

Introducción

Frente al escenario nacional de escasez de precipitaciones, que afecta principalmente a la comunidad agrícola, nace la inquietud de buscar medidas de mitigación de la sequía. La comunidad de la IV Región de Coquimbo, junto con el gobierno regional, han optado por el incremento de la precipitación mediante la implementación de generadores de siembra terrestre, que insuflan una solución a las nubes asociadas a episodios de precipitación, y así obtener una mayor cantidad de precipitación sólida.

El presente estudio tuvo como objetivo principal “determinar la factibilidad de ubicación, en tres cuencas de la Región de Coquimbo, de generadores terrestres de yoduro de plata, en base a mediciones de corrientes ascendentes bajo condiciones de inestabilidad atmosférica y disposición por combustión del yoduro”.

Datos & Metodología

Se simularán 28 eventos más significativos en cuanto a las precipitaciones en la región, en los últimos 10 años, utilizando el modelo WRF (Weather Research and Forecasting Model) con 4 dominios anidados, y una resolución máxima de 1 km sobre la cuenca del Limarí. Los datos que entregará el modelo serán validados con los datos de la estación meteorológica La Serena y El Romeral.

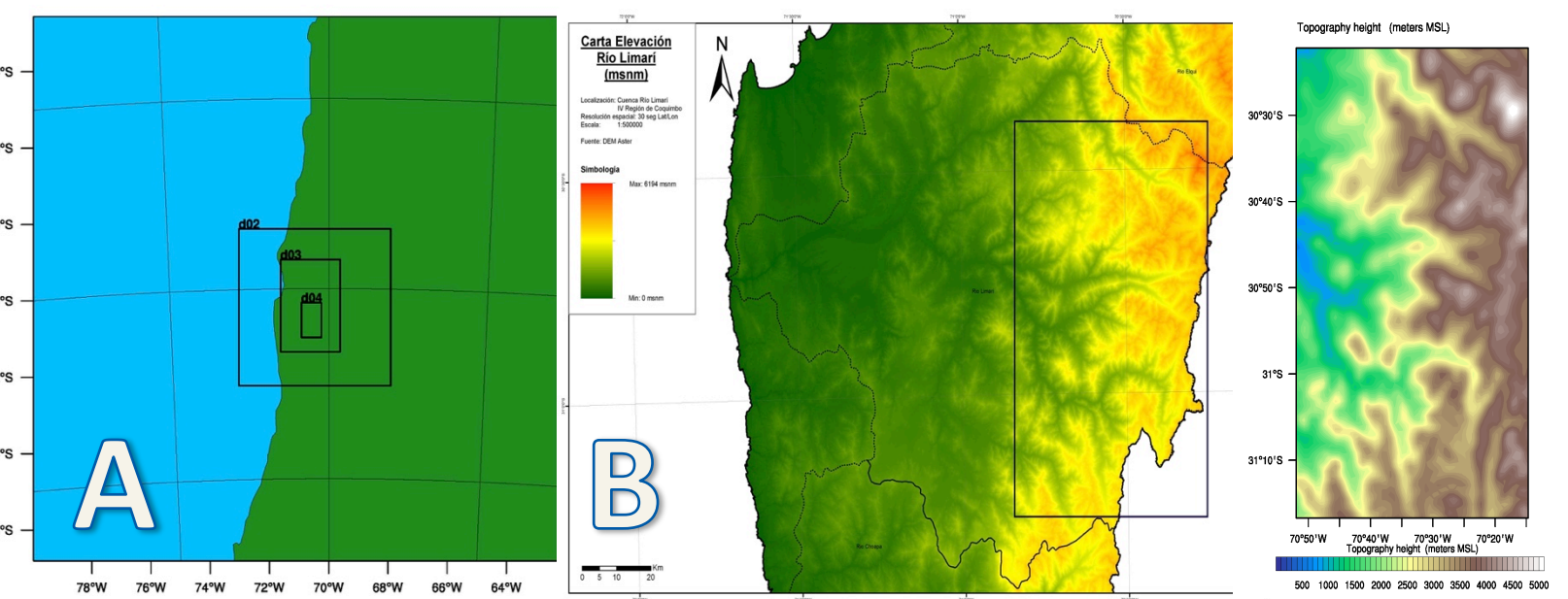


Figura 3. A: Dominios anidados en modelo WRF. B: Mapa de elevaciones para la cuenca del río Limarí. a) Datos de ASTER Global Digital Elevation Map. El rectángulo negro representa aproximadamente el dominio 4 confeccionado con WRF.

Tabla 1. Parametrizaciones utilizadas con el modelo WRF.	
Parametrización	Nombre
Capa límite planetaria	YSU
Capa superficial	MM5 Monin-Obukhov
Microfísica	WSM 3-class simple ice scheme
Física de superficie	Thermal diffusion scheme
Cúmulus	Kain-Fritsch (new Eta) scheme
Radiación	RRTM

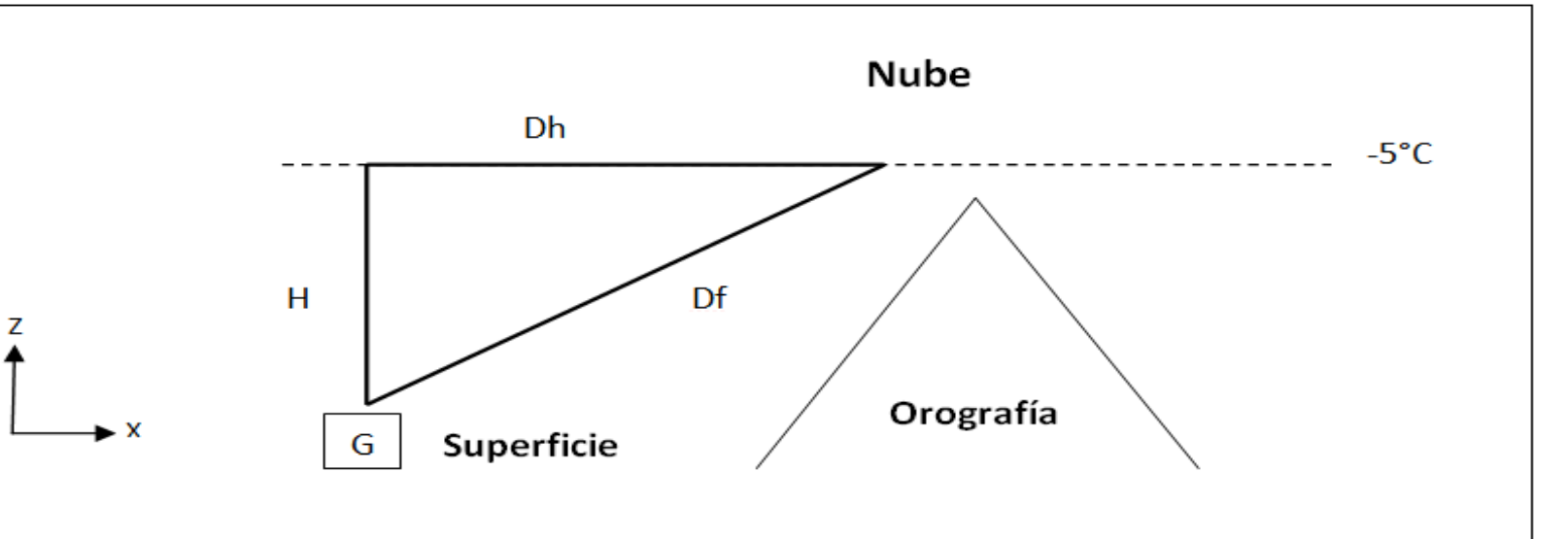


Figura 4. Esquema de la trayectoria del nucleante al salir del generador (G). H es la altura entre el generador y la isoterma -5 °C, Dh es la distancia horizontal que recorre el nucleante y Df es la distancia o desplazamiento final. En líneas segmentadas se muestra la isoterma -5°C.

Resultados

La serie de tiempo de temperatura del aire (Figura 5) muestra que los valores observados y los simulados por WRF están muy cercanos. De esta manera, el error (RMSE) de la serie entre los valores simulados con respecto a los observados es de 2.08 °C y la correlación fue de 0.7.

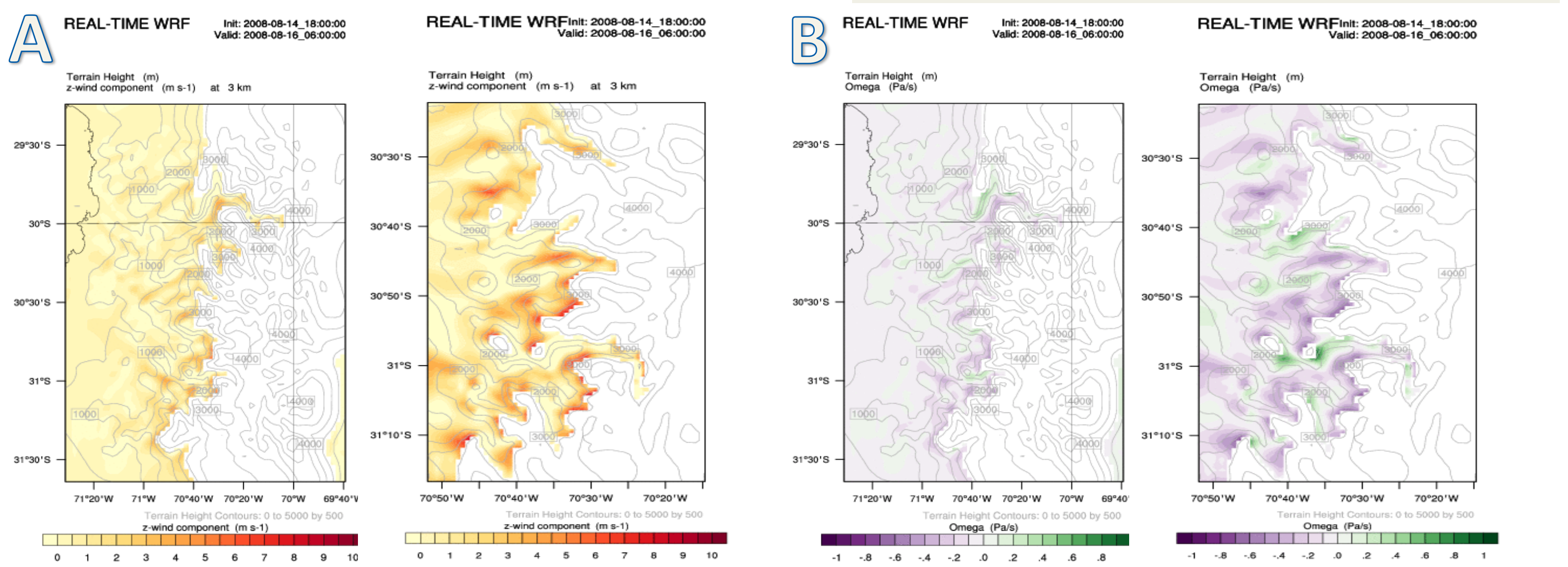


Figura 5. Gráfico serie de tiempo de la temperatura del aire registrada por la estación meteorológica (azul) y la simulada por el modelo WRF (roja) en el periodo de estudio.

Previo a comenzar la precipitación en todos los eventos seleccionados se realizó el análisis de las cartas simuladas del parámetro W (Figura 6 a), que muestra sectores o áreas donde se producen movimientos verticales, reforzados con el análisis de Omega, que entrega información tanto de movimientos ascendentes y descendentes.(Figura 6 b)

El objetivo principal de los programas de siembra es obtener, mediante la estimulación de las nubes con un nucleante apropiado (Agl), una mayor cantidad de precipitación líquida o nival que la que hubiese caído en forma natural

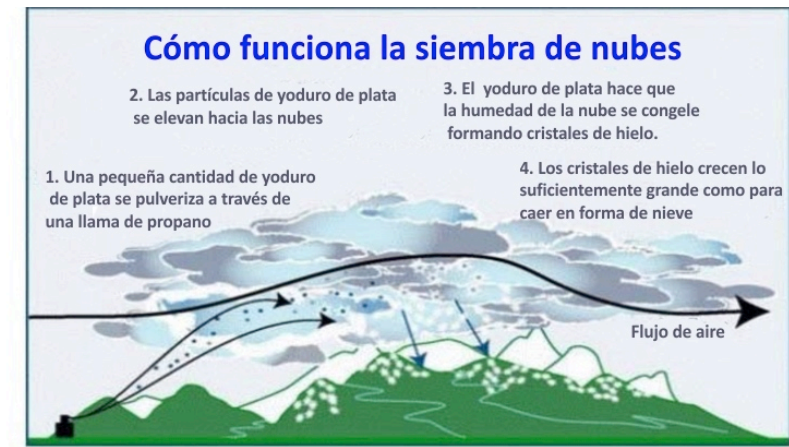


Figura 1. Esquema de siembra de nubes mediante generadores terrestres el cual hace efecto entre las temperaturas -5°C y -25°C dentro de la nube. (Fuente: Griffith y Solak, 2006)

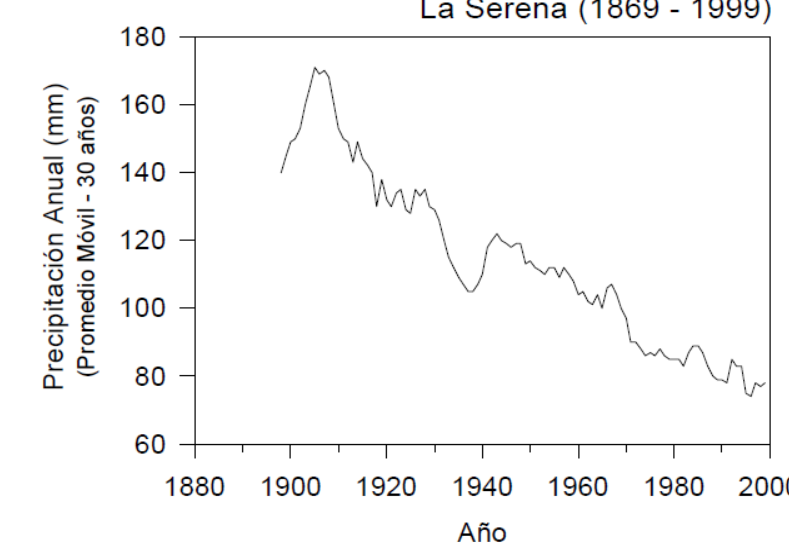


Figura 2. Promedio móvil (30 años) de la pluviometría en La Serena, periodo 1869 a 1999 (Fuente: Squeo et al., 1999; Novoa & López, 2001).

Cada evento se estudiará a distintas escalas espaciales y temporales, con principal énfasis en los movimientos verticales, para identificar áreas con movimientos de ascenso y descenso. Sobre las áreas de ascenso se trazaran transectas para realizar cortes verticales con el fin de observar la estructura vertical de la atmósfera.

Una vez Identificadas las áreas sobre la región donde se producen movimientos ascendentes y descendentes se evaluarán los siguientes criterios:

- Ubicación a barlovento de una montaña.
- Cercanía a la línea de nieve regional.
- Ubicación considerando viento favorable al área objetivo.
- Accesibilidad.
- Optimización de energía.
- Enlaces de conexión adecuada.
- Alejado de posibles focos de incendio.

Para aumentar la eficiencia de la instalación se estudiará la trayectoria de los sistemas atmosféricos, para obtener una aproximación de la trayectoria que seguirá el nucleante hasta la isoterma de los -5 °C, una vez que este sale del generador, como se muestra en el esquema de la Figura 4.

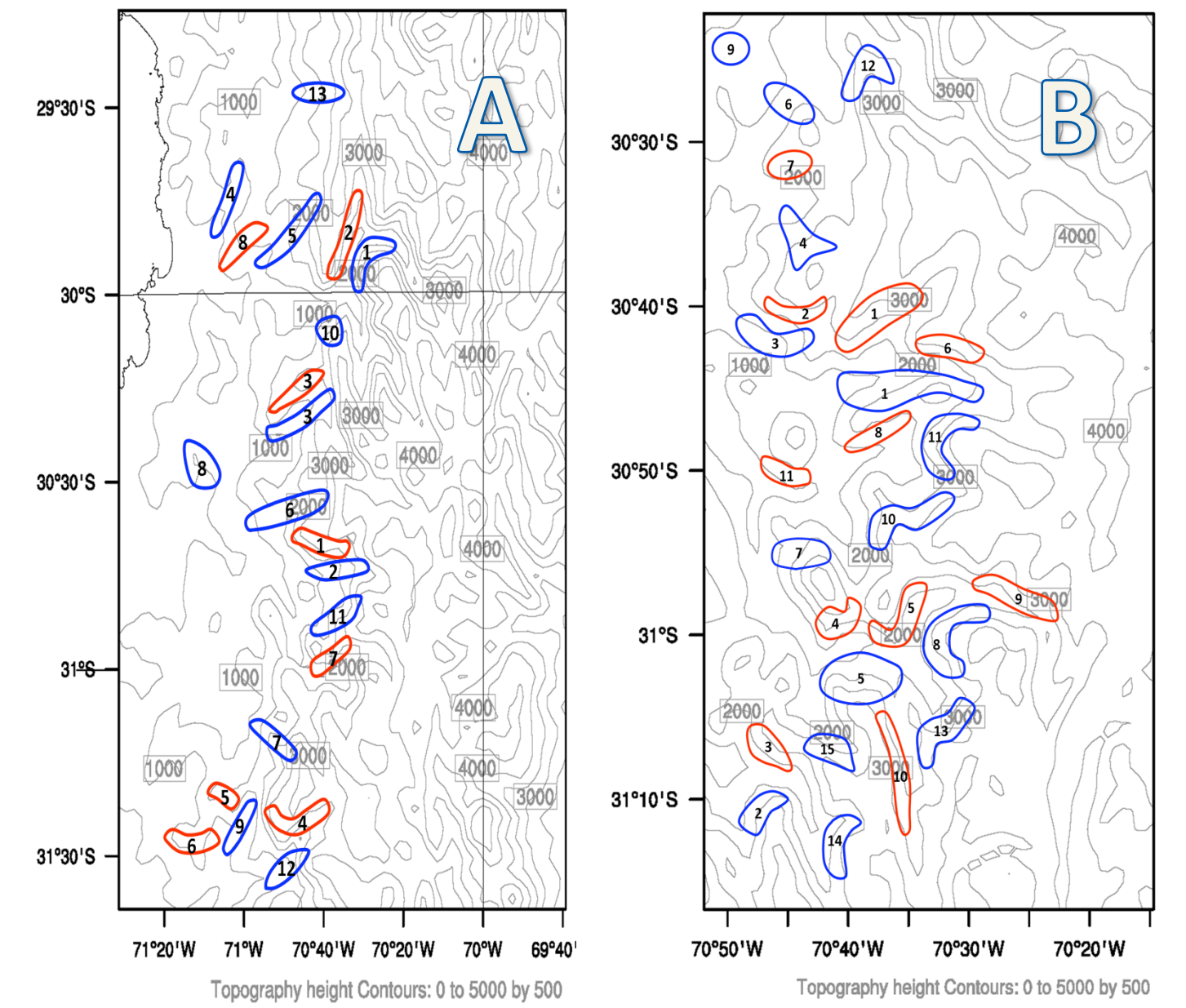


Figura 7. Sectores identificados con movimientos ascendentes y descendentes en Dominio 3 (A) y Dominio 4 (B). Delimitado en línea azul se muestran las zonas de movimiento ascendente y en color rojo delimitadas las zonas con movimiento descendente.

Se definieron 19 rectas que cruzan las áreas con movimientos ascendentes, a las cuales se le generaron cortes verticales para todos los eventos seleccionados, utilizando el modelo WRF.

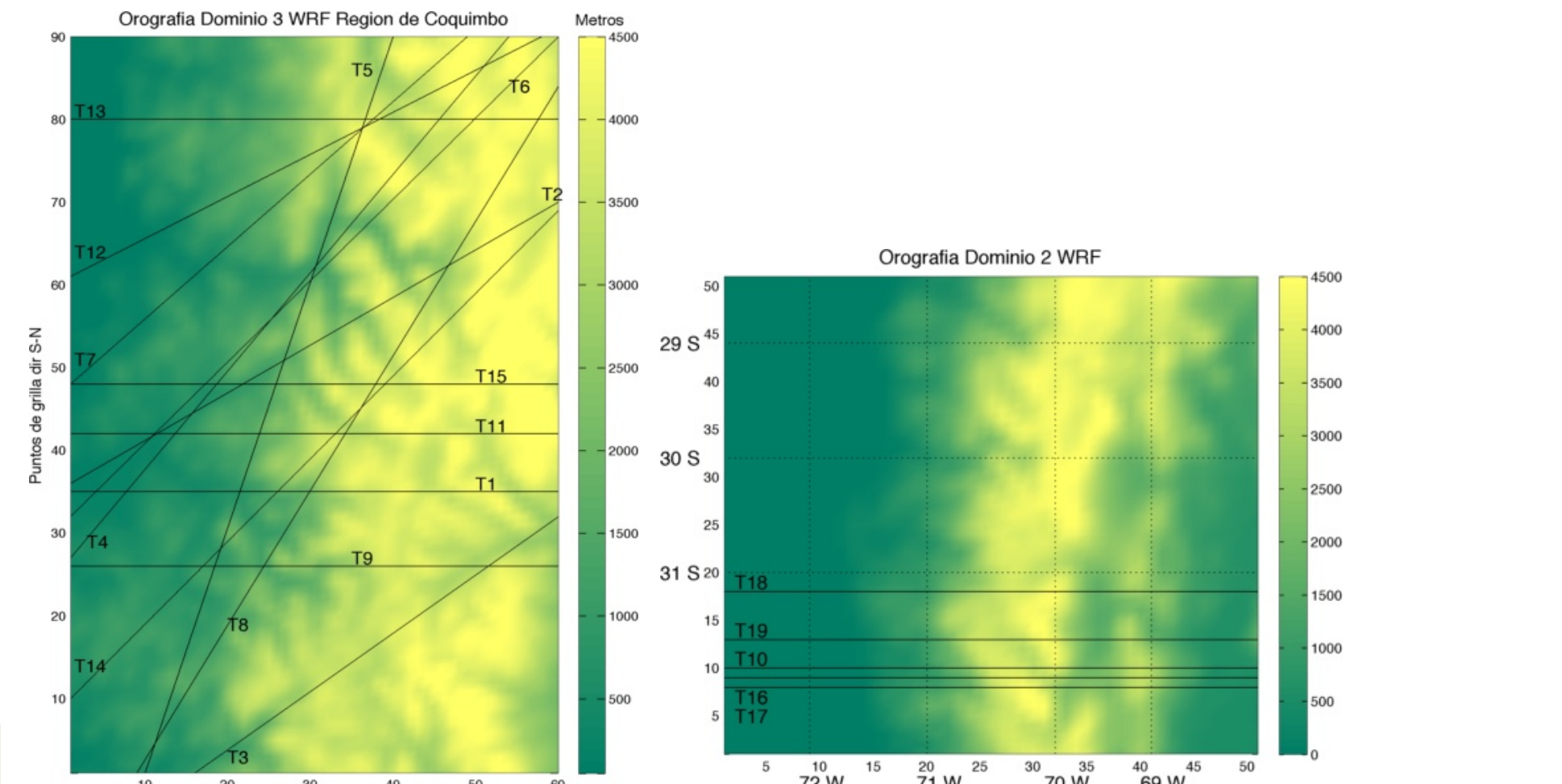


Figura 8. Mapa de transectas para dominios 3 y 2, respectivamente.

Los cortes verticales nos entregan información de temperatura del aire, velocidad vertical W, vector viento (u,v) y Omega. El análisis se enfocó en obtener áreas donde se localizaran las regiones de movimiento ascendente de viento, con el referente de la línea de nieve y las temperaturas adecuadas para efectuar la siembra Vector viento (u,v): Representa el viento en el plano horizontal (latitud, longitud).

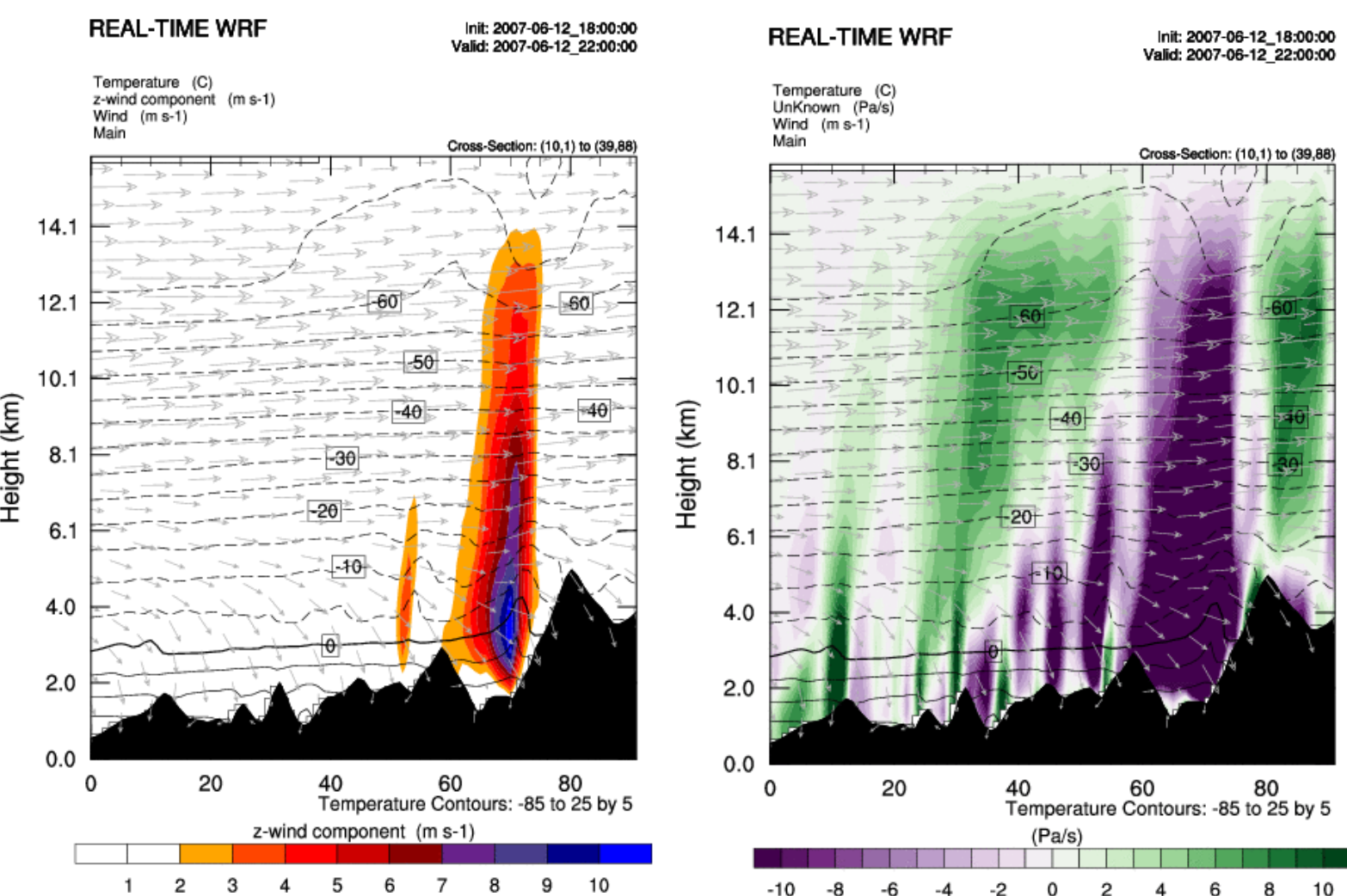


Figura 09. Corte vertical realizado sobre transecta n°5, válido para las 22:00 hrs del 12-06-2007. En ambas imágenes se representan todos los parámetros analizados, las líneas negras muestran la temperatura del aire (°C), en vectores la dirección del viento (u,v) en el plano horizontal, y en colores la velocidad vertical W (m/s) a la izquierda y Omega (Pa/s) a la derecha. El eje X muestra los puntos de grilla de la transecta y el eje Z muestra la altura en kilómetros.

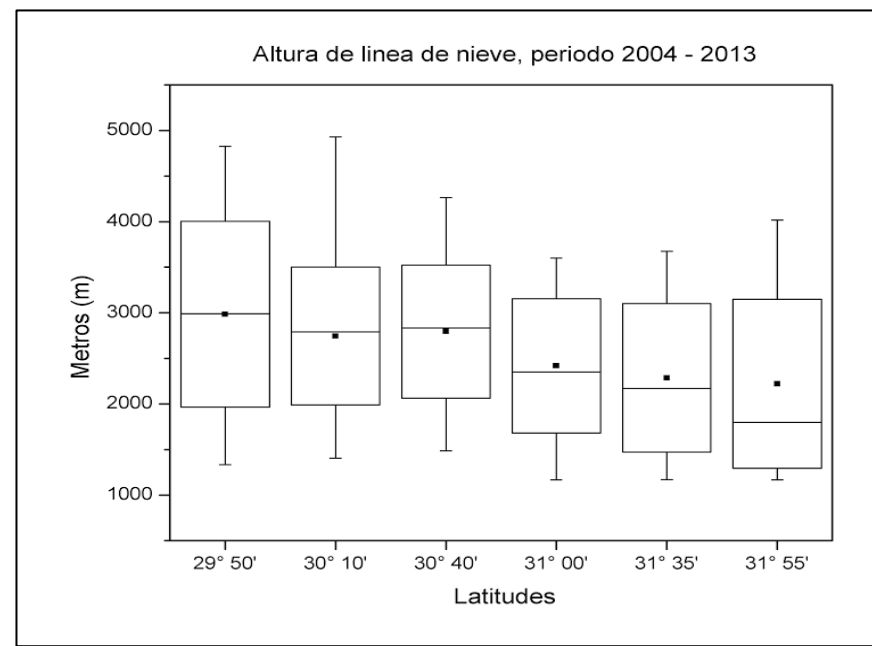


Figura 10. Gráfico de medidas de tendencia central para los puntos muestreados de línea de nieve por latitud, máximos y mínimos. En el gráfico se muestra la media (cuadro central), mediana (línea central), media más menos una desviación estándar (bordes superior e inferior de la caja) y máximos y mínimos (bigotes).

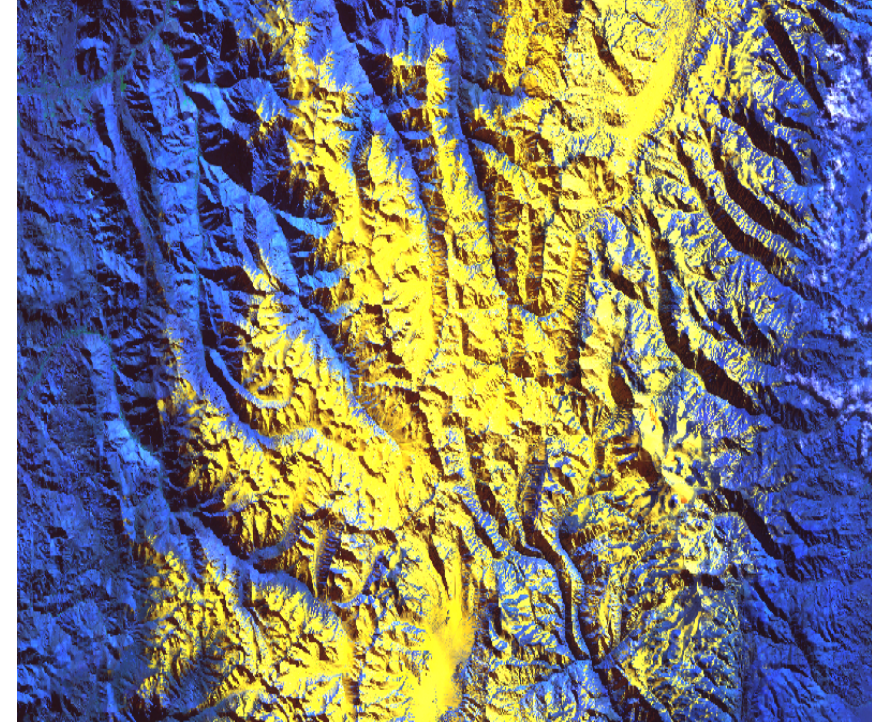


Figura 11. Composite de bandas 1, 4 y 5 de Landsat 7 para la cordillera de Los Andes en la IV Región y Argentina. Color amarillo representa cobertura nival y en color azul se muestran otras coberturas.

Luego de aplicar los criterios generales para la instalación de generadores terrestres, las zonas con movimientos ascendentes favorables para el transporte del nucleante, se redujeron a 22 puntos representativos en la región.

Luego del análisis sinóptico de los 28 sistemas atmosféricos, 21 corresponden a sistemas frontales, 3 a sistemas frontales que varían a núcleo frío, 3 a núcleos fríos y 1 a condiciones de inestabilidad de cordillera.

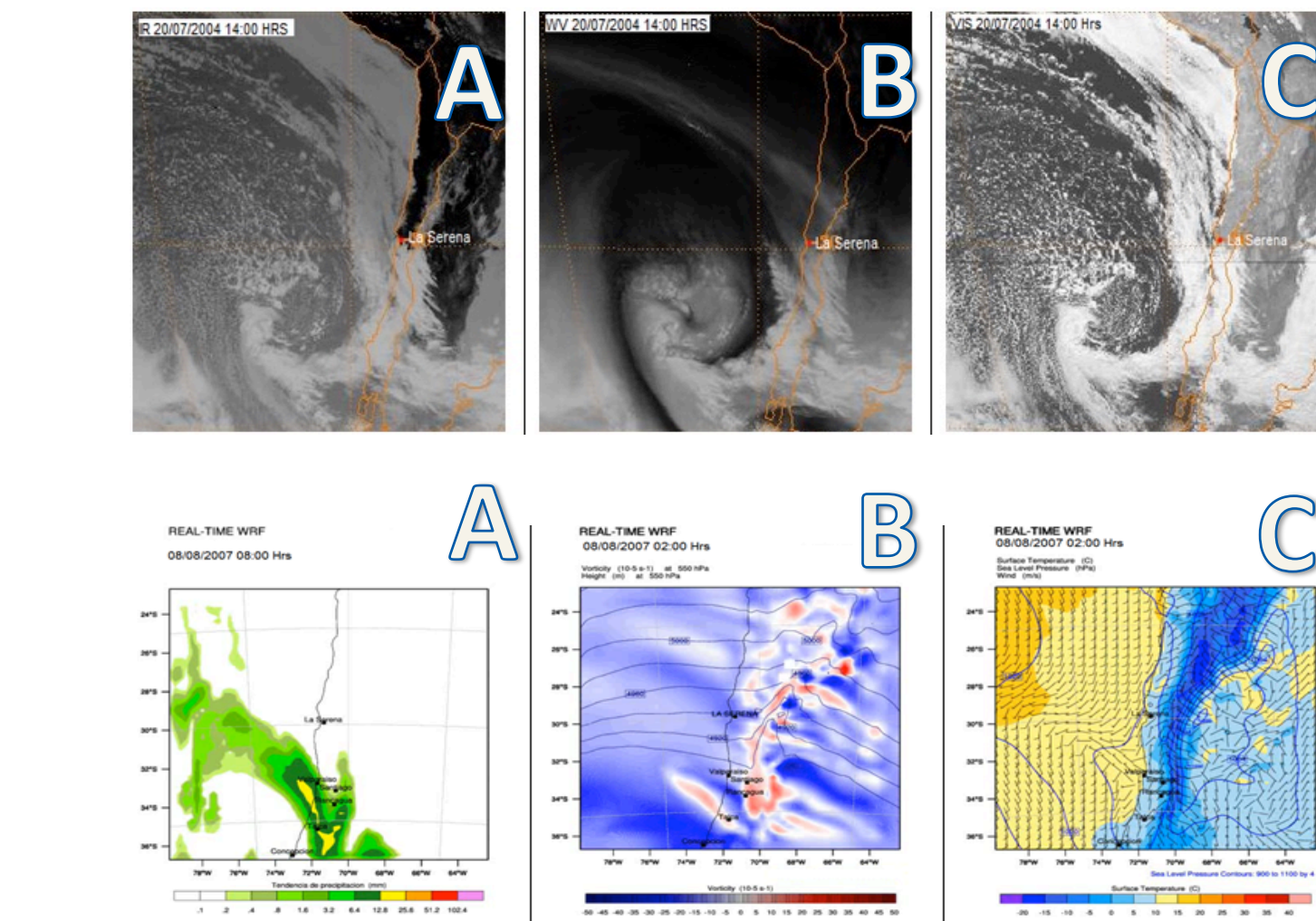


Figura 12. Arriba: Imágenes satelitales de (a) espectro infrarrojo, (b) vapor de agua y (c) visible. Fuente: NOAA-NCDC. Abajo: Simulaciones atmosféricas de WRF. para (a) tendencia de la precipitación (mm), (b) altura geopotencial en 5500 hPa (líneas negras), vorticidad relativa (colores) y (c) presión a nivel del mar (líneas), temperatura del aire (colores) y dirección e intensidad del viento (barbas).

Una vez clasificados los eventos, se encontró que los sistemas frontales dejan precipitación de sur a norte e ingresan de costa a valles y los núcleos fríos e inestabilidad en cordillera, dejan precipitación de norte a sur y su desplazamiento es de cordillera a valles en la región.

Conclusiones

•Durante los episodios de precipitación en el periodo de 2003 al 2014, en la región de Coquimbo existen zonas con movimientos de aire ascendentes que presentan un alto porcentaje de ocurrencia.

•Del total de sectores identificados con movimientos de aire ascendente, sólo 22 puntos presentan condiciones favorables para la instalación de generadores terrestres. Éstos se distribuyen mayormente en la cuenca del Elqui (9 sectores) y en la cuenca del Limarí (11 sectores), mientras que en la cuenca del Choapa sólo se identifican dos zonas favorables.

•El estudio de las variables meteorológicas a través del análisis de WRF, también otorga indicios de aquellos sectores desfavorables para la instalación de generadores, relacionados con áreas donde mayormente predomina el viento descendente mientras transcurre un evento de precipitación o previo a él. Estos sectores se localizan en la parte sur de las cadenas montañosas, principalmente en el sector a sotavento.

•Debido al viento horizontal el nucleante es transportado en la mayoría de los casos hacia el SE de la zona de emisión.