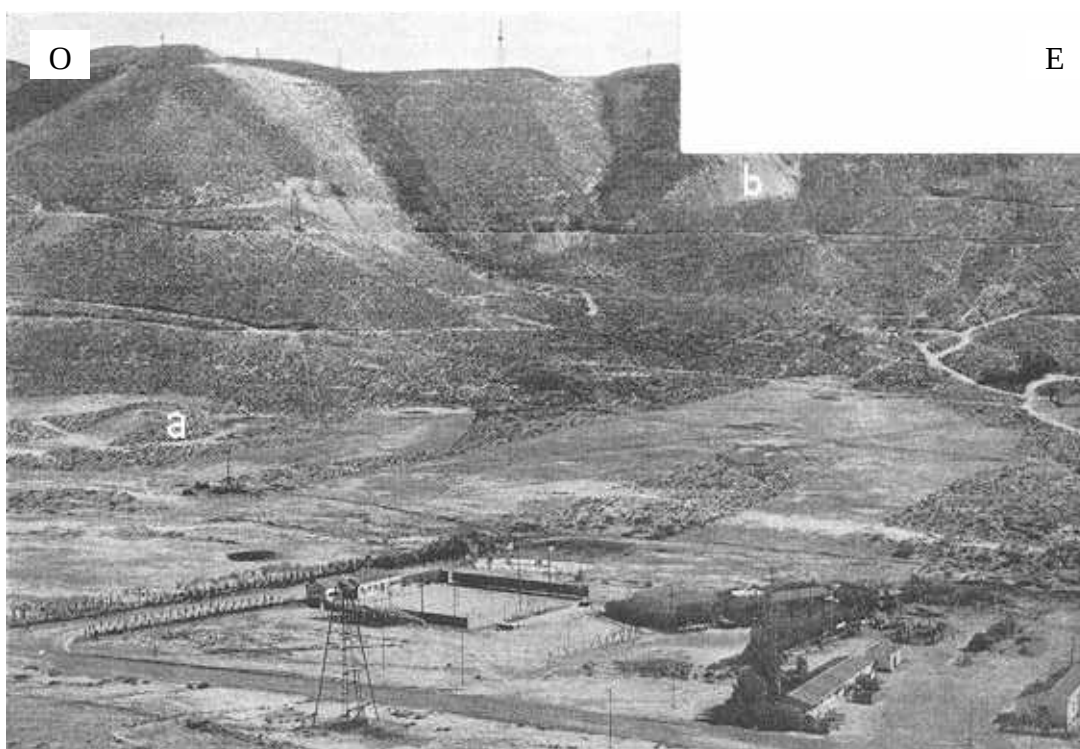


Foto 17: Foto tomada del BIP n°226 (1943). Se observa en primer plano la pendiente denominada de sombra y el sector A oeste (ver Croquis, pag. 28). Las dos no muestran ninguna cicatriz ni material deslizado; en cambio sí se notan al pie (a), las ondulaciones del campo de Golf (cresta de presión). El pequeño sector que se ve de la ladera este, muestra un área más clara (b). Esta corresponde a material de descarte de la trinchera para perforación, y no del movimiento natural.



Foto 18: Foto tomada del BIP n°228 (1943). Se observa al oeste la manifestación de la cresta de presión (a).



Foto 19: Foto tomada del BIP n°281 (1948). Se observa la cresta de presión (a).



Foto 20: Foto cedida por el Sr. Marcelo Simeoni (año 1958). Se observa el sector A (ver Croquis, pag. 28) con la cicatriz abierta (proyección de la falla B o auxiliares), y ausencia de material movilizado sobre la ladera.

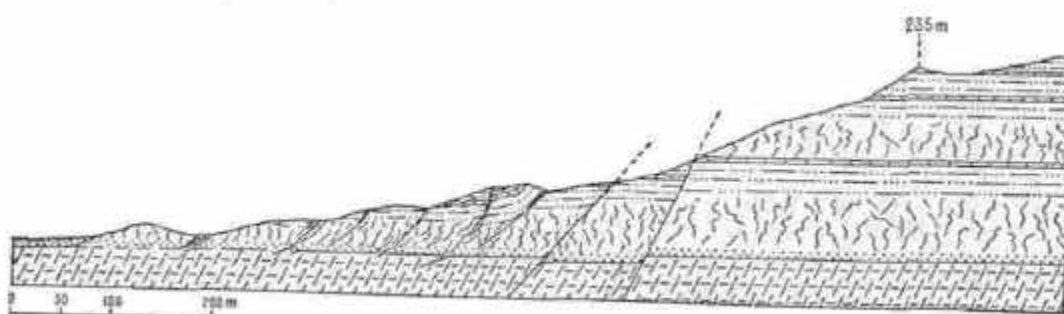


Figura 12: Corte tomado de Feruglio (1950) “Corte de la ladera boreal del Valle B en la antigua Reserva Fiscal de 5000 hectáreas de Comodoro Rivadavia, con las fallas B y paquetes de capas deslizadas. En la base se encuentran las Tobas de Sarmiento y arriba el Patagoniense.”

3º) Fotos aéreas de 1969, expresiones de los pobladores y datos extraídos de Hirtz, et al. (1989 y 1994) indican que a fines de los años 60 (1968-1969) tuvo lugar el desplazamiento de material del sector A. Esta etapa fue súbita y según testimonios ya mencionados fue en una sola tarde. Otros testimonios sugieren que la cicatriz del sector C (ver Croquis, pag. 28), también se movió aunque sin gran desplazamiento

En el sector B (ver Croquis, pag. 28) se forma una cicatriz producto probablemente de la apertura de la senda sobre la ladera (Foto 21). Esta se encuentra topográficamente más baja y forma tres deslizamientos rotacionales. (Foto 22). En la fotografía se observa que el material deslizado no sobrepasa la senda, lo que indica el carácter local del desplazamiento

Como se menciona anteriormente, algunos testimonios adjudican a esta etapa (3°) todo el movimiento, reduciendo de esta manera, la verdadera magnitud del proceso.



Foto 21: Foto del área denominada de sombra, dónde se observan deslizamientos rotacionales.

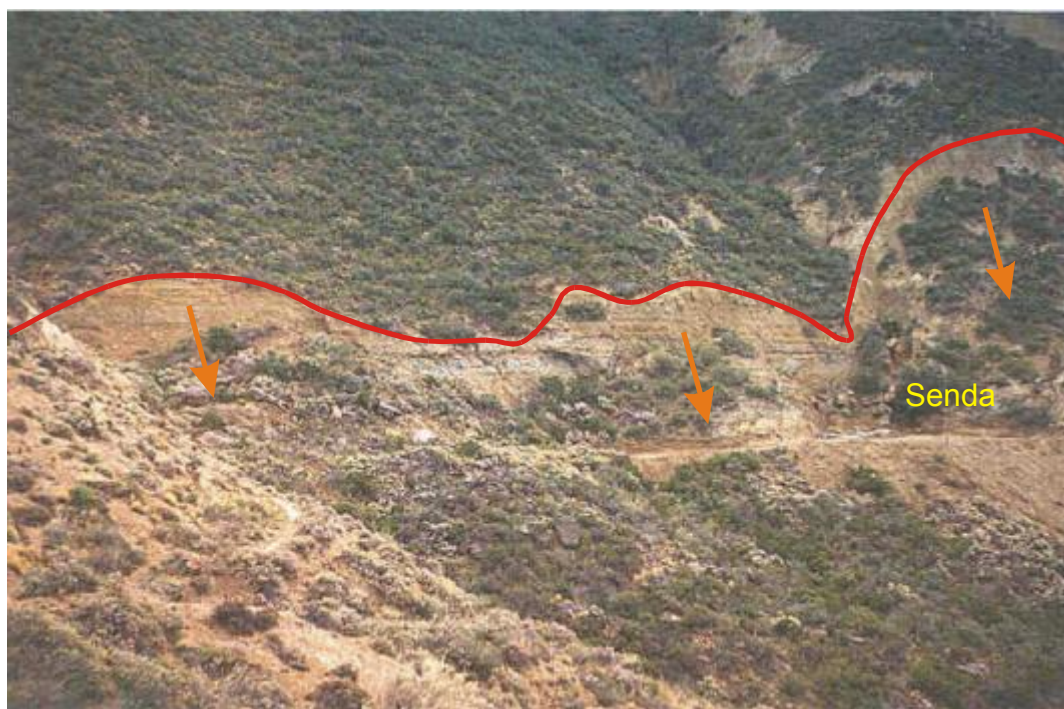


Foto 22: Evidencia de deslizamientos rotacionales por encima de la senda.

4º) Del análisis de las fotos aéreas (1982/3 y 1995) y observaciones en el campo, se deduce que existe un retroceso de la cicatriz en el sector C (ver Croquis, pag. 28) debido a caídas de detritos y bloques (Foto 23). Actualmente las estribaciones del material movilizado están siendo alteradas intensamente por la actividad antrópica. Esto ocurre también con el perfil de la ladera, desde 1925, a la actualidad, con la apertura de senderos y trincheras. Esto provoca que sea muy difícil distinguir si actualmente existe movimiento, ya que la velocidad de la actividad del hombre es mayor que el probable movimiento natural del material de la ladera. Por lo tanto para confirmar la continuidad del movimiento es necesario monitorear el mismo.



Foto 23: Vista del retroceso de la cicatriz y de la caída de bloques.

4. ANÁLISIS DE LA PELIGROSIDAD GEOLÓGICA.

Entendiendo como Peligrosidad a la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino en un área dada y en un período de tiempo determinado, se llega a que el grado de peligrosidad está directamente correlacionado a la cantidad de procesos geológicos actuantes, a su magnitud y a la recurrencia de los mismos.

A su vez la probabilidad de ocurrencia está asociada a la presencia de los factores condicionantes combinados con los desencadenantes en una misma área. Con respecto a esto último en toda la ladera existe la posibilidad de intersección de los factores que actúan para casi todos los procesos descriptos. La excepción es el proceso de inundación que solo se da al sur del quiebre de pendiente, y no en la ladera misma. Con respecto a la recurrencia, exceptuando los movimientos sobre laderas, que son potencialmente activos, los demás procesos descriptos son actuales y permanentes.

Los *procesos erosivos* son los más controlables a partir de medidas estructurales adecuadas, mientras que los *procesos de expansión de arcillas*, el *piping* y los *movimientos de ladera* presentan efectos de mayor relevancia.

La *expansión de arcillas* es un proceso que, si bien ocurre en casi todo Comodoro Rivadavia y alrededores, en el barrio debe tenerse sumo cuidado en el control del buen estado de los ductos subterráneos ya que fugas en los mismos podrían actuar de detonante en futuros movimientos.

El *piping* es muy activo en la actualidad y es casi imposible evitar su accionar. Existen grietas en gran cantidad dentro del material deslizado por donde sigue incorporándose agua que actúa entre los intersticios de los “bloques” deslizados.

El *movimiento de ladera*, si bien comenzó con anterioridad a 1918, presentando su mayor expresión a fines de los sesenta, y que gran parte del tiempo fue lento y poco perceptible, no se puede afirmar que el mismo haya finalizado. Probablemente puede seguir actuando sin percibirse (de ahí la necesidad de un monitoreo). Se agrega además que es muy difícil para este tipo de movimiento tomar medidas correctivas, aunque sí se deben tomar medidas preventivas.

Por todo lo enunciado, el análisis cualitativo de la Peligrosidad en TODA la ladera sur del Cerro Hermitte es semejante (presenta los mismos procesos geológicos, recurrencia semejante, y coincidencia de factores condicionantes). Se puede destacar que, en referencia a los factores desencadenantes existe una delimitación areal restringida, relacionada a la acción antrópica. Esta de ningún modo se limita al área que ocupa el Barrio Sismográfica, sino que se deben incluir también los barrios Marquesado, Los Tilos, la cancha de golf, y el loteo del SUPE.(Figura 13).

5. SUGERENCIAS Y/O RECOMENDACIONES.

5.1. Restricciones de uso y monitoreo

Según Buchman (1983) si el lugar es muy peligroso y la peligrosidad no puede ser reducida a un nivel aceptable, el desarrollo debe ser restringido por medio de regulaciones provinciales o municipales.

De acuerdo a los procesos geológicos que actúan sobre el Bo. Sismográfica se debería encarar como medidas preventivas ciertas restricciones de uso, por ejemplo:

- Para mitigar los efectos de la erosión fluvial, se deberían evitar la construcción de calles con alto gradiente y a favor de la pendiente. Además se debería realizar un sistema de integración del drenaje natural y el domiciliario por medio de canaletas impermeables.
- Para mitigar los efectos de la expansión de arcillas, se debería evitar la instalación de obras rígidas. Sobre todo la cañería subterránea de agua debería ser controlada para evitar pérdidas que provoquen el ingreso de agua al sistema. También la cañería de gas, podría producir perdidas por rotura y probables explosiones.
- Para mitigar el peligro de deslizamiento, una vez realizada la caracterización, se debería tomar las siguientes medidas, tal como las enunciadas por Clague and Evans (1988):
 - 1) Restricciones de uso.
 - 2) Monitoreo y alarma.
 - 3) Medidas de Corrección

1) Restricciones de uso deben estar asociadas a la ocupación de la ladera. En la Figura 13 se puede observar el desarrollo de la ocupación del área a partir de 1972. Los primitivos habitantes estaban acotados al área denominada de sombra del movimiento (ver Croquis, pag. 28), por lo que no sufrieron mayores daños. Al pasar el tiempo el barrio fue expandiéndose (Foto 24), y actualmente las construcciones están alejándose del centro del barrio, distribuyéndose por la ladera, aprovechando, en algunos casos, la reapertura de las huellas que realiza Repsol-YPF para el cierre definitivo de los pozos. Otro punto a considerar es que para la separación de las parcelas, en algunos casos se

han plantado árboles. El riego excesivo que se necesita para su crecimiento provoca un ingreso de agua elevado que favorece la erosión superficial, piping y saturación de las arcillas (y su consiguiente movimiento).

Otra de las restricciones que se deben considerar (en el pie de la ladera occidental), afecta las actividades en las canchas de golf y rugby. Para la mantención y/o producción del césped necesario en estas canchas se realiza también un excesivo riego. Para el riego en el caso de la cancha de golf se usa el agua de recolección de las aguas servidas de los barrios que se encuentran más al oeste (Barrio Saavedra, etc.). Además de contaminar el suelo y el aire (en oportunidad de nuestra visita el olor era casi insoportable) aumentan el piping². Dentro de la cancha, hay dos lagunas (Foto 25) que aportan humedad al subsuelo. Se ha podido observar también que a pesar del alto contenido de arcillas el material presenta una buena transmisividad lateral. Ello se debe que una de las lagunas ubicadas detrás de la cresta de presión, infiltre lateralmente el agua hacia el otro lado de la cresta (Foto 26).

Hay que puntualizar que también son necesarias las restricciones en los alrededores de la ladera y/o el material deslizado. En los últimos tiempos se han construido varios barrios alrededor del depósito del material deslizado (Figura 13). Estas construcciones provocaron en algunos casos la modificación del relieve, (como se observa en la Foto 27) que para su instalación realizaron una trinchera en la cresta de presión. Los barrios que se instalaron en el extremo occidental (como los barrios Los Tilos y Marquesado, Figura 13), aumentan la posibilidad de ingresos considerables de agua al sistema (por riego, lavado, fugas en cañerías, etc.), que resulta desfavorable para la estabilidad del material. Actualmente se está realizando un loteo en el área del SUPE (Foto 28) sobre parte de la cresta de presión y el material deslizado en el límite oeste del deslizamiento. Rodeando este predio se observa una cicatriz de movimiento menor, a media ladera (Foto 29). La modificación del material por debajo de esta cicatriz (excavación, sobrepeso, infiltración de agua, etc.) aumentaría la probabilidad de movimiento del mismo. Por lo tanto las restricciones no solo deberían existir sobre el Barrio Sismográfica, sino también, sobre el barrio Los Tilos, Marquesado, las viviendas al pie, el barrio SUPE, la cancha de golf Santa Lucía y la cancha de rugby. Sin un plan integrado de medidas para todos estos lugares, será muy difícil prevenir y/o mitigar la acción de los procesos geológicos sobre la ladera.



Foto 24: Zona urbana que corta el frente del material movilizado.

²actualmente el riego con agua servida se encuentra momentáneamente suspendido.

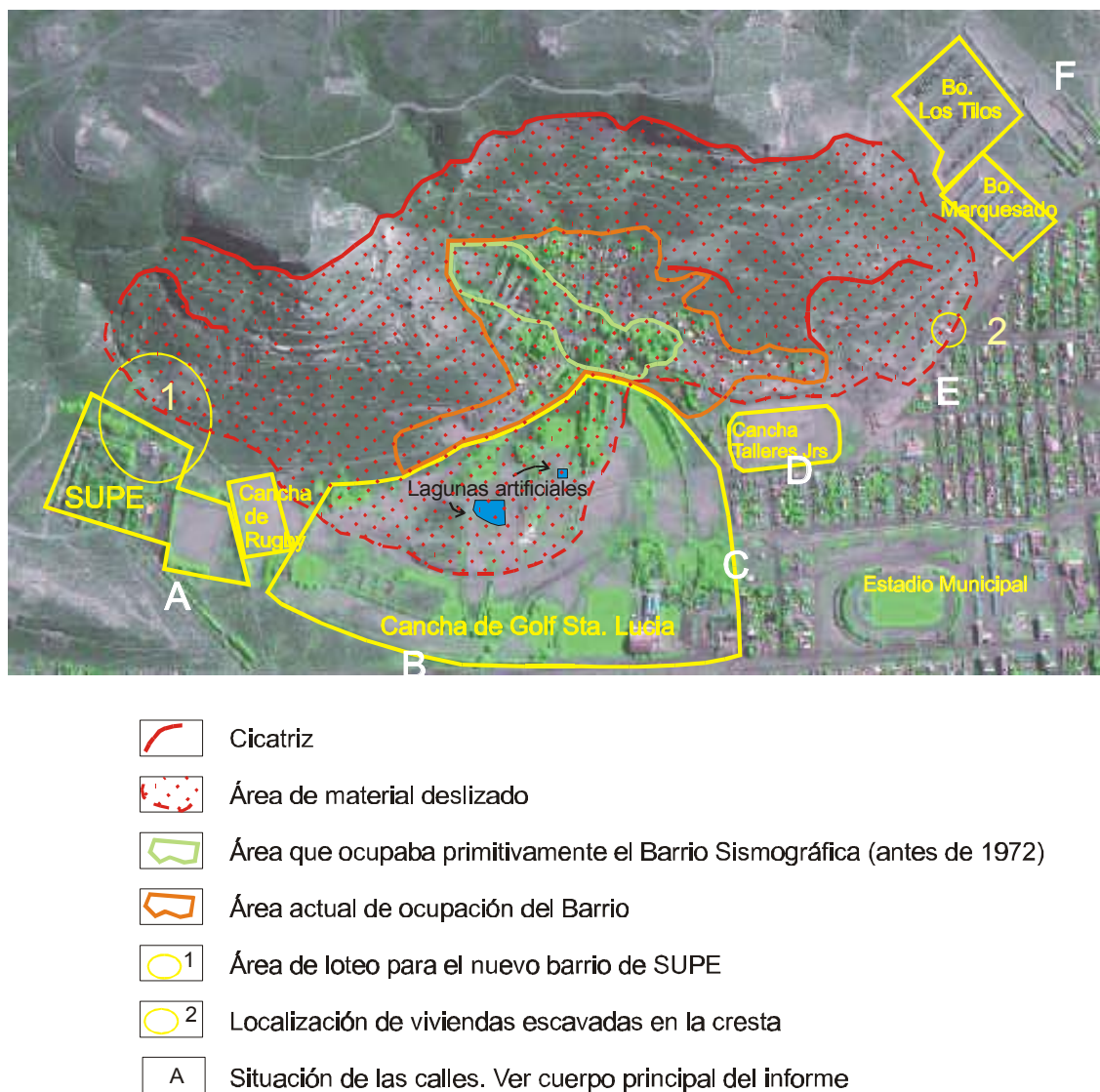


Figura 13: Vista aérea del sector de estudio.



Foto 25: Ubicación de las dos lagunas dentro de la cancha de Golf Santa Lucía.

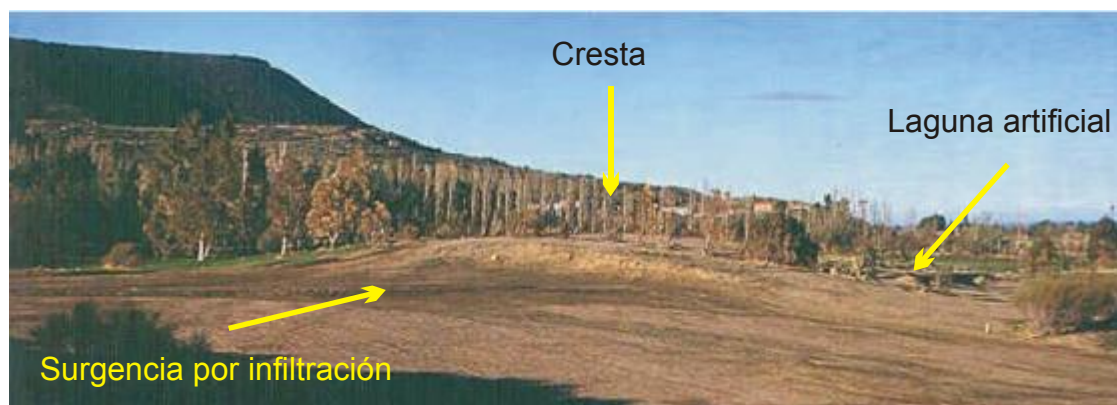


Foto 26: Surgencia por infiltración de agua de la laguna artificial, hacia el otro lado de la cresta de presión, en la cancha de golf.



Foto 27: Vista de la modificación de la cresta de presión (—) para la construcción de viviendas, fuera del barrio Sismográfica.



Foto 28: Área para loteo (—) detrás del SUPE, vista desde las cicatrices del material movilizado (ver Foto 29).

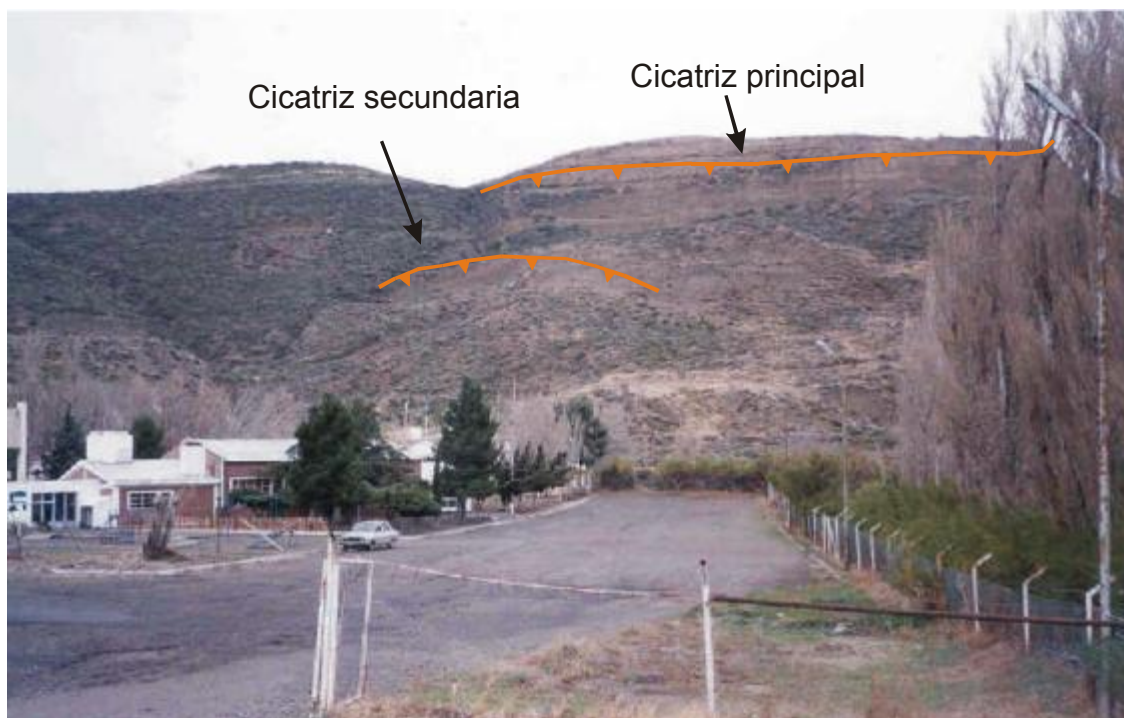


Foto 29: Vista del frente de la ladera del Co. Hermitte donde se observan las cicatrices del movimiento por encima del área de loteo del SUPE.

2) Monitoreo y alarma: Como ya se ha fundamentado es de gran importancia realizar un monitoreo sistemático del movimiento. Esto está vinculado al excesivo crecimiento del barrio ya que, si continúa al mismo ritmo, la presión sobre el material deslizado cada vez va a ser mayor, aumentando la posibilidad de daños sobre la infraestructura y las personas.

Una medida tendiente a minimizar los efectos de estos movimientos, es instalar un sistema de alarma eficaz. Se sugiere formar una comisión entendida en el tema, con el fin de recabar información en el terreno (verificar por ejemplo: aparición de nuevas grietas, apertura de grietas, daños a la infraestructura, etc.), y alertar en función de la evolución de los procesos, generando una señal de alarma (comunicar a los vecinos del barrio, defensa civil, autoridades pertinentes, etc.).

Para el monitoreo deberían realizarse perforaciones para conocer el comportamiento geomecánico del macizo rocoso y conocer a qué profundidad se encuentra la superficie de corte. En estas mismas perforaciones se pueden ubicar distintos tipos de auscultaciones, las cuales servirán para un conocimiento pormenorizado de los movimientos. Cada uno de estos medios de auscultación, tiene sus propias características, pero sintéticamente tienen los siguientes alcances:

Inclinómetro

Se trata de un dispositivo que permite medir al movimiento del terreno en profundidad. Las lecturas se realizan en dos sentidos normales entre sí, lo que permite tomar una idea prácticamente tridimensional del movimiento de la ladera. Si bien tiene un costo relativamente elevado, la información que se obtiene es muy valiosa para evaluar la magnitud del movimiento.

Extensómetros de Múltiple Posición

A diferencia de los inclinómetros, en los que se tiene una secuencia de la variación de los movimientos en prácticamente toda la longitud de la perforación, estos instrumentos analizan los movimientos de zonas o sectores de la ladera, por lo que trabajan mejor en macizos rocosos. Es un procedimiento más económico pero no es tan apropiado para las características del área.

3) Medidas de corrección: una vez realizado los monitoreos, se podrá evaluar la adecuada solución para el problema en particular. Teniendo en cuenta que los barrios ya están instalados, y que la erradicación de éstos es muy compleja, se pueden realizar obras de infraestructura tendientes a minimizar las probabilidades de ocurrencia de los procesos antes mencionados. Con los datos de la ubicación de la superficie de corte, de la movilidad del material, de la infiltración, permeabilidad y volumen de agua ingresada al sistema, se podría diseñar una obra de corrección. Esta podría consistir, por ejemplo en la colocación de una cañería (un metro de diámetro aproximadamente) a lo largo de la ladera generando un gradiente cero, que colecte por drenaje el agua infiltrada en la ladera, y luego pueda ser bombeada.

6. AGRADECIMIENTOS

Queremos dejar sentado un verdadero agradecimiento a todos aquellos que hicieron posible este trabajo. Al Sr. Marcelo Simeoni y al Lic. Alejandro Simeoni por sus aportes de vital importancia; al Dr. J. C. Sciutto; al Dr. Emilio González Díaz por sus importantes aportes sobre el problema; al representante vecinal Jorge Gonzales y a los vecinos que colaboraron en las entrevistas; y a todos aquellos que brindaron desinteresadamente su tiempo.

Una mención especial se dirige a los técnicos y profesionales del INTEMIN que realizaron los análisis de laboratorio.

7. BIBLIOGRAFÍA

Belloso, E. S., 1990. Formación Chenque, registro de la Transgresión Patagoniana en la Cuenca del Golfo San Jorge. XI Congreso Geológico Argentino. Actas 3; 57-70.

BIP (Boletín de Informaciones Petroleras), 1943. Año 20, N° 226, página 62, Buenos Aires.

BIP (Boletín de Informaciones Petroleras), 1943. Año 20, N° 228, página 47, Buenos Aires.

BIP (Boletín de Informaciones Petroleras), 1948, N° 281, página 25, Buenos Aires.

Braccini, O. I., 1943. El factor estructural en las acumulaciones petrolíferas del país. Boletín de Informaciones Petroleras, Año 20, N°222.

Buchman, R. G., 1983 An assessment of natural hazards management in British Columbia. M. A. Thesis, University of Victoria, Victoria.

Cesari, O., y A. Simeoni, 1993. Planicies fluvio-glaciales, terrazas y bajos eólico de la Patagonia Central Argentina. Zbl. Geol. Paläont. Teil. I. H1/2. 155-164. Stuttgart.

Clague, J. J., and S. G. Evans, 1988. Natural hazard in the Canadian Cordillera. 8th Congress of the International Association for Engineering Geology and the Environment. Vol. I: 17-44. Vancouver.

Demek, K. J. 1972. Manual of detailed geomorphological mapping. Academia Prague. 368 pp.

Erskine, C. F., 1973. Landslides in the Vicinity of the Fort Randall Reservoir, South Dakota. U. S. Geological Survey Professional Paper 675. Washington. 65 pp.

Feruglio, E., 1950. Descripción geológica de la Patagonia. Dirección General de Yacimientos Petrolíferos Fiscales. Volumen III:238-239.

Fossa Mancini, E., 1935. Las fallas de Comodoro Rivadavia. En los estratos petrolíferos y en los afloramientos. BIP XII 136:65-95.

Hansen, W.R., 1965. Effects of earthquake of March 27, 1964, at Anchorage, Alaska: U.S. Geological Survey Professional Paper 542-A, 68 pág.

Hirtz, N., H. Prez, J.C. Rodríguez, 1989. “Estudio de Estabilidad en el sector del Barrio Sismográfico de Comodoro Rivadavia”. Convenio entre Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Cátedra de Geología Aplicada y la Municipalidad de Comodoro Rivadavia. Inédito.

Hirtz, N, H. Prez, J. C. Rodríguez, 1994. Estudio de estabilidad en el sector del Barrio Sismográfica de Comodoro Rivadavia. Actas de la Asociación de Geología Aplicada a la Ingeniería. Vol. VIII: 46-57.

IGME, 1987. Riesgos geológicos. Serie Geología Ambiental. Curso de Riesgos Geológicos. 333 pp. Madrid. España.

IGME y EPTISA, 1987. Manual de Taludes 456 pág. Madrid. España.

INPRES, 1977. Zonificación sísmica de la República Argentina. Publicación técnica N°5. 38 pp.

INTA E.E.A., Chubut, 1998. Relevamiento y estudio del régimen climático de la provincia del Chubut. Informe final del plan de Trabajo. Responsable: Mac Karthy. 210 pp.

Kerr, P. F., R. A. Stroud, and I. M. Drew, 1971. Clay Mobility in Landslides, Ventura, California. The American Association of Petroleum Geologist. Bulletin 55(2): 267-291.

Köpen, V., (1953) Clasificación Climática. En: Strahler, A H. and Strahler A. N., 1989. Geografía Física. Tercera Edición Ed. Omega. 166-172.

- Kostak, B., 1977. Photoplastic slope deformation models. Bulletin of the International Association of Engineering Geology 16: 221-223, Krefeld.
- Leidhold, C., 1934. La tectónica del subsuelo del campamento central de Comodoro Rivadavia. Boletín de Informaciones Petroleras, Año XI n°113 p. 71-77.
- Marsh, W. M. 1978. Environmental análisis for land-use and site planning. Mc Graw-Hill. New York.
- Sciutto, J. C., O. Cesari, V. Escribano, H. Pezzuchi, 2000. Descripción Geológica de la Hoja 4566-III- Comodoro Rivadavia, Provincia de Chubut. Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Boletín N°244, 53p
- Torres, E. A., y O. R. Miura, 1977. Caracterización y clasificación de suelos del Barrio Divina Providencia. Instituto Provincial de la Vivienda y Desarrollo Urbano, Anexo 5: Estudios de suelo: Caracterización y clasificación de suelos por ensayos de testigos Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Inédito.
- Selby, M. J., 1993. Hillslope materials and processes. Oxford University Press-Oxford. 451 pp.
- Spalletti, L. A., y M. Mazzoni, 1979. Estratigrafía de la Formación Sarmiento en la barranca sur del lago Colhué – Huapi. Revista de la Asociación Geológica Argentina. 34: 271-281.
- Tejedo, A., F. X. Pereyra, C. Anielli de Clavijo, y M. Jones, 2000. Carta de Peligrosidad Geológica 4566-III, Comodoro Rivadavia, Provincia de Chubut. Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Boletín N° 305 45 p.
- Troeh, F. R., 1965. Landform equations fitted to contour map: Am. Jour. Sci, Vol 263, pag. 616-627
- Varnes, D. J., 1958. Landslide types and processes. Highway Research Board. Special Report. Washington, D. C. 29:20-47.
- Varnes, D. J., 1978. Slope movements types and processes. Landslides Analysis and control. Transportation Research Board National Academy of Sciences. Washington D. C. Cap. 2.
- Windhausen, A., 1925. Líneas generales de la constitución geológica de la región situada al oeste del golfo San Jorge. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba. Tomo 27 p. 256.
- Citas periódicas:
- Diario Crónica, 14/08/1991. Exactamente 10 años Crónica lo informaba así. Página 21. Comodoro Rivadavia. Chubut.
- Diario El Patagónico, 14/08/1971. Comodoro bajo las cenizas de un volcán chileno. Página 3. Comodoro Rivadavia. Chubut.

Diario El Patagónico, 15/08/1991. Temida nube podría alcanzar nuestra ciudad. Página 5. Comodoro Rivadavia. Chubut.

Diario El Patagónico, 20/08/1991. La nube de cenizas ya cubre Comodoro (portada). La ceniza volcánica alcanzó Comodoro y podrían paralizarse las actividades. Página 5. Comodoro Rivadavia. Chubut.

8. ANEXO LABORATORIO

Ensayos al 22/07/01

CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE SEDIMENTOS

-Adelanto de Información

Esta es la síntesis de la información generada hasta la fecha y sobre la que se está en proceso de elaboración.

-Clasificación Granulométrica

Debido a que los resultados del análisis granulométrico por vía no acuosa, dieron resultados que no me parecen representativos de la muestra, se están haciendo nuevamente los estudios granulométricos pero ahora siguiendo el procedimiento de la IRAM 1540 aplicando el método de la vía húmeda y la aplicación de hexametosfato de sodio como dispersante. Esto alcanza tanto a las últimas dos muestras como la anterior.

-Caracterización geotécnica de la muestra.

Se realizaron los estudios tratando de obtener la mayor información posible, utilizando particularmente los bloques mayores, a los que se asumí como los menos alterados, despreciando los efectos tensionales de la muestra, por variación de las condiciones de yacencia y del contenido de humedad natural, los que serían los más representativos de las condiciones de yacencia.

El cálculo de la humedad se realizó sin embargo tanto en los bloques terrosos y como de la masa total de la muestra, mientras que la determinación del peso específico, se realizó según lo estipulados con el material pasante tamiz N° 40 cuyos resultados fueron los siguientes:

Descripción	Muestra G207	Muestra G255	Muestra G256
Humedad Natural de terrones arcillosos (%)	12.87	13.02	5.01
Humedad Natural de muestra total (%)	19.07	12.44	5.95
Densidad Natural (g/cm ³)	1.85	1.75	1.88
Peso Específico (g/cm ³)	2.5	2.65	2.64

-Determinación de los Límites de Consistencia - Clasificación Unificada -

Con el material pasante Tamiz N° 40, se realiza el cálculo de los límites de consistencia, los que junto con las características granulométricas se utilizan para clasificar al material según la Clasificación Unificada de Suelos.

Descripción	Muestra G207	Muestra G255	Muestra G256
Límite Líquido	112.80	80.80	70.50
Índice Plástico	78.46	60.16	46.57
PT 200	26,18	datos	datos
% arcilla (<2 m)	6,13?	dudosos	dudosos
Clasificación Unificada	CE	a definir	a definir

CE: Suelo arcilloso de extremadamente alta plasticidad

-Determinación de la presión de expansión.

La determinación de la presión de expansión, se realizó utilizando bloques de arcilla a los que se los moldeó a las dimensiones del odómetro, empleándose parafina para colmatar los espacios entre la muestra y el anillo edométrico.

Al trabajarse con la muestra natural, su baja permeabilidad determina la duración del ensayo, por lo que el ensayo de expansión duró 17 días, cuando ya se constató el estado de equilibrio (72 hs sin variación de presión)

Descripción	Muestra G207	Muestra G255	Muestra G256
Humedad %	1.87	1.92	1.70
Densidad Inicial (g/cm ³)	1.15	1.68	1.81
Presión de Expansión (muestra reconstituida) Kg/cm ²	1.718		
Presión de Expansión (bloque intacto) Kg/cm ² .	--	2.215	3.11

Como se puede observar es importante la diferencia de densidad lograda con la muestra remoldeada y la muestra intacta, lo cual afecta directamente a la presión de expansión como a la permeabilidad de la muestra.

Como de los bloques quedó uno (G256) que permite realizar un nuevo ensayo, con casi toda la superficie del anillo edométrico cubierta, se está realizando un nuevo ensayo, a los efectos de verificar el orden de los valores de presión.

Ggo. Roberto Cravero
Laboratorio Córdoba
CIGA - INTEMIN

Ensayos al 14/11/01

-OBJETIVOS:

Estudio mineralógico y caracterización geotécnica de arcillas.

-MATERIAL RECIBIDO:

Dos muestras aproximadamente 3kg.

-IDENTIFICACIÓN:

IGRM	CIGA/LabCor
Muestra N° 7476/2	TM-01-126-G255
Muestra N° 7476/3	TM-01-126-G256

-TRABAJOS REALIZADOS:

Los trabajos se realizaron en distintos Centros, según el detalle siguiente:

a. Clasificación Granulométrica, vía húmeda.

Centro: CIPROMIN - Area Procesamiento de Minerales
Responsable : Lic. Laura Sánchez
Laboratorio : Procesamiento
Cód. del Informe: TPI 067/01
Fecha: 10/12/01

b. Estudios mineralógicos

Centro: CIGA
Responsable : Lic. Guillermo Cozzi
Fecha: 10/12/01

c. Caracterización Geotécnica de la muestra

Determinación de la densidad natural, humedad y peso específico.
Determinación de Límites de Consistencia. Límite Líquido, Límite
plástico, Índice Plástico y caracterización según la Clasificación Unificada de Suelos
Determinación de la Presión de Expansión.
Análisis de resultados y conclusiones.

Centro de Procesamiento: CIGA- Laboratorio Córdoba
Responsable : Ggo. Roberto I. Cravero
Cód. del Informe: TL014/01
Fecha: 19/12/01

-d. Resultados obtenidos

Clasificación Granulométrica

Equipos y materiales utilizados.

Tamices de la serie ASTM N° 20, 30, 50, 70, 100, 140, 200 y 325 correspondiente a los diámetros 850, 425, 300, 212, 150, 106, 75 y 45µm, analizador de partículas Sedigraph 5100, balanzas granatarias, dispersantes adecuados, agitadores y demás elementos auxiliares de laboratorio.

Tareas Realizadas.

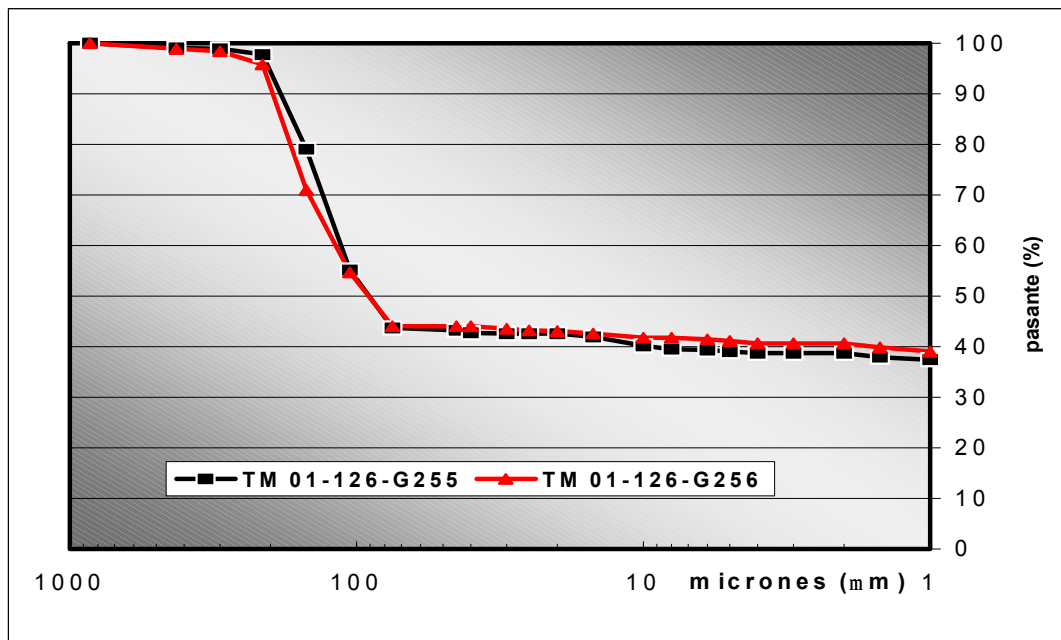
La distribución granulométrica de las muestras 74760/2 y 74760/3 se realizaron de la siguiente manera:

- Se realizó el tamizado en húmedo de las muestras con los tamices especificados anteriormente. Se utilizó agua como solvente.
- Al material pasante malla 325 (40µm) se le determinó la granulometría mediante el Analizador Sedigraph.

Los resultados del análisis granulométrico de las muestras en estudio se detallan en la siguiente tabla:

	Muestra N° 01-126-G255 (74760/2)	Muestra N° 01-126-G256 (74760/3)
Diámetro (µm)	peso acumulativo pasante (%)	
850	100,00	100,00
425	99,01	98,83
300	98,86	98,37
212	97,82	95,83
150	78,96	70,94
106	55,15	54,72
75	43,64	44,04
45	43,27	44,04
40	42,71	44,04
30	42,62	43,55
25	42,62	43,20
20	42,53	43,03
15	41,89	42,63
10	40,24	41,84
8	39,55	41,75
6	39,29	41,39
5	39,07	41,05
4	38,77	40,69
3	38,68	40,64
2	38,68	40,64
1,5	37,86	39,86
1	37,43	39,11

La representación de los mismos en escala logarítmica, señala una composición bimodal areno-arcillosa de las muestras con un contenido de arcilla de 38.68% y 40.64 % mientras que casi el 50 % del material pasa el tamiz 200 ($<75\mu\text{m}$).



Estudio Mineralógico

El estudio mineralógico se realizó utilizando la técnica de difracción de Rayos X, empleando un difractómetro Philips, modelo X'Pert, cuyos resultados, indican la presencia de los siguientes minerales:

-Muestra N°01-126-G255: Esmectitas, Cuarzo, Yeso, Ceolita (Clinoptilolita), Feldespatos, Calcita, Caolinita/cloritas, Cristobalita/opalo y material amorfo

-Muestra N° 01-126-G256: Cuarzo, Feldespatos, Esmectitas, Ceolitas (clinoptilolita) Yeso, Calcita, Cristobalita/ opalo, Caolinita/cloritas, material amorfo pero en menor cantidad que la muestra anterior.

Caracterización geotécnica

Se utilizaron preferentemente los bloques de mayor tamaño para obtener la mayor información posible, pues, despreciando la disturbación de la muestra por la extracción y de variación del contenido humedad natural, serían a pequeña escala, los mas similares a las condiciones in situ.

Determinación de la Densidad Natural, Humedad, Peso Específico.

El cálculo de la humedad se realizó tanto en los bloques, como en la masa total de la muestra, mientras que la determinación del peso específico, se realizó según lo estipulado por norma con el material pasante tamiz N° 40 cuyos resultados fueron los siguientes:

Descripción	Muestra 01-126 G255	Muestra 01-126-G256
Humedad Natural (bloques arcillosos) (%)	13.02	5.01
Humedad Natural de muestra total (%)	12.44	5.95
Densidad Natural (g/cm ³)	1.75	1.88
Peso Especifico (g/cm ³)	2.65	2.64

Determinación de los Límites de Consistencia, aplicación de la Clasificación Unificada.

Con el material pasante Tamiz N° 40, se realiza la determinación de los límites de consistencia, los que junto con las características granulométricas se utilizan para clasificar al material según la Clasificación Unificada de Suelos.

Descripción	Muestra 01-126 G255	Muestra 01-126-G256
Limite Liquido	80.80	70.50
Indice Plástico	60.16	46.57
PT 200	43.64	44.04
% arcilla (<2 µm)	38.68	40.64
Susceptibilidad de cambio volumétrico (Ac)	1.55	1.14
Clasificación Unificada	CV	CH-CV

CV: Suelo arcilloso de muy alta plasticidad

CH: Suelo arcilloso de alta plasticidad

Determinación de la presión de expansión.

La determinación de la presión de expansión, se realizó utilizando bloques de arcilla a los que se los moldeó a las dimensiones del odómetro, empleándose parafina para colmatar los espacios entre la muestra y el anillo edométrico.

Al trabajar con la muestra natural, su baja permeabilidad determina la duración del ensayo, por lo que el ensayo de expansión duró 17 días, cuando ya se constató el estado de equilibrio (72 hs. sin variación de presión)

Descripción	Muestra 01-126 G255	Muestra 01-126-G256
Humedad %	1.92	1.70
Densidad natural (g/cm ³)	1.68	1.81
Relación de vacíos inicial	0.60	0.48
Presión de Expansión (bloque intacto) Kg/cm ² .	2.21	3.11

-Conclusiones

La descripción granulométrica de ambas muestras indica una similar composición bimodal de las mismas, siendo muy importante el contenido de la fracción arcillosa (<2 µm) que alcanza valores de 38.68% y 40.64% . Por su parte los estudios mineralógicos señalan una importante presencia de esmectitas como constituyente significativo, lo cual es a la vez refrendado por la respuesta geotécnica de la muestras, que prueban claras propiedades expansivas.

Las determinaciones de Índices de Atterberg indican materiales de alta a muy alta plasticidad (CH-CV) en Muestra G255 y de muy alta plasticidad (CV) muestra G256. Vinculando estas características con el contenido de fracción arcillosa resulta el Índice de actividad o de susceptibilidad a la expansión (Ac) que indica muy alta susceptibilidad de expansión, para ambas muestras.

Ello fue verificado con la determinación de la presión de expansión del orden de 2.21 kg/cm² muestra G255 y de 3.11 kg/cm² en la muestra G256, alcanzada luego de ensayar las muestras en condiciones de saturación durante un período de 15 y 16 días. La diferencia de respuesta se debe a que la muestra G256 tenía una lineación longitudinal que debe haber actuado como vía preferencial con menor permeabilidad facilitando el avance del frente de saturación. Es decir que la diferencia de capacidad de expansión entre ambas muestras está controlada por la permeabilidad de contorno. Si bien la permeabilidad no pudo ser determinada, por las características granulométricas de la muestra se puede estimar entre 10⁻⁹ a 10⁻¹⁰ m/s aunque, seguramente ello no es representativo de las condiciones de permeabilidad de la formación arcillosa en su conjunto.

Ensayos al 18/12/01

-Objetivo.

Estudio mineralógico y caracterización geotécnica de una muestra de sedimento. Presentación de nuevo análisis granulométrico, que anula y reemplaza el presentado en el informe ITL10-01.

-Material Recibido.

Una muestra de aproximadamente 500g

-Identificación.

IGRM	CIGA/LabCor
Muestra N° 7476/1	TM-01-015-G207

Trabajos realizados:

Determinación de la distribución granulométrica.

Centro: CIPROMIN - Area Procesamiento de Minerales
Responsable : Lic. Laura Sánchez
Laboratorio : Procesamiento
Cód. del Informe: TPI 057/01
Fecha: 17/12/01

Tareas Realizadas.

Tamices de la serie ASTM N° 20, 30, 50, 70, 100, 140, 200 y 325 correspondiente a los diámetros 850, 600, 300, 212, 150, 106, 75 y 45µm, analizador de partículas Sedigraph 5100, balanzas granatarias, dispersantes adecuados, agitadores y demás elementos auxiliares de laboratorio.

La distribución granulométrica de la muestra TM01-015-207 se realizó de la siguiente manera:

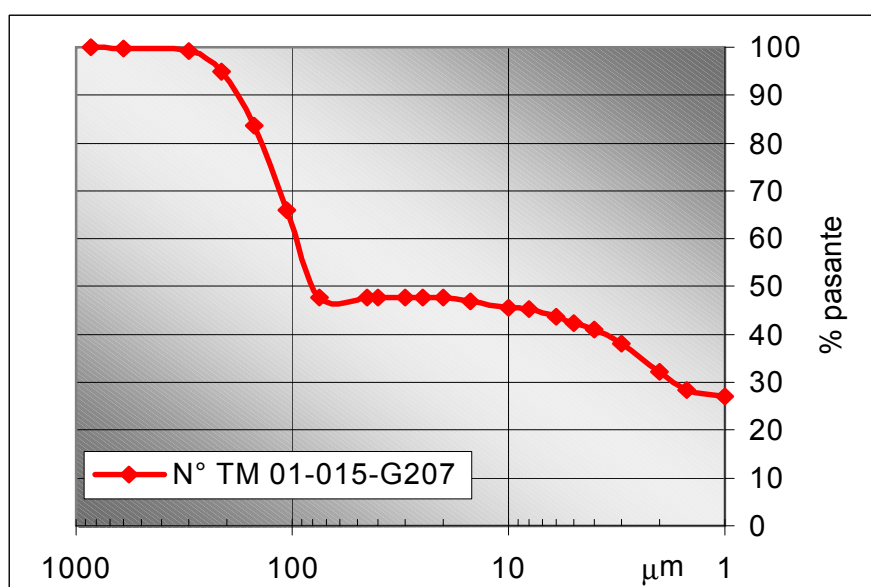
- La muestra fue tamizada en húmedo con los tamices especificados anteriormente. Se utilizó agua como solvente.
- Al material pasante malla 325 (40µm) se le determinó la granulometría mediante el Analizador Sedigraph.

Resultados

Los resultados de la distribución granulométrica de la muestra TM01-015-207 se detallan en la siguiente Tabla.

Muestra N° TM01-015-207	
Diámetro (μm)	% peso acumulativo pasante
850	100,00
600	99,68
300	99,13
212	94,96
150	83,72
106	65,87
75	47,80
45	47,80
40	47,80
30	47,80
25	47,80
20	47,80
15	47,04
10	45,65
8	45,27
6	43,59
5	42,35
4	40,96
3	38,14
2	32,30
1,5	28,49
1	27,06

La representación de los mismos en escala logarítmica, señalan la clara composición bimodal areno-arcillosa de la muestra.



-Síntesis de los parámetros geotécnicos de la muestra.

Se mantienen en general los valores presentados en el informe anterior, con excepción del pasante tamiz 200 (75 μ m) y la fracción arcillosa (<2 μ m)

- Humedad Natural de muestra total	19.07 %
- Densidad Natural	1.85 g/cm ³
- Peso Especifico	2,50g/cm ³
- Limite Liquido:	112.80
- Indice Plástico:	78.46
- PT 200:	47.8 %
- Fracción arcillosa (<2 μ m)	32.6 %
- Clasificación Unificada	CE (Suelo arcilloso de extremadamente plasticidad)
- Presión de expansión	1.718 Kg/cm ² .

-Conclusiones.

El nuevo análisis granulométrico es más representativo de la respuesta geotécnica que registró esta muestra. Se confirma la composición bimodal de la misma, pero con un mayor porcentaje de la fracción arcillosa, con una importante presencia de esmectitas, determinadas en el análisis mineralógico y confirmadas por la respuesta geomecánica de la muestra.

La relación entre el índice plástico y el porcentaje de la fracción arcillosa clasifican a la muestra dentro de las arcillas de muy alta sensibilidad de expansión, lo cual es coincidente con los valores determinados en los ensayos.