

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION
CENTRO DE INFORMACION DE RECURSOS NATURALES

ANALISIS DE LOS ALUVIONES DE JUNIO
DE 1991, OCURRIDOS EN ANTOFAGASTA

PARTE 1.- ANALISIS GEOMORFOLOGICO DE
LOS ALUVIONES DE JUNIO 1991
EN ANTOFAGASTA-CHILE, ZONAS
DE RIESGO Y VULNERABILIDAD

ABRIL 1992

ANALISIS DE LOS ALUVIONES DE JUNIO DE 1991, OCURRIDOS EN ANTOFAGASTA

INFORME TECNICO

A. PRESENTACION DEL INFORME

Con posterioridad a los aluviones ocurridos en la ciudad de Antofagasta el día 18 de Junio de 1991, la Corporación de Fomento de la Producción encargó al Centro de Información de Recursos Naturales la elaboración de un informe técnico, en el cual se debería analizar desde los puntos de vista geomorfológico e hídrico dicha catástrofe natural.

Para el logro de lo anterior, se procedió, en primer término, a recopilar información en el CIREN y otras instituciones, y a conocer e investigar todos los estudios que se estaban realizando después de Junio de 1991, en esta materia.

Una vez efectuada dicha actividad se programó y efectuó un viaje al lugar de la catástrofe, con el objeto de recorrer el área afectada y reunirse con los organismos e instituciones regionales que tuvieron participación activa durante y después de ocurrido los aluviones, para lo cual, la coordinación se efectuó a través de la Dirección Regional - CORFO Antofagasta. La Comisión de Servicios de los especialistas geomorfólogos e hídricos se inició el día 21 de Octubre de 1991, con una duración de doce días.

Con posterioridad al viaje a terreno se procedió a elaborar la primera parte del informe técnico titulada "Análisis Geomorfológico de los Aluviones de Junio de 1991 en Antofagasta-Chile, Zonas de Riesgo y Vulnerabilidad", para lo cual se analizó toda la información recopilada a través de las investigaciones institucionales y en terreno, y en el mes de Enero de 1992, una vez que se tuvo los resultados de los análisis de las muestras de sedimentos tomadas en el área de recarga y descarga de los aluviones, se procedió a la redacción final de dicha parte del informe, el cual se entrega en el presente documento.

ANALISIS GEOMORFOLOGICO DE LOS ALUVIONES DE JUNIO DE 1991 EN ANTOFAGASTA - CHILE

ZONAS DE RIESGO Y VULNERABILIDAD

Nicolás Corvalán P.

I. INTRODUCCION

La madrugada del 18 de Junio de 1991, la ciudad de Antofagasta se vió asolada por desastrosas corrientes de barro que se precipitaron sobre calles y construcciones, desde las quebradas existentes en la montaña costera situada a sus espaldas.

La magnitud de los aluviones queda de manifiesto al conocer el volumen de daños materiales y pérdidas de vidas humanas.

Según encuesta de evaluación realizada por el Gobierno Regional, resultaron afectadas 4.737 viviendas; 5.727 familias y 21.075 personas. De acuerdo al estado de las viviendas quedaron 2.319 sin daño; 1.306 dañadas habitables; 710 dañadas inhabitables y 402 destruidas. A ello debe sumarse la pérdida irreparable de más de un centenar de vidas humanas y cuantiosos daños en infraestructura y viviendas dañadas por la lluvia.

Este trabajo preliminar pretende señalar los estudios detallados necesarios para una planificación adecuada de las zonas de riesgo en Antofagasta.

II. DESCRIPCION GEOGRAFICA

La ciudad de Antofagasta está ubicada a los 23°28' de latitud sur, sobre la plataforma litoral entre el océano y la Cordillera de la Costa, pocos kilómetros al sur de la Península de Mejillones y del Trópico de Capricornio.

El clima de la zona, corresponde al tipo denominado "desértico costero con nubosidad baja frecuente y escasas precipitaciones".

El relieve consta de dos unidades: Cordillera de la Costa, que limita la ciudad hacia el este y la plataforma litoral. La Cordillera presenta una densa disección en interfluvios y quebradas formando cuencas, la mayoría de las cuales desembocan en la plataforma, dando origen a conos de deyección de fuerte pendiente.

A pesar de la disección fluvial del macizo costero, la red hidrográfica generada no presenta escurrimiento actual. Sólo existe escurrimiento cuando ocurren precipitaciones excepcionales para un solo episodio de lluvia. Si bien algunos años las precipitaciones registradas alcanzaron a 0,0 mm., la mayoría se encuentra entre 0,1 y 9,0 mm. acumulados, con un máximo de 56,9 mm. acumulados (en dos meses) el año 1940.

Con este régimen de precipitaciones que no registra la humedad del aire ni aquella aportada por las nubes bajas en forma de niebla, la vegetación es casi inexistente al sur de la quebrada Salar del Carmen y escasa al norte de la misma. Los representantes más destacados son dos especies de cactus, algunas hierbas y uno que otro arbusto pequeño. Sobre los conos de deyección de la plataforma litoral no existe vegetación.

III. DESCRIPCION GEOMORFOLOGICA

3.1. Rocas y Estructura

Las rocas sobre las que se ha modelado el relieve de la Cordillera de la Costa, corresponden en términos generales, a rocas volcánicas extrusivas de edad jurásica ($\pm$ 150 millones de años), del tipo andesita, estructuradas en capas e intensamente dislocadas por fallas, hasta alcanzar casi la verticalidad. Lo anterior determina fuertes pendientes en las vertientes (laderas) de las quebradas. Estas rocas corresponden a la Formación "La Negra".

Desde la Quebrada "La Negra" hacia el sur, cambia la estructura y el tipo de rocas, predominando brechas conglomerádicas y areniscas en la base. Sobre ellas, en discordancia de erosión y depositación, capas centimétricas de arenas marinas de color gris-amarillento, sin litificación (sueeltas), sobre una delgada base de coquina; éstas últimas yacen en posición horizontal a sub-horizontal con inclinación hacia el océano. En Quebrada El Huáscar y El Way, aparecen brechas conglomerádicas y areniscas líticas, cubiertas por las arenas recientes señaladas arriba.

3.2. Relieve

El control estructural de las rocas señaladas, ha favorecido una densa y profunda disección. Muchas de las quebradas principales y secundarias, están orientadas según dirección de fallas y/o fracturas, presentando cursos de tendencia rectilínea, con laderas de fuerte pendiente e interfluvios agudos.

La Quebrada Salar del Carmen (ver mapa), señala el límite entre dos sectores de modelado distinto. Al norte, las quebradas e interfluvios tienen orientación NE-SW; los lechos de las quebradas se observan anchos, con abundante relleno y con una densidad de drenaje de 0,06. En cambio al sur, la densidad de drenaje es de 0,03, es decir, el doble más densa que al norte, los lechos de las quebradas son estrechos y rellenos con fondo plano, orientados en sentido NW-SE.

3.3. Depósitos

El material que rellena los lechos es originado por una intensa termoclastia. La gran diferencia térmica entre máxima y mínima, fragmenta la roca hasta el tamaño de arena gruesa, incluso en los interfluvios, con el material in situ (sin transporte); otro tanto ocurre sobre las vertientes. Esto explica el que los rellenos de los lechos sean principalmente fragmentos finos, gravas y arenas, que se deslizan vertiente abajo por reptación y transportados por las ocasionales precipitaciones concentradas en pequeños regueros delatados por el típico estriado fluvial sobre las laderas desnudas (foto 1).

Tales procesos son favorecidos por las fuertes pendientes producto de la inclinación de las rocas y de la acumulación normal de los detritos sobre las vertientes.

Finalmente el relieve de conjunto presenta inclinación hacia el oeste, de terminando también fuertes pendientes en la mayoría de los cauces, los que a menudo descienden formando abruptos saltos de varias decenas de metros en algunos casos (foto 2).



Fotografía N° 1



Fotografía N° 2

IV. DISTRIBUCION ESPACIAL DE LOS FLUJOS

Las corrientes de barro que se vertieron sobre Antofagasta, fluyeron prácticamente desde todas las quebradas que tributan desde el frente montañoso hacia la plataforma litoral. De norte a sur son:

- La Chimba (25,6 Km²)
- Club Hípico (3,4 Km²)
- Bonilla norte (4,3 Km²)
- Bonilla sur (4,2 Km²)
- Farellones (4,2 Km²)
- Salar del Carmen (36 Km²)
- La Cadena (24,8 Km²)
- El Ancla (1,1 Km²)
- Baquedano (1,05 Km²)
- El Toro (3,7 Km²)
- Caliche (0,9 Km²)
- La Negra (2.480 Km²)
- Jardines del Sur (9,6 Km²)
- El Huáscar (2,7 Km²)

Aunque todas cobraron actividad, las de mayor impacto fueron las situadas entre la Quebrada Salar del Carmen y Quebrada La Negra, sin despreciar por cierto los daños causados por las otras. El mayor daño urbano ocurrió entre las Quebradas Salar del Carmen, La Cadena, Baquedano y El Toro (ver mapa INYGE).

Este hecho permite inferir una concentración del fenómeno entre las quebradas citadas en el párrafo anterior. Refuerza lo dicho el caso de la Quebrada La Negra, que aunque destruyó totalmente la carretera y la vía férrea, el caudal acumulado fue desproporcionado en relación con la superficie de la cuenca.

Ej.: Q_{máx.} para el 18.06.91

Cuenca	Superficie (Km ²)	F u e n t e	
		Q _{máx.} SKORIN	Q _{máx.} INYGE
S.del Carmen	36	46.18 m ³ /s	78.1 m ³ /s
La Cadena	24.8	19.57 m ³ /s	52.9 m ³ /s
La Negra	2.480	47.59 m ³ /s	88.9 m ³ /s
J.del Sur	9.6	27.32 m ³ /s	22.1 m ³ /s

El caso de la cuenca Jardines del Sur también presenta esta anomalía pero inversa; el caudal acumulado es superior frente a la superficie de la cuenca (ver cuadro).

Es necesario señalar aquí que la Quebrada "El Way", situada al sur de aquella de "El Huáscar", depositó en la playa un pequeño cono de deyección, de sólo algunos centímetros de espesor. Esta escasa depositación, indica también escaso caudal acumulado. No se observó canales de erosión en el relleno del lecho, hechos que indican una discreta actividad.

V. ORIGEN DE LOS FLUJOS Y SU RELACION CON LAS PRECIPITACIONES, EL RELIEVE, EL VIENTO Y LA CORRIENTE DEL NIÑO

Si bien es cierto que las precipitaciones son el elemento desencadenante del escurrimiento esporádico en las regiones desérticas, en el origen de los flujos rápidos provocados por lluvia se conjugan la totalidad de los componentes geográficos que caracterizan un determinado espacio territorial.

Para comprender cómo se formaron los aluviones antofagastinos y qué podría ocurrir frente a precipitaciones semejantes o superiores a las del 18 de Junio de 1991, es indispensable analizar la influencia del relieve, el viento y la corriente del Niño.

5.1. Las Precipitaciones

Según los registros pluviométricos, existe una clara zonación de la lluvia sobre la ciudad. Para la precipitación del 18 de Junio de 1991 se midió un fuerte incremento de norte a sur con diferencias extremas superiores al 300%.

Luego de visitar las estaciones meteorológicas y aún cuando pudieron existir factores negativos respecto de los instrumentos de medición, queda claro que las diferencias existentes corresponden a mayor cantidad de agua caída sobre el lugar.

Agua Caída en mm. (18 Junio 1991)

Fuente:	C° Moreno	D.G.A.	U C N	Informal
	14	17	42	58

Según estimaciones realizadas sobre la base de 30 mm./m^2 (SKORIN Ingenieros, 1991), sobre la ciudad habrían caído alrededor de $1.000.000 \text{ m}^3$. Si

tomamos en cuenta que la acción del relieve sobre las precipitaciones se traduce en un incremento tanto en intensidad como en cantidad al interior de las serranías costeras frente a la ciudad, los montos de precipitación tienen que haber sido en mucho, muy superiores.

5.2. El Relieve

Junto a la acción incrementante del relieve sobre las precipitaciones, la altitud ejerce un efecto concentrador. Si se observa la distribución hipsométrica (ver carta hipsométrica) del relieve, se ve que las mayores altitudes se sitúan entre las nacientes norte de la Quebrada Salar del Carmen y las nacientes norte de la Quebrada La Negra. Esto es coincidente con los flujos más activos.

Además de la hipsometría, la densidad de disección y la orientación de las laderas, actúan como superficies condensadoras al interceptar la nubosidad en acción de lluvia. Es decir, a mayor número de laderas dispuestas enfrentando el desplazamiento de las nubes, mayor cantidad de agua caída.

5.3. El Viento

En Antofagasta, la influencia del viento en los aluviones estuvo condicionada por su dirección y velocidad. La componente N-NW para el viento del 18 de Junio, favoreció la penetración de las nubes en aquellas cuencas con orientación coincidente con la dirección de la masa de aire: sección sur de la cuenca Salar del Carmen y las cuencas La Cadena, El Ancla, Baquedano, El Toro, Caliche, La Negra y Jardines del Sur. Así, el viento penetró prácticamente siguiendo los ejes de las quebradas, lo que sumado a la densa disección con laderas perpendiculares al desplazamiento y la concentración provocada por la altitud, configuraron una gran superficie de condensación. La velocidad (54 km/h) por su parte, actuó transportando mayor masa de nubes en menos tiempo, incrementando la intensidad de la precipitación.

Lo dicho, más el tamaño de las cuencas, las fuertes pendientes y el material sólido disponible para ser transportado por las aguas corrientes, determinaron la proporcionalidad en la masa de agua y barro vertida sobre la ciudad.

5.4. El Material Sólido

5.4.1. Tipo de material

La fracción sólida de los flujos, estuvo representada muy mayoritariamente por arenas y gravas, con un escaso porcentaje de bolones y bloques. Sólo en el cono de depositación de la Quebrada La Negra, sobre el cruce de la Av. Universidad de Chile y la Carretera Sur, se depositaron bloques superiores a 1 m^3 (foto 3).

Descripción tipo del material depositado:

- Quebrada La Cadena (foto 4)

Corte de 3 m. de altura desde el piso de la quebrada.

Depósito de arena gruesa, grava y bloques diseminados, estructurado en capas centimétricas (4-15 cm.), alternadas con arena gruesa con laminación fluvial. Color amarillento. Bajo grado de compactación (se desmorona con la mano).

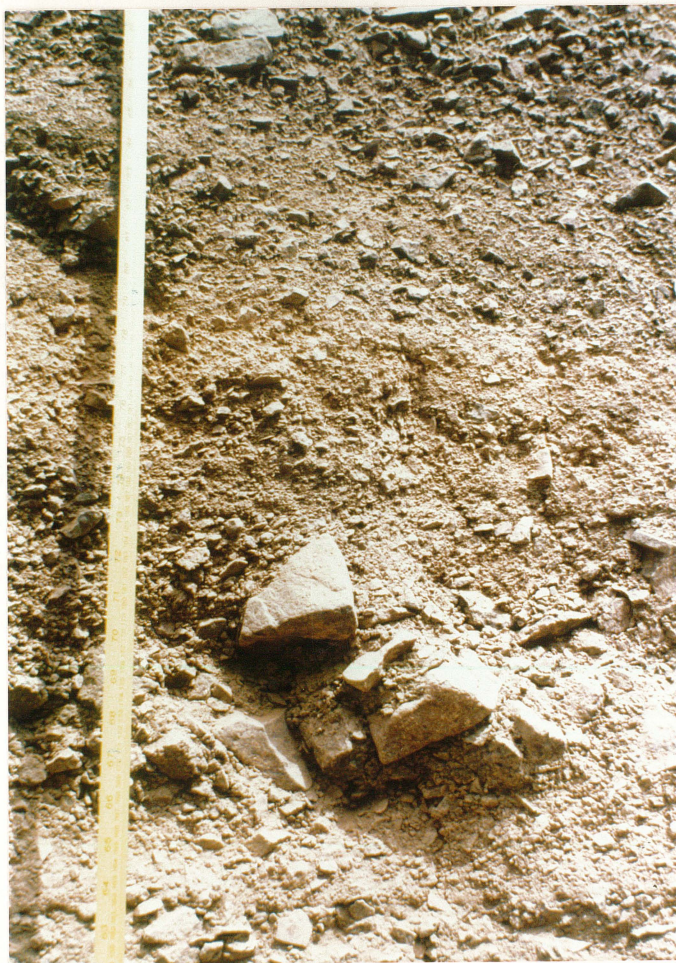
Matriz: arena grano medio a fino (> % fino) con cierto porcentaje de arcilla (en pozas de acumulación residual, forma polígonos de desecamiento de 2-3 cm. de espesor, en forma de costra sólida).

El corte presenta capa de cubierta, de 80 cm. de espesor, de igual estructura, pero de color gris, producto de mayor cantidad de arena.

Todo el material es de bordes angulosos.



Fotografía N° 3



Fotografía N° 4

- Quebrada Jardines del Sur (foto 5)

La quebrada accede al litoral mediante dos saltos.

Luego del primero se depositó un cono de deyección compuesto por: arena fina a media con fragmentos de rocas (gravilla y grava) de bordes angulosos, que aparecen diseminados en la masa total.

Presenta grado medio de compactación (no se desmorona con la mano).

Está estructurado en banco y sin clasificación.

Este depósito es semejante con el material de Quebrada El Huáscar.

5.4.2. Procedencia del material

Los detritos fueron transportados por las aguas concentradas sobre las laderas en pequeños regueros y sobre los fondos (vaguadas) de las quebradas. La lluvia así capturada escurrió pendiente abajo, incrementando su caudal con cada confluencia y también su potencia, arrastrando gravas y arenas primero y erosionando los depósitos pre-existentes después. Los arroyos y ríos que se formaron, incorporaron tal masa sólida, que en su curso medio ya se habían transformado en corrientes de barro.

Producto de lo anterior, se formaron canales de escurrimiento tallados a expensas del relleno antiguo de las quebradas y también sobre material depositado por los flujos en sectores donde la corriente perdió velocidad (foto 6).



Fotografía N° 5



Fotografía N° 6

Además del material rocoso, se incorporó a los flujos de La Cadena y Salar del Carmen especialmente, ingentes cantidades de desperdicios de todo tipo existentes en basurales funcionando en las quebradas (foto 7).

En casi todas las quebradas se extraen áridos y gran parte de este material fue arrastrado por los flujos (foto 8).

5.4.3. Volumen transportado

Según estimaciones realizadas por SKORIN Ingenieros, el volumen total del fluído, alcanzó a $1.200.000 \text{ m}^3$ evacuados por la Quebrada La Negra y 700.000 m^3 aportados sobre la ciudad por el resto de las quebradas.

Si se considera que algunos caudales están calculados castigando las cifras reales y que el cálculo del material sólido está incompleto, podríamos decir que aproximadamente fluyeron $2.000.000 \text{ m}^3$ con 40% de sólidos. Así, es totalmente posible que sobre la ciudad se precipitaran alrededor de 800.000 a 1.000.000 de m^3 de detritos y basura.

5.4.4. Volumen disponible a futuro

Aunque la cuantificación de los volúmenes de relleno existentes en las quebradas que afectan Antofagasta escapa a los alcances de este trabajo, es posible inferir que por lo menos el agua dispone de un volumen igual o superior al transportado el 18 de Junio.

Es más, el análisis detallado realizado en todas las quebradas, permite asegurar que el material sólido evacuado por los flujos el 18 de Junio, es al menos inferior al 10% del relleno total que cubre el fondo de las quebradas. A ello se debe agregar el material suelto que cubre las laderas de toda el área (foto 9).



Fotografía N° 7



Fotografía N° 8



Fotografía N° 9



Fotografía N° 10

En un interfluvio próximo a la "Mina Rata" en la cuenca de la Quebrada La Cadena, se midieron 50 cm. de arena gruesa, con fracciones de arena fina, limo y arcilla (?) in situ. Luego, sobre la misma ladera en el corte del camino de acceso a la mina, se midió 1 m. de este mismo material, sin llegar ni siquiera a la roca descompuesta y fracturada (fig. *) (foto 10).

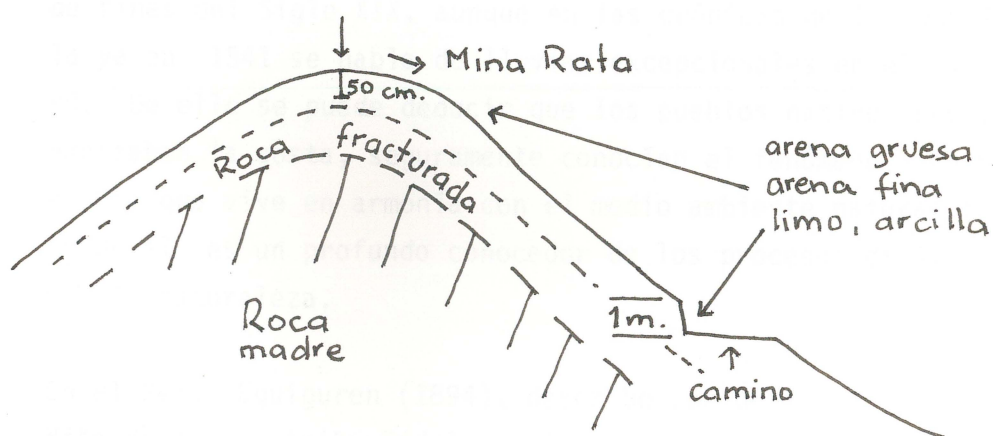


Fig. *

Si teóricamente se considera como real el área de las cuencas cuya resultante es un plano (excepto las situadas al norte de La Chimba; La Negra y El Huáscar) y se admite como promedio una cubierta de 30 cm. de material suelto (detritos), el volumen disponible para ser transportado hacia los fondos de las quebradas alcanza a la suma de 40 millones de m^3 . Como la superficie real está dada por la suma de todas las laderas, esta cantidad es muchas veces mayor.

5.4.5. La Corriente del Niño

Los efectos meteorológicos de la Corriente de El Niño se conocen desde fines del Siglo XIX, aunque en las crónicas de la conquista española ya en 1541 se habla de lluvias excepcionales en el litoral del Perú. De ello se puede deducir que los pueblos nativos pescadores que habitaban la costa, seguramente conocían el fenómeno. De hecho, el hombre que vive en armonía con el medio ambiente natural, formando parte de él, es un profundo conocedor de los procesos dinámicos que animan la naturaleza.

En el Perú, Eguiguren (1894), describe con detalles los efectos de El Niño de 1891, atribuyéndolos a la invasión de aguas cálidas procedentes del Golfo de Guayaquil. Al mismo tiempo, hace extensivo este juicio a sucesos ocurridos en los años 1791, 1804, 1814, 1828, 1845, 1864, 1871, 1877-78, 1884 y 1891 (Chirinos, A.; 1984). Posteriormente, quedó comprobado que las precipitaciones que provocan inundaciones, aluviones y otros daños, están asociadas a la presencia de aguas cálidas (25-26°C) en la costa.

También se determinó que junto con el aumento de la temperatura del mar, ocurre un cambio en la circulación atmosférica. Los alisios del SE se debilitan y predominan vientos del N y NW.

Sobre la base de los antecedentes citados y considerando la influen-cia de la Corriente de El Niño en los episodios de inundación en Chi-

le Central, se analizó la estadística pluviométrica desde 1904 hasta 1991, arribando a la siguiente correlación:

- Cada vez que El Niño está actuando, en Antofagasta ocurren pre cipitaciones de 10 mm. o más.

La nómina a continuación es la serie coincidente

Año	Pp	C.N.	I.I	Aluviones
1911	10,0	1911	4	
1925	28,8	1925	4	
1927	12,8	1927		
1928	13,3	1928		
1930	28,4	1930	3	Muy importantes
1932	20,0	1932	2	
1935	11,1	1935		
1940	56,9	1940	2	Importantes
1941	18,7	1941	4	
--				
1969	?	1969	2	Importantes (Taltal)
--				
1982	20,0	1982	4	Menores (Coloso)
1983	12,9	1983	4	Menores (Baquedano)
1984	9,5	1984		Menores (Antofagasta)
1987	27,9	1987		
1991	42,0	1991		

Pp : precipitaciones
 C.N. : Corriente El Niño
 I.I. : Índice de intensidad (C.N.)
 1 = muy débil
 2 = débil
 3 = moderado
 4 = fuerte

Entre los años 1941 - 1969 y 1969 - 1982, no se dispone de estadística pluviométrica, pero El Niño estuvo presente por lo menos los años:

1943	Indice de Intensidad	2
1944	" "	2
1946	" "	1
1948	" "	1
1951	" "	2
1953	" "	3
1957	" "	4
1958	" "	4
1963	" "	1
1965	" "	3

1972	" "	4
1973	" "	4
1975	" "	1
1976	" "	3

Es posible postular que en Antofagasta durante estos años, deberían haber ocurrido precipitaciones mínimas de alrededor de 10 mm., con probabilidad de algún episodio aluvional.

Es necesario consignar que las grandes lluvias que se producen en la costa del Perú ocurren en verano, mientras que en Antofagasta se presentan normalmente en invierno, a pesar de estar tan próxima al trópico.

5.4.6. Origen de los flujos

Como resumen de los antecedentes presentados, la génesis de los flujos de barro en la Cordillera de la Costa del norte de Chile, se encuentra en la acción conjunta de:

- Debilitamiento de los vientos alisios del SE
- Corriente de El Niño (aumento de temperatura del aire y del mar).
- Precipitaciones superiores a lo normal
- Vientos del norte y/o del nor-oeste
- Cordillera de la Costa (concentrador de lluvia)
- Material detrítico suelto (arenas y gravas principalmente) y basura.
- Concentración del escurrimiento en las quebradas de la Cordillera de la Costa.
- Fuertes pendientes.

VI. ZONAS DE RIESGO

En Antofagasta los riesgos están enmarcados en cuatro áreas:

Riesgo de:

- aluvión
- ambiental
- sísmico
- tsunami (maremoto)

Respecto de los aluviones (en realidad en 1991 fueron corrientes de barro), las zonas de riesgo se pueden definir como aquellas que están afectas al escurrimiento aportado por las quebradas. Corresponden principalmente a las zonas de influencia de los conos de deyección estructurados al pié de la montaña costera.

Dentro de estas zonas (ver mapa de riesgos), existen a su vez sectores de mayor cuidado, definidos como áreas de vulnerabilidad en diverso grado. Estas últimas pueden ser controladas por lo menos en parte (ver Recomendaciones), mediante un adecuado manejo de las quebradas.

La delimitación de las zonas de riesgo y de las zonas de vulnerabilidad, se realizó mediante fotointerpretación, SIN CONTROL DE TERRENO. Esta última etapa debería realizarse, si se quiere mayor precisión en la determinación de las zonas mencionadas.

VII. RECOMENDACIONES

7.1. Diseño de Vías Aluvionales

Esta solución aparece como la más conveniente, debido a la gran cantidad de material sólido disponible para el transporte al interior de las quebradas, las fuertes pendientes dominantes en el área y la posibilidad de que ocurran lluvias tanto o más intensas que las de Junio de 1991. Tales características hacen necesario diseñar las obras para caudales superiores en por lo menos $1/3$ a las correspondientes a la máxima precipitación acumulada en registros (56,9 mm.). Junto a lo anterior, se debe tratar con sumo detalle el transporte de material sólido a lo largo de las vías aluvionales.

En todo caso, esta solución debe complementarse con la indicada en el punto 7.2. y 7.8.

7.2. Manejo de Quebradas

CONAF, en conjunto con la Municipalidad, debieran asumir el control y manejo de todas las quebradas aluvionales. Un plan de manejo debe contemplar al menos, las siguientes acciones:

- a) Erradicación de los basurales.
- b) Prohibición seria y efectiva de los botaderos de escombros.
- c) Fomento controlado de la extracción de áridos. La extracción de áridos reduce el volumen de sólido disponible para ser transportado.

Es importante señalar que en algunas quebradas los pozos de áridos se rellenaron totalmente; este hecho se traduce en reducción de la velocidad del flujo y de la cantidad total de sólidos que escurre hasta la zona de depositación. Se recomienda como medida inmediata diseñar

la extracción de áridos de tal forma, que se excaven pozos lo más grandes y profundos que sea posible en las quebradas:

- La Cadena
- Salar del Carmen
- Farellones
- Bonilla
- La Chimba

Así, para el próximo episodio aluvional, los pozos recibirán los flujos retardando el momento de salida de las quebradas y disminuyendo la cantidad de sólido evacuado. El acceso a los pozos debe estar custodiado para evitar accidentes.

- d) Reforestación. CONAF debería implementar un plan de reforestación de las quebradas con plantas apropiadas al suelo y clima locales. Se ha observado que como producto de las lluvias, crecieron una serie de hierbas y flores; estas especies u otras, con un buen plan de manejo, contribuirían al control del arrastre detrítico sobre las vertientes de las quebradas (fotos 11,12).

7.3. Manejo de Basuras

Es imprescindible el diseño y aplicación de un plan de manejo de la basura en la ciudad. Eliminar los botaderos en las quebradas, por cuanto basuras y escombros serán arrastrados por los flujos futuros. Muchas personas resultaron heridas por elementos cortantes incorporados al barro de los flujos de Junio. Además son focos de contaminación, propagación de enfermedades y criadero de moscas y gusanos.



Fotografía N° 11



Fotografía N° 12

El basural de La Chimba debiera ser cambiado al norte, lejos del aeropuerto Cerro Moreno. Hoy día es foco de contaminación sanitaria y estética (basural junto a carretera de acceso a la ciudad).

En el basural actual y en el futuro, la basura debe ser tratada, cubriéndola con tierra para evitar la contaminación ambiental generada por este tipo de depósitos. Igualmente, debe prohibirse la quema de la basura, pues el humo y el olor son fuentes adicionales de contaminación.

7.4. Zonas de Restricción Urbana

Están definidas por los sectores de mayor vulnerabilidad frente a riesgo aluvional y sísmico (ver mapa). Sobre dichos espacios se debe prohibir el asentamiento humano y no dotarlos de infraestructura. Los sectores restringidos podrían ser utilizados como áreas verdes.

Cabe señalar que algunos lugares como los indicados, presentan pendiente excesiva para uso urbano, lo que dificulta el tránsito y torna riesgoso el uso del espacio alrededor de las viviendas. Estas, que en ciertos sitios se están adosando al frente montañoso, se exponen a eventuales derrumbes en caso de movimientos sísmicos de gran intensidad.

Se sugiere trasladar estas familias hacia sectores seguros, donde la pendiente permita sin riesgo, realizar actividades externas a las viviendas.

7.5. Abandonar Trazado Carretera Acceso Sur

Este punto aparece como uno de los más delicados por cuanto involucra el mayor costo individual de reposición, debido a que la carretera fue totalmente destruída desde el paso superior "La Negra" hasta más abajo del paso superior "Puente Carrizo", en una extensión de aproximadamente 12 Km. Si se considera un costo de \$ 200 millones el kilómetro, la obra estaría costando al menos \$ 2.400 millones, sin considerar la vía férrea.

Es fundamental considerar que:

a) Tanto la carretera como la vía férrea fueron destruídas por dos procesos:

1. Socavamiento de la sub-base por erosión lateral del lecho de la quebrada y el terraplén (foto 13).

Esto significa que cada vez que escurra por La Negra un caudal semejante al de Junio de 1991, ocurrirá nuevamente erosión y socavamiento, puesto que la carretera se reconstruiría otra vez sobre el mismo relleno.

2. Aporte de sedimentos provenientes de las numerosas quebradas afluentes en espesores de hasta 8 metros (foto 14).

Este proceso también se repetirá, puesto que en las quebradas existe material disponible para el transporte, en volúmenes muy superiores a los depositados sobre la carretera en Junio de 1991.

Si bien es cierto que el material depositado sobre la carretera se puede retirar, no es menos cierto que ello implica un alto riesgo y costo, en función de los numerosos puntos afectados.

- b) Las laderas de la quebrada consisten en relieves de pendiente fuerte, estructuradas por gravas, ripios y arenas coluvio-aluviales y marinas de muy baja compactación (se desmoronan al rasparlas con la mano), es decir, no aptas para grandes cortes ni fundaciones (foto 15).

Lo anterior hace poco factible el trazado sobre la ladera, que podría haber sido una alternativa para evitar la erosión en el lecho de la quebrada.



Fotografía N° 13



Fotografía N° 14



Fotografía N° 15

- c) Las quebradas afluentes de la ladera norte, son muy activas debido a que sus cuencas involucran uno de los sectores de más alto relieve - (más de 1.000 m.s.n.m.). Este hecho constituye un peligro permanente frente a la ocurrencia de precipitaciones excepcionales (foto 16).
- d) Estas características del relieve, los depósitos y las rocas en la Quebrada La Negra, permiten estimar que en caso de ocurrir precipitaciones semejantes a las acaecidas el invierno pasado, la carretera sería destruída inevitablemente, de la misma forma y por los mismos procesos, estimación que podría ser reforzada por un estudio geomorfológico detallado.
- e) Cabe señalar que es un grave riesgo apoyarse en estadísticas pluviométricas para determinar el período de retorno del fenómeno climático ocurrido. Más aún cuando quedó demostrada la correlación de las precipitaciones con la Corriente de El Niño, cuya frecuencia es mucho mayor y de efectos impredecibles cada vez que se presenta (ver punto - 5.4.5).
- f) Los aspectos enumerados hacen recomendable no reconstruir la carretera de acceso sur a la ciudad de Antofagasta por la Quebrada La Negra. En reemplazo, aparece como mejor opción el trazado por Quebrada El Way; en segunda opción podría usarse la Quebrada Salar del Carmen, a cortando en algunos kilómetros el tramo de conexión con la Carretera Panamericana.

La Quebrada El Way concentra escaso caudal debido a que:

- Los relieves que la limitan son bajos
- No posee quebradas afluentes de importancia
- La superficie de la cuenca es mucho menor que aquella de Quebrada La Negra.
- La divisoria de aguas comparte en mejor forma el escurrimiento.



Fotografía N° 16

- g) Estos son los principales puntos que deberían analizarse en profundidad. Sin embargo, es indispensable un estudio geomorfológico detallado de las alternativas señaladas, incluyendo la reconstrucción en Quebrada La Negra.
- h) En caso de insistir en la reconstrucción por ésta última, la carretera debe protegerse con obras totalmente distintas a las tradicionales, soluciones nunca aplicadas en carreteras chilenas, especialmente en prevención de la erosión lateral.

Un cálculo estimado sólo para protección contra la erosión citada, sin considerar las obras para evitar destrucción por quebradas afluentes, arroja un costo igual o superior al de las dos pistas de asfalto, es decir, sería como construir una carretera de cuatro pistas más obras de arte.

7.6. Rediseñar Trazado de Tubería de Agua Potable

La tubería que conduce agua potable desde los estanques de la Quebrada Sallar del Carmen, debería reinstalarse en forma subterránea (o elevada), en una posición tal que no sea afectada por la erosión de flujos futuros. Al mismo tiempo, reemplazar los collarines de presión por metálicos.

Algo similar debe hacerse en la tubería que fue cortada en Quebrada Baquedano. En todo caso apoyar los tubos sobre bases de concreto.

7.7. Proteger Base de Estanques de Agua Potable

Se recomienda revisar, reforzar y/o proteger los estanques en las bases susceptibles de erosionarse con el agua corriente.

7.8. Diseñar y Construir Sistema de Evacuación de Aguas Lluvias

Una red de evacuación de aguas lluvias conectada a las vías aluvionales, contribuiría a minimizar el problema de inundación, saturación de alcantarillas y reducción del daño arquitectónico provocado por lluvias de gran intensidad.

Es necesario considerar que las vías aluvionales podrían interceptar en parte el flujo de aguas superficiales, originando áreas de inundación.

7.9. Limitar el Crecimiento de la Ciudad

Es imprescindible dimensionar ahora, la superficie definitiva de la ciudad, en función de la cantidad y calidad de agua potable disponible y del volumen de población, con el fin de no sobrepasar la capacidad de uso urbano del espacio disponible. Superado este límite, los problemas ambientales físicos y humanos se suceden en cadena, en especial en los ámbitos de la contaminación y de la salud psicológica de la población.

Ejemplo de lo anterior es la situación de Santiago, donde este límite se superó hace más de 20 años provocando entre otros efectos: smog, ruido y competencia por el espacio público (calles, circulación, recreación, etc.) y económico. Los dos primeros alteran gravemente el sistema nervioso central, originando diversas patologías tales como tensión general constante (stress), irascibilidad, intolerancia, disfunción fisiológica, etc. etc.

La consecuencia global más importante, es una degradación de las relaciones sociales, transformando la calidad de vida urbana en más que deficiente.

7.10. Sistema de Emergencia

Cada vez que comience a llover, se requiere de la acción conjunta de ONEMI, CONAF, Intendencia, Carabineros y Bomberos, entre otros, para acudir a las fuentes de los flujos y ejercer control y evaluación de la evolución de la situación, con el fin de tomar medidas de protección de la población. Si se ha aplicado el punto 7.2. estas acciones resultarán menos dificultosas, mediante la aplicación de un plan diseñado con antelación al próximo invierno (junio-julio 1992).

En términos de prevención y conocimientos, sería conveniente que la Universidad estableciera una relación de información permanente con la Comisión Permanente para el Pacífico Sur, con el fin de alertar el sistema de emergencia sobre la presencia de El Niño durante el verano en las costas de Ecuador y Perú. Si allá se presenta el fenómeno, es posible que para el invierno siguiente ocurran lluvias excepcionales en el norte y en general en la costa chilena.

7.11. Finalmente, se recomienda gestionar la instalación de pluviógrafos en las estaciones meteorológicas. Al mismo tiempo, debería cambiar su ubicación la de Cerro Moreno, pues se encuentra obstaculizada por construcciones contiguas.

VIII. BIBLIOGRAFIA

- Cañón, J. 1985 Geografía del Mar Chileno. Col. Geografía de Chile. Instituto Geográfico Militar, Santiago.
- Chirinos, A. 1984 El Niño: Síntesis de Eventos 1891-1958. Rev. Com. Perm. Pacífico Sur, (15):363-392. Instituto del Mar del Perú. Callao, Perú.
- Ingeniería y Geotecnia Ltda., 1991 Los Aluviones del 18 de Junio de 1991 en Antofagasta. Informe Técnico. Santiago.
- Skorin Ingenieros. 1991 Incidencia Aluvional sobre Antofagasta. Informe Técnico. Antofagasta.
- Villalobos, A. 1991 Encuesta de Evaluación. Centro de Información, Intendencia II Región. Informe N° 09. Antofagasta.
- Ferraris, F., Di Biase, F. 1978 Carta Geológica de Chile, escala 1:250.000. Hoja Antofagasta, Región de Antofagasta, N° 3. Instituto de Investigaciones Geológicas. Santiago.