

### **CAPITULO 3**

**ANTECEDENTES SOBRE EL FENOMENO OCURRIDO**

**EL 18 DE JUNIO DE 1991 EN ANTOFAGASTA**

### **3.1 Introducción**

Los acontecimientos acaecidos el 18 de junio de 1991, como consecuencia de las corrientes de lodo y piedra que afectaron a la II Región y particularmente a la ciudad de Antofagasta, motivaron la realización de una serie de estudios orientados a abordar diversos aspectos del fenómeno ocurrido. Las condiciones meteorológicas, la evolución de los daños, la estimación de caudales y las recomendaciones que surgieron para aminorar los perjuicios que pudiesen causar futuros "aluviones" fueron algunos de los aspectos tratados en los diferentes estudios.

El presente capítulo tiene por objetivo sintetizar la recopilación hecha de los antecedentes aportados por los diversos estudios, así como presentar las metodologías empleadas, en ellas, para abordar y cuantificar el fenómeno en sus diversos aspectos.

### **3.2 Antecedentes sobre el Area de Estudio**

#### **3.2.1 Aspectos Generales**

La Segunda Región se localiza en el extremo norte del país, entre los 20° 56' y 26° 05' de latitud sur, y entre el océano Pacífico y los 67° 00' de longitud Oeste. Abarca una superficie aproximada de 126.000 km<sup>2</sup> con una extensión litoral del orden de 500 km y un ancho continental promedio de 250 km desde la cordillera de Los Andes hasta la línea costera. Dentro de este marco se ubica la ciudad de Antofagasta, capital regional, sobre la cual se centra el presente estudio.

En la Fig 3.1 se presenta un esquema de la región con su principales ciudades.

#### **3.2.2 Clima**

El clima de la región, al igual que la mayoría de las características meteorológicas de ésta, es variable siguiendo una dirección oeste-este. En la zona costera la presencia del Anticiclón de Pacífico, provoca la existencia casi constante de abundantes altas a lo largo de todo el año, generándose un clima desértico con nublados abundantes.

Hacia el interior, en la zona de la Depresión Intermedia se desarrolla un clima de tipo desértico normal, caracterizado por fuertes oscilaciones térmicas diarias y carencia absoluta de precipitaciones, lo cual se traduce en aridez casi total y fuertes vientos.

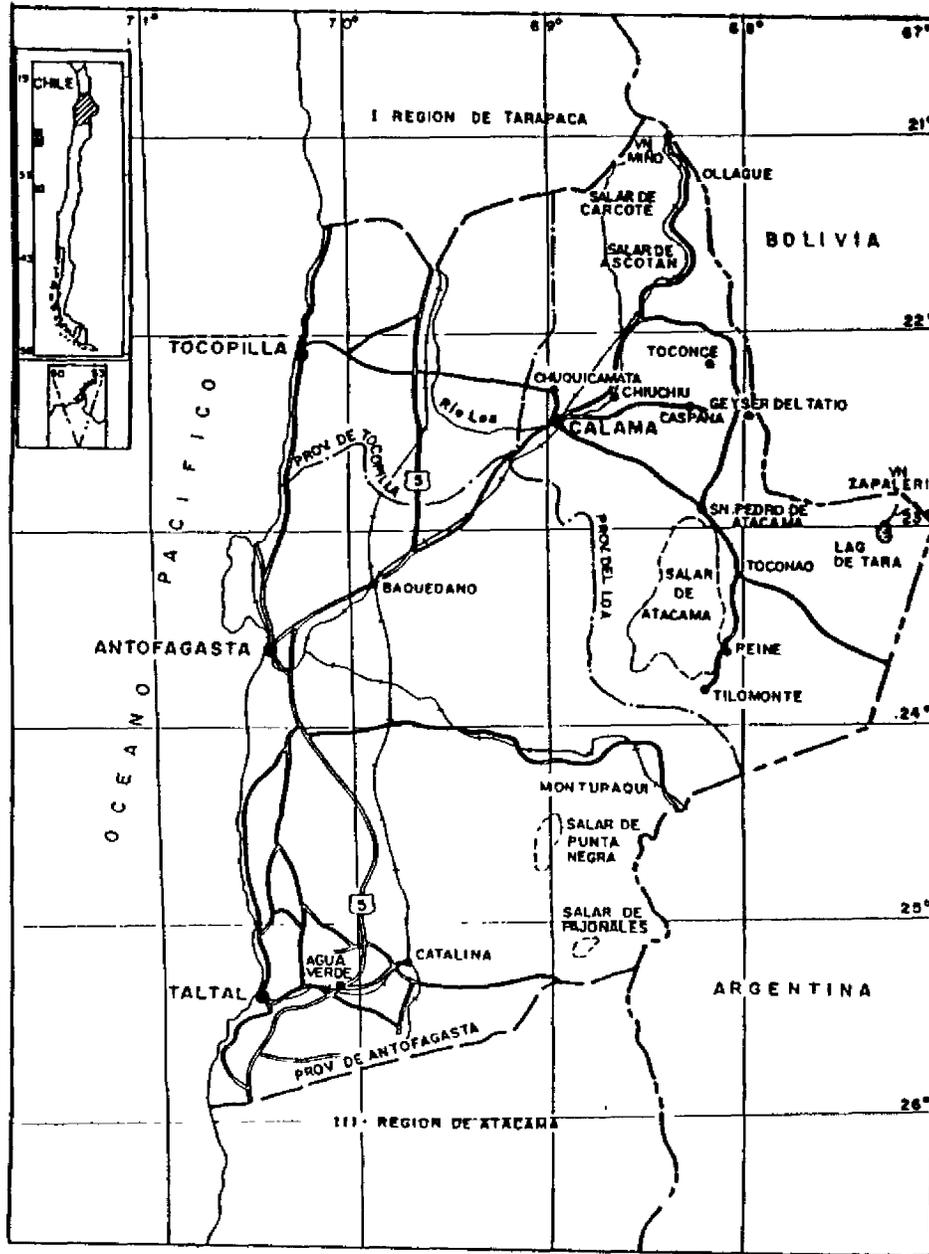


Fig 3.1 Plano de Ubicación General de la Zona de Estudio

Ya en la cordillera de Los Andes, sobre los 3.700 m.s.n.m se presenta un clima de estepa de altura, que se caracteriza por precipitaciones estivales y bajas temperaturas que alcanzan valores inferiores a 0°C.

### 3.2.3 Relieve

Al igual que el clima, el relieve presenta una notable variabilidad desde la costa hacia la cordillera de Los Andes.

Entre la línea de la costa y el macizo costero, se desarrolla la Planicie Costera que es una faja de territorio llano, y poco escarpado. Presenta una pendiente media cercana a los 22° en dirección a la Costa, con un ancho medio de 4 km, Su desarrollo longitudinal es ocasionalmente interrumpido por la intrusión de la cordillera de la Costa que cae abruptamente al mar a modo de acantilados.

La cordillera de La Costa, que se ubica inmediatamente al este de la Planicie Costera, es una barrera natural que incide fuertemente en las características climáticas de la región. Este cordón montañoso está formado básicamente por rocas basales. Sus mayores alturas se alcanzan en el tramo Antofagasta-Taltal con un valor medio de 1800 m.s.n.m, pero con cumbres que sobrepasan los 2500 m.s.n.m. Su ancho fluctúa entre los 40 y 80 km, con un valor medio de 55 km.

Más hacia el interior, existe una superficie muy irregular constituida por cerros bajos y áreas planiformes, conocidas como Depresión Intermedia, que tiene un ancho medio del orden de 45 km y que en su extensión abarca la Pampa del Tamarugal y el Desierto de Atacama.

A partir del margen oriental de la Depresión Intermedia se desarrolla una cadena montañosa conocida como cordillera del Medio o de Domeyko, con un ancho medio cercano a los 38 km cuyas alturas bordean los 5000 m.s.n.m.

Al este de la cordillera de Domeyko se encuentra una zona de depresión alta, de tipo altiplánico que posee numerosas cuencas interiores o cerradas y cuya área con drenaje abierto al océano Pacífico es la hoya del río Loa.

Por último, y abarcando hasta el límite con Argentina, se encuentra la cordillera de Los Andes con numerosos volcanes, aún activos, y con alturas que bordean los 6.000 m.s.n.m.

### 3.2.4 Antofagasta

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.

## 3.3 Estudios sobre la Tormenta y Corrientes de Detritos del 18 de Junio de 1991

### 3.3.1 Antecedentes Históricos

La ocurrencia histórica 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). En la Tabla 3.1 se presentan estos resultados.

**TABLA 3.1 CAUDALES DEL TEMPORAL DE 1940 EN TOCOPILLA SEGUN ARAYA (1992)**

Quebrada	$Q_{liq}$ m <sup>3</sup> /s	$Q_{tot}$ m <sup>3</sup> /s
Despreciada	3,63	4,48
Barriles	29,80	36,80
Beneficiadora	0,87	1,07
El Salto	16,00	19,76

### 3.3.2 Características del Fenómeno del 18/06/91

#### a) Aspectos Meteorológicos

Este aspecto es abordado por Covarrubias et al. (1991), quienes 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 efectada 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.

b) Aspecto Hidrológicos e Hidráulicos

b.1) Precipitaciones

En la zona en estudio, 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.

b.2) Caudales

Las diferencias entre los caudales calculados por los diferentes autores, no sólo obedece a hipótesis de cálculo diferentes, sino también a los valores de precipitación utilizados. En el cuadro de la Tabla 3.2 se resume las hipótesis básicas planteados el cálculo del caudal y de la precipitación efectiva en los distintos informes revisados.

**TABLA 3.2 HIPOTESIS DE CALCULO PARA LOS CAUDALES SEGUN DIVERSOS ESTUDIOS**

AUTOR	CALCULO CAUDAL	CALCULO PRECIPITACION
Karzulovic	Fórmula Racional con coef. escorrentía $c=0.5$	Precipitaciones registradas en Estaciones Cerro Moreno y U.C.N. en forma separada
Covarrubias	$Q=V/ t \times 0.7$ V=volumen agua precipitada t=duración de la lluvia 3 horas 0.7 factor de escorrentía (30% infiltración)	Precipitaciones directas U.C.N
Van Sint Jan	No se presentan cálculos de caudales ni resultados de estos	Precipitaciones de las estaciones: Cerro Moreno, Barrio Industrial (DGA) y U.C.N, considerando el efecto del viento sobre la precipitación y un gradiente lineal (dirección N-S) de la lluvia=3.6 mm/km
Skorin Ingenieros	Se determinó el caudal suponiendo escurrimiento normal a las salidas de las quebradas en donde fue posible establecer los niveles de escurrimiento del aluvión ( $n=0.035$ coef.de Manning) Como cálculo adicional se determina un coeficiente de escorrentía directa de la fórmula racional para cuencas. Se usa la precipitación y el caudal calculado.	Se usó una precipitación registrada por el autor. Se justifica a través de la determinación de la precipitación real sobre la estación U.C.N al considerar el factor viento, llegando a valores similares a los registrados por ellos.

En la Tabla 3.3 se indica los caudales obtenidos por los diferentes autores, de acuerdo con la hipótesis de cálculo indicados en la Tabla 3.2

**TABLA 3.3 CAUDALES ESTIMADOS EN LOS DIFERENTES ESTUDIOS**

Quebrada	Caudales (m <sup>3</sup> /s)			
	Covarrubias Q <sub>liq</sub>	Karzulovic Q <sub>total</sub>	Karzulovic Q <sub>liq</sub>	Skorin Q <sub>total</sub>
La Chimba	48.0	29.4	18.5	
Valdivieso	4.6			
Club Hípico				2.34
Bonilla Norte		10.0*	6.3	1.38
Bonilla Sur				2.80
Farellones				8.26
Salar del Carmen	63.2	38.7	24.4	46.18
La Cadena	42.8	26.2	16.5	19.57
El Ancla Norte	2.7*	1.3*	0.8*	0.33
El Ancla Sur				3.58
Riquelme				0.82
Baquedano	6.8	1.3	0.5	2.50
Uribe				1.38
El Toro		4.4	1.6	3.38
Caliche Norte				0.46
Caliche Sur				0.71
La Negra	1378.0	110.8	4.1	47.59
U. de Antofagasta				0.58
Jardines del Sur	23.4	11.0	4.1	27.32
El Huáscar				3.05

\* El caudal corresponde a la cuenca completa.

Como se observa existen considerables diferencias entre los resultados de uno u otro autor. Los valores de Covarrubias et al. en general, tienden a ser mayores, a pesar que sus caudales representan sólo un valor medio que además corresponde sólo a la parte líquida del flujo. Ello se explica por el alto valor del coeficiente de escorrentía empleado en el cálculo (0,7).

En el caso de Salar del Carmen, La Cadena y El Toro, los caudales totales estimados por Skorin y Karzulovic et al. son similares no obstante haberse empleado parámetros de cálculo y metodologías diferentes.

En el informe de Skorin Ingenieros, el cálculo de los caudales se basa en las trazas de las corrientes medidas en distintas secciones de las quebradas. Sobre la base de los caudales determinados empleando la fórmula de Manning con un coeficiente de rugosidad único igual a 0.035, y empleando una distribución espacial de la lluvia que conduce a un aumento de la precipitación de norte a sur de la ciudad. Se realiza además una estimación de los coeficientes de escorrentía en cada cuenca. Sus resultados se han resumido en la Tabla 3.4.

**TABLA 3.4 COEFICIENTES DE ESCORRENTIA SEGUN SKORIN INGENIEROS (1991)**

Quebrada	Coefficiente de Escorrentía
Club Hípico	0.326
Bonilla Norte	0.148
Bonilla Sur	0.300
Farellones	0.833
Salar del Carmen	0.462
La Cadena	0.185
El Ancla Norte	1.011
El Ancla Sur	0.648
Riquelme	1.001
Baquedano	0.975
Uribe	0.621
El Toro	0.225
Caliche Norte	0.565
Caliche Sur	0.074
La Negra	0.003
U. de Antofagasta	0.089
Jardines del Sur	0.512
El Huáscar	0.203

En esta tabla puede apreciarse que algunos coeficientes resultan extremadamente altos (incluso mayores que 1.0) o bajos. En el caso de La Negra, por ejemplo, ello se debe a que el cálculo se efectuó tomando como área la superficie total de la cuenca, sin considerar que su tiempo de concentración era mayor que la duración de la tormenta.

### b.3) Otras Características de las Corrientes

La mayoría de las quebradas que que desagüan a través de la ciudad de Antofagasta, 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. Los resultados de ambos estudios se sintetizan en la Tabla 3.5

**TABLA 3.5 ESTIMACIONES DE LA CONCENTRACION DE SOLIDOS EN VOLUMEN**

AUTOR	COMPOSICION ALUVION	OBSERVACION
Karzulovic	63% Agua 37% Sólidos	Precipitación Cerro Moreno
	79% Agua 21% Sólidos	Precipitación U.C.N
Skorin Ingenieros	60% Agua 40% Sólido	(No se considera Quebrada La Negra)

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".

### c) Consecuencias y Daños

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. Esta última información se ha reproducido en la Tabla 3.6.

Covarrubias et al. 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:

- Salar del Carmen
- + Socavación en varios sectores del camino de acceso a Antofagasta.
- + Destrucción de la aducción de agua potable que une la planta de filtro y la ciudad.

**TABLA 3.6 RESUMEN DE DAÑOS PROVOCADOS POR  
LAS PRINCIPALES QUEBRADAS  
(según Covarrubias et al. 1991)**

NOMBRE QUEBRADA	SUPERF. (Km <sup>2</sup> )	OBSERVACIONES	PENDIENTE MEDIA CURSO PRINCIPAL (%)
La Chimba	24.7	No afectó a zonas pobladas, sólo provocó inundación de caminos y daños en rípiera cercana a desembocadura.	11.8 (desembocadura)
Bonilla (incluye Q. Valdivieso)	8.4 (1.7)	Daños materiales a población Valdivieso, llegando su acción en forma reducida hasta población Bonilla.	17.5 (-)
Salar del Carmen	32.5	Principal causante de daños materiales y muertes, con efectos que llegaron incluso hasta Av. Costanera.	8.0 (curso inferior)
La Cadena	22.0	Principal causante de daños materiales y muertes en el sector de pobl. El Salto.	11.5 (curso inferior)
El Ancla	1.1	Afectó a la infraestructura existente en sectores más cercanos, produciendo graves daños en algunas viviendas.	12.1
Baquedano	1.1	Provoca graves daños materiales y muertes, llegando incluso a afectar hasta calle Balmaceda.	40.0 (descarga)
El Toro	3.7	Graves daños materiales, especialmente en Cuartel N°2 de Regimiento Esmeralda. Su efecto llegó hasta Av. Angamos.	13.3
Carrizo o La Negra	2480.0	Graves daños materiales, especialmente en acceso sur de Antofagasta, vía de ferrocarril y est. Los Héroes en la costa.	2.2 (curso inferior)
Jardín del Sur	9.2	Graves daños en viviendas de un sector de la pobl. Su efecto llegó hasta Av. Costanera.	16.7 (descarga)

- + Daños serios en los pasajes Celta, Castro, Tres Marías y Aurora Boreal.
  - + Erosión grave en la intersección entre Zegers y la Av. Circunvalación.
  - + Socavamiento de las veredas de la Av. Salar del Carmen.
- La Cadena
- + Se produjo socavación, con profundidad de hasta 4 m, en la población El Salto.
  - + Destrucción de todas las construcciones que se encontraban en su lecho.
  - + Destrucción de 7 u 8 casas en la población Ferro-Baquedano.
  - + Daños serios en las instalaciones de EDELNOR.
  - + Inundación de las bodegas y talleres de FCAB.

### 3.3.3 Recomendaciones Principales de los Estudios

La mayoría de los autores coinciden en la necesidad de implementar un sistema que permita anticiparse a futuros aluviones, en especial si se considera que precipitaciones importantes deberían producirse al menos cada 5 años, según han estimado Covarrubias et al. (1991).

A este respecto Araya (1991) sugiere establecer un sistema de "alerta interciudades", en consideración a que los frentes de mal tiempo se desplazan de sur a norte.

Tanto en los informes de Araya (1991), como Karzulovic et al. (1991), se recomienda la construcción de obras de protección para el sistema de agua potable y se sugiere la construcción de drenajes en las obras que eventualmente pudiesen represar los flujos de las quebradas. Además Karzulovic et al. recomienda impedir la construcción en los cauces de éstas.

La limpieza y remoción de escombros y bloques depositados en las laderas de los cerros, la implementación de una "política verde" para la plantación de árboles y la generación de una cubierta vegetal, son algunas de las recomendaciones entregadas por Araya (1991). Este autor además plantea la necesidad de mejorar la distribución de las estaciones meteorológicas, así como, reponer y mantener las ya existentes, de tal manera que a futuro se cuente con registros meteorológicos fidedignos y confiables.

En último término, una propuesta más detallada, para aminorar los daños de futuros movimientos en masa, es presentado por Skorin Ingenieros (1991), quienes sugieren la construcción de "Vías Aluvionales" mediante las cuales se conseguiría encauzar futuras corrientes de barro, con el fin de descargar en forma expedita y rápida el material sólido al mar. La materialización de esta solución requiere de la

construcción de diversas obras a la salida de las quebradas, y modificar las rasantes de ciertas calles para lograr una "capacidad hidráulica" de las mismas, acorde con los caudales detríticos a evacuar.

### 3.4 Recopilación de Antecedentes Básicos

Para el desarrollo del presente informe ha sido necesario llevar a cabo una recopilación de antecedentes básicos, cuya catastro se resume en este capítulo. Estos antecedentes abarcan los siguientes campos o áreas:

- Cartografía
- Aerofotogrametría
- Meteorología
- Campaña de Terreno
  - . Topografía
  - . Granulometría
  - . Fotografía y video

#### 3.4.1 Cartografía

En este aspecto se contó con planchetas del Instituto Geográfico Militar de la zona de Antofagasta y aledañas, en escala 1:50.000 y 1:250.000. A partir de esta información se construyeron 3 planos topográficos (Anexo) donde se definieron las cuencas y algunas de sus principales características (área y pendiente media).

Plano 1: Sector de Antofagasta  
Escala : 1:50.000  
Cuencas: La Chimba, Rocas, Club Hípico, Bonilla, Farellones, Salar del Carmen, La Cadena, El Ancla, El Toro, Caliche, La Negra y Jardines del Sur.

Plano 2: Sector de Antofagasta  
Escala : 1:250.000  
Cuencas: Sobre Grande, El Guay, Remiendo, Grande, Intermedia.

Plano 3: Sector de Tocopilla  
 Escala: 1:250.000  
 Cuenca: Barriles.

### 3.4.2 Aerofotogrametría

Como apoyo al estudio geológico, se contó con un conjunto de fotos aéreas tomadas antes y después del aluvión acaecido en Antofagasta. A través de ellas se hizo un estudio de la geología superficial de la zona, estableciéndose a grandes rasgos la composición de las quebradas. Además se pudo contrastar algunos de los cambios producidos por los aluviones en las distintas quebradas, pudiendo definirse zonas de erosión y depositación del material aluvional, así como algunos de los daños que se produjeron.

El material fotográfico disponible lo conforman 2 conjuntos de fotos. El primero corresponde al vuelo SAF-81 realizado el 5 de Junio de 1981 y el segundo al vuelo IGM-92 realizado el 7 de Enero de 1992. Este último vuelo fue contratado por la Intendencia de la II Región.

En la tablas 3.7 y 3.8, se muestran las líneas vuelos (paralela a la costa) y las fotografías que de ellas se utilizaron.

**TABLA 3.7 LINEAS DE VUELO**

IGM - 92  
 Zona : II Región  
 Fecha : 07-01-92  
 Escala: 1:20.000

Línea de Vuelo	Fotografías	
	Desde	Hasta
1	5010	5017
2	5030	5039
3	5055	5067
4	5090	5100

**TABLA 3.8 LINEAS DE VUELO**

SAF - 81  
 Zona : II Región  
 Fecha : 05-06-81  
 Escala: 1:30.000

Línea de Vuelo	Fotografías	
	Desde	Hasta
O	23558	23567
B	23647	23652
C	23685	23691
D	23737	23740

Además de estos elementos, se utilizó una Ortofoto (escala 1:25.000) de Antofagasta.

### 3.4.3 Antecedentes Meteorológicos

Los antecedentes meteorológicos son útiles en dos aspectos que fueron desarrollados en el presente estudio. El primero consiste en el análisis y entendimiento del fenómeno climático que dio origen a las intensas precipitaciones del 18 de junio de 1991, para lo cual se utilizó la siguiente información:

- Datos de Temperatura, Presión, Velocidad del viento y Precipitación, registrados en estaciones de superficie.
- Datos de Temperatura, Presión, Velocidad del viento y humedad relativa, obtenidos del radiosonda de Cerro Moreno, correspondiente a los días 15, 16, 17, 18, 19 y 20 de junio de 1991.
- Cartas sinópticas de superficie y de 500 HPa correspondiente al mes de junio de 1991 (DMC).
- Cartas de Tropopausa y viento máximo de los días 16, 17 y 18 de junio de 1991.
- Imágenes satelitales de baja y alta resolución de los satélites:

- i) GOES (sensor VISSR): imágenes infrarrojo (DMC)
- ii) NOAA (sensor AVMRR): imágenes visibles e infrarrojo termal (CEE de U. de Chile)

El segundo aspecto corresponde al análisis hidrológico del fenómeno, donde se utilizó principalmente la información pluviométrica disponible en la zona de estudio, la cual desafortunadamente es escasa, tanto por la baja cobertura espacial como por las discontinuidades o poca extensión que presentan sus registros.

En la Tabla 3.9 se presentan las estaciones pluviométricas de la zona, cuyos registros de precipitación mensual se incluyen en el anexo correspondiente.

**TABLA 3.9 ESTACIONES METEOROLOGICAS**

ESTACION	LAT.	LONG.	ALTURA (m.s.n.m)
Tocopilla	22°06'	70°13'	16
Coya Sur	22°24'	69°39'	1290
Quillagua	21°37'	69°32'	802
Cerro Moreno	23°26'	70°28'	110
Portezuelo			
DGA Antofagasta	23°36'	70°23'	50
U.Católica del Norte	23°10'	70°24'	7
Taltal	25°25'	70°34'	30
Taltal	25°28'	70°34'	8
Catalina	25°13'	69°43'	2180

#### 3.4.4 Campaña de Terreno

##### a) Topografía

Un levantamiento topográfico fue realizado en algunos tramos de las quebradas más importantes desde el punto de vista del riesgo de aluviones. El levantamiento consistió en perfiles longitudinales y transversales de sectores del cauce de las quebradas, junto con la medición de los posibles ejes hidráulicos de los aluviones, cuyas trazas quedaron en las riberas de los cauces. El estudio comprendió las siguientes quebradas: Salar del Carmen N°2, El Toro, La Cadena, La Negra, Del Guay, De Mateo, El Ancla y Caracoles o Salar del Carmen.

En la tabla 3.10 se presenta la zona y posición aproximada de los levantamientos topográficos. Además se muestra los diagramas unifilares de algunas de las quebradas (Fig 3.2, 3.3 y 3.4), para una mejor comprensión de la zona.

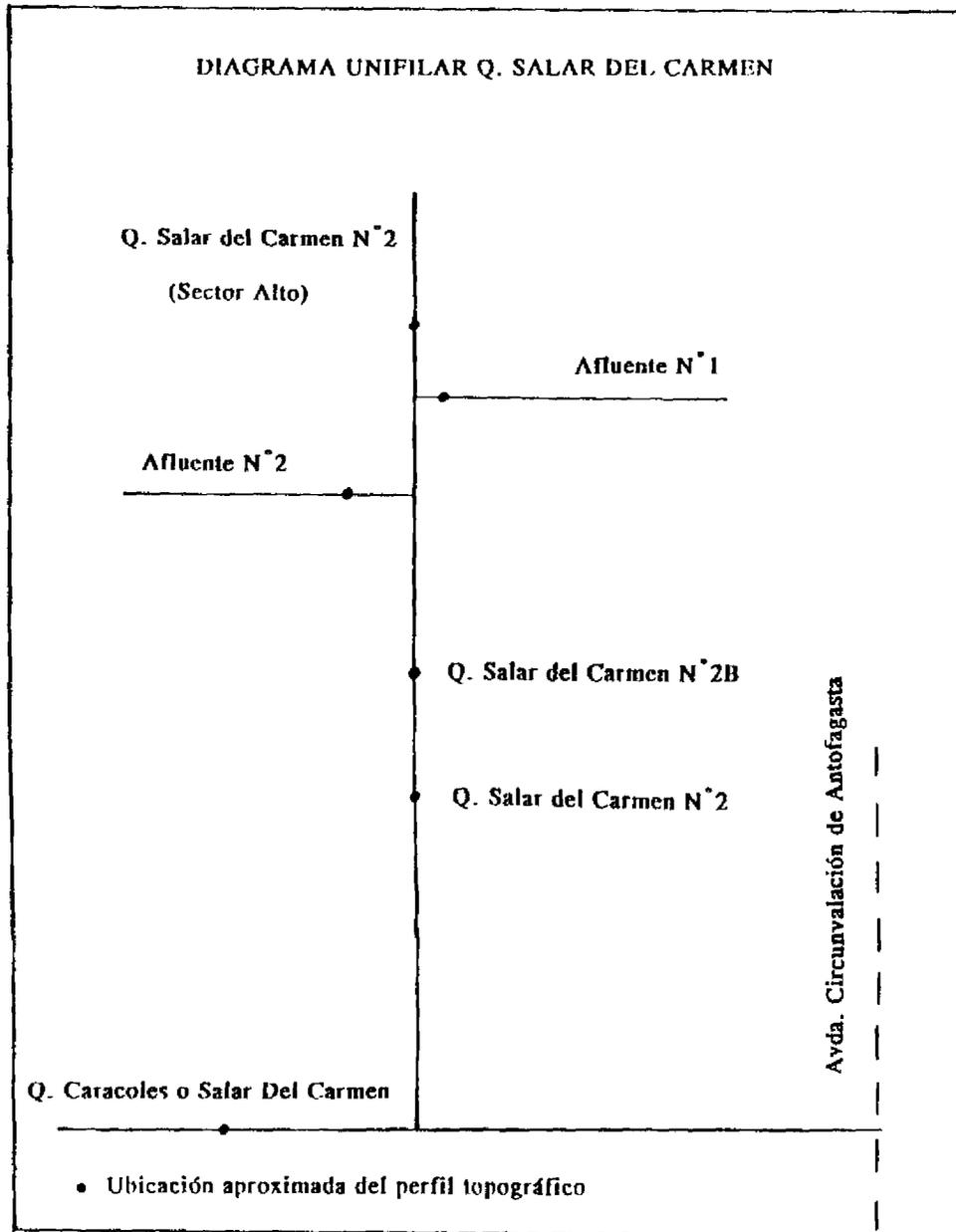
b) Características Hidráulicas

En base a estos antecedentes topográficos y a las trazas de los ejes hidráulicos medidos, se han determinado algunas de las características hidráulicas, a nivel de valores medios, de cada uno de los sectores de las quebradas consideradas (Tabla 3.11). Estos valores son los siguientes: área (A), radio hidráulico (R), perímetro mojado (X), pendiente (i) y longitud superficial (l).

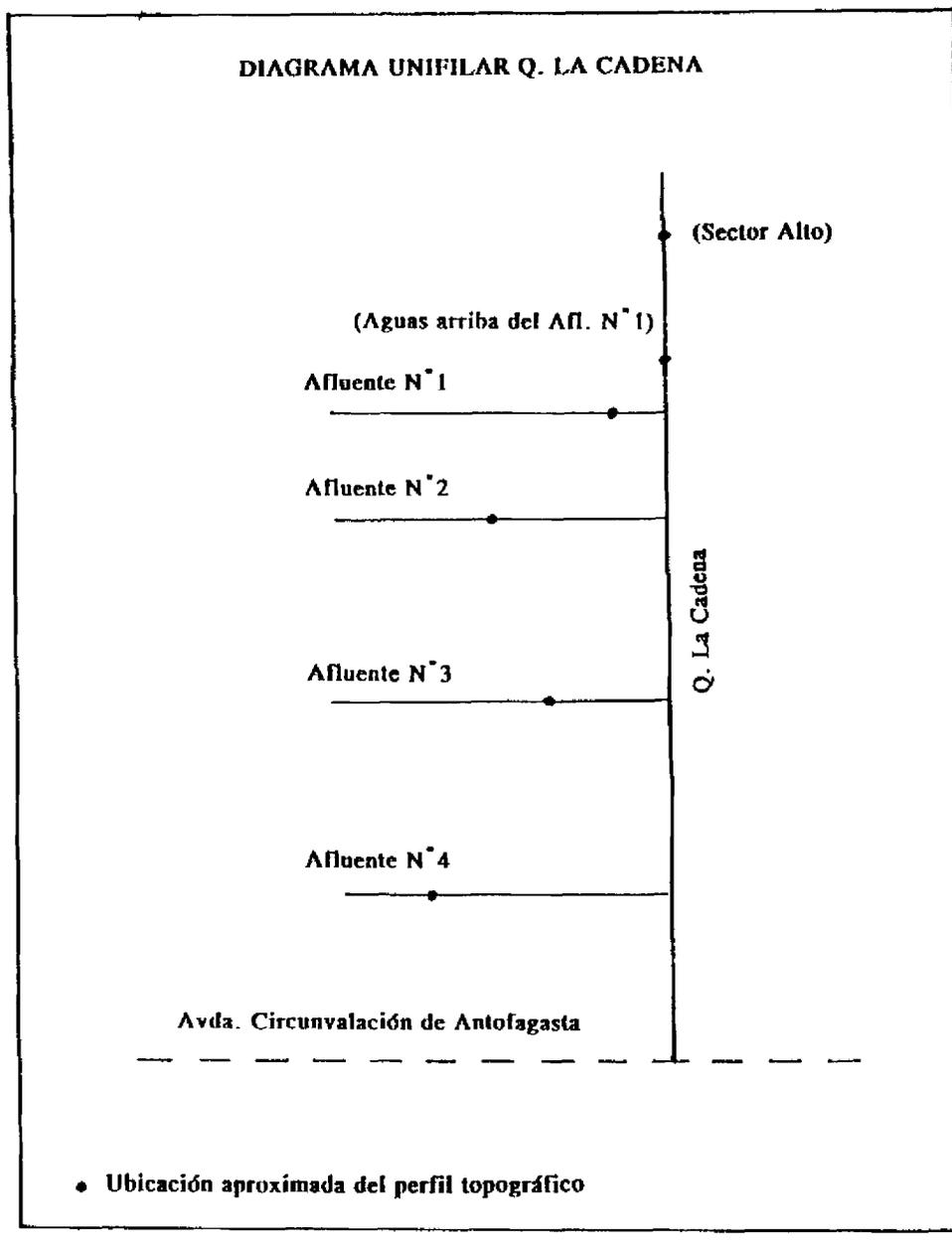
Adicionalmente se cuenta con la información topográfica que consta en el informe de Skorin Ingenieros (1991) quienes determinaron, a partir de ella, las principales características hidráulicas de dos o más secciones de las diversas quebradas en estudio (Tabla 3.12).

**TABLA 3.10 PERFILES TOPOGRAFICOS  
DEFINIDOS POR LA D.G.A.**

Nombre del Perfil	Posicion Aproximada		COMENTARIO
	N	E	
El Toro	7381800	358300	
La Negra en Vertientes			
La Negra Sec Terminal 1	7378800	357600	
La Negra Sec. Terminal 2	7378750	356250	A continuacion del perfil anterior
El Ancla			
Salar del Carmen N2	7386300	362100	Q afluente a Salr del Carmen
Salar del Carmen Afluente 1			Ver diagrama unifilar
Salar del Carmen Afluente 2			Ver diagrama unifilar
Salar del Carmen Sector Alto			Ver diagrama unifilar
Salar del Carmen N2-B			Ver diagrama unifilar
Caracoles o Sal. del Carmen	7386700	361750	Aguas arriba aduccion Toconce
La Cadena Sector Alto			Ver diagrama unifilar
Aguas arriba Afluente N1			Ver diagrama unifilar
Afluente N1			Ver diagrama unifilar
Afluente N2			Ver diagrama unifilar
Afluente N3			Ver diagrama unifilar
Afluente N4			Ver diagrama unifilar
Del Guay			Ver diagrama unifilar
De Mateo	7363000	36700	1 km aguas arriba de INACESA
De Mateo ag. arr. Del Guay			Ver diagrama unifilar
De Mateo ag. aba Del Guay			Ver diagrama unifilar



**Fig 3.2 Diagrama unifilar de la quebrada Salar del Carmen**



**Fig 3.3 Diagrama unifilar de la quebrada La Cadena**

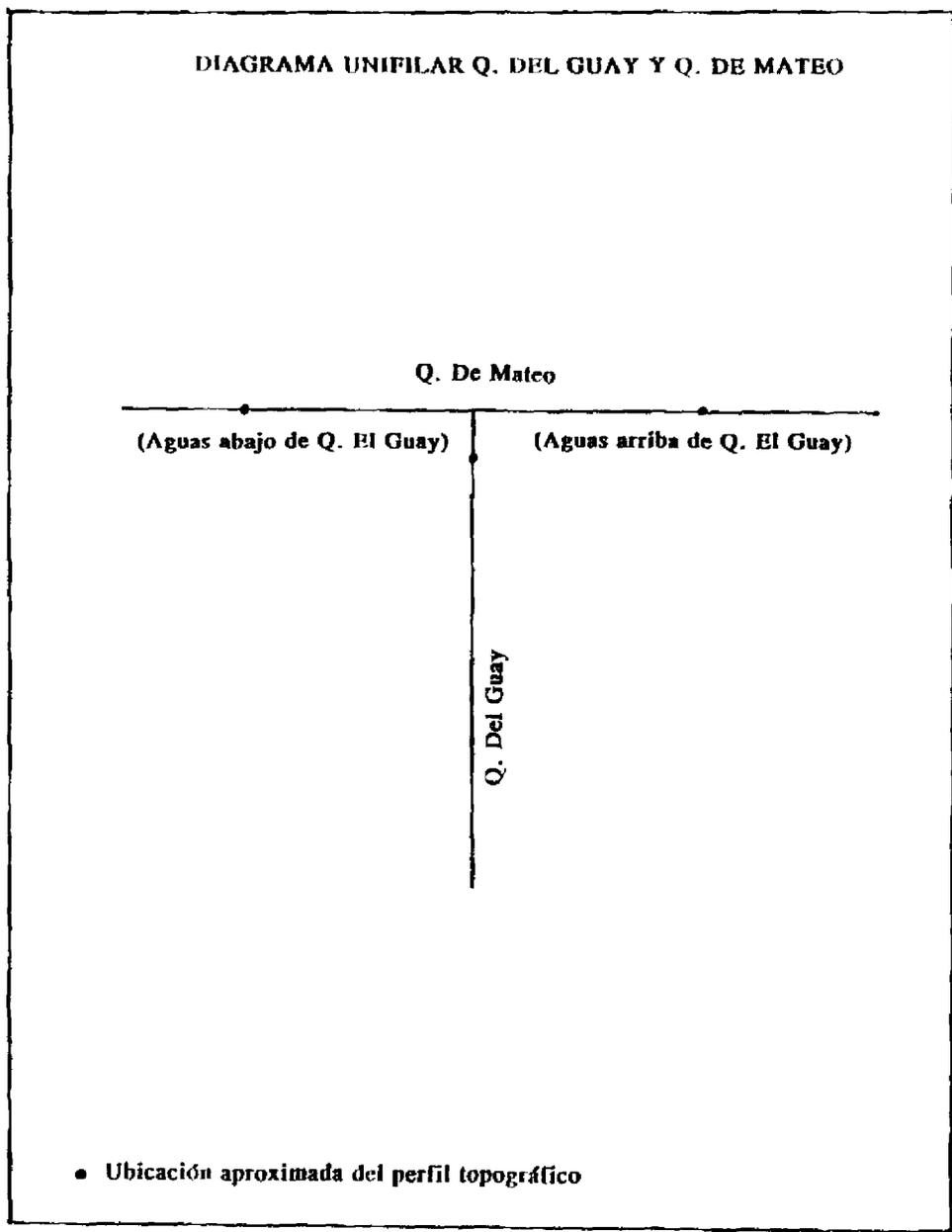


Fig 3.4 Diagrama unifilar de la junta entre quebradas Del Guay y De Mateo

**TABLA 3.11**  
**GEOMETRIA HIDRAULICA DE LAS QUEBRADAS DE ANTOFAGASTA**  
**DATOS DE LA DGA (1992)**

NOMBRE DEL PERFIL LONGITUDINAL	S (m <sup>2</sup> )	R (m)	X (m)	l (m)	i
El Toro	12.41	0.88	14.16	12.52	0.09
La Negra en Vertientes	16.86	0.42	40.39	39.70	0.03
La Negra Sec. Terminal 1	20.82	0.66	31.17	30.33	0.05
La Negra Sec. Terminal 2	27.31	0.86	32.70	31.70	0.05
El Ancla	20.78	1.16	15.87	16.50	0.16
Salar del Carmen N2	6.31	0.33	18.99	18.49	0.07
Salar del Carmen Afluente 1	10.32	0.42	25.23	24.62	0.09
Salar del Carmen Afluente 2	5.87	0.34	17.52	16.96	0.12
Salar del Carmen Sector Alto	17.45	0.70	25.15	24.47	0.09
Salar del Carmen N2-B	19.36	0.91	21.41	20.08	0.07
Caracoles o Sal. del Carmen	13.21	0.28	48.00	47.67	0.08
La Cadena Sector Alto	25.98	0.65	40.47	39.60	0.07
Aguas arriba Afluente N1	21.50	1.13	22.57	20.85	0.07
Afluente N1	27.86	1.05	26.72	25.44	0.08
Afluente N2	10.75	0.70	15.44	14.39	0.05
Afluente N3	11.87	0.82	14.68	13.57	0.10
Afluente N4	14.75	0.85	17.31	16.00	0.11
Del Guay	5.26	0.36	14.71	14.24	0.03
De Mateo	9.39	0.23	41.43	42.09	0.01
De Mateo (ag. ar. Del Guay)	14.69	0.47	31.11	30.39	0.01
De Mateo (ag. ab. Del Guay)	20.02	0.45	44.97	44.37	0.01

S: Area de escurrimiento

R: Radio Hidraulico

X: Perimetro mojado

l: Ancho superficial

i: Pendiente del fondo

**TABLA 3.12 CARACTERISTICAS HIDRAULICAS  
(Según Skorin Ingenieros 1991)**

Quebrada	Seccion	Tipo de Material	S (m <sup>2</sup> )	R (m)	X (m)	I (m)	I
Club Hipico	1	S	1.87	0.31	6.1	5.5	0.07
	2	G-S	3.00	0.26	11.7	11.1	0.06
	3	S	4.56	0.27	16.9	16.3	0.06
Bonilla Norte	1	S	0.64	0.24	2.7	2.2	0.18
	2	S-g	0.97	0.19	5.0	4.6	0.08
	3	S	1.57	0.17	9.4	9.0	0.07
Bonilla Sur	1	g-S	1.93	0.12	15.6	15.4	0.08
	2	g	2.15	0.10	21.7	21.5	0.08
Farellones	1	g-R	3.25	0.43	7.5	6.6	0.07
	2	g	6.60	0.38	17.3	16.5	0.06
	3	S-g	7.46	0.34	22.0	21.3	0.06
Salas del Carmen	1	S	9.00	0.21	43.2	42.8	0.10
	2	g	3.70	0.13	28.7	28.5	0.08
	3	g	9.78	0.21	47.5	47.1	0.06
La Cadena	1	g	10.30	0.21	48.4	47.9	0.07
	2	g	9.32	0.34	27.2	26.5	0.06
	3	g	7.55	0.44	17.1	16.2	0.09
El Ancla Norte	1	g-R	0.38	0.18	2.1	1.7	0.15
	2	g	0.42	0.19	2.2	1.8	0.13
	3	g-R	0.71	0.16	4.4	4.0	0.09
El Ancla Sur	1	R	1.31	0.16	8.3	8.0	0.13
	2	R-g	1.08	0.17	6.2	5.9	0.16
	3	R-g	1.43	0.21	6.7	6.3	0.14
Riquelme	1	g	0.93	0.13	7.2	6.9	0.12
	2	g	0.83	0.14	6.0	5.7	0.10
	3	g	1.10	0.16	7.1	6.8	0.08
Baquedano	1	S	2.03	0.26	7.8	7.2	0.12
	2	S	2.88	0.23	12.5	12.0	0.12
Uribe	1	g-P	2.10	0.15	13.6	13.3	0.04
	2	g-R	2.26	0.19	11.9	11.5	0.08
	3	g	2.90	0.14	21.3	21.1	0.16
El Toro	1	S	0.95	0.25	3.8	3.3	0.11
	2	S-g	2.47	0.15	16.5	16.2	0.09
	3	g-R-P	2.75	0.16	17.5	17.2	0.05
Caliche Norte	1	S	0.47	0.22	2.1	1.7	0.11
	2	S	0.51	0.23	2.2	1.8	0.07
	3	S	1.16	0.19	6.2	5.8	0.07
Caliche Sur	1	S	1.09	0.04	25.5	25.4	0.10
	2	S	0.39	0.13	3.1	2.8	0.10
	3	S	0.78	0.05	14.3	14.2	0.12
La Negra	1	S-G	18.36	0.83	22.2	20.5	0.02
	2	S-g	23.86	0.56	42.7	41.5	0.02
	3	S-g	20.05	0.55	36.6	35.5	0.04
U. de Antofagasta	1	S	3.45	0.07	51.0	50.9	0.05
	2	S	3.53	0.07	53.0	52.9	0.04
Jardin del Sur	1	S	4.77	0.78	6.1	4.5	0.21
	2	R	7.87	0.75	10.5	9.0	0.19
	3	S	11.31	0.93	12.2	10.3	0.06
El Huascar	1	S	0.99	0.34	2.9	2.3	0.08
	2	S	1.93	0.31	6.2	5.6	0.05
	3	S	1.65	0.40	4.1	3.3	0.08

c) Análisis Granulométrico

Una serie de muestras de suelo fueron tomadas en diversas quebradas durante la campaña de terreno, con el fin de determinar algunas de sus propiedades y características. Además se contó con la información granulométrica disponible en el informe de Van Sint Jan et al. (1992), en el cual también se incluyeron muestras del suelo aluvional.

A continuación se define la simbología de los diferentes parámetros obtenidos de las muestras de suelo tomadas durante la campaña de terreno, cuyos valores aparecen en las Tabla 3.13.

$D_{84}$  : tamaño del tamiz para el cual pasa el 84% del material

$D_{50}$  : tamaño del tamiz para el cual pasa el 50% del material

$D_{16}$  : tamaño del tamiz para el cual para el 16% del material

$W_T$  : peso total de la muestra (sin probeta)

$W_s$  : peso seco de la muestra

$V$  : volumen de la muestra

$\gamma_a = W_s/V$  : peso aparente o seco

$\gamma_s = W_s/V_p$  : peso unitario de los sólidos

$V_s = V - V_p$  : volumen de los sólidos

$V_p$  : volumen de poros o vacío

$\eta = V_p/V$  : porosidad

$C_{m\acute{a}x} = \gamma_a/\gamma_s$

Además se realizaron calicatas en todas las zonas donde se levantaron perfiles topográficos. De ellas se obtuvo una descripción estratigráfica que permitió identificar los estratos de material recientemente arrastrado.

La información granulométrica disponible en el informe de Van Sint Jan et al. (1992) alude tanto a muestras tomadas en las quebradas como a aquellas obtenidas del material aluvional. En la Tablas 3.14 y 3.15 se hace una descripción de las muestras tomadas por Van Sint Jan et al. y de algunos de los resultados obtenidos a partir de ellas.

d) Material Fotográfico y de Video

La campaña de terreno también contempló la fotografía y filmación de algunas de las principales quebradas de la zona en estudio. Dicho material cubre las siguientes quebradas.

- La Negra: en los sectores de INACESA paso superior Carrizo y la desembocadura de Antofagasta.
- Caracoles y Salar del Carmen: en su desembocadura.
- Salar del Carmen N°2: en los sectores de levantamiento topográfico, hacia el centro de la quebrada y en junta con La Cadena.
- La Cadena: hacia el interior y en su desembocadura.
- Baquedano: en su desembocadura.
- El Toro: en el sector del regimiento.
- Del Guay: en junta con quebrada De Mateo.
- De Mateo: en junta con quebrada Del Guay.

**TABLA 3.13 PARAMETROS PRINCIPALES DE LAS MUESTRAS DE SUELO**

QUEBRADA	Muestra N	D84 (mm)	D60 (mm)	D16 (mm)	V (cm <sup>3</sup> )	Wt (gr)	W <sub>e</sub> (gr)	V <sub>p</sub> (cm <sup>3</sup> )	n	GAMA(s) (T/m <sup>3</sup> )	GAMA(s) (T/m <sup>3</sup> )	C <sub>max</sub>
La Negra	14-A	8.89	1.83	0.28	89.0	122.7	109.9	12.8	0.22	1.86	2.38	0.78
El Ancla	18-A	7.97	2.05	0.83	41.8	90.2	71.9	18.3	0.44	1.72	3.06	0.66
El Ancla	18-B				53.5	108.5	89.7	18.8	0.37	1.68	2.66	0.63
El Ancla	18-C				58.0	108.8	84.7	17.4	0.31	1.69	2.45	0.69
Caracoles	1-A	7.48	1.35	0.38	105.0	208.8	184.1	26.7	0.24	1.75	2.32	0.76
El Toro	2-A	12.33	2.41	0.62	53.5	109.5	89.7	19.8	0.37	1.68	2.66	0.63
El Toro	2-A				120.0	227.9	190.7	37.2	0.31	1.59	2.30	0.69
La Cadena(Boq de Sal.)		4.78	1.77	0.35	81.0	118.3	104.4	13.9	0.23	1.71	2.22	0.77
La Cadena	13-A	13.2	2.89	0.34	150.0	290.5	248.6	43.9	0.29	1.84	2.32	0.71
La Cadena	10	8.64	1.18	0.25	84.0	163.2	138.7	23.5	0.28	1.66	2.31	0.72
La Cadena Sector Alto	8-A	3.75	1.03	0.31	88.0	131.4	110.3	21.1	0.31	1.62	2.35	0.69
La Cadena Sector Alto	8-B				84.0	122.3	100.7	21.6	0.34	1.57	2.38	0.66
La Cadena Sector Alto	8-C				58.0	111.4	84.4	17.0	0.29	1.63	2.30	0.71
Salar de Carmen	6-A	7.63	1.47	0.28	85.0	252.8	220.4	32.4	0.34	2.32	3.52	0.66
Salar de Carmen	6-B				55.0	113.8	88.4	15.2	0.28	1.79	2.47	0.72

**TABLA 3.14 MUESTRAS DE SUELO DE QUEBRADAS  
(Según Van Sint Jan 1991)**

QUEBRADA	D90 (mm)	D84 (mm)	D50 (mm)	D16 (mm)
El Toro M-A	19.10	13.36	2.39	0.26
El Toro M-B	27.52	20.15	4.47	0.40
La Cadena 1	55.03	42.33	8.17	1.59
La Cadena 2	8.79	6.59	2.27	0.63
La Cadena 3	33.03	25.43	7.54	2.02
La Cadena 4	10.40	8.27	2.86	0.49
Jardin del Sur	3.81	1.49	0.26	0.07
Caliche	0.54	0.49	0.28	0.17

**TABLA 3.15 MUESTRAS DEL SUELO ALUVIONAL  
(Según Van Sint Jan 1991)**

QUEBRADA DE ORIGEN	D90 (mm)	D84 (mm)	D50 (mm)	D16 (mm)	UBICACION APROXIMADA
La Cadena	28.60	16.71	5.49	1.06	EDELNOR Av. Circunvalacion
Salar del Carmen	18.67	16.06	4.76	0.86	Sicilia esq. Paraguay
Salar del Carmen	11.92	7.69	1.75	0.40	C. Salar del Carmen
El Ancla	34.93	18.23	3.33	0.48	Arauco esq. de B. Aires
Uribe	0.54	0.45	0.22	0.07	Av. Circunvalacion
El Toro	1.19	0.79	0.29	0.15	Calle Arturo Prat N1470
Caliche	0.54	0.51	0.32	0.19	En ribera de la Quebrada
Jardin del Sur	0.83	0.55	0.26	0.13	Calle Travesia del Mar