

**APENDICE II**

**ANTECEDENTES SOBRE CORRIENTES DE DETRITOS EN CHILE**

## APENDICE II

	Págs.
1. Antecedentes Generales . . . . .	1
2. El aluvión del Colorado de 1987 . . . . .	2
3. Las inundaciones de Agua y Barro de Punta Arenas de 1990 . . . . .	3
4. El aluvión de Antofagasta de 1991 (Depto. de Ingeniería Civil, U. de Chile, 1993) . . . . .	6
5. Los aluviones de la Zona Central ocurridos en Mayo de 1993 . . . . .	11

## APENDICE II

### ANTECEDENTES SOBRE CORRIENTES DE DETRITOS EN CHILE.

Preparado por Luis Ayala Riquelme  
Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile

#### 1. ANTECEDENTES GENERALES.

Aparte de la información que se ha obtenido recientemente con ocasión de las corrientes que afectaron la zona central el 3 de Mayo de 1993 y ciudad de Antofagasta y zonas vecinas el 18 de Junio de 1991, existen algunos antecedentes proporcionados por diversos estudios de carácter fundamentalmente geológico que resulta interesante dejar consignados en el presente informe. Entre ellos destacan los trabajos de Segerstrom (1965), Golubev (1973) y Abele (1984).

Segerstrom (1965), analiza el origen de los depósitos del Cuaternario que rellenan los valles y cubren los interfluvios de la zona árida y desértica de la hoya del río Copiapó, III Región de Atacama.

Su análisis abarca la gran variedad de movimientos en masa que se aprecian en esta zona, que van desde los flujos de tierra y glaciares de roca en la cabecera de la hoya, hasta las corrientes de barro y deslizamientos detríticos en la zona inferior de la cuenca. En relación a las corrientes de barro, distingue tres tipos que son reconocibles dependiendo de la intensidad de tormentas de corta duración que las producen o del medio en que se desarrollan:

- 1) Corrientes que recubren los valles
- 2) Corrientes generadoras de abanicos aluviales
- 3) Corrientes líquidas en depósitos de arenas eólicas

Las corrientes que recubren los valles están asociadas a masas líquido-sólidas, de relativamente baja viscosidad, que escurren cuando la lluvia origina suficiente escorrentía para saturarlas y facilitar su desplazamiento gravitacional, sin que se produzca flujo líquido. El material constituyente de estas corrientes de barro abarca desde limos hasta gravilla. Por su parte, las corrientes que forman abanicos resultan de la confluencia y superposición de numerosos hilillos de lodo que van escurriendo a través de los años desde las laderas, desembocando en un tributario que descarga en el valle, durante lluvias cortas. Señala como ejemplo, el caso de la quebrada Cerrillos. Finalmente, los flujos líquidos que se originan por lluvias intensas, muy ocasionales, generan corrientes de lodo que arrastran principalmente arenas depositadas por el viento en laderas y hondonadas, como lo apreció el autor en la ladera norte del cerro Bramador.

El tema de las avalanchas y corrientes de barro en Chile es abordado y descrito a partir de sus características principales por Golubev (1973). Señala que si bien estos fenómenos figuran entre los más destructivos, y a pesar de las víctimas y daños que causan, no existen a la fecha de realizado el trabajo, estudios especiales al respecto. En relación a las corrientes de barro, divide y zonifica el territorio en regiones homogéneas para la formación de ellas, atendiendo a indicadores tales como la cantidad de corrientes de barro por unidad de superficie o su frecuencia estimada para algunos barrancos específicos. En la II Región, desde Taltal o Tocopilla define una franja costera que corresponde a una región con "avalanchas y corrientes de barro probables".

Señala para la Cordillera de la Costa, entre los 20 y 27° de Latitud Sur: "Este sector tiene un clima tropical desértico, relieve regularmente desmembrado, ausencia de escurrimiento superficial y vegetación. La importancia de las acumulaciones detríticas y la inclinación de las pendientes occidentales de la Cordillera de la Costa, hacen suponer una alta posibilidad de corrientes de barro. Pero la ausencia de lluvias intensas inhibe totalmente este peligro. Recordemos, sin embargo, que justamente debajo de laderas potencialmente peligrosas, están los principales puertos del Norte Grande, como Antofagasta, Iquique, Tocopilla, etc."

Los fenómenos relacionados con el movimiento en masa de sedimentos producidos en los Andes Chilenos, también analizados desde un punto de vista geológico son presentados por Abele (1984). El trabajo abarca los aspectos más básicos que tienen que ver con el origen y génesis de los derrumbes de montañas y morrenas, poniendo énfasis en las características que permiten distinguirlos.

En cuanto a los aspectos hidrometeorológicos e hidráulicos de las corrientes de detritos y barro, existe relativamente escasa información en nuestra país y por lo mismo el tema en lo que toca a estos aspectos es prácticamente desconocido.

## **2. EL ALUVION DEL COLORADO DE 1987.**

Con ocasión del aluvión (corriente de barro) ocurrida el 29 de Noviembre de 1987 en la hoy superior del río Colorado, se reunió y analizó alguna información relacionada con los aspectos hidrológicos e hidráulicos del fenómeno (AC Ingenieros Consultores, 1988).

La corriente de detritos con carácter de catastrófica (sturztrom) se originó en la cabecera de la cuenca del estero Parraguirre, afluente del río Colorado, en un sector localizado a una cota cercana a los 4.700 msnm y a unos 30 km de la zona denominada El Alfafal. El fenómeno fue provocado por un violento deslizamiento de la ladera oriental del estero Parraguirre, en una zona que presenta un desnivel con el cauce del estero antes mencionado, de aproximadamente 1200 m.

Se presume que el fenómeno tuvo su causa primera en el aumento inusual del contenido de agua y presión de poros de una masa rocosa, altamente meteorizada y fracturada, debido a un rápido proceso de deshielo originado por las altas temperaturas del aire que se dieron en este período y/o a la excepcional acumulación de nieve del año 1987 que fue la segunda más importante de los últimos 50 años (Peña y Klohn, 1990). En efecto, la isoterma 0°C se situó en los días próximos a la ocurrencia de la corriente de barro, alrededor de la cota 5.100 msnm lo cual contrasta marcadamente con su ubicación normal de verano que es inferior a los 4.200 msnm.

La corriente se habría generado al impactar violentamente el piso del valle, la masa desprendida de la ladera, y licuar y pulverizar la nieve y detritos. Esta masa habría ido incorporando en su recorrido, cantidades adicionales de agua y sedimentos. Según los antecedentes disponibles, los primeros 14 km del recorrido se desarrollaron en el estrecho valle del Parraguire, con una pendiente del 7%, como una corriente de unos 10.000 m<sup>3</sup>/s y velocidades mayores a 15 m/s. Al incorporarse en este tramo abundante agua y material fino, el flujo se habría transformado hacia aguas abajo en hiperconcentrado. En la confluencia con el Colorado, la granulometría de los depósitos presentó un 50% de grava, 20% de arena y 30% de limos y arcilla.

La corriente se habría manifestado en el curso medio del río Colorado como dos ondas sucesivas, siendo la segunda, la mayor y más destructiva. Las alturas que alcanzó el flujo fueron cercanas a 30 m en el tramo superior donde el cauce del río está más encajonado y las velocidades de 8 a 10 m/s. La concentración del flujo habría sido del orden del 60% en volumen, considerando un caudal peak posiblemente superior a 2.000 m<sup>3</sup>/s y un volumen de agua de unos 24 millones de m<sup>3</sup>.

### **3. LAS INUNDACIONES DE AGUA Y BARRO DE PUNTA ARENAS DE 1990.**

#### **a) Antecedentes Generales**

La ciudad de Punta Arenas ha sido afectada desde sus inicios por las crecidas del Río Las Minas, uniéndose en el último tiempo, debido a la expansión urbana de ésta hacia el norte, también aquellas del estero Llau-Llau.

El río Las Minas desemboca en el estrecho de Magallanes, después de atravesar la ciudad de oeste a este en sus últimos 3 kilómetros de recorrido. Debido a los frecuentes problemas de inundación que se presentan en las zonas urbanas, en el año 1950 se construyó una canalización que permitió controlar el paso del agua por la ciudad, pero ella ha resultado ser insuficiente frente al alto volumen de sedimentos que transporta el río y que se depositan en su tramo inferior durante crecidas.

Se intentó dar solución a este problema mediante la construcción, en la parte

alta de la cuenca, de obras interceptoras del sedimento arrastrado. Estas obras operaron durante un período de aproximadamente 10 a 12 años, con relativa eficacia. Sin embargo, durante la ocurrencia de la crecida del 6 al 11 de Mayo de 1990, éstas colapsaron provocando un agravamiento de la situación, debido a que se sumó al volumen de agua producido normalmente en la cuenca, el retenido en estas obras.

Lo anterior se tradujo en un embancamiento generalizado del cauce a través de Punta Arenas, provocando desbordes de agua y lodo hacia los sectores vecinos, esencialmente la zona urbana de la ciudad, con desastrosas consecuencias.

## **b) Origen y Características del Fenómeno**

La cuenca del río Las Minas hasta su desembocadura en el estrecho de Magallanes tiene un área de 58,2 km<sup>2</sup>, con una altitud máxima en su divisoria de las aguas de 620 m.s.n.m.

Las crecidas de mayor magnitud son de origen netamente pluvial estando asociadas con tormentas cuya temperatura en Punta Arenas es del orden de 4 a 5°C en el período Mayo-Septiembre y de alrededor de 10°C en el período Octubre-Abril, lo que determina que la cuenca pluvial aportante sea el total de su área.

La crecida de Mayo de 1990, causante de las últimas inundaciones de la ciudad, alcanzó un caudal peak, de agua y lodo, del orden de 130 m<sup>3</sup>/s el día 10/05/90 a las 6:00 AM en la estación fluviométrica ubicada aguas arriba de la bocatoma de ESMAG. Dicho valor, descontando un 10 a 20% del total por efecto del lodo, corresponde a una crecida con período de retorno de 100 a 200 años. Al respecto, es importante señalar que el colapso que experimentaron durante la crecida los 13 diques construidos en la cabecera del río por CONAF (entre el km 7 y 12 a partir de la desembocadura), significó el aporte de una considerable cantidad de sedimento hacia aguas abajo, siendo necesario remover del orden de 90.000 m<sup>3</sup> de material en el sector canalizado del río después de la crecida.

La cuenca se encuentra frente a un proceso de evolución en su morfología, asociada fundamental a las zonas media y altas del valle, originando procesos erosivos y de remoción en masa bastante activos y dinámicos, lo que se traduce en el aporte de considerables cantidades de sedimento al río.

Los procesos erosivos de tipo masivo, se originan en las laderas adyacentes al cauce, en todo el tramo media del valle, zona donde se encuentran las gargantas más abruptas y profundas del cauce. Este tipo de remoción se puede producir asociado con movimientos en golpe de cuchara a basculamiento, y además como desgarramientos en laderas.

Los movimientos en báscula se caracterizan por el hundimiento del terreno y un

movimiento en golpe de cuchara de todo el macizo, generando la remoción de laderas completas y contribuyendo con la fracción más importante, al material que es transportado hacia la parte baja del cauce.

El otro tipo de remoción en masa que ocurre en el valle, pero de menor envergadura que el anterior, son los desgarramientos que se producen en forma de un deslizamiento aislado o de varios desprendimientos consecutivos que actúan sólo sobre parte de las laderas.

Estos procesos de deslizamiento, están íntimamente ligados a la formación geológica existente en la zona, ya que éstos se producen en el miembro superior de la Formación Loreto, constituida, por alternancia de bancos de arenisca, arcillolita carbonosas y limolitas algo arenosas.

Otro proceso erosivo característico del sistema es el asociado a la dinámica fluvial del cauce, producto fundamentalmente de la incisión del talweg en el valle. Ella se origina en un proceso de socavación vertical en forma regresiva, en busca de un nuevo perfil de equilibrio natural entre todos los puntos de la red hidrográfica, produciendo desprendimiento en los taludes abruptos y deslizamientos.

### **c) Daños Ocasionados por la Inundación de Mayo de 1990**

Luego de ocurrida la crecida, la Secretaría Regional de Planificación y Coordinación solicitó a las Direcciones Regionales la evaluación de los daños que había provocado dicho fenómeno. Según la información proporcionado el monto total de los daños alcanzó a \$ 1.620 millones.

Por otra parte, en forma posterior a esta evaluación se debió realizar la limpieza del cauce del río Las Minas en el radio urbano, con el fin de retirar todo el material sedimentado en la canalización. Los volúmenes de material removido y valor de la faena fueron respectivamente, 56.000 m<sup>3</sup> y \$ 49 millones.

También posteriormente a la primera evaluación técnica del Servicio de Vivienda y Urbanismo se cuantificaron los costos de reposición de calles y aceras dañadas por la inundación, los que ascendieron a la suma de \$23.000.000.

Finalmente, a raíz de la crecida, ESMAG se vió en la necesidad de evaluar dos nuevos proyectos para sus atravesos de las tuberías del Barrio Industrial y la aducción Santos Mardones, los que en total representan un valor de \$1.905.000.000.

### **c) Obras de Defensas y Mejoramiento del Cauce.**

De acuerdo con el estudio de diagnóstico efectuando para el Ministerio de Obras

Públicas (AC Ingenieros Consultores, 1990), en el río Las Minas resulta necesario proyectar y construir un conjunto numeroso de obras para dar la seguridad mínima a la ciudad de Punta Arenas frente a la ocurrencia de crecidas de mayor magnitud y de avalanchas de lodo producidas por las remociones masivas de material desde la zona alta de la cuenca, como la sucedida de Mayo de 1990.

Estas obras incluyen la construcción de diques retardadores de sedimento en la zona de cabecera del cauce (5 km) encauzamientos del río en la zona media (3 km), mejoramiento de la canalización existente (2 km) y reemplazo de algunos puentes. El monto total de las inversiones para ejecutar estas obras ha sido estimado en alrededor de \$ 2.000.000.000 a Octubre de 1990, con una inversión de primera prioridad (inmediata) cercana al 50% de dicho monto.

Según la propagación definida por el Ministerio de Obras Públicas, durante el año 1991 deben quedar elaborados los proyectos de estas obras para proceder a su materialización a partir del próximo año.

#### **4. EL ALUVION DE ANTOFAGASTA DE 1991 (Departamento de Ingeniería Civil, U de Chile, 1993).**

##### **a) Introducción.**

La ciudad de Antofagasta se ubica sobre la planicie costera, en una zona relativamente estrecha que se expande hacia Mejillones y cuyo margen oriental limita con la cordillera de La Costa, la cual presenta aquí fuertes pendientes y grandes alturas.

En este sector, la planicie litoral es un plano inclinado de breve desarrollo que se extiende entre el nivel del mar y la cota 200 m.s.n.m. con un ancho promedio del orden de los 2,5 km. De acuerdo con su pendiente puede ser clasificada en tres sectores de mar a cordillera (Van Sint Jan et al. 1992):

- i) Desde el nivel del mar hasta los 25 m.s.n.m. (pendiente ~4%)
- ii) Desde los 25 m.s.n.m. hasta los 100 m.s.n.m. (pendiente ~9%)
- iii) Desde los 100 m.s.n.m. hasta los 200 m.s.n.m. (pendiente ~17% a 18%)

El farellón costero presenta pendientes que en general son superiores a los 45°.

Este marco geográfico ha conducido a un desarrollo longitudinal de la ciudad, como resultado de lo cual son numerosas las quebradas que desembocan a lo largo de su extensión.



La aridez que presentan las cuencas y quebradas de la zona se traduce en una ausencia casi absoluta de vegetación que retenga u obstaculice el escurrimiento del agua y su capacidad para erosionar los suelos.

A lo anterior se agrega las fuertes pendientes que poseen las quebradas. Estas condiciones son favorables para la generación de fenómenos de movimiento en masa, que pueden ser gatillados por lluvias intensas. Prueba de ello es la estructura geológica sobre lo cual se encuentra cimentada Antofagasta, conformada en su gran mayoría por depósitos aluvionales que cubren la roca ígnea basal.

#### **b) Antecedentes Históricos sobre Aluviones en la II Región.**

La ocurrencia de corrientes de detritos en la II Región durante el presente siglo, ha quedado registrada a través de las crónicas periodísticas de la época. Esta información ha sido consignada por Araya (1992), Karzulovic et al. (1991) y Skorin Ingenieros (1991). En base a los antecedentes de estos estudios se hace a continuación una breve descripción de las tormentas más importantes, anteriores al 18 de junio de 1991, que han afectado la zona y que han producido algún tipo de movimiento en masa.

El 19 de Agosto de 1930 se produjo una "violentísima lluvia" que azotó la ciudad de Antofagasta registrándose una precipitación de 27,1 mm con una duración aproximada de 4,5 horas. Numerosas casas quedaron completamente inundadas y se produjo un "aluvión" causado por la presencia del temporal del ferrocarril que circula por la parte alta de la ciudad, el cual actuó a modo de "dique".

El 24 de Junio de 1940 se produjo una tormenta que afectó principalmente a las ciudades de Antofagasta y Tocopilla, siendo esta última la más afectada. Las precipitaciones alcanzaron 17 mm con una duración aproximada de 6 a 8 horas. En Antofagasta no se registraron mayores desgracias ni aluviones. Sólo la línea férrea sufrió cortes a causa de "aluviones". En Tocopilla, sin embargo, la situación fue grave. Se produjeron "avalanchas" por las quebradas El Salto y La Beneficiadora que arrasaron las viviendas a su paso. Como consecuencia de ello, 45 personas resultaron muertas, y no menos de 30 heridos. Los registros de la época consignan que una roca de 4 toneladas fue arrastrada una distancia de varios kilómetros.

El 23 de Mayo de 1982 se produjeron numerosos aluviones en las diversas quebradas del sector sur de la ciudad que cortaron en varias partes el camino a Coloso. En el sector de la quebrada El Huáscar, numerosas viviendas fueron inundadas hasta el nivel del antepecho de ventanas. Skorin Ingenieros (1991) señala que en dicha zona se estimó una magnitud de lluvia de 20 mm, siendo 5,5 mm, el máximo valor registrado en las estaciones de la ciudad. Se consigna una duración de 2 horas este evento.

El 7 de junio de 1984 se produjo un "aluvión" en Antofagasta proveniente de una cuenca superior el cual atravesó el poblado Baquedano llegando hasta la parte baja de Mantos Blancos.

El 28 de julio de 1987 la ciudad de Antofagasta estuvo expuesta una precipitación que alcanzó los 22,8 mm (Universidad del Norte) durante un período de aproximadamente 8 horas. Se produjeron numerosos cortes en la vía férrea. En la quebrada La Negra se estimó que escurrieron más de 200.000 m<sup>3</sup> de agua y que el caudal máximo alcanzó los 16 m<sup>3</sup>/s (esta información proviene del informe de Skorin Ingenieros, no consignándose su origen).

En el informe de Araya (1992), se presenta un análisis más detallado sobre el aluvión de junio de 1940 que afectó a Tocopilla. Mediante el uso de la fórmula racional y suponiendo un coeficiente de escorrentía de 0.5, se hace una estimación de los caudales de escorrentía y de barro, para lo cual se supone una composición de 81% de agua y 19% de sólido (relación estimada a partir del volumen de escorrentía y del volumen de sólido removido de la ciudad).

### **c) Características del Fenómeno del 18/06/91**

Covarrubias et al. (1991) describen los acontecimientos acaecidos como sigue "Durante la madrugada del día martes 18 de junio entre las 00:30 y las 3:30 hrs, la ciudad de Antofagasta se vio afectada por un temporal de lluvia y viento que alcanzó magnitudes de intensidad variable en el transcurso de dichas horas. Ráfagas de viento entre 45 y 55 km/hr, registradas a las 00:45 y 01:30 hrs, fueron los momentos más álgidos y violentos de este fenómeno climático".

Posteriormente describen la evolución de las precipitaciones durante la tormenta. Los autores señalan que cerca de las 00:00 hr la lluvia se manifestó como una simple neblina, a las 00:30 hr se transformó una garúa, en tanto que a las 01:00 hr, se había convertido en una lluvia registrándose 0,5 mm de agua caída. Para las 02:00 hrs las precipitaciones alcanzaban los 5 mm. Torrentes de agua y barro inundaban la ciudad y los primeros "aluviones" ya se habían manifestado. Aproximadamente a las 03:00 hrs, la lluvia tuvo un nuevo cambio de intensidad cesando cerca de las 03:30 hrs.

De acuerdo a lo expuesto por estos autores, el temporal fue el resultado de la presencia de un sistema frontal desarrollado por una masa de aire polar, más el efecto acumulativo de una corriente de "chorro de alturas", que se incorporó al fenómeno anterior. Por otra parte, la presencia de un viento tibio que sopló en dirección Norte - Sur, terminó por destruir la capa de inversión térmica, característica de la zona costera, lo cual permitió el ascenso de las masas de aire a niveles más altos, generándose nubes con un mayor desarrollo vertical, con lo que se incrementó su capacidad para producir precipitaciones.

En la zona se dispone de información pluviométrica correspondiente a las estaciones de la Universidad Católica del Norte (U.C.N), Cerro Moreno, Barrio Industrial (DGA) y Portezuelo aunque ésta última dejó de funcionar en 1968. No se cuenta con datos de pluviógrafos, lo que ha obligado a los diversos autores a estimar las intensidades de lluvia en forma aproximada en cada estación.

En relación a las precipitaciones observadas durante la tormenta (42 mm en la U.C.N, 14 mm en Cerro Moreno y 17 mm en la DGA), ellas presentaron diferencias que a juicio de Karzulovic et al. (1991), son producto de un error de medición. Sin embargo, Covarrubias et al. (1991) las atribuyen a un efecto de tipo orográfico, indicando que mientras Cerro Moreno se ubica en una planicie extensa, protegida hacia el poniente por los cerros del extremo sur de la península de Mejillones, y con una cordillera de La Costa con alturas máximas de 500 m.s.n.m, la estación UCN se localiza en plena ciudad donde la planicie es estrecha y la cordillera de La Costa presenta altura de 700 a 800 m.s.n.m. Sin embargo, el efecto orográfico, señalado por Covarrubias et al., no es capaz de explicar las diferencias detectadas entre pluviómetros de la DGA y la UCN, ambos ubicados en un entorno geográfico similar. Por otra parte, en el informe de Skorin Ingenieros (1991), la precipitación observada en la UCN fue contrastada con el agua acumulada en una piscina del sector, obteniéndose valores similares.

Tanto en el informe de Skorin Ingenieros (1991) como en el de Van Sint Jan et al. (1992), se determinó una precipitación efectiva considerando el efecto del viento, aunque por diferentes métodos. Ambos obtienen sin embargo, resultados similares, llegando a que la precipitación real en la UCN fue de 58 mm y de 54,6 mm, respectivamente.

La mayoría de las quebradas que Antofagasta interceptó, descargaron abundante material sólido en las principales avenidas de la ciudad. Las estimaciones hechas por Skorin Ingenieros (1991) y Karzulovic et al.(1991) sitúan este valor en unos 400.000 m<sup>3</sup> de material removido de las calles. Esta cifra según el segundo estudio, se elevaría hasta unos 700.000 m<sup>3</sup>, al considerar el material que sedimentó en los sitios eriazos y otras áreas no viales. En base a estos antecedentes se estimó la concentración media de los aluviones, expresada como la razón entre el volumen de sólido y el volumen de escorrentía. En el estudio de Skorin Ingenieros, también se determina la concentración de sólidos, pero en sus cálculos se utiliza el volumen total de agua caída, no siendo considerada la infiltración.

Covarrubias et al. (1991) y Araya (1992) hacen una descripción visual del material aluvional, destacando que su composición es principalmente a base de material fino (ceniza volcánica), y que sólo en forma esporádica se observó la presencia de gravas y gravillas. Bolones y material grueso sólo se observaron en las quebradas Baquedano, La Chimba, Salar del Carmen y El Ancla; sin embargo, se estima que éstos provenían de ripieras existentes en el lugar. Otra excepción la

constituye la quebrada La Negra, a la altura de las vertientes, donde se observó material grueso y bloques, posiblemente proveniente de obras de mampostería.

Por otra parte, Van Sint Jan et al. (1992) estimaron que el material grueso que el aluvión arrastró inicialmente, sedimentó al alcanzar la salida de la zona montañosa, donde las pendientes son menores.

Karzulovic et al. (1991) califican este aluvión como atípico, principalmente por su composición a base de materiales finos, pues en general según ellos estos se caracterizan por transportar enormes bloques y muchos bolones. Además señalan que la razón entre el volumen de agua y el de sólidos fue alta (3:2) en contraste con lo observado en los aluviones clásicos (1:3 a 1:4). Por último se hace notar que el rango de velocidad de avance estuvo entre los 15 y 30 km/hr, mientras que los aluviones típicos suelen moverse a velocidades que fluctúan entre los 40 y 120 km/hr. En este informe no se explica qué se entiende por "aluviones clásicos" o "típicos".

Dada la gravedad de los sucesos ocurridos el 18 de junio de 1991, todos los autores presentan información, con mayor o menor grado de detalle, sobre las pérdidas de vidas humanas y perjuicios materiales que ocasionaron las corrientes de barro que afectaron la ciudad de Antofagasta.

Los datos consignados en el informe de Van Sint Jan (1992), indican que hubo 101 víctimas fatales, 4.737 viviendas dañadas (402 completamente destruidas), afectando a más de 21.000 personas.

En el informe de Karzulovic et al. (1991), se presenta una tabla con las diferentes quebradas donde se produjeron las corrientes. En ella se indican los perjuicios y daños calificándolos como: "muy importantes", "importantes", "menores" y "sin consecuencia", pero no se explica mayormente la naturaleza de ellos. Un análisis más detallado lo realizan Covarrubias et al. (1991), quienes describen los perjuicios provocados en las principales quebradas.

Covarrubias et al. (1991) además analizan el efecto que tuvo la rotura de matrices de agua potable. A su juicio en la quebrada Baquedano este hecho tuvo graves consecuencias, pues se produjeron nuevos deslizamientos de tierra. Sin embargo, los autores concluyen, que en términos del caudal, el aporte de agua producto de la rotura de las tuberías fue despreciable.

En el informe de Van Sint Jan et al. (1992) se hace también una detallada descripción de los daños que se produjeron en cada quebrada. Según estiman los autores, los mayores daños fueron producidos en las quebradas Salar del Carmen y La Cadena.

## **5. LOS ALUVIONES DE LA ZONA CENTRAL OCURRIDOS EN MAYO DE 1993.**

### **a) Situación Sinóptica**

La situación meteorológica en la zona central del país durante los días 2 y 3 de Mayo de 1993 estuvo asociada a la presencia de una banda frontal cálida generada por la reactivación de la banda de inestabilidad post-frontal de un sistema frío que ya se había desplazado al Este de la costa Atlántica del Cono Sur.

La banda frontal que provocó las precipitaciones, tuvo características muy particulares y no obedece al patrón estándar de los sistemas frontales que predominan en esta zona del país en esta época del año. En efecto, ella tomó primero un desplazamiento horizontal de Oeste a Este el que luego se modificó por efectos orográficos del continente, adquiriendo la dirección Norte-Sur debido al debilitamiento y desplazamiento de los sistemas anticiclónicos hacia el Nor-Oeste así como a la posición de los sistemas migratorios del extremo Sur. Sus características cálidas extraordinarias se vieron reflejadas en un ascenso notorio de la isoterma 0°C que en la zona central superó los 4.000 m.s.n.m. entre las 20 hrs del día 1 y las 20 hrs del día 2 de Mayo, descendiendo luego a más de 3.800 m.s.n.m. el día 3 a las 8 de la mañana. El promedio del mes de Mayo, se ubica cerca de los 3.350 m.s.n.m.

Las características cálidas del sistema dieron origen a una precipitación convectiva que se manifestó en chubascos de alta intensidad, favorecida por el relieve de la cordillera.

### **b) Caracterización Regional de las Precipitaciones**

A nivel regional, el monto de las precipitaciones registradas entre el 1° de Enero y el 30 de Abril del año 1993 en diversas estaciones ubicadas en la zona comprendida entre los ríos Aconcagua y Rapel, son predominantemente superiores a los promedios históricos calculados entre 1960 y 1990 en esas mismas estaciones.

Los excesos se concentran en las cuencas de los ríos Aconcagua y Maipo, superando un 200% de superavit. En cambio, en la cuenca del río Rapel los excesos son inferiores fluctuando entre el 30 y 200%. En Rancagua que es la única estación con información ubicada a una latitud similar a la de la zona de estudio, el superavit alcanza al 189%, en tanto en El Yeso, que es la única estación comparable en altitud al área de Coya Alto, el superavit es de 246%.

Se concluye de lo anteriormente expuesto, que las condiciones antecedentes al temporal del 2 y 3 de Mayo de 1993 en la zona central del país, se caracterizaron por un significativo superavit de precipitaciones en relación al período de 30 años precedente hasta 1990. En la cuenca del río Coya este superavit puede ser estimado

en alrededor del 70% sobre el promedio.

En relación a las precipitaciones de los dos días del temporal, la información reunida demuestra que prácticamente en todas las estaciones cayó lluvia, salvo en La Disputada (3540 m.s.n.m.) en que se informó agua-nieve en ciertos intervalos de tiempo.

El mapa de isoyetas del evento, muestra que las precipitaciones de mayor magnitud ocurrieron en las cuencas de los ríos Coya y Cachapoal, experimentando una disminución paulatina hacia el Norte y un descenso más significativo hacia la zona costera.

### **c) Línea de Nieves**

Los antecedentes sobre las temperaturas medias del aire el día 3 de Mayo, muestran que en los distintos puntos de la zona central ellas estuvieron comprendidas entre los 6.4°C y los 9.2°C para alturas de 2475 m.s.n.m. (El Yeso) y 2.000 m.s.n.m. (Sewell), respectivamente. Por su parte, el radiosondeo de Quinteros mostró que el día 2 de Mayo la Isotherma 0°C se ubicó a los 4029 m.s.n.m. y a los 3861 m.s.n.m. el día siguiente a la misma hora.

En la zona andina la línea de nieves fluctuó el día 3 de Mayo entre los 3350 m.s.n.m. y los 3450 m.s.n.m.

### **c) Antecedentes Hidrológicos e Hidráulicos**

Se dispone de evaluaciones hidrológicas-hidráulicas en las hoya alta del río Coya, afluente al Cachapoal en la VI Región y en la quebrada Macul en Santiago.

Las características del fenómeno observado en la zona andina de la VI Región son sólo comparables al aluvión ocurrido el día 28/05/91, no existiendo antecedentes de eventos similares durante por lo menos los últimos 60 años.

En esta zona, el aluvión ocurrió entre aproximadamente las 9 y 13 horas del día 3 de Mayo, después de un temporal de lluvia que se inició el día 2 de Mayo precipitando un total de 30,9 mm, de los cuales el 84% cayó entre los 20 y 24 horas de ese día. El día 3 la lluvia alcanzó un valor de 93.5 mm, concentrándose el 67% de ella entre las 8 y 13 horas de esde día.

Los caudales totales máximos han sido estimados en alrededor de 110 m<sup>3</sup>/s en la junta de los ríos Coya y Teniente, con una concentración volumétrica de sólidos de alrededor del 16%. El volumen total de sedimentos depositados alcanzó en este sector

alrededor de 450.000 m<sup>3</sup>, de los cuales el 49% se depositó en el río Coya, el 46% en el sector de La Junta, y el 5% restante en el río Teniente.

En la quebrada Macul, el caudal máximo de la corriente de detritos del 3 de Mayo de 1993, habría alcanzado unos 80 m<sup>3</sup>/s con una concentración volumétrica de sólidos del orden de un 38%. El volumen de material sólido depositado se ha estimado en unos 840.000 m<sup>3</sup>.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**



## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

### A. CATASTROFES NATURALES, RIESGOS GEOFISICOS, PREVENCION Y MITIGACION

Ayala, L., 1984, "Sobre los Problemas de Erosión y Sedimentación", Curso El Recurso Agua y su Manejo. Escuela de Temporada 1984 - Departamento de Extensión, Dirección General Académica - Universidad de Chile. pp. 32.

Hays, W.W. (Edit), 1981, "Facing Geologic and Hydrologic Hazards. Earth Science Considerations Geological Survey Professional Paper 1240-B, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., pp. 108.

Naciones Unidas, 1977, "Directrices para la Prevención y Regulación de las Pérdidas Países a las Inundaciones en los Países en Desarrollo", Departamento de Asuntos Económicos y Sociales - Recursos Naturales/Serie del Agua N°5, pp. 215.

Wold Jr., R.L and Jochim, C.L., 1989, "Landsline Loss Reduction: a Guide for State and Local Government Planning", FEMA-Federal Emergency Management Agency, Earthquake Hazards Reduction Series 52, pp. 50.

### B. CASUISTICA DE FLUJOS DE DETRITOS

Abele, 1984, "Derrumbes de Montañas y Morrenas en los Andes Chilenos", Revista de Geografía Norte Grande, 11, pp. 17-30

Abele, G., 1992, "El Lahar Tinguiririca: Su Significado entre los Lahares Chilenos", Informaciones Geográficas Chile, 29 pp. 21-34.

A.C. Ingenieros Consultores Ltda, 1988, "Análisis Preliminar de las Consecuencias del Aluvión del Río Colorado del 29/11/1987, Proyecto Hidroeléctrico Alfalfal. Compañía Chilena de Generación Hidroeléctrica S.A, Enero, pp.42.

Beverage, J.P and Culbertson, J.K, 1964, "Hyperconcentrations of Suspended Sediment", Journal of the Hydraulics Division, Proceedings ASCE, Vol.90, N°HY6, Nov.

Bradley, J.B and McCutcheon, S.C, "The Effects of High Sediment Concentration on Transport Processes and Flow Phenomena", International Symposium on Erosion, Debris Flow and Disaster Prevention, September 3-5, 1985, Tsukuba, Japan pp. 219-225.

Cai Ze-Yi, 1992, "A Preliminary Study of the Relationship Between Heavy Rainfall and Serious Debris Flows", Erosion, Debris Flows and Environment in Mountain Regions, Proceedings of the Chengdu Symposium, July 1992, IAHS, Publ. N°209, 1992 pp. 201-205.

Carrillo, A., 1986, "Grandes Desprendimientos y Derrumbes en Los Andes Peruanos", Taller Mitigación de Peligros Debidos a Eventos Naturales Extremos en América, Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayaguez, pp. 1-8.

Castro, M., Mothes, P., Hidalgo, X. y Sánchez, A., 1992, "Uso del Modelo HEC-1 para el Estudio de los Lahares del Volcán Cotopaxi", XV Congreso Latinoamericano de Hidráulica, AIH-IAHR, Cartagena de Indias, Colombia, pp. 435-444.

Costa, J.E., 1988, "Rheologic, Geomorphic and Sedimentologic Differentiation of Water Floods, Hyperconcentrate Flows and Debris Flows" in Chapt 7, Flood Geomorphology edited by Baker, Kochel y Patton, John Wiley and Sons, Inc., New York, pp. 113-122.

Costa, J.E y Wiecaorek, 1987, "Debris Flows/Avalanches: Process, Recognition and Mitigation", Reviews in Engineering Geology, Vol VII, The Geological Society of America, Boulder, Colorado.

Coussot, P., Leonov, A.I y Pian, J.M., 1992, "Rheological Modelling and Peculiar Properties of Some Debris Flows". Erosion, Debris Flows and Environment in Mountain Regions, Proceedings of the Chengdu Symposium, July, IAHS, Publ. N°209, pp. 207-216.

Deeb, A. y Ordóñez J., 1993, "Análisis de Riesgo Hidráulico Asociado con los Lahares del Volcán Nevado del Ruiz", XII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Sao Paulo, Brasil, pp.

Golubev, G., 1973, "Avalanchas y Corrientes de Barro en Chile", pp. 31-74.

Gori U. y Tonelli, G., 1992, "Flow Slide Movement in Clayey Terrains of the Italian Northern Apennines". Erosion, Debris Flows and Environment in Mountain Regions, Proceedings of the Chengdu Symposium, July, IAHS, Publ. N°209, 1992 pp. 227-236.

Jong C.de, 1992, "A Catastrophic Flood/Multiple Debris Flow in a Confined Mountain Stream: an Example from Schmiedlaine, Southern Germany". Erosion, Debris Flows and Environment in Mountain Regions, Proceedings of the Chengdu Symposium, July, IAHS, Publ. N°209, pp. 237-247.

Kang Zhichenz y Wan Yuzhang, 1992, "A Study of the Relationship Between Deposit Density and Debris Flow Type". Erosion, Debris Flows and Environment in Mountain Regions, Proceedings of the Chengdu Symposium, July, IAHS, Publ. N°209, pp. 247-252.

Mac Phail, D.D., 1973, "The Geomorphology of the Río Teno Lahar, Central Chile", The Geographical Reviews, Oct., pp. 517-532.

Maranguric, C., Moreno, H. y Varela, J., 1979, "Observaciones sobre los Depósitos de Relleno de la Depresión Longitudinal de Chile entre los Ríos Tinguiririca y Maule", Segundo Congreso Geológico Chileno, Agosto 6-11, Arica, pp. 129-139.

Marden M., Phillips, C.J, Jackson R.J, Zhang, X.B and Ekanayake, J., 1992, "A Decade of Earthflow Research and Interrelated Studies in the North Island of New Zealand". Erosion, Debris Flows and Environment in Mountain Regions, Proceedings of the Chengdu Symposium, July, IAHS, Publ. N°209, pp. 236-271.

Mirinova E.M y Yablonskiy, V.V., 1992, "A Mathematical Model of Shear Debris Flow". Erosion, Debris Flows and Environment in Mountain Regions, Proceedings of the Chengdu Symposium, July, IAHS, Publ. N°209, pp. 273-282.

Maranguric, C., 1974, "The Lahar Provoked by the Eruption of the Villarrica Volcano on December 1971", International Symposium Volcanology, Santiago, pp. 48.

Naranjo, J. y Varela, J., 1993, "Flujos de Detrito y Barro que Afectaron el Sector Oriente de Santiago el 3 de Mayo de 1993", Departamento de Geología Universidad de Chile-Servicio de Geología y Minería, Julio.

Pierson, T.C., 1985, "Initiation and Flow Behaviour of the 1980 Pine creek and Muddy River Lahars, Mount St. Helenes, Washington, Geological Society of America Bulletin, V. 96, pp. 1056-1069.

Salikhova D.H y Liahorvskaya L.F., 1992, "Mudflood Activity in the Foothills of Central Asia". Erosion, Debris Flows and Environment in Mountain Regions, Proceedings of the Chengdu Symposium, July, IAHS, Publ. N°209, pp. 283-288.

Segerstrom, K., 1965 "Mass Wastage in North-Central Chile", Sedimentary Geology and Sedimentation, pp. 120-140.

Strunk, H., 1992, "Reconstructing Debris Flow Frequency in Southern Alps Back to AD 1500 using Dendrogeomorphological Analysis". Erosion, Debris Flows and Environment in Mountain Regions, Proceedings of the Chengdu Symposium, July, IAHS, Publ. N°209, pp. 299-396.

Takahashi, T, 1991, "Debris Flow", International Association for Hydraulic Research, IAHR - AIRH, Monograph Series, A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield.

USGS, WRD, 1986, "Bibliographic Information for Mount St. Helens Studies and for Volcano Hazards in California, Sept. 12, pp. 1-15.

Van Dine, F.E, 1984 "Debris Flows and Debris Torrents in Southern Canadian Cordillera", 37<sup>th</sup> Canadian Geotechnical Conference, Toronto, Ontario, Sept.

Wang Ying y Zhov Bifan, 1992, "Conversion Mechanisms of Gravelly Soil to Viscous Flow". Erosion, Debris Flows and Environment in Mountain Regions, Proceedings of the Chengdu Symposium, July 1992, IAHS, Publ. N°209, pp. 315-323.

Wang Zuo-Shu, 1992, "Meteorological Conditions Associated with Severe Regional Debris Flows in China". Erosion, Debris Flows and Environment in Mountain Regions, Proceedings of the Chengdu Symposium, July 1992, IAHS, Publ. N°209, pp. 325-336.

Wei Wenshou y Gao Cunhai, 1992, "Studies of Ice-Snow Melt Debris Flows in the Western Tian Shan Mountains, China". Erosion, Debris Flows and Environment in Mountain Regions, Proceedings of the Chengdu Symposium, July, IAHS, Publ. N°209, pp. 329-336.

Whipple, K.X., 1992, "Predicting Debris Runout and Deposition on Fans; The Importance of the Flow Hydrograph". Erosion, Debris Flows and Environment in Mountain Regions, Proceedings of the Chengdu Symposium, July, IAHS, Publ. N°209, pp. 337-345.

Yablonskiy, V.V, Tishchenko, A.S, Deziron, A.V y Boeva, E.G, 1992, "Debris Flows in the Ukraine: Some Results of Field and Experimental Studies". Erosion, Debris Flows and Environment in Mountain Regions, Proceedings of the Chengdu Symposium, July 1992, IAHS, Publ. N°209, pp. 361-367.

### C. PROCESOS, CUANTIFICACION Y MODELACION

Bradley, J.B and Mc Cutcheon, S.C., 1985, "The Effects of High Sediment Concentration on Transport Processes and Flow Phenomena", International Symposium on Erosión, Debris Flow and Disaster Prevention, September 3-5, Tsukuba, Japan pp. 219-225.

Costa, J.E, 1988, "Rheologic, Geomorphic and Sedimentologic Differentiation of

Water Floods, Hyperconcentrate Flows and Debris Flows" in Chapt 7, Flood Geomorphology edited by Baker, Kochel y Patton, John Wiley and Sons, Inc., New York, pp. 113-122.

Costa, J.E y Wiecaorek, 1987, "Debris Flows/Avalanches: Process, Recognition and Mitigation", Reviews in Engineering Geology, Vol VII, The Geological Society of America, Boulder, Colorado.

Coussot, P., Leonov, A.I y Pian, J.M. 1992, "Rheological Modelling and Peculiar Properties of Some Debris Flows". Erosión, pp. 207-216.

Davies, T.R.H, 1990, "Debris-Flow Surges-Experimental Simulation", Journal of Hydrology (N.Z), Vol. 29, N°1 pp. 18-46.

Davies, T.R, Phillips. C.J, Pearce, A.Jy Zhang, X.B. 1992, "Debris Flow Behaviour - An Integrated Overview". Erosion, Debris Flows and Environment in Mountain Regions, Proceedings of the Chengdu Symposium, July 1992, IAHS, Publ. N°209, pp. 217-225.

Davies, T.R, Phillips, C.J, Pearce, A.J, Zhang Xin Bao, 1991, "New Aspects of Debris Flow Behaviour", Japan- US Workshop on Snow Avalanche, Landslides, Debris Flow Prediction and Control, Sept. 30-Oct. 2, Tsukuba, Japan.

Enos, P, 1977, "Flow Regimes in Debris Flow", Sedimentology, 24, pp. 133-142.

Fink, J.H; Malin, M.C.; D'Alli, R.E.; Greely, R., 1981, "Rheological Propeties of Mudflows Associated with the Spring 1980 Eruptions of Mount St Helens Volcano, Washington", Geophysical Research Letters, Vol.8 N°1, Jan, pp. 43-46.

Fisher, R.V. and Mattinson, J.M, 1968, "Wheeler Gorge Turbidite-Conglomerate Series, California; Inverse Grading", Journal of Sedimentary Petrology Vol.38, pp.1013-1023.

Guy, H., 1971, "Flood Flow Downstream form Slide", Journal of the Hydraulic Division, Proceeding of the ASCE, Vol.97, N°HY4, April.

Hampton, M.A, 1975, "Competence of Fine - Grained Debris Flows", Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 45, N°4, pp. 834-844.

Hampton, M.A, 1979, "Bouyancy in Debris Flows", Journal of Sedimentary Petrology, Vol.49, N°3, pp. 0753-0758.

Hanes, D.M and Inman, F.L, 1985, "Observations of Rapidly Flowing Granular - Fluid Matrials", Journal of Fluid Mechanics, Vol.150, pp. 357-380.

Hays, W.W. (Editor), 1981, "Facing Geologic and Hydrologic Hazards. Earth-Science Considerations", Geological Survey Professional Paper 1240-B, U.S Government Printing Office, Washington, D.C.

Hollingsworth, R. and Kovacs, G.S., 1981, "Soil Slumps and Debris Flows: Prediction and Protection", Bulletin of the Association of Engineering Geologists, Vol. XVIII, N°1, pp. 17-28.

Hsu, K., 1975, "Catastrophic Debris Streams (Sturzstroms) Generated by Rockfalls", Geological Society of America Bulletin, Vol.86, pp. 129-140, Jan.

Hungr O., Morgan, G.C and Kellerhals, R., 1984, "Quantitative Analysis of Debris Torrent Hazards for Design of Remedial Measures", Canadian Geotechnical Journal, Vol.21, pp. 663-677.

Jenkins, J.T and Savage, S.B., 1983 "A Theory for the Rapid Flow of Identical Smooth Nearly Elastic Particles", Journal of Fluid Mechanics, Vol.130, pp. 187-202.

Johnson, P.A., Mc Cuen, R.H and Hromadka T.V., 1991, "Magnitude and Frequency of Debris Flows", Journal of Hydrology, 123, pp. 69-82.

Johnson, A.M., 1970 "Physical Processes in Geology", Freeman, Cooper, San Francisco, pp. 577.

Kang Zhichenz y Wan Yuzhang., 1992, "A Study of the Relationship Between Deposit Density and Debris Flow Type". Erosion pp. 247-252.

McCuen, R.H., Ayyub, B.M. and Hromadka, T.V., 1990 "Risk of Debris-Basin Failure", Journal of Water Resources Planning and Management Proceedings ASCE, Vol.116, N°4, July/August.

Naylor, M.A., 1980 "The origin of Inverse Grading in Muddy Debris Flow Deposits - A Review", Journal of Sedimentary Petrology, Vol.50, N°4, pp. 1111-1116.

Pierson, T.C and Scott, K.M., 1985, "Downstream Dilution of a Lahar: Transition From Debris Flow to Hyperconcentrated Streamflow", Water Resources Research, Vol.21, N°10, pp. 1511-1524, Oct.

Rickenmann, D., 1991, "Hyperconcentrated Flow and Sedimente Transport at Steep Slopes", Journal of Hydraulic Engineering, Proceed ASCE, Vol. 117, N°11, Nov.

Shen, H and Achermann, N.L., 1982, "Constitutive Relationships for Fluid-Solid Mixtures", Journal of the Engineering Mechanics Division, Proceedings ASCE, Vol.108, N°EM5, Oct.

Takahashi, T., 1980, "Debris Flow on Prismatic Open Channel", Journal of the the Hydraulics Division, Proceedings ASCE, Vol.106, N°HY3, March, pp. 381-396.

Takahashi, T., 1981, "Debris Flow", Annual Reviews in Fluid Mechanics, Vol. 13, pp. 57-77.

Takahashi, T., 1991, "Debris Flow", IAHR-AIRH, Monograph Series, AA Balkema/Rotterdam/Bnvokfield/1991.

Varnes, D.J., 1978, "Slope Movement Types and Processes" In Landslides; Analysis and Control, Edited by R.L. Schuster and R.J. Krizck. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, D.C., Special Report 176, pp. 11-33.

Wang Ying y Zhov Bifan, 1992, "Conversion Mechanism of Gravelly Soil to Viscous Flow". Erosión pp. 315-323.

Whipple, K.X., 1992, "Predicting Debris Runout and Deposition on Fans; The Importance of the Flow Hydrograph". Erosión pp. 337-345.

Zhu Pengcheng, 1992, "A Discussion on the Velocity of Debris Flow". Erosion, Debris Flows and Environment in Mountain Regions, Proceedings of the Chengdu Symposium, July 1992, IAHS, Publ. N°209, pp. 369-374.

#### D. ANTECEDENTES SOBRE FLUJOS DE BARRO EN LA SEGUNDA REGION.

Araya, V., 1992, "Riesgo de Aluviones Perjudiciales en las Quebradas de la Cordillera de La Costa de la Segunda Región", Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica del Norte, pp. 404.

Covarrubias, A., Misetic, V. y Araya, V., 1991, "El Aluvión del 18 de Junio desde el Punto de Vista de la Hidrología", Departamento Telec MOP Antofagasta, pp. 28.

Karzulovic, J., Arenas, M. y Araya, V., 1991, "Los Aluviones del 18 de Junio de 1991 en Antofagasta", Ingeniería y Geotecnia Ltda., pp. 30.

Skorin Ingenieros, 1991, "Estudios Aluvionales en Antofagasta, Proposición de Soluciones Urbanísticas", Skorin Ingenieros, pp. 126.

Skorin Ingenieros, 1992, "Daños y Amenazas posibles sobre Vías del F.A.C.A.B., Incidencia del Nuevo Camino en Quebrada La Negra", Skorin Ingenieros, pp. 13.

Van Sint Jan, M., Talloni, P., Aracena, I. y Gallardo, A., 1992, "Aluvión en Antofagasta el 18 de Junio de 1991", Escuela de Ingeniería, Universidad Católica de

Chile, pp. 37.

#### E. ANTECEDENTES METEOROLOGICOS

DMC, 1991: 'Hoja de Ruta Nacional Norte'. Confeccionada por la Dirección Meteorológica de Chile.

Kondrat'yev, K., 1965, "Actinometry", N.A.S.A., pp. 373-374. Washington. EE.UU.

NOAA, 1991, "Climate Diagnostics Bulletin: June 1991. Near Real-Time Analyses".

Rutllant, J., 1985, "Aspectos Generales de El Niño 1982-83", Investigación Pesquera, Vol. 32, 5-7.

Rutllant, J. y Fuenzalida H., 1991, "Synoptic Aspects of the Central Chile Rainfall Variability Associated with the Southern Oscillation", Int. Journal of Climatology, Vol. 11, 63-76.

Rutllant, J., P. Aceituno, A. Montecinos, 1992, "Análisis Comparativo de Aspectos Atmosféricos de El Niño/Osilación de Sur de 1982-83, 1986-87 y 1991-92", Investigación Pesquera. IFOP., CHILE.

Uccellini, L. y Johnson D., 1980, "The Coupling of Upper and Lower Tropospheric Jet Streaks and Implications for the Development of Severe Convective Storms", Mon. Wea. Rev., Vol. 107, 682-703.