

CAPITULO 5
CARACTERIZACION GEOLOGICA - GEOMORFOLOGICA
DEL FENOMENO

5.1 Introducción

El objetivo del estudio geológico-geomorfológico fue determinar las características que tuvieron los flujos de detritos que afectaron la ciudad de Antofagasta, principalmente las relativas a su composición, granulometría, volumen, altura, etc., así como los rasgos geológicos y geomorfológicos de las cuencas que les dieron origen. El área de estudio comprendió básicamente el tramo de la Cordillera de la Costa y zona litoral que corresponden a la ciudad de Antofagasta.

5.2 Métodos de Estudio y Antecedentes

Los estudios se iniciaron con una revisión de los diferentes antecedentes existentes sobre el fenómeno acaecido en Antofagasta, el día 18 de Junio de 1991. Esta información se complementó con una revisión de la información existente sobre la geología de la región.

A continuación se efectuó un análisis fotogeológico comparativo entre fotografías aéreas sacadas antes de la ocurrencia del fenómeno y fotografías obtenidas con posterioridad a él. Para este efecto se utilizaron las fotos aéreas a escala 1:30.000 de la Serie CH 30. S6 (SAF año 1981) del Servicio Aerofotogramétrico de Fuerza Aérea de Chile, junto con las fotos a escala 1:20.000, de la Serie IGM 92 tomadas especialmente por el Instituto Geográfico Militar, luego del desarrollo de los flujos de detritos, el mes de Enero de 1992. A partir de análisis se reconocieron las diferentes unidades geomorfológicas existentes en el área, estableciéndose además todas las diferencias que se pudieran apreciar, derivadas de la ocurrencia del fenómeno estudiado.

La información obtenida del análisis fotogeológico fue verificada durante una visita al terreno, la que se llevó a cabo los días 21 y 22 de Enero de 1993. En esa ocasión se recorrieron las principales quebradas, complementándose la información obtenida a partir de las fotos aéreas con antecedentes obtenidos directamente, como por ejemplo la altura alcanzada por los diferentes flujos de detritos, su composición granulométrica, mineralógica y rasgos estructurales internos, así como sus relaciones estratigráficas, en especial con otros fenómenos similares, etc. Los resultados de esa visita a terreno se entregan en el Anexo Estudios de Terreno. La ubicación de los diferentes puntos que se describen, se indica en el mapa que acompaña este capítulo.

A vuelta de terreno se revisaron nuevamente las fotos pre y post flujo de detritos lo cual permitió ampliar los antecedentes obtenidos y elaborar las conclusiones que se entregan en el presente informe.

Los antecedentes geológicos consultados sobre la zona corresponden a la "Carta Geológica de Chile, Escala 1:250.000, Hoja Antofagasta (N° 30), Región de Antofagasta", de F.Ferraris y F.Di Biase, editada por el Instituto de Investigaciones Geológicas (1978).

Por su parte los antecedentes relativos a los fenómenos de flujos de detritos consultados en la literatura general sobre el tema, corresponden a los de Varnes (1978), Hays (1981), Wold y Jochin (1989) y a los de estudios consignados en el Capítulo 3 referentes al fenómeno particular ocurrido en la ciudad de Antofagasta.

5.3 Marco Geológico

De acuerdo a la Carta Geológica de Chile. Escala 1:250.000, Hoja Antofagasta, de Ferraris y Di Biase (1978), la zona estudiada está constituida en gran parte por rocas de la Formación La Negra. Dicha zona está integrada por lavas andesíticas de colores grises y verdes, con intercalaciones de brechas y areniscas de colores rojizos, las cuales forman una secuencia monoclinial que mantea hacia el oeste. En algunos sectores, en especial al sur de la quebrada La Negra, se presenta intruida por cuerpos menores o stocks graníticos de edad Jurásico Superior. A la formación La Negra se le ha asignado una edad Jurásico Medio a Superior.

El sector sur del área estudiada está constituido por rocas de la Formación Caleta Coloso, integrada por conglomerados y areniscas de colores rojizos. Esta secuencia estratificada sobreyace a la Formación La Negra y se le ha asignado una edad Titoniano-Neocomiano.

Las rocas fundamentales, representadas por las formaciones descritas anteriormente, están cubiertas en algunos sectores, según los autores citados, por sedimentos aluviales de relleno, constituidos por gravas, arenas y arcillas, de edades Holocénicas.

5.4 Apreciación General Sobre las Características de los Flujos y Depósitos

Las características que tuvieron los flujos de detritos en las diferentes quebradas, de acuerdo con las observaciones efectuadas durante la visita de reconocimiento de terreno del 21 y 22 de Enero de 1992, así como el espesor de los rellenos y granulometría del material remanente, se describe a continuación (ver Fig 4.1).

a) Quebrada Huáscar

Punto 1 En la salida de la quebrada del Huáscar.

Se advierte, en el salto que presenta la quebrada, un antiguo cono ya bastante consolidado que está constituido en la base fundamentalmente por clastos con escasa matriz, algunas veces de formas redondeadas, pero la mayor parte bastante angulosos, todos o casi todos de la Formación La Negra y sobre ellos, en el tercio superior del mismo cono, se desarrollan, arenas y niveles arenosos principalmente. El espesor del cono en esta parte debe ser de unos 25 a 30 metros.

Dentro del cono ha sido cortado un pequeño zanjón por el cual corrió el último flujo de detritos, restos del cual se presentan todavía adheridos en los bordes, sobre todo de la parte rocosa que corresponde al sector inmediato a la bajada de la corriente. Este zanjón presenta marcas hasta mas o menos unos 3 metros y medio de altura sobre el nivel actual del fondo. Estas marcas corresponden a coberturas y adherencia de material relativamente fino, aparentemente como una especie de estrujamiento de arcilla, o exprimimiento de arcillas, y ésta cubre a su vez un relleno. Esta cobertura es variable y corresponde a una arena bastante suelta en muchos sectores, con contenido de clastos del nivel de gravillas, es decir, del orden de 3 a 5, hasta 10 mm, angulosos todos. La arena es principalmente una arena eólica de proveniencia costera. Es una arena que se ha originado en la costa, ascendido luego hacia la parte alta del relieve y retornado posteriormente por medio del flujo de detritos. Se trata en este caso de una arena bastante pura, excepto por un 10 a 20% de fragmentos angulosos mas gruesos. La arena tiene una composición y proveniencia diferente, debido a que está compuesta por granos integrados principalmente por cuarzo y felsdespato, con formas redondeadas y esmerilados, por lo cual no hay dudas de su origen eólico; el material mas grueso por su parte, presenta un tamaño de grano equivalente a una gravilla y procede de la descomposición y formación de coluvio de la Formación La Negra. La arena presenta en este sector una estratificación particular, ya que inclina hacia aguas arriba, a diferencia de la inclinación que en general tienen todos los depósitos del cono de flujo de detritos, los cuales mantean hacia aguas abajo, con un ángulo de unos 25° aproximadamente. El material arenoso en parte está recubierto también por capas de material relativamente grueso, solamente del interior. Todos ellos, en todo caso están pegoteados contra la roca, es decir forman una especie de parche que debe tener unos 5 a 10 cm máximo, y que en parte es solamente una película muy delgada. Este material es una arena casi pura, con poca arcilla, no mas del 5% en todo caso. Este material podría haber sido en todo caso adherido en forma de un "spray" contra la roca o rellenos antiguos de los bordes, puesto que se presenta a una cierta altura en la que quizás el flujo de detritos no la haya alcanzado a cubrir. La arena que constituye gran parte de depósito del flujo de

detritos es en este caso típicamente eólica, constituida por granos de cuarzo y feldespato, junto a otros otros de color claro, formas redondeadas, superficies pulidas y esmeriladas, todo lo cual indica que se deriva de rocas graníticas, diferenciándose claramente de aquellos que constituyen la fracción de granulometría equivalente a gravillas, los cuales son líticos y de formas angulosas, y derivados de la meteorización y movilización coluvial de la Formación La Negra.

Punto 2 Casas y construcciones afectadas por el flujo de detritos.

Allí el flujo alcanzó en algunas partes una altura de metro a metro y medio, escurriendo y destruyendo algunas casas, varias de ellas bastante resistente, de concreto, otras un poco mas débiles. El flujo corrió tomando la forma de una gruesa columna, según una señora que la presencié, era alto y producía mucho ruido; aparentemente en ese momento corrió sin que existieran cauces, por lo cual parece que los zanjones que se observan hoy en día, se formaron después.

El material que escurrió y quedó depositado, alcanzó un metro a metro y medio de espesor y produjo un salpicamiento de los muros de las casas que alcanza hasta unos 2 metros. El depósito formado por el flujo corresponde también a una arena, la cual en este caso tiene un mayor contenido de fragmentos mas gruesos, casi un 30% de fracción cascajos, contra un 60 a 70% de fracción arena. Además presenta muchos materiales correspondientes a agregados artificiales y residuos del tipo concretos, papeles, etc. Estos depósitos están bastante consolidados, probablemente debido al contenido de arenas con sales intersticiales.

Durante el desarrollo del fenómeno se formaron diferentes conductos, los cuales derramaron en diferentes partes del cono, con un comportamiento muy variable desde una parte a otra del cono; en algunos sectores hay mucho daño, mientras que en sectores situados a pocos metros no se produjo ningún daño, dependiendo al parecer de las áreas donde se desplazaron las corrientes principales. Estos flujos fueron capaces de arrastrar bloques de hasta unos 40 a 50 cm aproximadamente de diámetro.

b) Depósitos de las Quebradas El Toro y Caliche

Punto 3 Este punto se ubica en los alrededores del hotel Tatio y sector del Estadio Regional.

Allí se efectuaron observaciones que complementan las realizadas anteriormente, durante Febrero de 1992. Se observan todavía restos de los flujos de detritos que llegaron hasta el mar en este sector, bajando por las calles que descienden desde las Quebradas de El Toro y El Caliche. Se advierte que el depósito está compuesto

en algunos sectores, por una parte, por aproximadamente un 60 a 70%, hasta 90% en otros, de arena eólica constituida por granos redondeados, de tamaños uniformes y colores claros, con predominancia de plagioclasa, cuarzos y algunos granos de origen orgánico, al parecer test calcáreos marinos. A ello se agrega un 20 a 30% de granos anguloso y mas gruesos, de tamaños comprendidos entre 2 y 8 mm., formas angulosas y composición lítica, que provienen de la descomposición de afloramientos de la Formación La Negra.

Este depósito formó un manto en este sector de hasta unos 40 cm. de espesor y llegó hasta el mar desembocando y ocupando muchos de los terraplenes y terrazas que existen allí. Se observa una puerta de una vivienda que está todavía atorada y anegada por depósitos de flujo de detritos, los cuales se presentan bastante homogéneos internamente, sin estratificación y con el espesor ya señalado. Estos flujos provendrían de las Quebradas de El Toro y El Caliche probablemente.

c) Quebrada Jardín del Sur

Punto 4 Situado en la parte alta de la quebrada que baja hacia la villa Jardín del Sur.

Allí se ha construido un tranque con el objeto de desviar las aguas o flujos de detritos que bajen por la quebrada, llevándolos hacia un sector donde hay construcción de antenas y otras instalaciones de las fuerzas armadas, al parecer instalaciones de un radiofaro. Este tranque ha sido construido con una protección de enrocado y está obstruyendo el paso de flujos hacia abajo por la quebrada de Jardín del Sur: Tiene una altura de unos 8 a 10 metros e interceptaría en consecuencia una altura de flujo equivalente.

Desde este punto hacia abajo existen varias evidencias del paso de un flujo de detritos que debe haber tenido una altura de unos 2 metros. Este flujo ha dejado en este sector, sólo una delgada película de material arenoso; sin embargo mas abajo, ya en el **Punto 5**, da lugar a un depósito de unos 20 cm.

Punto 5 Situado en la Quebrada Jardín del Sur.

En este punto el flujo de detritos ha dejado un depósito de unos 20 cm, en parte también muy delgado y adosado, el cual está constituido por arenas de dunas, muy similares a las que se han descrito para la zona de Huáscar, es decir, granos redondeados, esmerilados, buena selección, compuesta por minerales de colores claros, félsicos y con un contenido también del orden del 20% de granos angulosos, equivalentes a una gravilla, con 2 a 6 mm de diámetro. Estos últimos corresponden

a granos, derivados de coluvios formados a partir de la formación La Negra.

Existen varias evidencias en la zona de los Saltos de pulimiento, tanto de la roca o como de la superficie de antiguos depósitos de flujos de detritos que constituyen la caja o cauce de la quebrada. Estos depósitos forman parte de un bolsón, posiblemente de edad terciaria o más nueva (cuaternario antiguo), constituido principalmente por depósitos del tipo flujos de detritos, el cual presenta además algunos niveles intercalados de coquinas, así como niveles de cenizas riolíticas bastante puras, del tipo denominado comúnmente "brillantina".

Este bolsón está apoyado sobre rocas fundamentales de la Formación La Negra, las que constituyen las bases sobre las cuales se ha fundado el estanque de agua potable que existe en la zona, así como la línea de un antiguo ferrocarril (De acuerdo a Semper y Michels ("La Industria del Salitre en Chile".1908), en Aguas Blancas se inauguró en 1903 el ferrocarril de trocha angosta (0,76 m) que unía la Oficina Pepita con la Caleta Coloso). Allí se aprecia que sobre los materiales de desecho del corte, se ha depositado un flujo de detritos antiguo, el cual ha sido a su vez cortado y recubierto, por el paso de un flujo de detritos más reciente. Este último corresponde al fenómeno del 18 de Junio de 1991 y habría sido antecedido al menos por un fenómeno similar, el cual tuvo lugar después de la construcción del mencionado ferrocarril, es decir con posterioridad al año 1903.

Los materiales de relleno artificial que constituyen el terraplén en el sector en que la antigua línea de FFCC cruzaba la quebrada de Jardín del Sur, están siendo afectados por deslizamientos que caen hacia la quebrada.

La altura que se ha determinado para el flujo de detritos del año 1991 en el sector situado aguas arriba del estanque del agua potable, a pesar de las pocas marcas existentes ya que corresponden a películas muy delgadas, es de unos 2 m sobre el fondo del valle.

Punto 6 Situado Aguas Abajo.

En este sector de la villa Jardín del Sur, se reconocen casas con daños que están ubicadas en el sector axial del cono. Estas casas no han tenido daños muy severos al parecer, pero si ingreso de barro y en algunos casos destrucciones de panderetas.

d) Quebrada Caliche

Punto 7 Este se ubica en el curso principal de la quebrada El Caliche Norte.

Presenta varios surcos o pequeños zanjones excavados dentro de los depósitos de un cono antiguo; los flujos de detritos corrieron al parecer por zanjas ya existentes, estas zanjas se deben haber profundizado un poco y de los depósitos de los flujos han quedado muy pocas evidencias, solamente una película muy delgada que indica que ellos corrieron con una altura de medio metro hasta unos 70 cm de alto con respecto al fondo de los zanjones.

La película remanente de los flujos está compuesta principalmente por depósitos de arena eólica, con un cierto contenido de arcilla que debe ser del orden de 10 a 20% y algunos clastos angulosos de La Negra; estos depósitos formados durante el fenómeno de Junio de 1991, están a su vez en una caja de material constituido por antiguos flujos de detritos, que en general no son muy diferentes a los observados en el caso del cono del Huáscar. Los depósitos del último flujo son arenosos con algunos niveles de gravas, eventualmente el material eólico es un poco menos redondeado, quizás un poco menos trabajado en esta parte que el de la zona del Huáscar y parece haber también más abundancia de material de La Negra de formas angulosas, pero en general se mantienen las condiciones de la región situada al sur de la Quebrada El Toro.

Todo el sector del cono de Quebrada El Caliche Norte corresponde a varios cursos chicos que al parecer dividieron el volumen del flujo de detritos y éste aparentemente no causó muchos daños, más bien habría provocado inundaciones en el sector, sin un gran poder de destrucción, debido a la dispersión que experimentaron los flujos en la desembocadura de esta quebrada.

Punto 8 Ubicado en el sector de la desembocadura de la Quebrada Caliche Sur en el plano de la ciudad.

Corresponde a un sector en que se ha construido una línea de edificios de mediana altura. Aquí se observa que el flujo de detritos ha quedado marcado en un poste, situado en el borde de la línea del FFCC, indicando una altura de unos 40 cm aproximadamente para el flujo. Este debe haber corrido en este sector bastante disperso también. Las obras de protección construidas recientemente, concentrarían los flujos desde las Quebradas Caliche Norte y Sur por medio de una canaleta y las dirigirían hacia una calle que corre en sentido este-oeste, desde aproximadamente el sector intermedio de ambas quebradas.

e) Quebrada Baquedano

Punto 9 Situado en la Quebrada Baquedano Norte.

Esta quebrada presenta una fuerte pendiente y se observa en ella, a medida que se asciende, que hay marcas de flujos de detritos que tienen desde 1 hasta 1,5 m de altura respecto al fondo del cauce; el depósito del flujo de detritos corresponde, en la parte más alta, cercana al Salto y dentro de él, a un agregado de clastos y granos de arena en proporción parecida, con algunos grandes bloques; en general predominan los tamaños entre unos 2 hasta unos 10 cm y eventualmente clastos mayores, los cuales deben ser en conjunto un 60% de depósitos y el resto corresponde eventualmente a una mezcla entre gravilla, de 2 a 4 y 8 mm. y arena. La arenas de origen eólico, son más bien escasas, correspondiendo estas mas bien a la fracción fina de coluvios, producidos por meteorización y erosión de rocas de la Formación La Negra.

En las laderas del relieve en este sector se advierte que hay rocas en mal estado y que es probable que haya habido, además del flujo de detritos, algunos derrumbes laterales, debido a la mala calidad de la roca, que se hayan sumado a ellos. Es probable que debido a la pendiente y al tipo de material, en el cual se advierte también una disminución del porcentaje de arcilla con respecto al de otras quebradas, el potencial destructivo de los flujos de detritos en este sector, haya sido superior a aquellos que se han visto más al sur.

En algunos de los parches de depósitos de flujo de detritos que se han observado en esta quebrada, se advierte que estos están constituidos por dos niveles o paquetes superpuestos; uno inferior que corresponde a un flujo de detritos mas antiguo, pero en todo caso de una edad posterior al año 80, debido a las fechas que hay en las basuras que se presentan en su techo; y sobre éste un depósito de flujo de detritos de 1 m de espesor aproximadamente, que correspondería al último fenómeno, es decir al del año 91. Ambos depósitos tienen igual aspecto y similares características, de tal forma que es difícil separarlos, a no ser por el nivel de basuras que se presenta en el techo del inferior. Sus características corresponden a las que ya se han descrito: el contenido de arcilla en general es bajo y no superaría el 5 a 10%, predominan entonces los clastos mayores a 4-5 mm, de composición lítica, los cuales provienen de la destrucción de rocas de la Formación La Negra, entre ellos algunas ocoita y el resto andesitas y otras variedades de este mismo tipo de roca.

Punto 10 Quebrada Baquedano.

En este punto se verifican las observaciones efectuadas en fotos aéreas, relativas al desarrollo en este sector de un fenómeno de ensanchamiento por erosión

experimentado por el zanjón que corta el cono a la salida al plano, así como la profundización y ensanchamiento de este mismo zanjón en el sector situado inmediatamente aguas abajo. Este fenómeno pudo haber sido ayudado también por el corte de una cañería matriz de agua potable que cruza esta quebrada, sin embargo el rol mas importante lo deben haber jugado las características que tuvo el flujo de detritos, en especial su violencia y el grosor de su granulometría.

En esta quebrada se ha construido, como protección para futuros flujos de detritos, una especie de bypass subterráneo, integrado por un tubo corrugado de más o menos 1,20 m de diámetro, al cual se le ha puesto una rejilla en su entrada superior. Este tubo pasa por bajo el camino, el cual ha sido reconstruido en este sector, para desaguar finalmente los flujos dentro del mismo zanjón, unos 150 a 200 m más abajo, desde donde se dirigirán hacia el sector bajo de la ciudad.

Punto 11 Situado en la Quebrada Baquedano Sur.

Aquí se advierte que los efectos destructivos de los flujos de detritos han sido poco importantes. Parece ser que hubieran echado abajo algunos muros de divisorias, en el interior de la hondonada donde está la escuela y provocado algunos apilamientos y rellenos de material. Las características de los materiales depositados por los flujos son similares a las descritas en el punto 9 de la Quebrada Baquedano Norte, sólo que aquí parecen ser mas bien gravillosos y haber tenido una menor violencia y volumen.

En esta quebrada se han construido también obras de protección de futuros flujos de detritos. Estas consisten en un tubo corrugado, sin protección de rejilla y con una mala sustentación de los bloques que revisten el canal que concentraría los flujos aguas arriba del tubo, de tal manera que algunos de estos bloques ya han caído hacia el canal, desde los bordes. Este tubo desagua directamente sobre el camino de circunvalación, desde donde se dirigirían los flujos hacia la calle Uribe. En el sector que se sitúa mas arriba que el estanque de agua potable, existe una cantera de roca desde donde se extrae material para luego chancarlo.

f) Quebrada El Toro

Punto 12 Situado en la zona de la desembocadura de la Quebrada El Toro.

Se observan aquí depósitos de flujos de detritos en la zona de instalaciones del regimiento Esmeralda, las cuales están cubiertas por aproximadamente unos 3 m de estos flujos. Este depósito corresponde a un agregado caótico de clastos angulosos, tamaños máximos hasta unos 30 a 40 cm, algunos superan este tamaño,

alcanzando hasta unos 80 cm., la mayor parte sin embargo se concentra entre los tamaños de 1 cm hasta unos 20 cm. Los clastos son de formas tabulares y están incluidos en una matriz correspondiente a una gravilla, la cual es abundante, prácticamente un 80 a 90% del depósito; integrada por granos de formas angulosas, composición lítica de procedencia de la Formación La Negra. La cantidad de arena de origen eólico presente en estos depósitos es relativamente pequeña, de alrededor del 10%. Se aprecia además un bajo contenido de arcilla, el cual se encuentra entre un 5 y un 10%. Estos depósitos mantienen una cierta regularidad, si bien son masivos, se ve sin embargo que los clastos, de formas tabulares de preferencia, se disponen en el sentido del flujo y aparentemente indicarían una relativa baja viscosidad de él. En su parte alta los depósitos presentan una granulometría mas fina, equivalente a una gravilla casi pura. Este nivel forma el techo del depósito, el cual debe tener unos 20 a 30 cm de espesor. En términos generales el depósito se presenta como un cuerpo masivo u homogéneo, con excepción de las separaciones y diferenciaciones que se han señalado.

En algunos sectores el flujo de detritos parece haber alcanzado un espesor mayor que 3 m, quizás unos 3 m y medio, afectando construcciones sólidas de muro con cadenas y pilares armados con fierro, eliminando prácticamente dos grandes galpones. Esta situación se presenta en el sector mas oriental de la hondonada, formada por una antigua zona de extracción de áridos para la construcción, la cual fue ocupada por las instalaciones del Regimiento Esmeralda.

Los rellenos en los cuales fue excavada la hondonada corresponden a depósitos similares a los del flujo de detritos de Junio de 1991. Estos rellenos constituyen un cono de depósitos mal estratificados, con capas no bien definidas y una estratificación interna sólo insinuada; los clastos son de formas angulosas, de diámetros promedios 30 cm y algunos bloques de hasta 50 a 60 cm.; también existen algunos excepcionalmente grandes, que alcanzan hasta 1 m de diámetro. La mayor parte de estos depósitos presenta un agregado de matriz gravillosa, tamaños entre 1 a 5-10 cm y un escaso porcentaje de unos 10 a 20% de arena eólica, con no más de un 5% de arcilla. En la parte oriental de la hondonada, todavía quedan algunos parches del último flujo de detritos, sobre pequeños montículos centrales no explotados. Se advierte además que el zanjón y salto por donde bajó uno de los flujos de detritos, correspondiente a la rama norte, presenta una película de los depósitos de dicho flujos, los cuales alcanzan una altura de 4 m sobre el fondo del zanjón, El ancho del salto por el cual habría descendido el flujo, es de unos 10 a 20 m.

Punto 13 Este punto de ubica en la zona de la desembocadura de la Quebrada El Toro Sur, en la hondonada ocupada por el Regimiento.

Aquí el flujo de detritos, por la fuerza de la bajada, labró, al parecer, un

angosto conducto en los depósitos de flujos antiguos que constituyen el cono; sin embargo, es probable que al menos en parte, éste conducto existiera ya, antes del último fenómeno. En este zanjón han quedado marcas del flujo de detritos que indican una altura de éste de unos 6 a 7 m. Este valor sería en todo caso mínimo puesto que habría que sumarle el relleno que hay en el fondo del zanjón, con lo cual la altura total del flujo de detritos podría llegar a unos 8 a 9 m.

Aguas arriba por este conducto o zanjón se ha construido recientemente un muro de piedras, el cual tiene como objeto interceptar y desviar hacia el sur, los flujos de fenómenos que se produzcan en el futuro y que bajen por dicho zanjón. Este muro impide penetrar para el interior del zanjón más allá de 20 a 25 m desde su desembocadura en la hondonada del Regimiento. El flujo de detritos ha dejado en todo caso, una delgada capa de arcilla que recubre estos sectores, por lo cual se puede reconocer su altura.

Punto 14 Este punto se sitúa en el área en que se encontraban los depósitos de municiones o polvorines del Regimiento.

Estas instalaciones fueron cubiertas y sus techos destruidos; aparecen en el interior tapados por a los menos unos 3 a 3,5 m de flujos de detritos, los cuales en este sector abierto deben haber corrido en forma de una lámina, antes de encauzarse y entrar a la hondonada en la que se ubica el Regimiento.

Inmediatamente aguas arriba de estos polvorines se sitúa el muro de contención descrito en el punto 13, el cual tiene como objeto contener y dirigir hacia el sur los flujos de detritos de fenómeno similares que se produzcan en el futuro. Este muro de piedra es de unos 4 a 5 m de alto y unos 6 m de ancho y está revestido aguas arriba, con bloques mayores de piedra caliza. Los bloques de caliza tienen un peso promedio de unas 2 Toneladas. El trazado del muro sigue en forma diagonal hacia el sur, derivando los flujos hacia la calle Bulnes, que corre en sentido este-oeste dentro de la Población Covadonga.

Punto 15 Este punto se ubica en el zanjón por medio del cual se continúa la Quebrada El Toro Sur, al abandonar los cerros de la Cordillera de la Costa.

Dentro de este zanjón ha corrido un flujo que por las marcas que han quedado, ha alcanzado mínimo 3 a 3,5 m de alto, sin considerar el relleno que ha quedado en el fondo del zanjón, es decir hay que sumar el espesor del material depositado al término del flujo de detritos. Este zanjón debe tener unos 8 a 10 m de ancho y ha sido rellenado en parte por un depósito de flujo de detritos, similar al que se ha observado más abajo, en el sector de la hondonada. Este depósito está constituido por cascajos

angulosos de 2 a 5 hasta 10 cm, con algunos de ellos de tamaño mayor, que pueden alcanzar 30 a 40 cm. Es un material que en superficie presenta clastos solamente, pero que más abajo presenta además una matriz de granos más finos; (2 mm a 1 cm) con un contenido de arena, posiblemente eólica escaso, (no más allá del 5 a 10%) así como de arcilla, la cual es inferior al 5%. Todo parece indicar un flujo relativamente fluido que ha corrido casi como un río y con poco transporte de arenas eólicas, lo cual es concordante con lo que se observó en las fotos aéreas, relativo a la cantidad de arenas eólicas que existen en la hoya hidrográfica. Estos flujos de detritos han formado extensos depósitos a lo largo del todo el cauce que se desarrolla aguas arriba.

Punto 16 Este punto se ubica en el sector en que el curso de la Quebrada El Toro Norte hace abandono de los cerros de la Cordillera de la Costa e ingresa en la zona apical del cono que ha formado con sus depósitos.

Aquí se advierte que la quebrada es bastante amplia y que al salir de ella los flujos han corrido en forma repartida o laminar. Los flujos han bajado aparentemente sin un gran caudal, comparados con los de la Quebrada El Toro Sur. En los bordes rocosos de la quebrada existen algunas canteras de extracción de rocas, utilizadas aparentemente durante la construcción del muro de contención.

g) Quebrada El Ancla

Punto 17 Este punto se sitúa en el área de la desembocadura de la Quebrada del Ancla.

En el sector del camino de circunvalación se reconoce una zona donde el paso de los flujos de detritos han provocado erosión. La quebrada presenta numerosas canteras de extracción de roca, así como de procesamiento, molienda y almacenamiento de material, del cual queda todavía mucho material fragmentario formando especies de conchales de piedra, similares a los que observaron en la zona de Quebrada Baquedano.

El flujo de detritos alcanzó aquí una altura de unos 2 a 2,5 m. sobre el fondo de la quebrada, el cual es en esta parte muy irregular. Algunos derrumbes se han producido aparentemente con posterioridad al paso de los flujos de detritos; es posible que haya habido también derrumbes contemporáneos al paso de los flujos. Los depósitos de estos flujos de detritos están recubriendo en algunos sectores los clastos derivados de la explotación de canteras, dando eso la pauta de que estos flujos son muy nuevos, es decir que corresponden al fenómeno de Junio de 1991. Los depósitos de los flujos de detritos se presentan en parches delgados, con espesores de 1 a 1,5 m promedio y están constituidos por clastos volcánicos oscuros y angulosos de la

Formación La Negra, de 30 cm. de diámetro promedio, junto a una matriz arenosa a gravillosa de la mismo composición, pero en un tamaño más fino. La matriz debe constituir un 40 a 50% del depósito y los clastos representan aproximadamente un 40%; hay además un porcentaje relativamente alto de arcilla, el cual se estima debe alcanzar un 10% del total del depósito. En la parte alta del depósito los clastos prácticamente desaparecen predominando la matriz, con escasos fragmentos mayores. Estos depósitos son mal estratificados y los clastos se disponen en una forma más que caótica de lo que se ve en otros sectores, lo cual indicaría aparentemente una mayor viscosidad de los flujos que los depositaron.

En el fondo de la quebrada hay muchos bloques de roca caídos por derrumbes de laderas, lo cual representa un alto riesgo en el caso de ocurrencia de fenómenos similares en el futuro, puesto que deja bloques de 1 a 4 m de diámetro, los cuales podrían ser retomados por los flujos futuros.

En la parte baja se han construido obras de protección similares a las de la Quebrada Baquedano; es decir se ha instalado un tubo que desemboca en la calle Riquelme, situada directamente aguas abajo de la quebrada. En la parte superior del tubo se ha puesto una malla, relativamente delgada, que impide el paso de clastos superiores a un cierto tamaño. La parte alta del tubo está conectada a dos muros laterales que configuran un sistema de embudo el cual canalizaría los flujos en el futuro. Existen algunas instalaciones de procesamiento de materiales para áridos, las cuales han sido destruidas al parecer por el flujo de detritos de 1991.

El sector de la quebrada que continúa aguas arriba presenta una fuerte pendiente. De esta forma se llega hasta el sector del Salto donde prácticamente se ha desarrollado solo erosión como consecuencia del paso de los flujos de detritos.

h) Quebrada Bonilla

Punto 18 Este punto se ubica en la Quebrada Bonilla.

En esta quebrada los flujos de detritos descendieron por un zanjón cortado en depósitos de antiguos flujos de detritos, con niveles de arenas de dunas intercalados, los cuales han construido un cono. Los flujos de detritos de Junio de 1991 alcanzaron dentro del zanjón alturas de 2 a 2,5 m y han dejado delgados parches de sedimento. Estos corresponden fundamentalmente a arena gruesa y gravillas, con granos de formas angulosas a redondeadas, los cuales podrían corresponder a una mezcla entre arenas de duna y gravillas derivadas de coluvios o actividad fluvial. Estos depósitos presentan un contenido de arcilla del orden del 10 a 20% y clastos angulosos aislados de 10 a 40 cm de diámetros. En general la composición de los granos y clastos, es

de tipo lítico y corresponde a material que se derivó de la Formación La Negra. El flujo de detritos formó unas lagunitas en este sector las cuales se infiltraron y/o evaporaron.

Existen obras de protección en base a muros laterales, los cuales forman una especie de embudo destinado a canalizar los flujos de detritos futuros por el fondo de la quebrada, llevándolos hacia una calle que corre en sentido este-oeste inmediatamente al sur del eje del cono.

i) Quebrada Farellones

Punto 19 Este punto se ubica en la Quebrada Farellones.

Aquí el material y situación es similar a la de la Quebrada Bonilla. Los depósitos de los flujos de detritos están constituidas en este caso por gravillas de granos angulosos, productos de la descomposición de rocas, sin aportes eólicos al parecer.

En esta quebrada se han construido obras de protección similares a las de la Quebrada Bonilla.

j) Quebrada Salar del Carmen

Punto 20 Este punto se ubica en la Quebrada del Salar del Carmen.

Los depósitos de flujos de detritos reconocidos aquí están constituidos por gravillas y gravas, con clastos de formas angulosas y proveniencia exclusivamente de la Formación La Negra. El tamaño de los fragmentos varía entre 4 y 5 mm, con algunos de hasta 10 cm, predominan sin embargo los clastos entre 5 y 10 mm, la matriz es arenosa y constituye aproximadamente un 20% de la muestra. De acuerdo a las marcas observadas, los flujos en esta parte deben haber alcanzado un mínimo de 1 m de altura sobre el piso de la quebrada. A este valor habría sin embargo que sumarle el relleno existente en el fondo de la quebrada, el cual puede ser de unos 20 a 30 cm o más eventualmente. De esta forma los flujos podrían haber alcanzado 1,20 m en promedio. Estos flujos corrieron a todo lo ancho de la quebrada en algunos tramos, mientras que en otros se remitieron a uno de los lados del camino.

k) Quebrada La Cadena

Punto 21 Este punto se ubica en la Quebrada La Cadena.

Aquí se advierte que los flujos de detritos alcanzaron una altura sobre el cauce

actual de aproximadamente unos 3 m. Los depósitos de estos flujos están constituidos principalmente por arenas gruesas, con granos líticos de tamaño 1 a 4 mm y formas angulosas. Presentan un contenido de arcilla del orden del 5 a 10%, así como clastos aislados, que representan un 5% del depósito. Estos clastos son angulosos y proceden de la caída lateral de material proveniente de la explotación de canteras en la zona. El punto 21 se ubica en la zona de confluencia con otra quebrada menor, lo cual ha provocado la depositación de los flujos de detritos, con formación de una lámina de arcilla en su parte superior. Los depósitos son masivos internamente y se presentan en parches delgados, de unos 40 a 50 cm, con valores hasta 1 m como máximo. Estos parches se disponen sobre depósitos antiguos de flujos de detritos. En algunos sectores los granos llegan hasta unos 6 a 7 mm de diámetro, son todos angulosos, tabulares e irregulares en forma. En la parte superior se desarrolla además un nivel mas fino.

Punto 22 Quebrada La Cadena.

Presenta material similar al descrito en el punto anterior, que indica una altura de los flujos de detritos, de unos 2,5 m sobre el nivel actual del relleno de la quebrada. Se reconocen zonas de "remanso", con depositación del tipo "slackwater sedimentation". Los depósitos de flujos de detritos presentan clastos escasos, aislados, angulosos que constituyen de 5 a 20% del depósito. Aquí se explotaban gravas un poco más gruesas que corresponden a flujos de detritos más antiguos, las cuales presentan clastos de 2 y 5 cm tamaño promedio.

Hay obras de contención de tipo embudo que dirigen los flujos hacia una calle de la población El Salto y luego hacia abajo, en dirección a ferrocarriles.

l) Quebrada La Negra

Punto 23 Punto situado en la Quebrada La Negra.

Allí existen parches aislados, adosados a la roca, de material correspondiente al último flujo de detritos. Estos están integrados por arenas eólicas, con contenidos variables de clastos; de tal manera que en algunos sectores son arenas puras limpias, con un poco de sal y en otros presentan abundantes clastos angulosos, de la Formación La Negra. Las arenas eólicas corresponden a material llevado desde la costa hacia el interior por el viento y luego arrastrado por los flujos de detritos hacia la costa nuevamente. Estas arenas están compuestas principalmente por granos feldespáticos y cuarzosos, similares a las que se observaron en la zona de la Quebrada Huáscar. Estas arenas provienen de la erosión de rocas graníticas que afloran en el sector costero. La altura que alcanzó el flujo de detritos en esta parte, debe ser del orden de

los 3 m sobre el nivel base de rellenos de la quebrada, el cual está muy disturbado en estos momentos. El parche adosado es bastante delgado y presenta unos 20 a 30 cm en promedio de espesor; sus depósitos presentan un color oscuro, lo que les da el aspecto como si estuvieran húmedos, pero al parecer esto es efecto de la sal que retiene humedad y les da una cierta cohesión también.

Punto 24 En el sector de la desembocadura de la Quebrada La Negra en el mar.

Aquí el material está muy mezclado por movimiento de maquinarias en el fondo de la quebrada. El material del flujo de detritos original, corresponde aparentemente a una mezcla, en partes casi iguales, de arenas eólicas y gravillas, acarreadas por el flujo, no se sabe si separadamente o en conjunto. Este depósito es muy similar al material que se ha visto en el punto anterior, sólo que hay más gravilla en este sector. La gravilla presenta una granulometría de 2 a 6 mm.

5.5 Comentarios Finales

Las fuentes principales de materiales movilizados por los flujos de detritos corresponden por una parte a depósitos coluviales y por la otra a depósitos eólicos.

Los depósitos coluviales se presentan en forma de mantos superficiales o de conos de deyección, dispuestos en los sectores medios e inferiores de los relieves de la zona, relleno de preferencia el fondo de los valles y quebradas. Estos depósitos constituyen importantes apilamientos, de origen local principalmente gravitatorio, los cuales se sitúan en el faldeo inferior y al pié de los relieves importantes de la zona. Se trata de depósitos diamícticos, tamaño de grano muy variado, que incluyen desde partículas finas hasta bloques, formas angulosas, bastante caóticos y sin estratificación interna, de composición simple, directamente relacionada con la constitución de la roca de la cual se originan por procesos de intemperización. En este caso la composición corresponde básicamente a lavas andesíticas oscuras de la Formación La Negra. Junto a estos depósitos coluviales que podemos considerar in situ, se encuentran los depósitos coluviales que han experimentado un removilización por antiguos fenómenos de flujos de detritos.

Los depósitos eólicos por su parte, están constituidos por granos de arena (2-1/16 mm), los cuales presentan una buena selección en tamaño y forma redondeadas. Están compuestos principalmente por granos claros de cuarzo y feldespatos, con un pequeño contenido de ferromagnesianos y granos líticos de la Formación La Negra. Los granos que constituyen estos depósitos se han formado en la zona costera por erosión y meteorización de rocas graníticas, siendo luego llevados

por el viento hacia el interior para dar lugar a mantos de arenas eólicas en las laderas del relieve y a acumulaciones importantes en el fondo de las quebradas, cubriendo eventualmente depósitos coluviales más antiguos.

El estudio de la zona ha permitido establecer que en el área situada al sur de la Quebrada El Toro, la fuente principal, casi exclusiva, de materiales disponibles para ser acarreados por los flujos de detritos corresponde a arenas eólicas, que constituyen un manto casi continuo en el relieve, rellenando además las depresiones y fondos de las quebradas. En el área situada al norte de la Quebrada El Toro por su parte, la fuente principal y prácticamente exclusiva, corresponde a depósitos coluviales y de antiguas corrientes de detritos o coluvios removidos, que han quedado en las laderas y fondos de las quebradas. Esta diferencia en la fuente y tipos de materiales se manifiesta claramente en los remanentes de los flujos de detritos generados durante el fenómeno de Junio de 1991, que han quedado tanto al sur como al norte de la Quebrada El Toro. Esta última presenta una situación mixta, puesto que si bien las laderas y fondo de la quebrada en su curso medio e inferior, están constituidas por material coluvial in situ y removilizado, en su curso superior, la ladera sur y el fondo de la quebrada, están ocupados por arenas eólicas que derraman desde la zona de la Quebrada El Caliche.

Además de la dos fuentes de materiales señaladas, ha existido en algunas quebradas un importante aporte de detritos que corresponden a material removido de antiguos flujos de detritos, durante obras de extracción de áridos para la construcción, así como de desechos de canteras de roca. Esta fuente ha tenido y tiene importancia en el caso de las Quebradas La Cadena, del Ancla y Baquedano Norte y Sur. En el caso de estas dos últimas, ha habido al parecer además fenómenos de remoción en masa, del tipo derrumbe o deslizamientos desde puntos ubicados en las laderas de las quebradas.

Las características de los materiales disponibles para ser movilizados por los flujos de detritos, ha tenido, junto al tamaño y superficie de cada hoyo, un papel importante en la determinación del comportamiento destructivo y nivel de daños provocados por las diferentes corrientes de detritos. En ese sentido se estima que desde el punto de vista del material disponible para ser movilizado, el mayor riesgo de daño lo han representado las quebradas situadas al norte de la Quebrada El Toro, y entre éstas, las Quebradas La Cadena, del Ancla y Baquedano Norte y Sur, especialmente estas tres últimas, en las cuales, como se ha señalado, el fenómeno parece haberse complicado con procesos de remoción en masa.

