

Pontificia Universidad Católica de Chile
Escuela de Ingeniería
Depto. Ingeniería Estructural y Geotécnica

INFORME DEL
ALUVION EN ANTOFAGASTA
EL 18 DE JUNIO DE 1991

Michel Van Sint Jan
Pablo Talloni
Ismael Aracena
Angélica Gallardo

Informe de Avance para el proyecto FONDECYT 695-91



ALUVION EN ANTOFAGASTA DEL 16 DE JUNIO DE 1991

I. Introducción

En la madrugada del 16 de Junio de 1991, a raíz de intensas lluvias caídas en Antofagasta, se produjeron numerosos flujos de sedimentos que se precipitaron por las quebradas que llegan a la parte alta de la ciudad. A lo largo de las quebradas, cuyos cauces se presentan bien definidos y generalmente angostos, los flujos produjeron erosión del suelo y destruyeron las construcciones emplazadas en sus cauces y, en las zonas donde dichas quebradas se abren en conos o abanicos de deyección, produjeron grandes daños a las construcciones existentes. Como resultado de los diversos flujos de barro se registraron 101 muertes y 48 desaparecidos, unas 400 viviendas fueron destruidas, el sistema de abastecimiento de agua potable sufrió daños de consideración al romperse los ductos en numerosos tramos, el camino de acceso desde la ruta 5 hacia Antofagasta por la quebrada La Negra fue destruido en un gran porcentaje y lo mismo ocurrió con las vías del Ferrocarril Antofagasta Bolivia. Además de estos daños, numerosas personas quedaron damnificadas al ser dañadas sus viviendas, y se produjeron cuantiosos daños al comercio y en industrias locales.

Las lluvias que produjeron los flujos de sedimentos duraron aproximadamente 3 horas. Los registros pluviométricos disponibles indican que cayeron 14 mm en Cerro Moreno, el aeropuerto ubicado a unos 25 km al Norte del centro, y 42 mm en la Universidad Católica del Norte, ubicada en el sector centro-sur de la ciudad.

El monto de los daños ha sido estimado en aproximadamente US \$ 70 millones.

El presente informe resume los resultados de observaciones efectuadas en terreno por los autores y las características de mecánica de suelos de los materiales involucrados en los aluviones. Se presenta además un análisis del mecanismo de generación del fenómeno y se comentan las implicancias del mismo en relación al desarrollo de las construcciones y obras de ingeniería en el área de interés.

El estudio ha sido desarrollado por los autores como parte del proyecto FONDECYT 695/91, cuyo financiamiento se agradece.

2. Antecedentes del Area Afectada

2.1 Antecedentes históricos

La ciudad de Antofagasta se encuentra en la costa de la zona desértica chilena, un clima caracterizado por precipitación casi nula. De hecho la precipitación media anual, en los últimos 88 años alcanza a sólo 4,8 mm.

Esta característica desértica es causada por la existencia permanente, en la zona, del "anticiclón del Pacífico", una corriente de aire seco descendente, proveniente de la zona ecuatorial y que precipitó las aguas en su ascenso en dicha zona. Ocasionalmente, el anticiclón se debilita o se desplaza hacia el Norte, permitiendo la incursión de frentes de mal tiempo provenientes del sur-oeste provocando lluvias. En consecuencia, la ocurrencia de lluvia en Antofagasta no es un fenómeno extraordinario, si bien de muy baja frecuencia, como lo demuestran los antecedentes históricos que se describen a continuación.

Historia de aluviones en Antofagasta:

Al revisar los registros pluviométricos de Antofagasta, es posible observar la ocurrencia, en varias ocasiones, de precipitaciones importantes para este medio meteorológico, lo que nos permite pensar en que es muy posible que la ciudad haya sido afectada anteriormente por aluviones.

Y en efecto, si revisamos los periódicos nos encontramos varias veces con la noticia de un "alud de barro" o "aluvión" en el norte. En el caso específico de Antofagasta son importantes los eventos registrados en 1940 y en 1987, existiendo también fuertes precipitaciones que activaron las quebradas en 1952, 1967 y 1982.

El(los) aluvión(es) ocurrido el 25 de julio de 1940, fue de una magnitud que podría compararse al ocurrido en 1991, ya que cayeron 39,4 mm. de precipitación, causando algunos muertos y gran cantidad de daños. Pero, es necesario destacar que la extensión de la ciudad no era la misma (ver evolución urbana), encontrándose deshabitados muchos de los lugares en lo que ocurrieron más daños en el último evento registrado. El sector que resultó más afectado es la quebrada Baquedano.

En 1967 las precipitaciones causaron la inundación y anegamiento de varios sectores, especialmente la costanera, resultando afectadas unas 2.000 familias especialmente del sector alto y norte de la ciudad. Las poblaciones más afectadas fueron: Chango López, Miramar centro y norte, O.Higgins, Prat A y E y Juan Papic. La quebrada Baquedano se anegó poniendo en peligro las viviendas. La Quebrada Salar del Carmen se transformó en un

arroyo que causó erosión al costado del camino.

El 28 de Julio de 1987 cayeron 22.8 mm. de precipitación en un tiempo superior a las 8 horas, provocándose la activación de las quebradas provocando numerosos daños en varios sectores de la ciudad, siendo nuevamente el sector norte el más afectado. En esta ocasión, bajo por las quebradas mas agua que barro, debido a la menor energía desatada dado que la precipitación cayó en un tiempo superior, por lo que la intensidad fue mucho menor. Resultaron unos 7.000 damnificados según las cifras oficiales. En la quebrada Baquedano, las casas sirvieron de dique de contención quedando algunas de ellas con más de un metro de barro en su interior. En el sector de Diaz Gana (Quebrada El Toro), resultó socavada completamente la acera, y en un lugar cercano a este resultado dañada la línea férrea debido a un socavón de mas de tres metros de altura.

En 1982 la precipitación cayo muy sectorizada afectando principalmente al sector sur de la ciudad y fundamentalmente desde Quebrada La Negra al Sur, provocando daños de una magnitud similar a los de 1991 en el balneario El Huascar. Unas doce viviendas resultaron sepultadas en el sector sur de la ciudad mientras que en el lado norte solo sufrieron apagones.

En 1952 La precipitación casi no afectó la ciudad de Antofagasta, concentrándose más al interior en la localidad de Baquedano (a 90 km.) y Calama desde donde bajaba un torrente de barro.

2.2 Antecedentes Geomorfológicos y Geológicos

2.1.1 Antecedentes geomorfológicos

En el área de estudio, es posible distinguir claramente dos unidades: el farellón costero y la planicie litoral.

El farellón costero corresponde a un acantilado de origen abrasivo-tectónico que se presenta como un muro que flanquea por el Este a la ciudad de Antofagasta con pendientes generalmente superiores a los 45°. Este farellón costero está parcialmente disectado por quebradas secas que drenan la vertiente occidental de la Cordillera de la Costa, llegando la mayoría de las veces sólo hasta la parte superior de la planicie litoral.

La planicie litoral corresponde a un plano inclinado de breve desarrollo en el cual se encuentra situada la ciudad de Antofagasta. Este plano, se extiende entre el nivel del mar y la cota de los 200 m.s.n.m. aproximadamente (correspondiente al punto más bajo del farellón costero), con un ancho promedio que bordea los 2,5 kms.

La planicie litoral, aún cuando constituye una sola unidad, puede ser dividida en tres sectores de mar a cordillera: un sector desde el nivel del mar hasta los 25 m, con una pendiente media inferior al 4%; un segundo sector que va desde los 25 hasta los 100 m con una pendiente media de aproximadamente 9% y finalmente el sector alto que llega hasta los 200 m.s.n.m. con pendiente promedio de 17-18%.

A la salida de las principales quebradas, en el sector alto de la planicie litoral, es posible encontrar conos de deyección formados por la deposición de materiales transportados durante la activación de las quebradas en las precipitaciones de carácter esporádico que ocurren en el área. Esta deposición es producto de la disminución de la pendiente y ensanchamiento del cauce. En las fotografías aéreas es posible apreciar que en estos conos existen varias líneas de drenaje que se explican por la dinámica de la formación de éstos ya que, debido al alto contenido de sólidos que arrastran las corrientes, una línea de drenaje se colmata desbordando lateralmente y dando origen a una nueva.

Lo más importante, para comprender el desastre causado por el evento que es objeto del presente estudio, es destacar que la ciudad de Antofagasta, cuyo emplazamiento original se encontraba en la parte baja de la planicie litoral, se ha extendido hacia el Este ocupando en primer término la parte media y luego la más alta de esta planicie. Este crecimiento ha sido a expensas de la ocupación de sectores riesgosos como lo son: las quebradas o líneas de drenaje que constituyen el desagüe natural del entorno montañoso de la ciudad y los conos de deyección, que por su naturaleza constituyen sectores en los que se depositarán los materiales ante una eventual activación del sistema de drenaje.

2.2.2 Antecedentes geológicos

El farellón o acantilado costero está constituido por rocas asignadas a la formación La Negra, caracterizados por lavas andesíticas con intercalaciones de areniscas continentales y brechas andesíticas, de edad jurásica.

Los estratos en esta área presentan rumbos aproximadamente NS con manteos de 30° a 50° hacia el W.

Las rocas antes mencionadas afloran parcialmente en los costados de las quebradas y, localmente en el piso de éstas, donde están cubiertas frecuentemente por materiales de escombros de falda y depósitos de corrientes de barro antiguas, constituidas por grava, arena y algo de finos, con espesores estimados de hasta 20 a 30 m en quebrada La Negra.

La planicie costera está constituida, del mar hacia la cordillera, por depósitos marinos formados por conglomerados y coquinas, de edad principalmente pleistocénica, cubiertos parcialmente hacia el poniente por depósitos de arenas y gravas ligados a antiguas corrientes de barro.

Hacia el oriente, en la parte este de la zona urbana de Antofagasta, entre los 80 y 110 m.s.n.m., Martínez y Niemayer** reconocieron una antigua terraza marina del Plioceno, de unos 5 m de espesor, formada principalmente por conglomerados, areniscas gruesas y coquinas que contienen abundantes restos de invertebrados marinos.

* Carta Geológica de Chile. Hoja Antofagasta. F. Ferreris. F. Di Biase. IIG. 1978.

** Depósitos marinos terrazados del Plioceno Superior en la ciudad de Antofagasta, su relación con la Falla Atacama. E. Martínez y H. Niemeyer. III Congreso Geológico Chileno 1982.

2.3 Clima y pluviometría:

El clima de Antofagasta, imperante en la faja costera y cordillera de la costa, es representativo del clima desértico con nublados abundantes. Dicho clima se caracteriza por muy escasas precipitaciones, alta nubosidad, humedad relativa elevada y temperaturas estables a lo largo del año, con oscilaciones diarias de baja amplitud.

En las Tablas 2.1 y 2.2 se muestra el registro de precipitaciones mensuales para la estación pluviométrica de la Oficina Meteorológica de Chile en Cerro Moreno (Tabla 1) y de las precipitaciones diarias registradas en la estación meteorológica de la Universidad Católica del Norte. Los meses con registro pluviométrico superior a 5 mm aparecen graficados en la figura 2.1

PRECIPITACIONES (MM) MENSUALES

ZONA 1 HUAY 104 LOA SALAR DEL CARMEN SUP 8426 (KM2)													
EST 4 ANTOFAGASTA LAT 2326 LON 7028 ALT 119 (MTS)													
ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AG	SEP	OCT	NOV	DIC	TOT
1904	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5
1905	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.5
1906	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	2.3
1907	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	3.6	0.0	0.0	0.0	3.4	0.0	9.0
1908	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	0.0	0.0	2.2
1909	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1910	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	0.0	3.5
1911	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0
1912	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0	1.7	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	6.4
1913	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3	0.0	0.0	0.0	6.3
1914	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
1919	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1920	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.2	0.0	0.0	0.0	6.2
1921	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.5
1922	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.9	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	1.5
1923	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.7
1924	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	6.8	0.0	0.0	0.0	7.3
1925	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.3	10.9	1.6	0.0	0.0	0.0	28.8
1926	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1927	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.6	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	12.8
1928	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.3
1929	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.0	0.0	0.0	4.0	0.0	-1.0
1930	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.2	0.0	0.0	0.2	0.0	28.4
1931	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	2.0	1.0	0.0	4.4
1932	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0
1933	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	5.0
1934	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2
1935	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	0.1	9.7	0.0	0.0	11.2
1936	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.6	0.3	1.3	0.0	0.0	4.1
1937	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	3.0
1938	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	2.0	0.0	3.6
1939	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	0.0	0.0	8.0
1940	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.4	17.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	56.9
1941	0.0	0.0	0.0	8.0	1.0	4.0	0.0	0.0	0.6	5.1	0.0	0.0	18.7
1942	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.2	0.5	0.0	0.0	1.3
1943	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1944	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1945	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1946	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1947	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1948	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1949	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1950	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1951	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1952	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1953	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1954	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1955	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1956	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	1.4
1957	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

TABLA 2.1 (CONTINUACION)

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AG	SEP	OCT	NOV	DIC	TOT
1958	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1959	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	2.4	0.0	0.0	0.0	4.9
1960	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8
1961	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9
1962	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	1.5
1963	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.5
1964	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
1965	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.5
1966	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1967	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	2.2	2.3	0.0	1.2	0.0	6.5
1968	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MIN	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MAX	0.0	0.0	0.0	8.0	2.8	39.4	17.0	28.2	6.8	9.7	4.0	2.6	56.9
PROM	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	1.0	1.5	0.8	0.7	0.5	0.3	0.1	5.2
DESV	0.0	0.0	0.0	1.0	0.4	5.2	3.5	3.9	1.6	1.8	0.8	0.3	9.5
CV	-1.0	-1.0	-1.0	6.7	5.8	5.1	2.5	4.6	2.4	3.3	3.1	6.6	1.8

NOTA: VALORES NEGATIVOS INDICAN DATOS DESCONOCIDOS

TABLA 2.1 (CONTINUACION)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOT.
1969													0,0
1970						0	0,8	0	0,1		0,6		1,5
1971								1,1	0				1,1
1972						0		0	0,5	0,2			0,7
1973				0	0	0,8	0	0	0	0	0		0,8
1974				0	0		0	0,1	2,3		0		2,4
1975			0,5			1,2						0	1,7
1976	1,1						0	9,1	5				15,2
1977				0	0			1	0		0,5	0,5	2
1978		0	0	0	0			0	0,4	0	0		0,4
1979	0,4		0		0				0,1				0,5
1980							0		0	0	0	0	0
1981	0							0,2	0				0,2
1982						0,4			0,4	0,8			1,6
1983	0	0			0	0	0,6	0	0	0,1	0	0	0,7
1984			0,4			3,5	0	0	0	0	0,2		3,5
1985						0	0,1	0,9		0	0,1	0	1,1
1986				0,5					0	0,5	0,3	0	1,3
1987	0,7						6,2	0	1,9				8,8
1988							0,2		0		0		0,2
1989						0	0	0,1	0,5				0,6
1990					0	0	0		0	0	0		0

TABLA 2.2

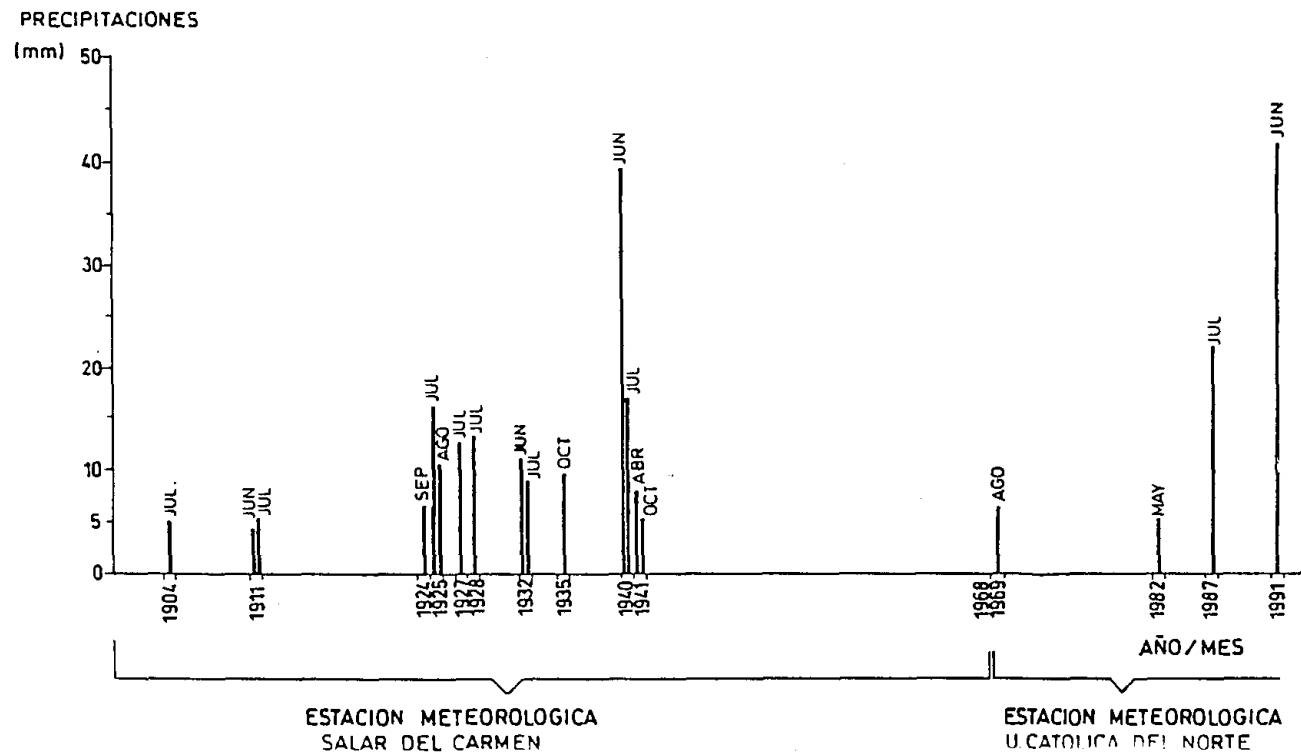
Universidad Católica del Norte
Departamento de Física
Estación Meteorológica

Datos pluviométricos de Antofagasta

DD	MM	aa	(mm)
		68	0
22	8	69	6,4
18	8	71	1,2
19	8	71	0,4
10	6	72	1,5
18	7	72	0,1
13	7	72	0,1
14	8	72	0,9
3	8	72	0,2
24	9	74	0,3
11	9	74	0,6
4	6	75	1,7
21	8	78	0,3
8	1	79	0,3
29	8	80	0,4
27	10	80	2
6	8	81	1,2
23	5	82	5,5
27	8	82	1
26	9	82	1,2
3	1	83	0,2
14	1	83	0,6
1	7	83	2,8
7	8	83	0,5
12	9	83	0,3
11	3	84	0,8
8	6	84	0,8
21	11	84	0,3
18	12	85	0,1
21	7	87	0,5
28	7	87	22,8
14	9	87	0,3
20	8	89	0,4
18	6	91	42

FIGURA 2.1

REGISTROS PLUVIOMETRICOS DE ANTOFAGASTA



2.4 EVOLUCION URBANA DE ANTOFAGASTA Y PROBLEMAS ACTUALES .-

La ciudad de Antofagasta se localiza a 23° 30' latitud Sur y 70° 25' longitud Oeste, en un clima desértico costero con precipitación casi nula. Actualmente cuenta con una población de 210.000 habts. (I.G.M. 1991) constituyéndose en el centro urbano más importante de la II región.

Esta ciudad fue fundada en 1868, con un objetivo portuario, por cuya razón el asentamiento inicial se ubicó en la primitiva caleta existente, la que ofrecía mayores ventajas para el movimiento de los productos. Todo ello sobre una terraza de abrasión que le permitía a la ciudad de ese tiempo crecer sin problemas acorde a las expectativas vigentes.

No obstante, si atendemos a las características geográficas de la región el crecimiento de Antofagasta, ha estado condicionado por elementos naturales como son : la Cordillera de la Costa al Este y el litoral costero al Oeste, obligando a la ciudad a expandirse en sentido Norte-Sur.

Por otra parte una terraza de abrasión marina sirve como base del asentamiento urbano, la que sufre modificaciones, pues en el área Norte presenta un ancho promedio de 3 kms. , disminuyendo hacia el Sur para casi desaparecer en Caleta Coloso.

Otro elemento natural que altera el desarrollo urbano continuo de Antofagasta, son las diversas quebradas que atraviesan la terraza y por ende la ciudad, siendo algunas de ellas de gran magnitud tales como Quebrada Salar del Carmen, Baquedano etc. , cuyos cauces naturales han sido utilizados como calles, al no poder instalar viviendas por la mala consolidación del material.

Cabe señalar además , la existencia de conos de deyección, correspondiente a depositaciones de sedimentos fluviales, verdaderos abanicos que alcanzan gran extensión entre la cordillera de la Costa y la planicie litoral.

4.2

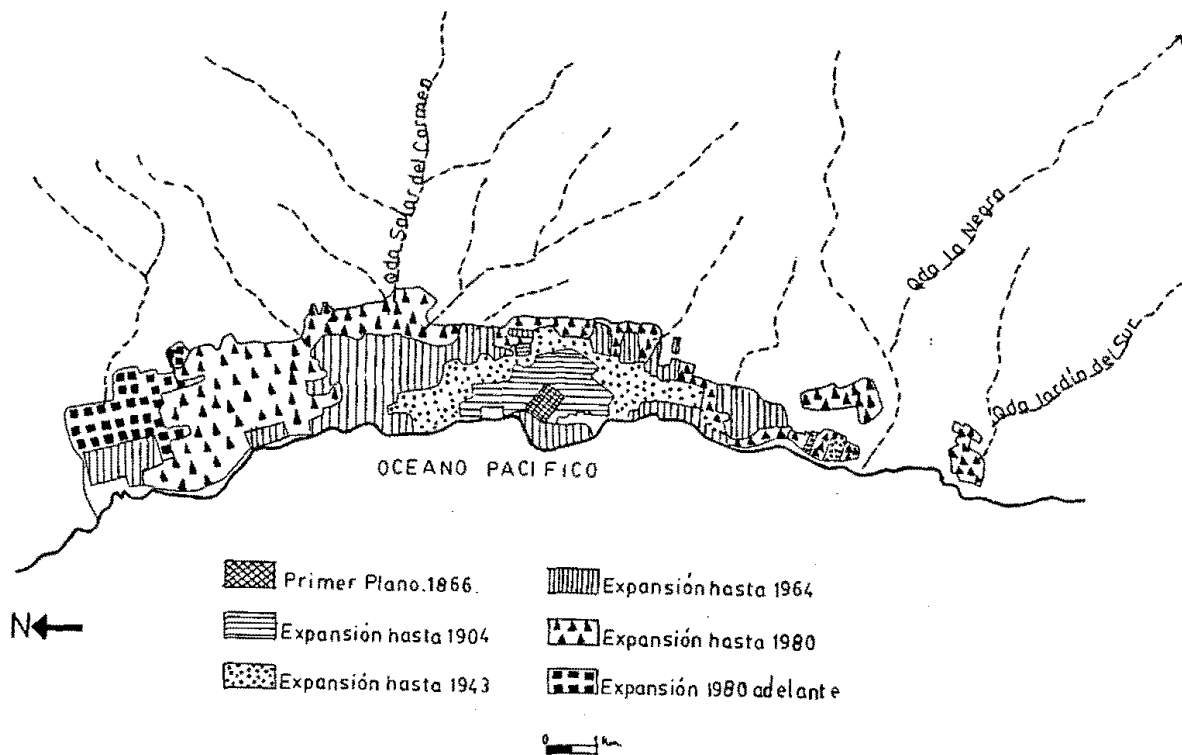
Estos han sido ocupados en sucesivos poblamientos espontáneos, desatendiendo la normativa establecida por el plan regulador urbano, desde la segunda mitad del siglo XX, en que la ciudad evidencia un crecimiento desordenado, por la falta de distribución planificada de terrenos, llevando a poblar el sector Este de la ciudad, que carece de luz, agua y alcantarillado, por su carácter de espontáneo, generando una disimetría entre este sector y la restante ciudad, hecho que conlleva inevitablemente a serios problemas en el trazado de calles y su accesibilidad.

Posteriormente entre 1960-1970, Antofagasta continúa expandiéndose en todas direcciones. Hacia el Sur se urbaniza construyéndose edificios y avenidas importantes como Costanera y Ejército. Sin embargo presenta un escaso espacio susceptible de ser habitado, por la estrechez de la planicie litoral, albergando un 20% de la población antofagastina. En el sector central alto se concentra un 20% de la población en difíciles condiciones por la presencia de conos, quebradas y algunas estribaciones de la cordillera de la Costa, entregando una imagen algo caótica de la estructura urbana.

Más importante, es el sector Norte, que aglutina el 50% de la población urbana, llegando inclusive a condiciones de hacinamiento en algunas poblaciones marginales,

Finalmente en la década de 1980, aún persisten los problemas de índole estructural. No obstante, el más grave es la falta de seguridad para más del 20% de la población, por sus precarias condiciones de asentamiento, e inaccesibilidad, puesto que se han emplazado en inestables terrenos como son los conos de deyección, el cauce de las diversas quebradas, transformándose éstas en áreas de riesgo, no aptas para ser pobladas, hecho que agravó la ocurrencia del aluvión del pasado 18 de Junio de tan trágicas consecuencias para la población emplazada en dichos lugares y que requiere de una urgente solución por parte de las autoridades.

CRECIMIENTO HISTORICO DE ANTOFAGASTA



3. Descripción del Fenómeno.

3.1.- Pluviometría:

Para el análisis del agua caída sobre la ciudad de Antofagasta se cuenta con la información de tres estaciones meteorológicas: a) La estación de Cerro Moreno, en el aeropuerto del mismo nombre, ubicado unos 25 kms. al norte de la ciudad; b) la estación de la Dirección General de Aguas, ubicada en el barrio industrial en el sector norte de la ciudad y; c) la estación de la Universidad Católica del Norte ubicada en el sector Centro-Sur de la ciudad.

Un hecho importantísimo de señalar es la gran variabilidad espacial de la precipitación caída durante la madrugada del 18 de Junio ya que, en la estación Cerro Moreno se registraron 16 mm., en la estación de la D.G.A. se midieron 17 mm., y en la estación de la Universidad se bajaron 42 mm. (la precipitación duró aproximadamente tres horas).

Son importantes de analizar los datos de las tres estaciones ubicadas en la ciudad misma (a unos 0 kms. la una de la otra), ya que, una primera visión nos llevaría a pensar en un error de medición en alguna de ellas, lo que no es así ya que efectivamente se puede notar una mayor activación de las quebradas de sector Sur que las del Norte.

La precipitación media podría ser mayor ya que, una fuente de error en los pluviómetros es el viento. Por lo que el considerar que la lluvia fue interrumpida de la fuerte viento que acentuó los 54 km/h., podríamos modificar las mediciones utilizando el gráfico elaborado por Larson, etc. en inglés.

3

1975), obteniendo aproximadamente 18,3 mm para la estación de la D.G.A. y 54,6 para la estación de la Universidad, los que coinciden con las mediciones realizadas por el ingeniero Jorge Skorin en base a una piscina en las cercanías de la Universidad, en donde registró 58 mm. 3

En el caso de que la precipitación caida sobre Antofagasta tuviera un gradiente Norte-Sur de caracter lineal, el incremento sería del orden de los 3,6 mm/km.

Las tres estaciones antes mencionadas cuentan para sus mediciones de precipitaciones con pluviómetros y no con pluviógrafos, lo que constituye una desventaja puesto que no es posible determinar la intensidad de la lluvia, debiéndose conformar con un valor promedio, sin embargo, al menos en la estación de la Universidad Católica del Norte, se registró la hora de inicio y término de la lluvia, habiéndose determinado que su duración total fue de 2,5 horas. (Informe verbal). 2

3.2.- Mecanismo del Evento:

Antes de realizar una descripción del evento acontecido y su mecanismo de generación se hace necesario realizar una breve definición de dos de los más importantes flujos rápidos de escombros en zonas áridas: los torrentes de barro y las crecientes.

Los torrentes de barro son flujos que tienen su origen en el deslizamiento de una ladera por la saturación por agua proveniente de una fuerte precipitación, del material detrítico que se encuentra en ella sin la cubierta de un tapiz vegetal que sirva de protector. Por lo general se trata de un flujo muy viscoso que contiene mas de un 50% de sólidos.

En cambio, una creciente es un flujo menos viscoso que el anterior, cuyo material detrítico a sido arrastrado o tomado en carga por el agua al escurrir sobre la superficie. En el caso, de que el flujo sea en manto que se desliza por la ladera, se trata de una creciente laminar (sheetflood). en cambio, si es que el escurrimiento y la erosión es a través de un cauce, se trata de una creciente encauzada (streamflow). A

A partir de las observaciones realizadas en terreno, es posible afirmar que el material detrítico arrastrado hacia la ciudad provenia en su gran mayoría de depósitos encontrados en el lecho de las distintas quebradas, los que fueron erosionados y socavados por el agua que escurría, con gran fuerza, por éstas. Este aporte del lecho se vio incrementado por la presencia de depósitos de basuras en las quebradas, como es el caso de "la cadena" o bien por las labores de extracción de áridos, que 4

pusieron a disposición del agua abundante material ya suelto y que en algunos casos como en Quebrada Bonilla conformaron una especie de dique natural que al ser roto dio mayor energía al flujo (la Granja Kutulas a la salida de la quebrada La Cadena es otro ejemplo de estos diques que se formaron). La magnitud del aporte de materiales por el lecho y las orillas del cauce es tal, que en algunos sectores de la quebrada La Cadena quedaron huellas de socavamiento que tienen alturas de mas de tres metros, y que en el caso de Quebrada Baquedano al igual que otras, quedo al descubierto la roca madre siendo llevada la cubierta de materiales existentes. 42

A pesar, de que la mayoría del material detrítico provenia del lecho y las orillas de los arroyos activados, es posible encontrar algunas huellas de aporte de las laderas, ya sea por el arrastre de los materiales superficiales por el agua que escurria o, por el material de pequeñas regueras formadas en los sectores de las laderas en que se concentraba el agua provocando una activación de la erosión lineal. Pero, se hace necesario recalcar, para un correcto entendimiento del problema, que el aporte de laderas no tiene gran significado en cuanto al volumen total de los materiales transportados. 4

Este flujo de agua cargado de abundantes materiales de variada granulometría, al llegar a la salida del sistema montañoso, se encontraba con pendientes menores que hacen disminuir la energía, obligando al flujo a dejar parte de la carga sólida mas pesada provocándose sedimentación. Esta sedimentación muestra un cierto grado de selección granulométrica

(vista en el analisis de las quebras recolectadas), quedando en los sectores mas altos los depositos de los materiales mas gruesos (gravas y principalmente arena) y en los sectores mas cercanos a la costa los limos y arcillas que al secarse dieron origen al problema de polvo en suspension que afecto posteriormente y por varios dias a la ciudad.

A manera de sintesis, el evento ocurrido en Antofagasta podria ser descrito de la siguiente manera: El agua de la intensa lluvia no podia ser absorbida por completo, debido probablemente a la existencia de una capa salina en superficie y el pavimento descrito (capa de ciastros pequenos ordenados de tal forma que conforman una especie de pavimento) conformandose una capa de poca permeabilidad (que no ha podido ser medida) que disminuye la infiltracion permitiendo mayor escurrimiento superficial que al escurrir por las laderas tomaba en carga algunos escombros, en algunas ocasiones este escurrimiento de las laderas se concentraba produciendo algunas quebradas que aportaban algo de materia salina. Luego, el agua se encauzo en el sistema de arroyos secos existentes, en donde se aumentaba la energia dando origen a un torrente de gran violencia que erosiono el lecho y las arcillas cargandose de grandes cantidades de materiales, en algunos casos, este flujo se encontraba con algunas barreras que conformaban un dique que al ser roto dio origen a un flujo de mayor energia que origino las olas descritas por algunas personas que ignoraron darse cuenta de lo que pasaba. Este flujo al encontrarse con pendientes menores comenzo a sedimentar a la salida de las quebradas o sobre los fondos de devesion

existentes, arrastrando o sepultando las construcciones que encontraba a su paso. Finalmente, en los sectores mas bajos quedo el agua con las partículas que permanecieron en suspensión o bien, estos fueron a dar al mar.

A raíz de lo observado, el evento ocurrido podria ser definido como una creciente, ya que es el término que corresponde y no como un aluvión que es un término utilizado solo en Chile, para referirse a este tipo de evento esporádico.

A.

3.3 Antecedentes de mecánica de suelos

Por limitaciones de presupuesto, sólo se pudo tomar un número reducido de muestras de pequeño volumen, para análisis de laboratorio. Se tomaron muestras tanto de suelos que no habían sido transportados por este aluvión (en laderas de cerros y en el lecho de la quebrada La Cadena) como de los suelos que sí fueron transportados por él.

Las muestras se identifican de acuerdo a la siguiente descripción:

Muestra Nº	Ubicación
1, 2, 3 y 4	Quebrada La Cadena, en el sitio de las fotos 3 y 5, aproximadamente 600 m aguas arriba del cruce con Avenida Circunvalación. Se tomaron varias muestras de material no removido, en un escarpe producido por la erosión del lecho de la quebrada.
5	Subestación eléctrica EDELNOR, Av. Circunvalación. Material transportado por el aluvión de quebrada La Cadena.
6	Esquina de calles Sicilia y Paraguay. Material transportado por el aluvión de quebrada Salar del Carmen.
7	Cruce de calle Salar del Carmen con la vía del Ferrocarril Antofagasta Bolivia. Material transportado.
8	Intersección de calles Arauco y Buenos Aires. Material transportado, proveniente de quebrada El Ancla.
9	Material depositado en avenida Circunvalación por la quebrada Riquelme. Esta muestra se perdió en el viaje a Santiago.
10	Material depositado en avenida Circunvalación por el aluvión de quebrada Uribe.
11	Material depositado en calle Arturo Prat frente al Nº 1470.

Muestra Nº	Ubicación
12	Arcilla depositada en Av. Grecia cerca de calle Julio Pistelli. La muestra corresponde a la parte superior, de aproximadamente 2 cm de espesor; bajo la arcilla se encontró arena.
13	En la ribera de la quebrada Caliche, próxima a la intersección con un terrapién (de un camino abandonado), aproximadamente a la cota 140 ± 10 . Material removido.
14	Quebrada Caliche, material no removido, aproximadamente a la cota 110 ± 10 .
15	Calle Travesía del Mar con Subida de la Quebrada, material depositado por el aluvión de la quebrada Jardines del Sur.
16	Sector Jardines del Sur, Material superficial (de 0 a 5 cm de profundidad) no removido, en faldeos de cerro, (terrazza) aproximadamente a cota 150.
17	En el mismo punto de la muestra anterior, a 30 cm de profundidad.

Cabe destacar que, debido al reducido volumen de las muestras que pudo tomarse, la granulometría de las gravas no quedó siempre bien representada. En algunos casos, existía en terreno un bajo porcentaje de partículas de mayor tamaño, las que no fueron incluidas en las muestras.

Los resultados de los ensayos se resumen en la Tabla 3.1 y en las figuras 3.1 a 3.15. Ellos confirman que los materiales que existen en las laderas de cerros y lechos de quebradas, tienen granulometrías variables desde grava limpia y arena limpia hasta arena arcillosa. Existen también zonas con cascotes y cascajos (fragmentos de diámetro nominal superior a 76.2 mm).

Los ensayos también confirman la selección granulométrica que se produjo en los materiales depositados.

El contenido de sales solubles de los materiales que fueron arrastrados por el aluvión, no excede de 0,73 %, lo cual refleja el efecto de lixiviación producido por las aguas torrenciales. Lo mismo ocurre con los sedimentos existentes en el fondo de la quebrada La Cadena (muestra 1 a 4), ya que estos materiales fueron depositados por torrentes antiguos.

El contenido de sales solubles de las restantes muestras de suelos que no fueron transportados en este aluvión (Nos. 13, 16 y 17), alcanza a 1.6% como máximo.

La muestra 16 se tomó bajo la hipótesis de que en la capa superficial del suelo, el "pavimento de desierto" contenía un elevado porcentaje de sales solubles. Bajo dicha hipótesis, se postula que tal capa superficial es de menor permeabilidad que el suelo subyacente, debido a que, durante el período de duración de la lluvia, no se alcanza a disolver las sales que rellenarían los huecos entre las partículas sólidas de grava y arena. De esta manera, se puede explicar que el coeficiente de infiltración de los suelos existentes en las laderas de los cerros sea muy bajo y que, en consecuencia, un elevado porcentaje de la precipitación escurrió como agua superficial. Sin embargo, los resultados preliminares que se han obtenido no sustentan la hipótesis planteada.

Con el mismo propósito, se trató de medir en terreno la permeabilidad de la capa superficial de suelo.

Sin embargo, el ensayo no pudo efectuarse con éxito y los resultados no son concluyentes.

Los ensayos de permeabilidad efectuados en laboratorio entregan un valor elevado, característico de gravas y arenas.

Malla ASTM

TABLA 3.1

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

PROYECTO : FONDECYT 695-91						
UBICACION : ANTOFAGASTA						
MUESTRA	1	2	3	4	5	6
UBICACION	Quebrada	Escarpe	Quebrada	Quebrada	Subestación	Sicilia-
	La Cadena	La Cadena	La Cadena	La Cadena	eléctrica	Paraguay
					EDELNOR	(acceso
						norte)
<i>D (mm)</i>						
GRANULOMETRIA						
3"	76.2	100		100		100
1 1/2"	38.1	82		94		97
3/4"	19.0	72	100	79	100	88
3/8"	9.51	56	92	60	89	72
#4	4.76	35	79	36	70	46
#8	2.38	22	52	19	45	32
#16	1.19	13	30	9	28	18
#30	0.59	8	15	5	18	9
#50	0.297	3	8	3	12	5
#100	0.149	3	4	3	8	4
#200	0.074	2	3	2	6	3

LIMITES DE ATTERBERG

LL						
LP						
IP						
LC						

HUMEDAD NATURAL

W (%)	3.9	4.4	4.5	5.1	7.8	9.3
-------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

DENSIDAD DE SOLIDOS

G _s	2.80	2.80	2.80	2.81	2.81	2.83
----------------	------	------	------	------	------	------

DENSIDAD MAXIMA Y MINIMA * MATERIAL CORTADO EN MALLA ASTM # 4

D.S. MAXIMA	* 2.05			* 2.16		
D.S. MINIMA	* 1.53			* 1.61		

SALES SOLUBLES

SALES SOLUBLES						
(%)	0.19	0.40	0.28	0.22	0.25	0.43

TABLA DE RESULTADOS

PROYECTO : FONDECYT 695-91					
UBICACION : ANTOFAGASTA					
MUESTRA	7	8	10	11	12
UBICACION	Salar del	Arauco -	Quebrada	Arturo Prat	Arcilla
	Carmen -	Buenos	Uribe	Nº 1470	
	esq.ferrroc.	Aires	Circunv.	(San Martín	
				Las Torres)	

GRANULOMETRIA					
3"		100			
1 1/2"	100	91			
3/4"	93	85			
3/8"	89	74			
#4	76	56	100	100	
#8	59	46	98	98	
#16	42	31	97	90	
#30	24	19	93	81	
#50	12	11	74	53	
#100	7	7	29	16	
#200	4	5	15	10	

LIMITES DE ATTERBERG					
LL					42.2
LP					22.5
IP					19.7
LC					22.1

HUMEDAD NATURAL					
W (%)	6.9	9.3	18.7	16.4	136.0

DENSIDAD DE SOLIDOS					
Gs	2.76	2.76	2.76	2.78	2.61

DENSIDAD MAXIMA Y MINIMA					
D.S.MAXIMA				1.88	
D.S.MINIMA				1.36	

SALES SOLUBLES					
SALES SOLUBLES					
(%)	0.43	0.50	0.50	0.73	0.64

TABLA DE RESULTADOS

PROYECTO : FONDECYT 695-91					
UBICACION : ANTOFAGASTA					
MUESTRA	13	14	15	16	17
UBICACION	Quebrada	Quebrada	Sector	Terraza.	Terraza.
	Caliche	Caliche	Jardines del	Sector	Sector
	Terraza	Cono deyección	Sur (Calle	Jardines	Jardines
	superior	a media falda	Travesía del	del Sur	del Sur
			mar)		
GRANULOMETRIA					
1 1/2"					
1"					
3/4"					100
3/8"					97
#4			100		92
#8			97		87
#16	100		93		83
#30	98	100	88		79
#50	55	45	61		57
#100	8	3	18		25
#200	3	1	9	7	18
LIMITES DE ATTERBERG					
LL					28.0
LP					12.0
IP					16.0
LC					
HIJEDAD NATURAL					
W (%)	1.1	0.8	11.9	2.7	1.8
DENSIDAD DE SOLIDOS					
Gs	2.81	2.74	2.73		
DENSIDAD MAXIMA Y MINIMA					
D.S. MAXIMA	1.73	1.71	1.86		
D.S. MINIMA	1.39	1.37	1.32		
SALES SOLUBLES					
SALES SOLUBLES					
(%)	1.60	0.67	0.53	0.63	1.05

ENSAYOS DE PERMEABILIDAD

Muestra Nº	13	13	1	1
Altura de la Muestra (cm)	8.21	7.60	11.60	10.80
Volumen de la muestra (cm ³)	348.4	322.47	492.18	458.24
Densidad Seca (kg/l)	1.62	1.72	1.86	1.98
Humedad Inicial (%)	0.0	0.0	0.0	0.0
Humedad Final (%)	24.6	19.9	13.7	10.1
Sentido del Flujo	Vertical hacia abajo	Vertical hacia arriba	Vertical hacia arriba	Vertical hacia arriba
Permeabilidad (cm/seg)	2.86×10^{-3}	2.51×10^{-3}	8.52×10^{-4}	1.45×10^{-4}

ANALISIS HIDROMETRICO - MUESTRA 25

Porcentaje de Finos = 99%

DIAMETRO (mm)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
0.062	98
0.044	96
0.023	85
0.011	70
0.0066	57
0.0014	29

4. DESCRIPCION DE LOS DAÑOS:

Antes de comenzar la descripción de daños por quebrada se hace necesario mencionar que según cifras del Serpiac, el aluvión causo 101 víctimas fatales, 4.737 viviendas afectadas de las cuales 402 fueron completamente destruidas, 710 inhabitables y 1.506 con daños pero habitables. Resultando, 5.727 familias afectadas con un total de 21.075 personas.

QUEBRADA CLUB HIPICO

La cuenca de esta quebrada tiene una superficie de 3.4 kms², no causando mayores daños. Sin embargo, es importante mencionar que es hacia este sector donde está creciendo la ciudad, por lo que es necesario conocer de su existencia y la de otras quebradas más al norte, como una forma de terminar con la creencia de que el sector norte es un sitio sorprendentemente seguro ante los riesgos de aluvión, por lo que se hace necesario su conocimiento antes de planificar la futura extensión de la ciudad.

El único daño provocado, fue el socavamiento de las bases de las cañerías de educación que cruzan la quebrada.

Se produjo segmentación leve, al llegar a las chacras del área, en el camino de tierra continuación de Oscar Bonilla y en la intersección de esta avenida con Gabriel Silva en donde se están construyendo actualmente viviendas.

QUEBRADA BONILLA

Es importante señalar que esta quebrada presenta una cuenca total de 8.2 kms^2 , pero debido a la urbanización de su sector inferior quedó dividida en quebrada Bonilla Norte y Sur con una superficie de 4.0 kms^2 y 4.2 kms^2 respectivamente.

La quebrada Bonilla Norte, produjo una gran erosión de su lecho hasta llegar a la calle 3, siguiendo luego su curso natural que corresponde a la calle A. Martínez, provocando daños en la intersección las calles antes mencionadas, al llegar a la Avda. General Oscar Bonilla sedimento con espesores de hasta 2 metros, provocando graves daños en la intersección puente de A. Martínez con Bonilla, sepultando las viviendas y dañando seriamente otras, sedimentando también en las diversas calles transversales al flujo de material.

El curso inferior de la quebrada Bonilla Sur se encuentra intervenido por el Hombre pues, se extrae de ella material para diferentes fines (árboles), ello generó un dique que sirvió para retener la lluvia proveniente del sector superior, el que al sobrepasar esta barrera, ubicada unos 200-300 mts. antes de que comienzan las construcciones, erosionó formando grietas de un ancho no superior a 60 cms. y una profundidad de hasta 4 metros, más abajo se desplazó hacia una planicie donde se depositó el material fino en suspensión, generándose una cubierta de arcillas y limos de un espesor no determinado, pero superior a 30 cms. que al secarse dio origen a suelos poligonales.

El flujo de material llegó hasta la calle Carrasco Stv.

donde los habitantes abrieron las puertas de sus casas para permitir el paso del material y evitar así la destrucción de sus viviendas, al llegar a los patios derribó las paredes de desmoronamiento, para salir por la calle R. Disterna. Otra parte de la corriente descendió a través de los pasajes, llegando hasta la calle C. Rozas y Oscar Bonilla donde finalmente depositó . . .

En esta Área, todas las construcciones existentes al Este de Oscar Bonilla, en la confluencia de ambas quebrada fueron levantadas con posterioridad a 1.981.

QUEBRADA FARELLONES

Con una cuenca de 4.1 km^2 , es fundamentalmente rocosa con suaves pendientes en su curso inferior. Los caños causados fueron menores y bien localizados. Se produjeron en una escuela cercana a la salida de este del sistema montañoso entre Avda. Circunvalación y El Roble, donde se derrumbó una pared de cierre externo, depositándose el material en el patio con un espesor de 1 a 1.5 metros.

Otro punto de sedimentación fue la cancha de fútbol ubicada entre esta escuela y la Avda. Bonilla.

QUEBRADA SALAR DEL CARMEN

Esta corresponde a la entrada norte de Antofagasta con una superficie de 35.2 km^2 , causó en conjunto con la quebrada La Cadenx los mayores daños en la ciudad.

Primariamente, el aluvión descendió paralelo al camino de

acceso a esta ciudad, socavándolo en varios sectores, destruyendo además la aducción de agua potable que une la planta de filtro (km. 12) a la ciudad dejando las cañerías rotas y esparcidas.

Al salir del sistema montañoso descendió por la calle Salar del Carmen y Paraguay (paralelas de dirección E-W). Pasado Avda. Circunvalación se desvió hacia el Norte afectando seriamente los pasajes Ceita, Castro, tres Marias, Aurora Boreal. Por su parte, la intersección de la calle Zegers con Avda. Circunvalación resultó gravemente erosionada. Es importante señalar que los daños en este sector fueron de mayor magnitud, puesto que esta área corresponde al sector de desague de la quebrada, por lo que el flujo de material siguió su curso natural. El sector de Sicilia entre Salar del Carmen y Paraguay no fue afectado en gran medida debido a la presencia de cañones aljibes que se encuentran cargando agua, sirviendo como diques de contención de la gran masa de barro.

Luego, en avenida Salar del Carmen se produjo socavamiento de las veredas del lado norte de la calzada, viéndose seriamente afectada una vivienda de dos pisos, la que fue socavada en la base, siendo arrasado el primer piso quedando el segundo piso colgando, el cual posteriormente demolido.

En el sector más bajo de la ciudad el flujo se desvió hasta Avda. Maatín, Línea de Ferrocarril entre las calles Gualle, del Horno, Avda. deplones y finalmente Pérez y Laviolette (costanera) donde el material finalmente se depositó.

QUEBRADA LA CADENA

Su cuenca tiene una superficie de 24.9 kms², generandose a partir de unos 600-700 mts antes de llegar a las primeras construcciones de población "El Salto" gran erosión de los lechos, encontrandose en algunos lugares cortes que muestran una socavación de hasta 4 metros.

A su paso destruyó todas las construcciones que se encontraban en su lecho, tal es el caso de la población El Salto donde gran cantidad de casas de material ligero resultaron completamente destruidas, mientras que en aquellas de material solido quedó solo la obra gruesa.

Pasado Avda. Circunvalación, el aluvión afectó la población Ferro-Baquedano, siendo destruidas alrededor 7 u 8 casas y otras tantas seriamente dañadas, además afectó instalaciones de EDEAOS, cubriendolas con un grueso manto de material y destruyendo equipamiento de laboratorio.

Posteriormente, cruzó un sitio erizado llegando hasta la calle Cristóbal Colón, donde afectó las cinco manzanas inmediatas a esta calle, concentrándose el mayor dano en la calle Cristóbal Colón entre México y Chile Nuevo.

Por otra parte el mayor volumen de material descendió por las calles Paraguay y principalmente México, en el caso de esta ultima existe un desnivel entre la acera Norte, más baja que la acera Sur, por lo que el flujo se desplazó hacia dicho sector afectando las viviendas de material solido en las que solo quedaron los pilares y algunas murallas interiores y sin los

enferes de sus moradores (México altura 200). A la altura del #1.000 de esta calle el daño consistió en depósitos de material en el interior de las viviendas (1.5mts), no obstante la estructura es recuperable, sólo fue destruida una vivienda de material ligero.

Este flujo sedimentó en Avda. Dautin dejando una capa de material con un espesor de 1.5 a 2.0 metros entre las calles Río de Janeiro por el Sur y Colombia por el Norte. En este sector afectó seriamente las casas de la acera poniente, sin embargo su estructura quedó en buen estado.

En la intersección de Paraguay y Dautin destruyó el cerco exterior de los recintos de Ferrocarriles, encontrándose en esta área la mayoría de los cadáveres de las personas que habitaban Villa El Salto (15 a 20 cuerdas al Este), que resultó destruida por estar emplazada en el lecho de la quebrada.

En el recinto del FCAE fueron inundados las bodegas y talleres, no siendo posible la realización de las labores de despeje con la ayuda de maquinaria, por lo que el trabajo tuvo que ser enteramente realizado a mano encareciendo los costos.

Por último, cabe señalar que todas las calles que intersectan las calles Paraguay y Ecuador resultaron con sedimentos provocando daños localizados.

QUEBRADA EL ANCLA

Con una superficie de 0.9 km², presenta la particularidad de que el material arrastrado alcanzó el tamaño de los bloques

1913 cms.) debido principalmente a la existencia de una canchera en el sector.

La primera zona urbana afectada fue Avda. Circunvalación, dejándola completamente cubierta, complicándose la labor de despeje por la granulometría del material depositado.

Esta quebrada actuó en conjunto con otra inmediatamente al Norte con una superficie de 0.1 km^2 las que afectaron el sector de calle Lenteno por el Norte y Buenos Aires por el Sur, dejando las calles perpendiculares a esta con una capa de sedimentos, especialmente Avda. Cautín. La máxima destrucción se produjo en la intersección de Los Vilos con Lima.

QUEBRADA BAQUEDANO

Esta quebrada alcanza una superficie de 1.6 cms., no obstante, ello causó serios daños, por la existencia de viviendas en el sector urbano.

La rama es abundantemente rorosa, los materiales acumulados en el lecho (hasta con 2 mts. de espesor) fueron removidos, alcanzando estos hasta el sector oriente de Avda. Circunvalación, quedando una capa de material aproximadamente a medio de espesor. La avenida en este tramo fue erosionada quedando totalmente destruida. A la acción del escurrimiento normal de la quebrada se sumó una cantidad de agua proveniente de la alimentadora Sur y tres cañerías adicionales, lo que en conjunto se desahogó en dirección a la zona destruyeron todas las casas emplazadas en el lecho, que sumaron entre 10 y 15

viviendas de mediana altura, más que llegó hasta Avda. Noraman. Además se produjo una deposición en el sector de la línea de ferrocarril, dañando un grupo de casas localizadas en la intersección de Avda. Manuel Rodríguez con Baquedano, sedimentando las calles que cruzan esta última, especialmente a partir de la calle 14 de Febrero hasta Washington, la colmatación y fuerza de arrastre fue tal, que se desvió hacia el Norte por calle Condell, luego descendió por Prat, llegando finalmente al sector céntrico de la ciudad, el cual quedó cubierto por una capa de sedimento de 0.5 mts. en Prat e incluso mayor a 1 metro en calle Baquedano.

Al daño por la destrucción del tramo de la avenida Circunvalación de las viviendas y la pérdida de enseres en varias viviendas más, se suma el enorme daño económico producido por la sedimentación en el centro de la ciudad, y especialmente en la calle Arturo Prat, en donde existen varias tiendas de electrodomésticos, entre artículos que fueron cuarentas por el barro.

QUEBRADA URIBE

Esta sólo alcanza una superficie de 0.5 mts², no causaron ni avenidas, sólo sedimentación en Avda. Circunvalación y en la línea de ferrocarril. Además escurrió por calle Uribe colaborando en el anegamiento del sector bajo de la ciudad (Avda. Brasil y Coscañari).

QUEBRADA EL TORO

Con una superficie de 3.6 kms^2 causó gran cantidad de daño en el regimiento Esmeralda, cuyas instalaciones se encuentran en su mayoría en el lecho de la quebrada, siendo cubiertas por mas o menos 2 metros, quedando en algunos casos sólo el techo a la vista. El flujo de materiales arrastró las armas y municiones existentes en esta unidad militar, quedando esparcidas aguas abajo.

Posteriormente al llegar a Avda. Miramar, fue erosionado el sector de la línea del ferrocarril, dejando los rieles suspendidos en el aire, afectando luego las construcciones existentes en la calle Manuel Rodríguez entre Diaz Gana y Viña del Mar, en donde hubo daños estructurales a las viviendas y/o perdida total de los enseres, en el mejor de los casos algunas viviendas quedaron en su interior con 1.5 metros de barro.

El flujo de material continuó desplazandose por la calle Playa Blanca, causando daños entre las calle Alfaro el Poniente y Manuel Rodríguez por el oriente, para finalmente sedimentar en Avda. Argentina, Avda. Angamos y Grecia, como también la mayoría de las calles que cruzan Playa Blanca.

QUEBRADA CALICHE

Corresponde a un conjunto de quebradas menores, que alcanzan una superficie total de 2.1 km^2 , afectando fundamentalmente el edificio Caliche, donde el primer piso quedó

cubierto por una capa de 1.5 metros no produciendo, sin embargo, daños estructurales. En definitiva, este edificio actuó como un gran dique que obligó a sedimentar, viéndose además afectados varios automóviles estacionados o que circulaban por el sector.

QUEBRADA LA NEGRA

Corresponde al camino de acceso Norte a esta ciudad, con una superficie por sobre los 2.000 kms². No obstante, la superficie directamente involucrada al área urbana es de alrededor de 50 kms² hasta el sector de estación La Negra, mientras que la influencia del resto de la cuenca llegó hasta las instalaciones de INACESA, al oriente de la Cordillera de la Costa.

Esta quebrada destruyó totalmente el camino que corre paralelo a su lecho y en el lecho mismo. En un comienzo (desde mar a cordillera), el camino va por el pie de las laderas; en los sectores de curva cuando el camino se encontraba por el lado exterior de estas se produjo socavamiento del terraplén y desprendimiento de la cubierta asfáltica. Luego, el camino va por el lecho mismo o muy cercano a este viéndose afectado por socavación de la base y posterior destrucción de la cubierta, mientras que en otros tramos el camino quedó cubierto por los materiales provenientes de las quebradas laterales, depositándose en forma de abanico con espesores en algunos casos superiores a 4 metros.

En el lecho de la quebrada también se encuentran dos líneas

del ferrocarril, las cuales en algunos sectores fueron totalmente arrasadas, quedando los rieles retorcidos y esparcidos por la quebrada. Mas hacia las nacientes la linea fue cubierta por materiales, situacion que las dejó temporalmente fuera de servicio.

Al llegar a la ciudad, destruyo el complejo turistico Las Vertientes por encontrarse en el lecho de la quebrada. Casi al llegar a Avda. Costanera, destruyo instalaciones del ejercito luego de derribar una pared de cierre. Cabe señalar la gran sedimentación de esta Avda. que cubrio incluso la cancha Los Heroes entre esta calle y el mar.

QUEBRADA JARDINES DEL SUR

Presenta una superficie de 9 kms². Destruyo totalmente 2 casas ubicadas en el lecho de la quebrada en la interseccion de la Subida de la Quebrada con Calle Sur con el resultado de que resultaron con una fuerte sedimentación varias casas de la Subida de la Quebrada, siendo además dañados varios automóviles, algunos de los cuales se encontraban en estacionamientos subterráneos.

También hubo sedimentación en Camino Coloso y en las calles perpendiculares a Subida de la Quebrada, quedando incluso depósitos superiores a 3 metros.

Por constituir este un barrio muy exclusivo los daños fueron cuantiosos dado el alto precio de las viviendas destruidas y dañadas, los muros de cierre derribados y la existencia de enseres domésticos y automóviles de gran valor.

QUEBRADA EL HUÁSCAR

Finalmente, podemos señalar que en la zona del Salneario El Huáscar se destruyeron 2 ó 3 casas que se encontraban en el lecho de la quebrada que desemboca en dicha área, produciendo abundante sedimentación.

Cabe señalar, que los postes del tendido eléctrico no fueron dañados, debido a la poca resistencia que oponen al flujo, salvo aquellos sectores en que fue erosionada la base que los sustenta, tal es el caso de los postes cercanos a la línea férrea en el sector de quebrada El Toro, en donde se erosionó completamente el terraplén de esta vía. El corte de energía eléctrica se debió al daño sufrido en la planta EDÉLAR y a razones de seguridad, puesto que, las casas afectadas permanecían con sus arranques domiciliarios en funcionamiento existiendo el riesgo de electrocutamiento de personas como es el caso de un niño que falleció mientras participaba en las labores de rescate.

CARTOGRAFIA POR QUEBRADAS

Simbología:

	Zonas de crecimiento de las ciudades
	Zonas de densificación
	Zonas de destrucción

Escala: 1:10.000 — mejor indicar la escala en los dibujos, graficando.

Fuente:

Plano base: Reduccion Plano Regulador.

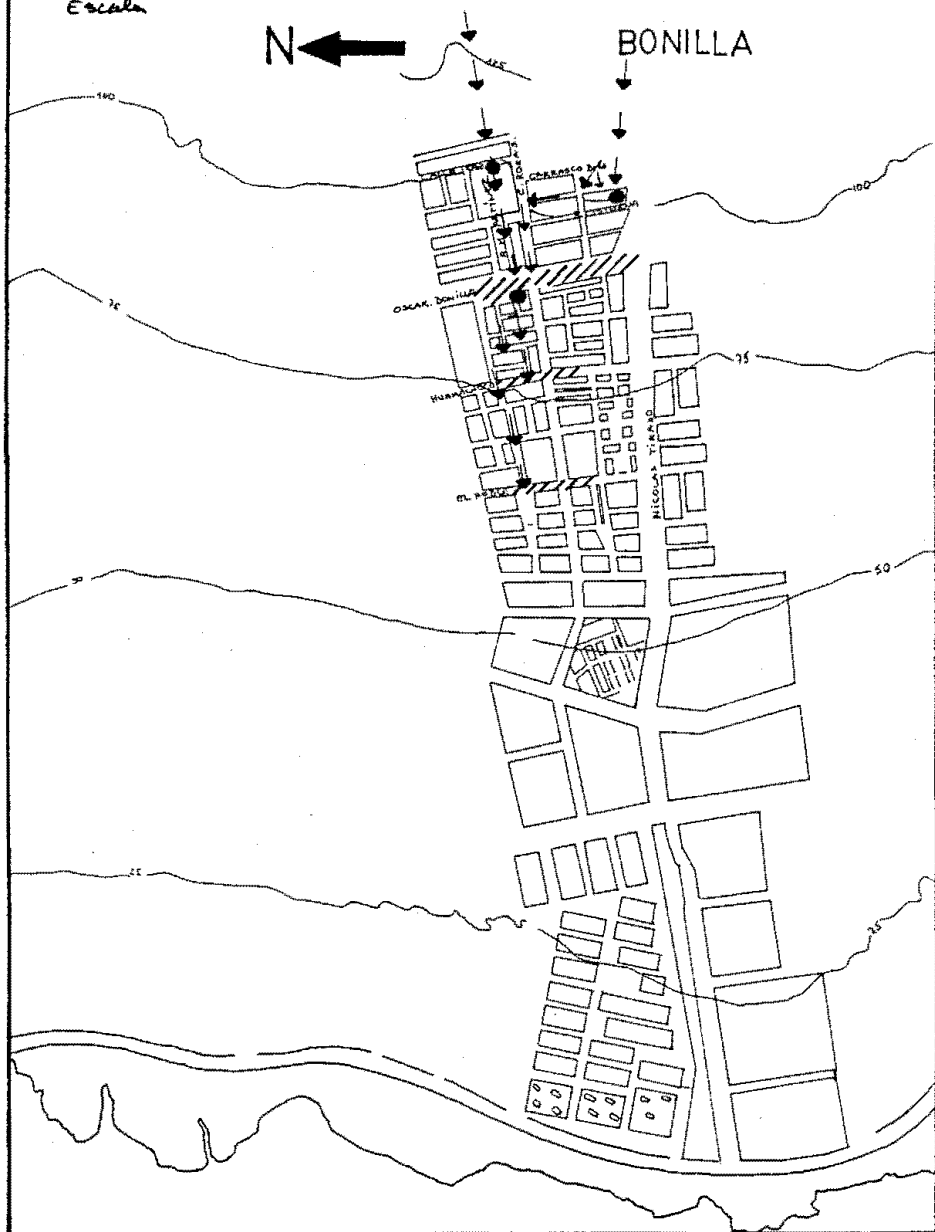
Información:

- Fotografías aéreas verticales, escala 1:20.000, ICAI, 21 de Junio de 1991.
- Fotografías obtenidas sin escala, S.A.T 12 de Junio de 1991.
- Observaciones de terreno.
- Fotografías tomadas ex terreno.

Escala

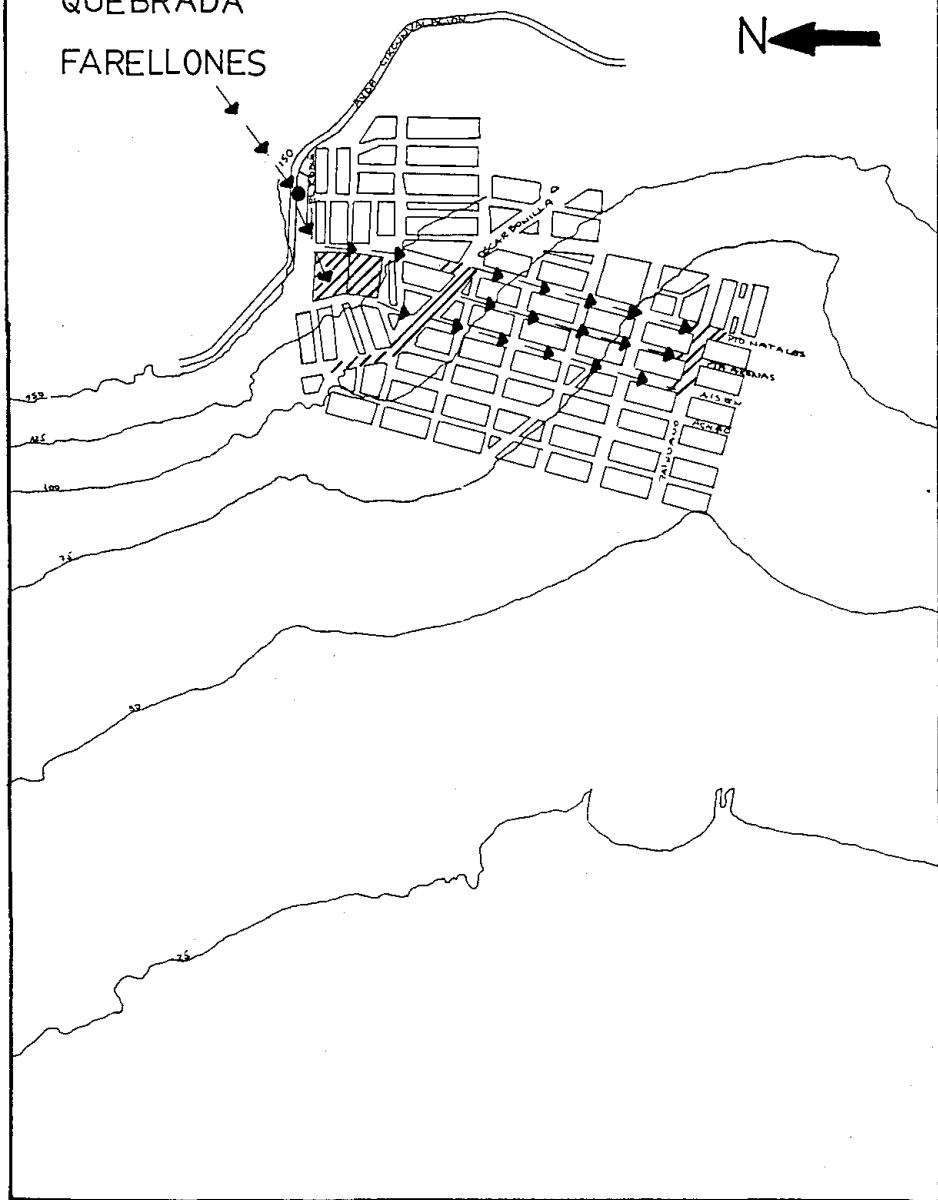
N

QUEBRADA
BONILLA



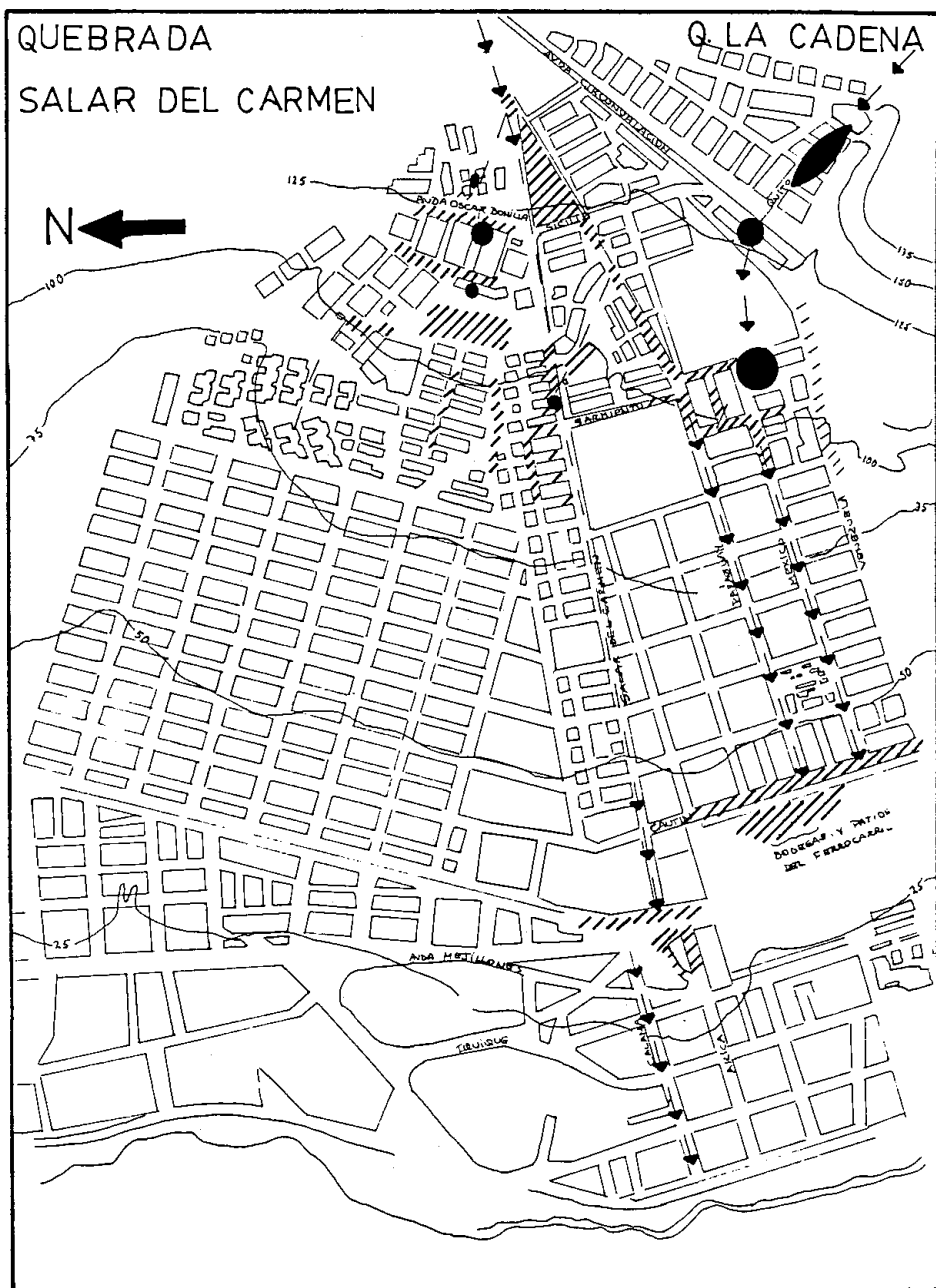
QUEBRADA
FARELLONES

N ←



SALAR DEL CARMEN

N ←



QUEBRADA
EL ANCLA

