

# Descargas aluviales durante la tormenta del desierto de Atacama en marzo de 2015, Chile

José Antonio Naranjo\* y Paula Olea-Encina

Departamento de Geología Regional, Servicio Nacional de Geología y Minería, Avda. Santa María 0104, Santiago, Chile

\* email: jose.naranjo@sernageomin.cl

**Resumen.** La tormenta del desierto de Atacama de fines de marzo de 2015 tuvo un desplazamiento desde el sur (Región de Coquimbo) hacia el norte (Región de Antofagasta) y su mayor intensidad se produjo en la precordillera de la parte norte de la Región de Atacama. En término de la magnitud de las descargas y áreas de impacto, uno de los sectores más afectados fueron la ciudad de Copiapó-Paipote, debido a los altos caudales provenientes de la quebrada Paipote que, en la madrugada del 25 de marzo, sobrepasaron los 1.200 m<sup>3</sup>/s. Más al norte y a partir de las 9 M de ese día, Diego de Almagro, El Salado y Chañaral fueron severamente afectados por descargas de hasta ~1.000, ~1.600 y ~2.700 m<sup>3</sup>/s, respectivamente. Se midieron incrementos de caudales desde 650 a 1.600 m<sup>3</sup>/s para El Salado y de 560 a 2.700 m<sup>3</sup>/s para Chañaral en menos de 2 minutos. Particularmente para la ciudad de Chañaral, esto se interpreta como consecuencia de la suma de los aportes de la quebrada Chañaral Alto, importante tributaria del río Salado, cuyas cabeceras captaron las precipitaciones de la precordillera con casi 10 mm entre las 8 y 9 AM del 25 de marzo de 2015 (estación Cobresal, 2.248 m snm).

**Palabras Claves:** Tormenta Atacama marzo 2015, Precipitaciones, Descargas aluviales.

## 1 Introducción

Entre el 24 y 26 de marzo de 2015 se desarrolló una tormenta que generó abundantes lluvias en gran parte del desierto de Atacama entre los 23°30' y 30° S (regiones de Coquimbo, Atacama y Antofagasta), las que dieron origen a flujos de detritos y barro e inundaciones que afectaron con particular severidad diversas ciudades y localidades de esas regiones. La Onemi cifró en 31 el número de fallecidos, 86 desaparecidos y 29.741 los damnificados con más de 5 mil casas dañadas. Los mayores efectos ocurrieron en la región de Atacama, particularmente en las cuencas de los ríos Copiapó y Salado. En este estudio se tratará, además, las zonas al norte y sur de estas cuencas.

Los registros pluviográficos generados durante la tormenta indican que tuvo características complejas en términos espaciales, cronológicos, de intensidad y altitud (Olea y Quevedo, 2015). A partir del análisis detallado de 30 grabaciones de vídeos seleccionadas disponibles en Internet y registrados durante el momento álgido, se calcularon descargas aluviales para algunas localidades y ciudades. Asimismo, se obtuvieron datos cronológicos, los cuales fueron complementados con antecedentes de

testimonios obtenidos en terreno e información de otras redes sociales como Twitter. La localización exacta de los vídeos, se realizó a partir del uso acucioso de Google Street View y Google Earth. Esto se complementó con la determinación del ancho de las secciones afectadas a partir de imágenes satelitales posteriores a los flujos aluviales, cotejados con dimensiones determinadas en los vídeos. Asimismo, las profundidades se estimaron a partir de las imágenes de vídeos y fueron chequeadas mediante Google Street View. Finalmente, las velocidades fueron calculadas a partir del desplazamiento de objetos incorporados en los flujos. Las descargas aluviales calculadas fueron cotejadas con los registros pluviográficos de las estaciones más próximas a las localidades afectadas. En este estudio se ha podido determinar el comportamiento de la tormenta (cronología e intensidad) a partir de los efectos registrados, así como el tiempo de arribo de flujos en las principales localidades impactadas ante el umbral de precipitaciones caecidas (Fig. 1).

## 2 Caracterización sectores analizados

Los primeros datos de aumento de caudales producto de las precipitaciones líquidas de la tormenta se registraron en la parte sur del área de estudio. De sur a norte, las descargas estimadas de detallan para sectores de Río Tránsito, cuencas del río Copiapó, río Salado, quebrada Taltal y en Antofagasta, la quebrada Las Rocas-Pablo Neruda.

### 2.1 Río Tránsito

En la quebrada Las Pircas, tributaria del río Tránsito, se observó una descarga de 460 m<sup>3</sup>/s entre las 18:30 y 20:30 h del 24 de marzo y, entre las 10:30 y 13:00 h del miércoles 25, se pudo registrar un caudal de 320 m<sup>3</sup>/s. Estas descargas estuvieron causadas por precipitaciones ocurridas a 1.900 m snm según es registro de la estación Llanos de Huanta, 110 km al sur, con un *peak* acumulado de aproximadamente 15 mm entre las 14 y 16 h del 24 de marzo. Por otra parte, la descarga de la mañana del 25 de marzo, en esta la quebrada, pudo ser consecuencia de las intensas precipitaciones registradas a partir de las 11 h en las estaciones Llanos de Huanta y Algodones en el río Huasco (Fig. 1).

## 2.2 Cuenca Río Copiapó

En el sector Nantoco-Tierra Amarilla, se pudo determinar que bajo la cota 1.100 m snm (nacientes de tributarias locales), habían ocurrido lluvias intensas entre las 12 y 15 h del 24 de marzo. Ese día se registró el primer flujo de detritos en el lecho del río Copiapó en las inmediaciones de Tierra Amarilla, con una descarga de aproximadamente 70 m<sup>3</sup>/s (Fig. 1). Estos flujos fueron consecuencia, un tanto retardada, de las intensas precipitaciones ocurridas entre las 4 y 6 AM, según datos de la estación Copiapó en Pastillo (1.156 m snm) y, a mayor altura (2.248 msnm), a las 9 AM en la estación Cobresal de Salvador, 150 km al noreste de Tierra Amarilla.

Entre las 4 y 5 AM del 25 de marzo se produjeron las primeras inundaciones provenientes de la quebrada Paipote y a las 5 AM de ese día se inició la mayor descarga, estimada en al menos 1.200 m<sup>3</sup>/s conforme al análisis de vídeos. Posteriormente, a las 7:04 h, registros televisivos dan cuenta de un caudal de al menos 600 m<sup>3</sup>/s en el río Copiapó, en el puente de la calle Maipú, 8 km aguas abajo de la confluencia con la quebrada Paipote. A este caudal debe sumarse a lo menos 105 m<sup>3</sup>/s calculados para la terraza de inundación derecha, aproximadamente a la misma hora. Luego, a las 07:50 h de ese día, en Tierra Amarilla, 10 km aguas arriba de la confluencia del río Copiapó con la quebrada Paipote, se registraron descargas fluviales con árboles y elementos antrópicos de hasta 110 m<sup>3</sup>/s. En general, los testimonios de vídeos y personas en terreno indican que durante la mañana y temprano en la tarde del 25 de marzo, se mantuvo un caudal elevado a lo largo del río Copiapó, con inundaciones sobre ambas terrazas que alcanzaron 1 km de ancho sobre la terraza derecha. El mayor aporte a ese caudal provenía de la quebrada Paipote con flujos continuos que sobrepasaban los 860 m<sup>3</sup>/s como consecuencia de las intensas precipitaciones precordilleranas que, entre las 8 y las 13 h del 25 de marzo, llegaron a ~30 mm acumulados en la estación Cobresal a 2.248 m snm, 95 km al norte. A menor altura (1.156 m snm), en la estación Copiapó en Pastillo se registraron 13,5 mm entre las 10 y las 13 h (Fig. 1).

En el ápice del abanico aluvial de la quebrada Paipote el río Copiapó, la defensa derecha del badén de calle Caupolicán fue claramente superada, lo que dio origen a parte importante de la inundación de la terraza derecha del río Copiapó a lo largo de las principales arterias de la ciudad, como Los Carrera y Copayapu.

## 2.3 Cuenca Río Salado

A las 19 h del 24 de marzo, en Diego de Almagro (790 m snm), el caudal no superaba los 69 m<sup>3</sup>/s como consecuencia de las precipitaciones acaecidas entre las 6 y las 11 h AM de ese día en la precordillera (Fig. 1). Allí, el desborde del río Salado se produjo aproximadamente a las 6 AM del 25 de marzo como consecuencia del incremento local de las precipitaciones con un *peak* de 11 mm/h según

registro de la estación Pampa Austral Sur (915 m snm), 2,5 km al noroeste de esta ciudad. El caudal se incrementó aceleradamente con una descarga muy destructiva de a lo menos 1.000 m<sup>3</sup>/s (vídeos) a las 9 AM (Twitter), como consecuencia de las intensas precipitaciones de hasta 7 mm/h registradas aguas arriba en la estación Cobresal, sobre los 2.000 m snm (Fig. 1).

Aguas abajo, el pueblo de El Salado quedó dividido por el incremento del caudal antes de las 9 AM del 25 de marzo. A partir de esa hora se registró una importante descarga devastadora con abundantes elementos antrópicos que, aproximadamente en 2 minutos, se incrementó desde 650 a 1.600 m<sup>3</sup>/s. El notable aumento del caudal al río Salado se debió, en este caso, a la suma de los aportes de la quebrada Chañaral Alto cuyas cabeceras captaron, eficientemente, las precipitaciones de la precordillera con casi 10 mm entre las 8 y 9 AM (estación Cobresal, 2.248 m snm).

Antes de las 09:43 h del 25 marzo, Chañaral había sido arrasada por “un alud proveniente de la cordillera que llegó a la ciudad llevándose casas, carretera, puestos de comida”. De acuerdo al análisis de los vídeos se observó que durante el momento álgido, la descarga aumentó desde 560 a 2.700 m<sup>3</sup>/s en 2 minutos. Este abrupto incremento se debió a la suma de los aportes del río Salado, quebrada Las Ánimas y principalmente, quebrada Saladito, las cuales contribuyeron con caudales generados por precipitaciones locales de hasta 10 mm entre las 8 y las 10:30 h según se registró en la estación Población Aeropuerto Chañaral de Codelco (Fig. 1). A modo de comparación, el máximo caudal medio mensual en un año normal en la desembocadura del río Biobío, no sobrepasa los 2.000 m<sup>3</sup>/s (Cade-Idepe, 2004).

## 2.4 Cuenca Quebrada Taltal

Las intensas precipitaciones acaecidas durante la mañana y media tarde del 25 de marzo en Taltal (~11 mm/h, 9 AM) (Fig. 1) produjeron flujos de detritos que provocaron cortes en las rutas locales y en sectores altos de Taltal. Sin embargo, el mayor impacto que afectó esta ciudad se produjo por flujos de detritos y barro en la quebrada Taltal con severos daños en las rutas y arterias de acceso a la ciudad (Sepúlveda *et al.*, 2015; Alfaro *et al.*, 2015b).

Según la DOH (DOH-MOP, 2015), a las 15:30 h del 25 de marzo escurría un “caudal de proporciones que baja por el costado izquierdo hacia Taltal” a la altura de Agua Verde (Ruta 5). A las 18 h, “llega el torrente a la primera poza de decantación de la ribera sur” en la quebrada Taltal (3,3 km aguas arriba de la ciudad). A las 20 h, así como a las 2 y 15 h del 26 de marzo, testimonios locales señalaron el escurrimiento de flujos de agua con sedimentos por la confluencia de las avenidas Manuel A. Matta y Francisco Bilbao (Copec). Vídeos grabados durante la madrugada del 26 de marzo permiten inferir caudales *peak* entre 70 y 100 m<sup>3</sup>/s por el brazo norte de flujos aluviales en Taltal. Vídeos

grabados en la tarde permiten inferir que el caudal en ese sector había disminuido a 7,2 m<sup>3</sup>/s.

De acuerdo a la DOH, los torrentes provenían de la cordillera y se mantuvieron durante todo el 26 de marzo. Una de las mayores descargas registradas esa mañana y fue captada en el sector de la entrada a Taltal (Petrobras) donde se pudo estimar un caudal de aproximadamente 200 m<sup>3</sup>/s. Aguas abajo, en diferentes arterias de la ciudad, se registraron caudales de entre 20 y 25 m<sup>3</sup>/s.

Un vídeo aéreo grabado la mañana del 26 de marzo, permitió observar que las descargas, tras cubrir como ríos trezados la quebrada a la altura de la primera poza de decantación completamente colmatada, tendían a concentrarse por el sector derecho de la segunda poza de decantación y, posteriormente el caudal, mayoritariamente era encauzado por la parte izquierda de la quebrada entre el terraplén de la Ruta 1 y la ladera.

Antecedentes pluviográficos de las estaciones meteorológicas de Codelco, Pampa Austral Norte (depresión central) y Cobresal (precordillera), ambas ~90 km al sur de la quebrada Taltal-Chaco, indican que los elevados caudales habrían sido causados principalmente por la constancia e intensidad de las precipitaciones precordilleranas. Esta cuenca tuvo una respuesta eficiente y prolongada por más de 24 horas (Fig. 1).

## 2.5 Cuenca Las Rocas - Pablo Neruda, Antofagasta

Según la estación meteorológica Cerro Moreno de la DGAC, las precipitaciones más intensas tuvieron lugar entre las 12 y 16 h del 25 de marzo. Intensidades menores se registraron hasta las 22 h (Fig. 1). Las principales consecuencias fueron inundaciones en diversas arterias de Antofagasta y flujos de detritos locales. Uno de los casos más destacados tuvo lugar en el sector de la avenida Pablo Neruda, La Chimba Alta donde, aproximadamente en horas de la tarde de ese día, se registraron descargas de flujos de hasta 3 m<sup>3</sup>/s. Aunque se mantenía un flujo continuo, los registros permitieron identificar oleadas mayores a intervalos irregulares de entre 6 y 20 segundos.

## 3 Conclusiones

A partir del 24 de marzo, la tormenta tuvo un desplazamiento desde el sur a norte. Los sectores más afectados fueron las ciudades de Copiapó-Paipote, Diego de Almagro, El Salado y Chañaral.

En el ápice del abanico aluvial de la quebrada Paipote (río Copiapó), la defensa derecha del badén de calle Caupolicán fue superada, lo que dio origen a parte importante de la inundación de la terraza derecha del río a lo largo de las principales arterias de Copiapó (Los Carrera y Copayapu).

Las principales descargas a lo largo de la quebrada Taltal ocurrieron por el sector izquierdo de la quebrada y no por las piscinas decantadoras, ubicadas en el sector derecho.

Los resultados horarios estimados para las descargas calculadas deben ser ajustados para determinar, caso a caso, los umbrales de precipitaciones y los tiempos de respuesta en cada localidad afectada. Estos valores permitirán entregar las alertas tempranas correspondientes.

Los diseños de las obras de mitigación y de reconstrucción de las zonas impactadas, así como otros sectores de las cuencas afectadas por el temporal de fines de marzo de 2015 deben considerar el potencial de descargas de las respectivas quebradas. Por otra parte, la elaboración de planes de emergencia para las zonas afectadas debería utilizar y coordinar las estaciones pluviométricas instaladas para establecer umbrales y tiempos de respuesta.

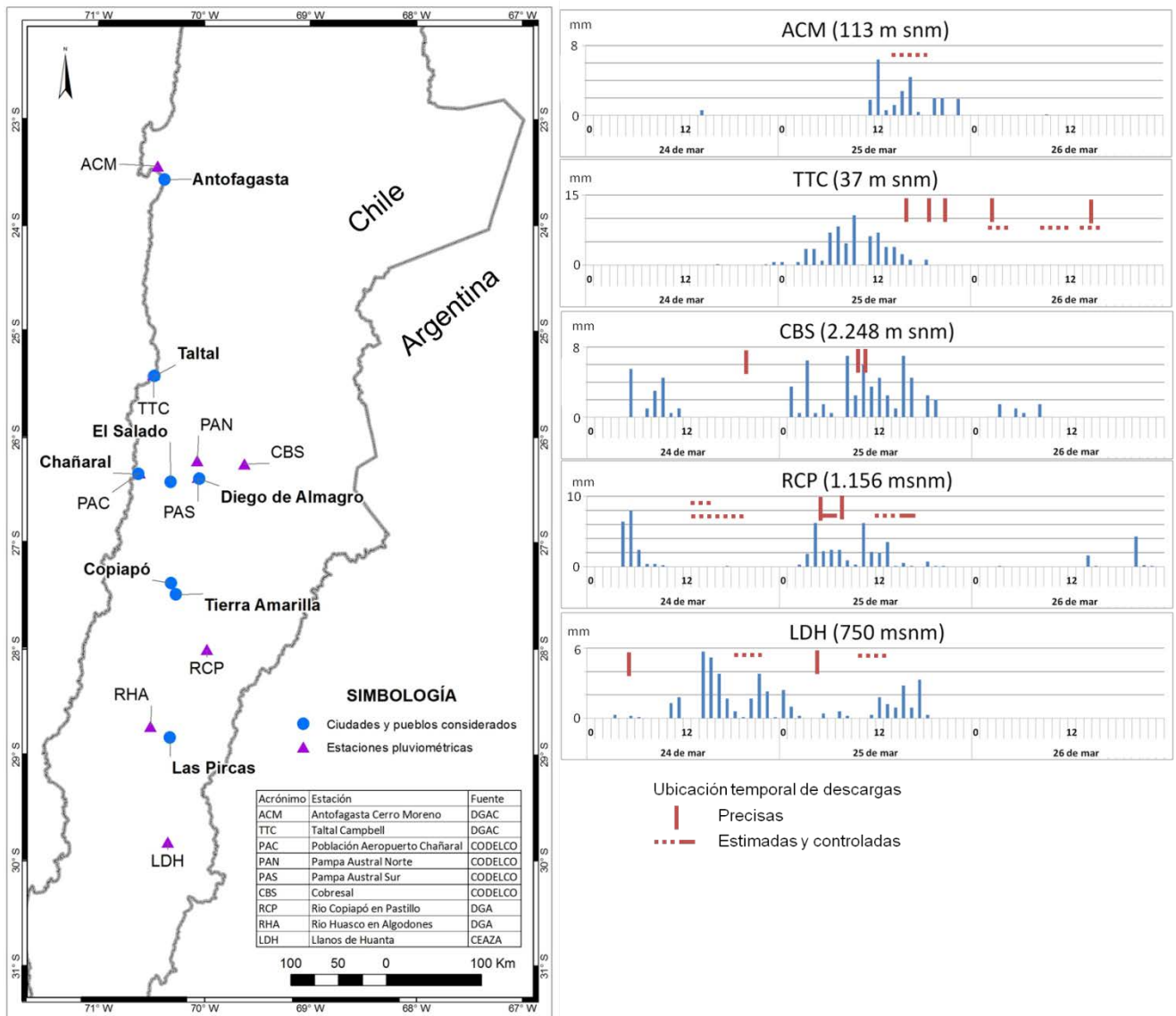
La elaboración de mapas de peligros de remoción en masa para generar instrumentos de planificación territorial, requerirá considerar escenarios de respuestas ante tormentas regionales, como este caso, pero también, locales.

## Agradecimientos

Esta es una contribución del Plan Nacional de Geología del Departamento de Geología Regional en apoyo a la atención que el Sernageomin brindó a las autoridades por la emergencia producida como consecuencia de los aluviones a fines de marzo de 2015, en el norte de Chile.

## Referencias

- Alfaro, A.; Fuentes, F.; Murillo, I. (2015a). Efectos geológicos del evento meteorológico de marzo de 2015 en la comuna de Alto del Carmen: Observaciones geológicas y validación de zonas de inundación, evacuación, reconstrucción de campamentos y acopio en los valles de los ríos del Carmen y Tránsito. INF-ATACAMA-6. Servicio Nacional de Geología y Minería. Inédito.
- Alfaro, A.; Sepúlveda, N.; Villa, V.; Lienlaf, M. (2015b) Observaciones geológicas del aluvión de Taltal y efectos del temporal en la vía de acceso Paposos-Taltal, Ruta B-710 y Ruta 1. INF-ANTOFAGASTA-03. Servicio Nacional de Geología y Minería. Inédito.
- Cade-Idepe (2004) Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad, Cuenca del río Biobío. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas. Inédito.
- DOH-MOP (2015) Minuta técnica "Análisis Fenómeno Aluvional, de los días 24, 25, 26 y 27 de marzo de 2015, en la ciudad de Taltal". Actualizada al 30-03-2015. DOH-MOP. Inédito.
- Olea, P.; Quevedo, D. (2015) Distribución espacio-temporal de la precipitación durante el evento meteorológico del 24 a 26 de marzo de 2015 y sus efectos sobre la generación de flujos aluviales. Inédito.
- Sepúlveda, N.; Alfaro, A.; Villa, V.; Lienlaf, M. (2015) Observaciones geológicas de los sectores "Tomas de Circunvalación y Población Tiro al Blanco" en la ciudad de Taltal, Región de Antofagasta. INF-ANTOFAGASTA-04. Servicio Nacional de Geología y Minería. Inédito.



**Figura 1.** Ubicación de estaciones más cercanas a sectores afectados por aluviones ocurridos entre el 24 y 26 de marzo de 2015, y registros pluviográficos correspondientes. Se indica la estimación horaria de algunos procesos catastróficos.