

## **Modificación de la precipitación frontal por efectos de la cordillera de Nahuelbuta: Resultados preliminares del proyecto AFEX**

*René D. Garreaud<sup>1</sup>, Aldo Montecinos<sup>2</sup>, Mark Falvey<sup>1</sup> y Cristian Muñoz<sup>1</sup>*

(1) Departamento de Geofísica, Universidad de Chile, Santiago, Chile

(2) Departamento de Geofísica, Universidad de Concepción, Concepción, Chile

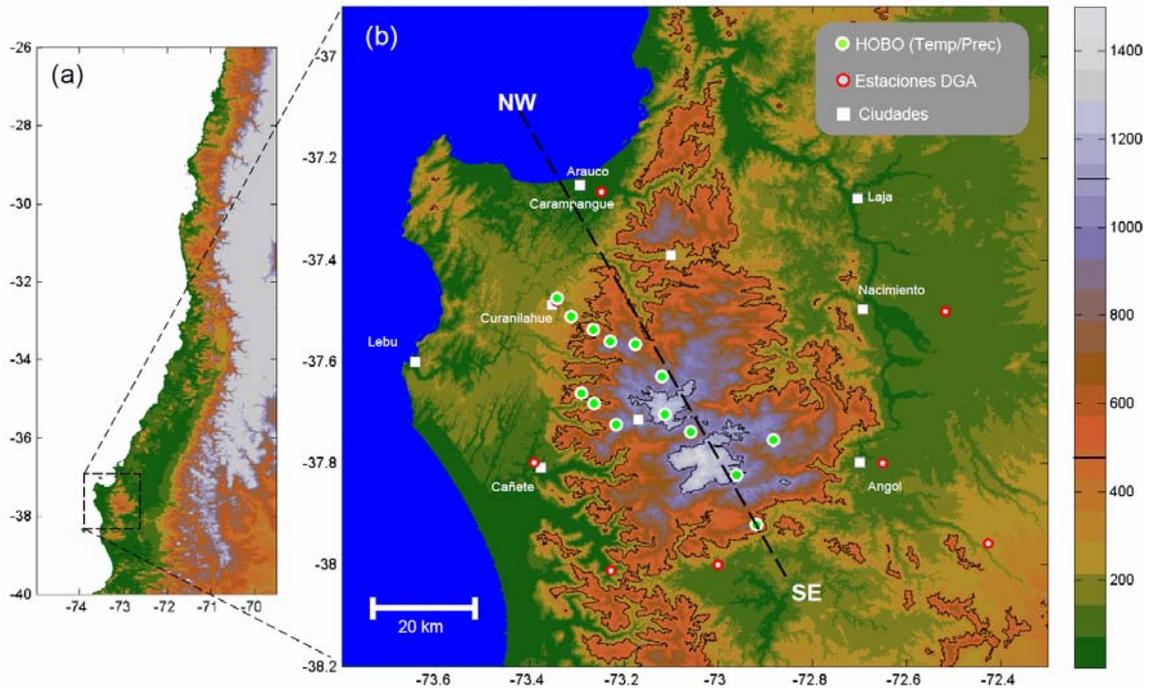
### **1. Introducción**

La precipitación en la zona centro-sur de Chile es mayoritariamente producida por el paso de sistemas frontales, en especial durante los meses de invierno (Barret et al. 2010). La prominente topografía (cordillera de los Andes y de la costa) modifica substancialmente la distribución de precipitación, generando fuertes gradientes pluviométricos los cuales además pueden variar entre tormentas (Falvey and Garreaud 2005). El conocimiento de la modificación orográfica es fundamental para pronóstico del tiempo e hidrológicos. Sin embargo, la red convencional de estaciones de precipitación es ciertamente insuficiente para esta tarea. Existe además una amplia literatura referida a la modificación orográfica de la precipitación (Roe 2006) en latitudes medias. Experimentos de terreno en otras cadenas montañosas y simulaciones numéricas han permitido dilucidar algunos de los procesos que contribuyen a esta modificación, incluyendo el mecanismo feeder-seeder, el desarrollo de convección a barlovento y la evaporación de hidrometeoros en un ambiente sub-saturado a sotavento. Sin embargo, resultados obtenidos en otras regiones no son fáciles de extrapolar a nuestras condiciones tan extremas, representando una de las motivaciones principales del proyecto AFEX (Andes Cordillera – Frontal System Experiment, 2011-2013). Durante el primer año de AFEX hemos desplegado una red de termo-pluviómetros en la cordillera de Nahuelbuta, como una primera aproximación a este problema. En este trabajo presentamos resultados de AFEX sobre la base de los datos del invierno 2011.

### **2. Zona de estudio**

La Cordillera de Nahuelbuta es un macizo montañoso localizado en la zona costera en el límite de las regiones del Bio Bio y la Araucanía con una altura promedio de 600 msnm (metros sobre el nivel del mar) y dos prominentes máximos de 1350 y 1280 msnm (Figura 1). Esta cordillera presenta una forma aproximadamente elíptica, con su eje mayor de unos 180 km orientado en la dirección norte-sur (37.2-38°S) y su eje menor de unos 100 km en la dirección este-oeste (73.8-72.8°W). Ubicada en el margen norte del corredor de tormentas del Pacífico sur, la Cordillera de Nahuelbuta exhibe un clima templado lluvioso con una estación lluviosa extendida desde principios de otoño a fines de primavera. Hacia el este del macizo costero la depresión intermedia (~300 msnm) se

extiende por unos 100 km hasta encontrar la cordillera de los Andes que a estas latitudes se eleva en promedio hasta los 2000 msnm.



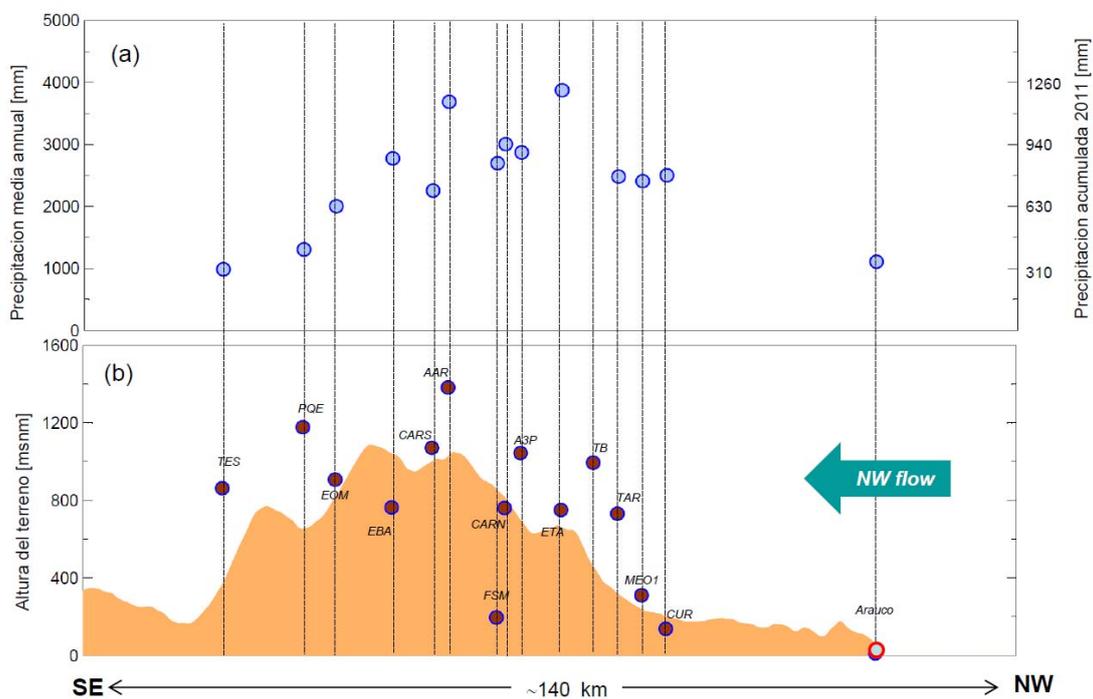
**Figura 1.** (a) Mapa topográfico de Chile centro-sur. (b) Mapa en detalle de la cordillera de Nahuelbuta mostrando las estaciones instaladas en AFEX y estaciones de apoyo (DGA).

Consistente con su ubicación, extensión y elevación la cordillera de Nahuelbuta es capaz de modificar la distribución de precipitación producto del paso de sistemas frontales por el centro-sur de Chile. En términos muy generales, para un rasgo montañoso como Nahuelbuta, se espera un aumento de precipitación en la ladera de barlovento (enfrentando al viento), un máximo de precipitación cerca de la cumbre y una disminución sobre la ladera de sotavento y las planicies viento abajo. El balance nacional de aguas (DGA, 1987) efectivamente indica un promedio climatológico de precipitación superior a los 3500 mm en la zona más alta de Nahuelbuta que contrasta con promedios cercanos a los 1200 mm (700 mm) en las planicies viento arriba (abajo) de la cordillera. De forma similar, una simulación numérica de un periodo de invierno usando el modelo WRF muestra el complejo patrón de distribución de precipitación (Figura 3c), en el que destaca el rápido incremento ladera arriba, un máximo de precipitación sobre la primera gran cumbre y una marcada disminución a barlovento.

### 3. Meso-red de instrumentos AFEX y resultados preliminares

La red AFEX en Nahuelbuta consiste en 13 termo-pluviómetros HOBO RG3-M. El termómetro registra promedios de 10 minutos y los pluviómetros registran eventos de precipitación cada 0.2 mm. Se instaló además una estación meteorológica VAISALA que registra temperatura, precipitación, humedad relativa y viento cada 10 minutos. La

Figura 1 muestra la ubicación de las estaciones, que varían en altura entre los 137 msnm hasta los 1382 msnm, siguiendo una transecta aproximadamente NW-SE a lo largo del eje mayor de la cordillera de Nahuelbuta (ver también Figura 3). La estaciones AFEX fueron instaladas a comienzos de Junio del 2011 (excepto por tres estaciones instaladas a fines de ese mes) y han funcionando sin problemas. Sin embargo, la presencia de nieve sobre los 1200 msnm ha impedido acceder a tres estaciones momentáneamente y es posible que los registros de lluvia la estación más alta (1382 msnm) esten afectados por esta condición. La mesored AFEX es complementada por una decena de estaciones pertenecientes a la DGA y la DMC en los alrededores de la cordillera, las cuales permitirán poner los resultados de AFEX en un contexto climatológico (Fig. 1).

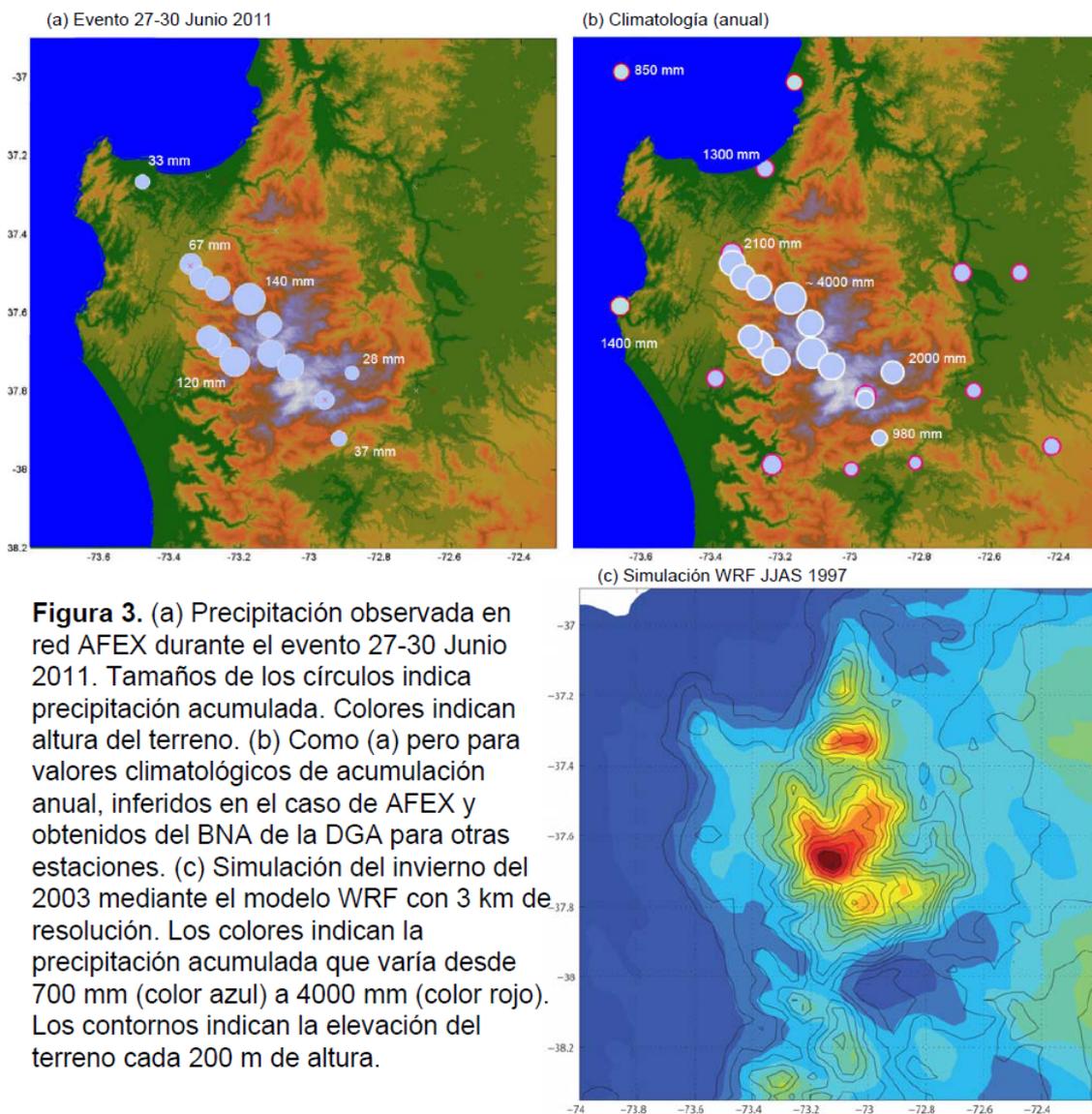


**Figura 2.** (a) Precipitación acumulada en estaciones AFEX entre 03-Junio y 10-Agosto 2011. Se incluye además el valor en la estación Arauco que permite escalar los valores de este invierno en una estimación climatológica. (b) Transecta de elevación del terreno a lo largo de la línea NW-SE (Fig. 1) junto con la ubicación de las estaciones.

La Figura 2 muestra la precipitación acumulada durante este invierno para las estaciones AFEX ( $p_i$ ,  $i=1:13$ ). Empleando una corrección simple en base a los registros concurrentes de Concepción ( $p_{CON} \approx 349$  mm) y su valor climatológico anual ( $PP_{CON} \approx 1110$  mm) es posible escalar estos valores para obtener una estimación inicial de la precipitación climatológica acumulada anualmente  $PP_i = p_i \cdot PP_{CON} / p_{CON}$ . Estos resultados indican un aumento  $\times 2$  entre la zona costera (representada por Concepción/Arauco) y los contrafuertes de la cordillera (estación Curanilahue). El aumento continua en la ladera de barlovento llegando a un máximo cercano a la primera cumbre de la cordillera (estación Trongol Alto) que cuadruplica el valor oceánico.

Posteriormente hay un decaimiento de la precipitación sobre la ladera de sotavento llegando a un mínimo (950 mm) en la estación Torre El Sauce, aun cuando esta se ubica a 820 msnm. En base a estos resultados hemos redefinido la ubicación de las estaciones para el año 2012, de manera de resolver de mejor manera el incremento de precipitación en las planicies costeras corriente arriba de la cordillera.

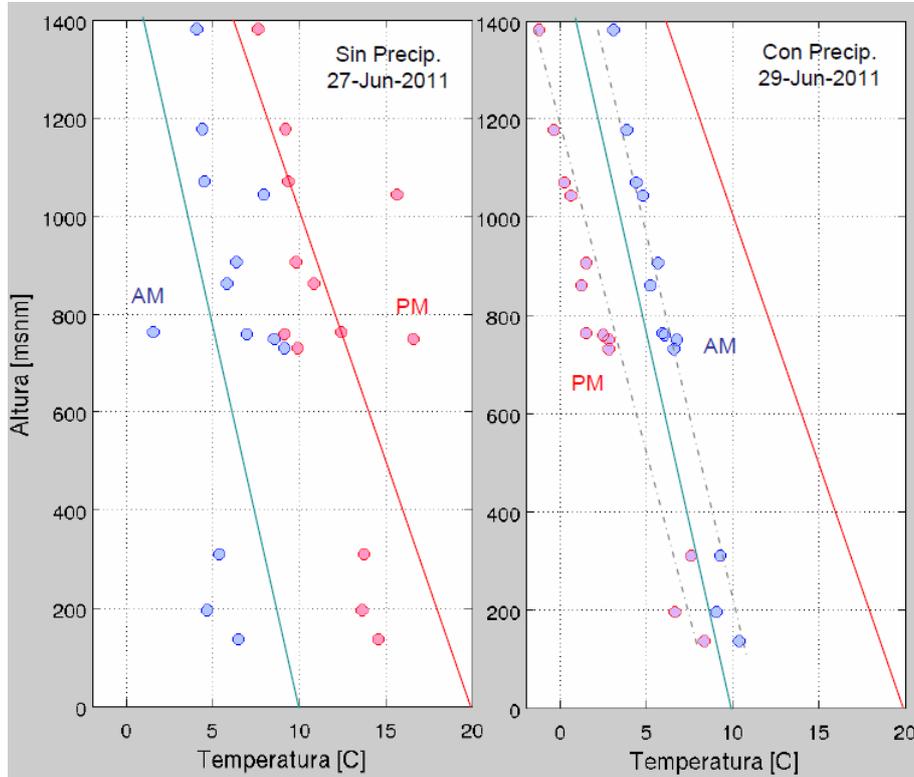
La distribución espacial de precipitación puede variar significativamente entre tormentas. La Figura 3a muestra un ejemplo para el evento de lluvia entre el 27 y 30 de Junio. En este caso, el incremento de precipitación costa-contrafuertes-ladera norte y disminución corriente abajo es similar al patrón climatológico estimado de las observaciones (Fig. 3b) y simulado con WRF (Fig. 3c) para el invierno 1997.



**Figura 3.** (a) Precipitación observada en red AFEX durante el evento 27-30 Junio 2011. Tamaños de los círculos indica precipitación acumulada. Colores indican altura del terreno. (b) Como (a) pero para valores climatológicos de acumulación anual, inferidos en el caso de AFEX y obtenidos del BNA de la DGA para otras estaciones. (c) Simulación del invierno del 2003 mediante el modelo WRF con 3 km de resolución. Los colores indican la precipitación acumulada que varía desde 700 mm (color azul) a 4000 mm (color rojo). Los contornos indican la elevación del terreno cada 200 m de altura.

Finalmente, es importante destacar que la red AFEX permitirá además cuantificar la variabilidad del gradiente vertical de la temperatura ( $\gamma = -\partial T_{sf}/\partial z$ ). Muchas simulaciones hidrológicas asumen que durante periodos secos  $\gamma \approx \gamma_{ad-seco} \approx 10^\circ/\text{Km}$  y durante periodos

de lluvia  $\gamma \approx \gamma_{\text{ad-seco}} \approx 6^\circ/\text{Km}$ . Sin embargo, la influencia del terreno, exposición de las laderas y vegetación pueden alterar significativamente este gradiente. Los termómetros HOBO permitirán estimar de mejor manera este gradiente y su variabilidad temporal en el primer kilómetro de la troposfera, como se muestra preliminarmente en la Fig. 4.



**Figura 4.** Perfiles verticales de temperatura del aire cerca del suelo (1 m aprox) en mesored AFEX en la mañana (6-8 AM; círculos azul) y tarde (2-4 PM; círculos rojos) durante un día sin precipitación (panel izquierdo) y con precipitación (panel derecho). Líneas sólidas verde y roja indican gradiente adiabático saturado y seco, respectivamente.

*Agradecimientos.* Este trabajo es financiado por el proyecto Fondecyt 1110169. Agradecemos a Forestal Arauco, Corporación Nacional Forestal (CONAF), Dirección General de Aguas (DGA), Escuela de Trongol Alto y Escuela Oscar Muñoz permitir la instalación de la red AFEX.

## Referencias

Barrett, B., R. Garreaud, and M. Falvey, 2009: Effect of the Andes cordillera on precipitation from a midlatitude cold front. *Monthly Weather Review*, **137**, 3092-3109.

Falvey, M. and R. Garreaud, 2007: Wintertime precipitation episodes in central Chile: Associated meteorological conditions and orographic influences. *Journal of Hydrometeorology*, **8**, 171-193.

Roe, G., 2006: Orographic precipitation. *Annual Rev. of Earth and Planetary Sciences*, **33**, 645-671