

“EL TERRAL DE VICUÑA, CHILE. UN VIENTO LOCAL TIPO FOEHN”

Ernesto Puccio Labrin *

RESUMEN

Se informa de la ocurrencia de un viento local del tipo foehn, denominado “terral”, que sopla en el valle del río Elqui, en las vecindades de Vicuña con gran intensidad en dirección al Oeste. Se estudian sus características comparando con el foehn de los Alpes y el chinook de las Montañas Rocallosas y se señalan algunas de sus posibles causas.

ABSTRACT

The occurrence of a foehn type wind named “terral” in the upper Elqui river valley, west of the Andes mountain the night from July 30 to 31, 1975, observed by hazard during a micrometeorological campaign in Vicuña ($30^{\circ}02' S$, $70^{\circ}42' W$) is reported.

The various causes of this wind are discussed and compared with studies of foehn and chinook type winds available from the literature.

INTRODUCCION

El Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, Sede Occidental, realizó una campaña de mediciones micrometeorológicas en el valle del Elqui, — que se ubica alrededor de los $30^{\circ}S$, naciendo al pie de los Andes y desembocando en la bahía de Coquimbo — financiada por el Programa de Investigaciones en Zonas

* Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile.

Aridas y Semiáridas de la Universidad de Chile, con dos grupos que se establecieron en la Serena (Aeropuerto de La Florida), ($29^{\circ}55'S$, $71^{\circ}12'W$) próximo al puerto de Coquimbo en el Pacífico, y en Vicuña ($30^{\circ}02'S$, $70^{\circ}42'W$) en el interior del valle, respectivamente (fig. 10).

Durante la campaña, que se realizó desde el 24 de Julio al 4 de Agosto de 1975, ambos grupos operaron estaciones de superficie y torres micrometeorológicas. Además el grupo de La Serena efectuó sondeos de vientos altos en la baja tropósfera y radiosondeos en la capa límite atmosférica.

La ocurrencia casual del viento de montaña, denominado "terral"* debido a la gran polvoreda que levanta, durante la noche del 30 al 31 de Julio de 1975 permitió al grupo de Vicuña medir este interesante fenómeno local (P. ULRIKSEN y A. VIELMA, 1975).

DESCRIPCION DEL FENOMENO

De acuerdo con evaluaciones preliminares de la información recolectada, el terral, que empezó alrededor de las 23 horas del 30 de Julio de 1975, presentó las siguientes características:

- a) Aumento de la velocidad del viento desde 1 m seg^{-1} hasta $8 \text{ a } 10 \text{ m seg}^{-1}$ en los diferentes niveles de la torre micrometeorológica, en el intervalo de tiempo de 2 horas.
- b) Brusco aumento de la temperatura, desde unos 13°C a 24°C entre las 22 y las 24 horas. El día 29 de Julio a las 24 horas la temperatura del aire era de 4°C .
- c) Disminución de la humedad relativa del aire a un 20% aprox. Lo normal a esa hora es una humedad relativa cercana al 100%.

Este viento pasó inadvertido para los observadores en La Serena a 50 Km. de Vicuña y sólo se perciben algunos indicios en los registros de presión, humedad y temperatura en superficie, que son más evidentes en las observaciones de altura de esa localidad (sondeos), por razones que se verán más adelante. Ninguno de los grupos informó de nubosidad hacia la Cordillera.

SITUACION SINOPTICA

En la carta de superficie de 30 de Julio a las 24 horas G.M.T. (Fig. 1), vemos que, junto a una vaguada en la costa del Norte Chico existe una elongación del alta del Pacífico hacia las provincias de Cuyo, produciéndose un fuerte gradiente de presión de Este a Oeste, propicio a los vientos de gradientes.

En el mapa de 850 mb del 31 de Julio de 1975 (12Z) (fig. 2), se muestra

* El nombre de "terral" también se puede aplicar con propiedad a todo viento que sopla desde la tierra hacia el mar.

un núcleo isotérmico caliente, precisamente sobre la IV Región, que grafica el calentamiento del aire en los niveles bajos de la tropósfera.

El sondeo de vientos altos de Quintero muestra vientos del Sureste entre 5 a 15 nudos desde superficie hasta 2000 m. a las 12Z del 30 de Julio y las 00Z del día 31, rotando al Sur el 31 de Julio a las 12Z (fig. 3). Los sondeos aerológicos de La Florida manifiestan estos vientos del Sureste con mayor intensidad y hasta mayor altura (fig. 4).

En los diagramas termodinámicos de Quintero (días 29 al 31 de Julio) se ven dos inversiones de temperatura, la más pronunciada, la inversión de subsidencia, bajo 850 mb. y, una inversión alrededor de 500 mb. asociado posiblemente a un frente estacionario en el norte de Argentina. La curva de temperatura del sondeo de las 00Z del 31 de Julio revela un fuerte calentamiento. Si descendemos adiabáticamente desde el tope de la inversión hasta la superficie obtenemos una temperatura de 24°C, igual a la reportada durante el terral (fig. 5).

POSIBLES CAUSAS

Dadas las características señaladas de temperatura, humedad y velocidad del viento, y la evidencia sinóptica presentada, creemos que el terral del Elqui es del mismo tipo que el foehn de los Alpes, el chinook de las montañas Rocallosas y el zonda, en la provincia argentina de San Juan.

Como en la bibliografía consultada no hemos encontrado referencias sobre el terral, intentaremos señalar sus posibles causas apoyándonos en investigaciones sobre el foehn y el chinook, principalmente.

En el siglo pasado se creía que el foehn era un viento caliente que soplaba desde el Sahara, hipótesis que fué pronto descartada. En 1866 Hann (1866) atribuyó el calor y sequedad del foehn al calor latente de condensación (W.R. Wrickmann, 1971). Este mismo efecto parece ser responsable del zonda en Argentina, pues una masa de aire marítimo que asciende desde el oeste sobre los Andes, si es forzado a descender en la ladera este hasta la superficie, puede llegar a constituir el viento seco y cálido denominado zonda (IRIBARNE, 1964), lo que implica que debe existir precipitación en la ladera opuesta. Sin embargo Hann (1885) descubrió algunos casos de foehn sin precipitaciones a barlovento.

Este sería el caso del terral observado, pues durante su ocurrencia no hay indicios de precipitación en las provincias de Cuyo, ni las cartas sinópticas muestran frentes en esa región.

Otra causa puede ser el descenso adiabático. Si consideramos la altura alcanzada por los cerros en esa región podemos pensar que este efecto sería un mecanismo eficaz para producir un incremento térmico como el observado (fig. 6).

Para poder pensar en un descenso adiabático debemos verificar si existen las condiciones para que se presente un viento catabático. Usaremos para este propósito los criterios señalados por V.L. PEROV y L.N. GUTMAN (1972):

- a) Debe haber grandes gradientes en los campos de presión y temperaturas en zonas de acusado relieve, como se advierte en el mapa de superficie de 30 de Julio de 1975, 24Z y en la carta de 850 mb del 31 de Julio, 12Z (Fig. 1 y 2).
- b) Cuando el viento empieza a soplar debe haber una pronunciada inversión de temperatura, como la observada en el sondeo de La Florida a las 23 horas del 30 de Julio (fig. 6).
- c) A medida que el proceso se desarrolla, la inversión desciende hasta tocar el suelo. En los sondeos de La Serena, el tope de la inversión se encuentra a 650m de altura sobre el nivel del mar, que corresponde al nivel de superficie en Vicuña, donde no se hicieron sondeos aerológicos.
- d) Con respecto a una determinada altura, la velocidad del viento a sotavento del obstáculo es 3 a 5 veces mayor que a barlovento. No ha sido posible constatar este aserto por no disponer de información de vientos en la ladera Este de los Andes.
- e) Durante un viento catabático la presión atmosférica es siempre mayor a barlovento que a sotavento de la barrera montañosa, como se verifica en el mapa bórico del 30 de Julio de 1975, 24 hrs G.M.T. (fig. 1).

Se puede concluir que el efecto de descenso adiabático ha estado presente en este caso, pues se cumplen todas las condiciones para un viento de montaña que hemos podido comprobar.

Otra causa del calentamiento del aire puede ser el cambio de una masa de aire de origen continental polar por aire marítimo más cálido. En las montañas Rocallosas suele acontecer que la región al Este de la División Continental esté cubierta por una extensa alta fría con aire polar. En el centro del alta bórica el aire frío tiene bastante profundidad; llegando a cero en el frente frío que la limita sobre los estados del Este de USA y en el Oeste tiene como represa las laderas de la División Continental. A medida que el aire marítimo desciende se producen bruscos cambios de temperatura en los lugares que pasan del aire frío al cálido, generándose a veces perturbaciones ondulantes (C.L. GENN, 1961).

Para obtener una estimación cuantitativa de este efecto comparamos los sondeos de Denver, 18 al 21 de Enero de 1943 (A.W. COOK y A.G. TOPIL, 1952) con los sondeos de Quintero ($32^{\circ}47'S$ y $73^{\circ}32'W$), 29 al 31 de Julio de 1975 (figs. 5 y 7); a pesar de que este último se encuentra bastante alejado del valle del Elqui (250 Km aprox.). En Denver hay un fuerte calentamiento de todo el aire bajo los 400 mb. en forma marcada, en cambio en Quintero se aprecia sólo hasta 700 mb. En Denver las diferencias de temperatura llegan a los $35^{\circ}C$ y en Quintero esas diferencias no alcanzan los $15^{\circ}C$. La misma diferencia aparece si se comparan con los sondeos de La Serena (fig. 6).

Una de las causas del menor incremento térmico revelado por los sondeos del aire superior en Quintero, es que en el Continente Sudamericano no se dan los grandes contrastes de masa del Hemisferio Norte, pues no hay una masa de

aire Continental Polar. Los cambios de temperatura observados en Quintero se deben a la irrupción de un pequeño anticiclón detrás de un frente, que empezó a deslizarse hacia Argentina entre las 24 horas G.M.T. del 28 a las 12 horas G.M.T. del 29 de Julio 1975, haciendo desaparecer la inversión en la curva del sondeo del 29 de Julio a las 12 hrs. G.M.T. A medida que este anticiclón emigraba hacia el Atlántico se producía un aumento de la temperatura.

Otra causa es que el terral parece ser un fenómeno más local que el chinook.

Mescla turbulenta del aire bajo y sobre la inversión de subsidencia.

Si se analizan los sondeos de las 7 hrs G.M.T. y de las 13 hrs G.M.T. del día 31 de Julio (La Florida) se ve que la inversión desde el suelo en el primero, ha sido reemplazada por unas curvas de temperatura y humedad casi constantes hasta 925 mb, demostrando una mezcla eficiente por turbulenta (fig. 8)

Se ha sugerido que el mecanismo que rige a los vientos descendentes es el esquematizado en la fig. 9. De acuerdo al sondeo hipotético presentado a la derecha, el aire estaría compuesto de 3 capas separadas por 2 inversiones: la capa inferior, la más delgada de aire frío y húmedo, una segunda capa de aire más cálido y más seco sobre la inversión y una tercera capa de aire menos denso sobre una inversión en altura (posiblemente de origen frontal).

Si la segunda inversión de temperatura desciende a una altura h_c sobre las montañas, denominada altura crítica, tal que el viento es $V > \sqrt{2gh}$ y la salida de flujo es máxima, se produce un flujo supercrítico, con descenso del aire a gran velocidad, desalojando en las laderas al aire bajo la inversión y produciendo debido a su turbulencia, una mezcla de aire bajo en la inversión.

En la zona entre los números 2 y 3 se produce una desaceleración del viento con pérdida de energía cinética, pasando el flujo al estado subcrítico en que se produce el llamado "resalto hidráulico" turbulento (rotor) debido a la transformación de energía cinética en energía potencial (I. VERGEINER y D.K. LILLY, 1970). Posiblemente se deba a este fenómeno que en los puntos más alejados del valle no se observen sus efectos. Así, se explicaría que mientras en La Serena había temperaturas inferiores a 9°C y humedades superiores al 90%, en Vicuña la temperatura llegaba a unos 24°C y la humedad a un 20%, entre las 21 horas del día 30 y las 7 de la mañana del 31 de Julio.

La teoría del resalto hidráulico podría explicar el terral en uno de los dos modos:

- a) Como un fuerte viento pendiente abajo asociado con flujo supercrítico a sotavento de los Andes (en este caso al lado chileno), y
- b) Como una penetración de aire de la tropósfera media hasta la superficie en la ladera a sotavento, mientras el flujo corriente arriba en los niveles bajos es bloqueado por la montaña, lo que ocurriría si el obstáculo es alto y el número de Froude es pequeño (I. VERGEINER y D.K. LILLY 1970).

Se ha señalado que esta teoría presenta la dificultad de aplicarse a un sistema

compuesto sólo de dos capas homogéneas y que no admite ondas de montaña. Con respecto a la primera objeción, creemos que en algunos casos como el del terral, es importante el papel que juega la tercera capa bajo la inversión de subsidencia; en cuanto a las ondas de montañas, no hay evidencias que ellas se formen al Oeste de los Andes.

En opinión del autor, la investigación de los mecanismos que rigen el comportamiento de este tipo de vientos locales, reviste cierta importancia por las implicaciones que la turbulencia que acompaña al "resalto" hidráulico tiene para la seguridad aérea.

AGRADECIMIENTOS

Es grato consignar nuestro agradecimiento al Dr. Humberto Fuenzalida por sus interesantes sugerencias, a la D.M.C., Aeropuerto Pudahuel y a la Oficina Meteorológica de LAN CHILE que nos han facilitado sus valiosos informes. Al Sr. Lorenzo Doerr por la reproducción de las figuras y a la Srta. Bernardita Guerrero por la transcripción del manuscrito.

BIBLIOGRAFIA

BRINKMANN, W.A.R., "What is a Foehn?", *Weather* 26, pp. 230-239, 1971.

COOK, A.W. and A.G. TOPIL, 1952. "Some examples of Chinooks East of the Mountains in Colorado", *Bull. Am. Met. Soc.* 33 (2), pp. 42-47.

GLENN, C.L., 1961. "The Chinook", *Weatherwise* 14 (5) pp. 175-182.

HANN, J., 1866. "Zur Frage ueber den Ursprung des Foehns". *Zeitschrift der Oesterreichischen Gesellschaft fur Meteorologie*, I (17), pp. 257-263.

-----, 1885. "Einige Bemerkungen zur Entwicklung-Geschichte der Ansichten ueber den Ursprung des Foehns". *Met. Zeit.* 2 (11), pp. 393-399.

IRIBARNE, J.V., 1964. "Termodinámica de la Atmósfera", Editorial Universitaria de Buenos Aires, Argentina.

PEROV, V.L. and L.N. GUTMAN, 1972. "A Barotropic Model for the Predictions of a local Katabatic Wind", *Izv. Acad. Sci. USSR, Atmospheric and Oceanic Physics* 8 (11) pp. 659-666 (Edited in English by American Met. Union).

ULRIKSEN, P. y A. VIELMA, 1975. "Mediciones Micrometeorológicas en Vicuña, Julio-Agosto 1975", Public. No. 193 del Departamento de Geofísica, Universidad de Chile.

VERGEINER, I. and D.K. LILLY, 1970. "The Dinamic Structure of Lee Wave Flows as Obtained from Ballon and Airplane Observations". *Mon. Wea. Rev.*, 98 (3), pp. 220-232.

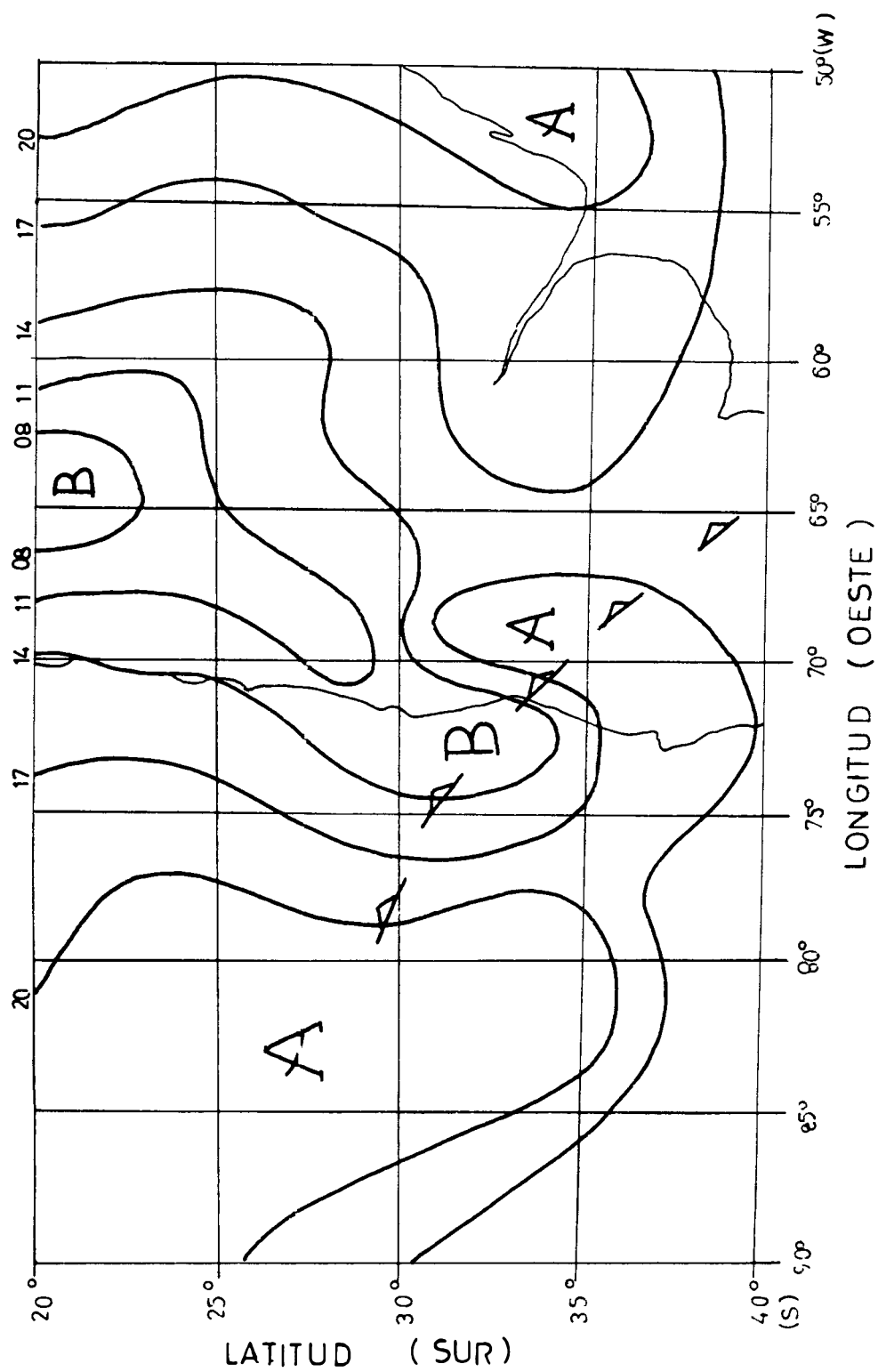


FIG. 1. Detalle de la carta de superficie de las 24 horas G.M.T. del 30 de Julio de 1975.
Isobaras trazadas cada 3 milibares.

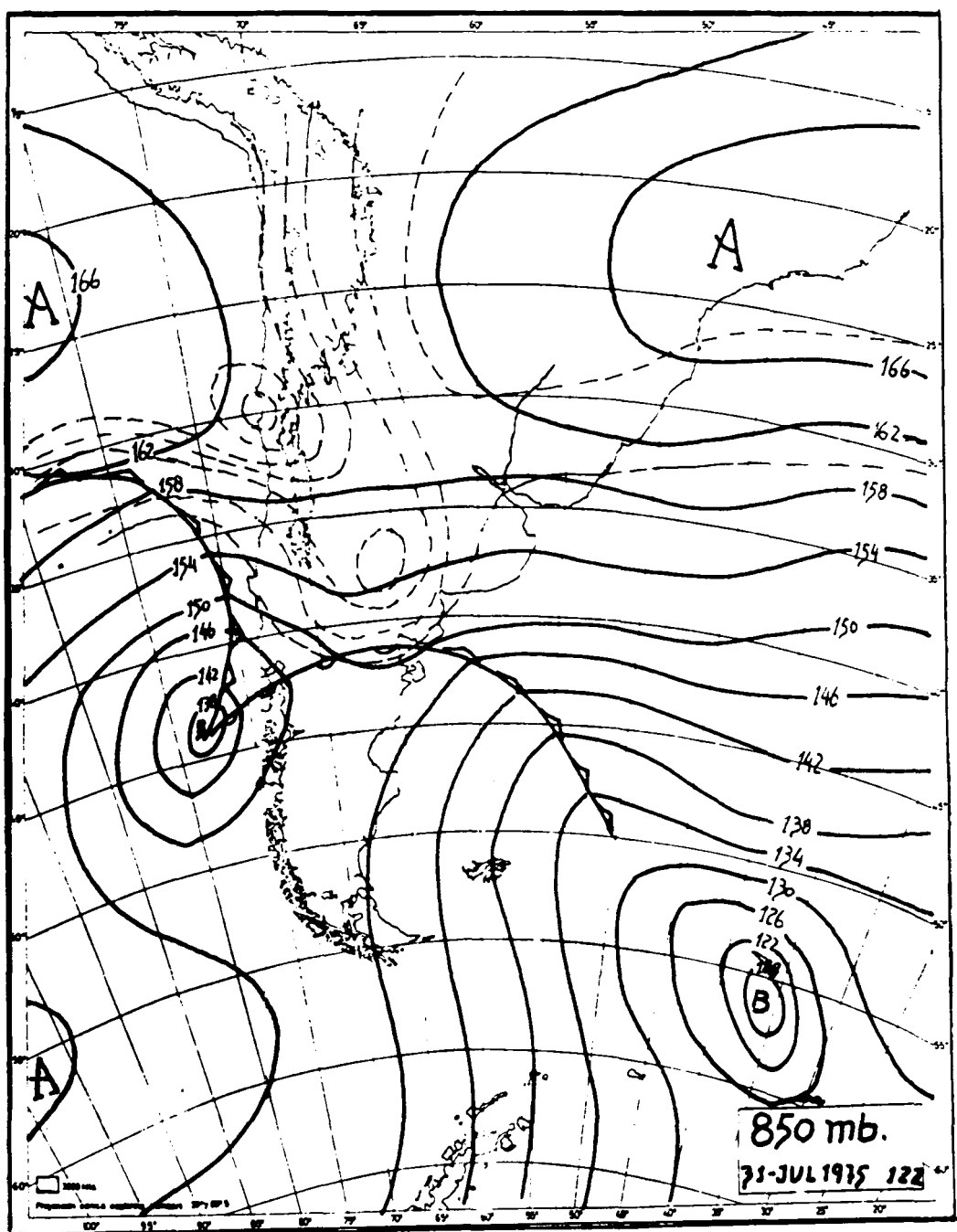


FIG. 2. Carta de la superficie de nivel constante de 850 mb. Las líneas segmentadas corresponden a las isotermas.

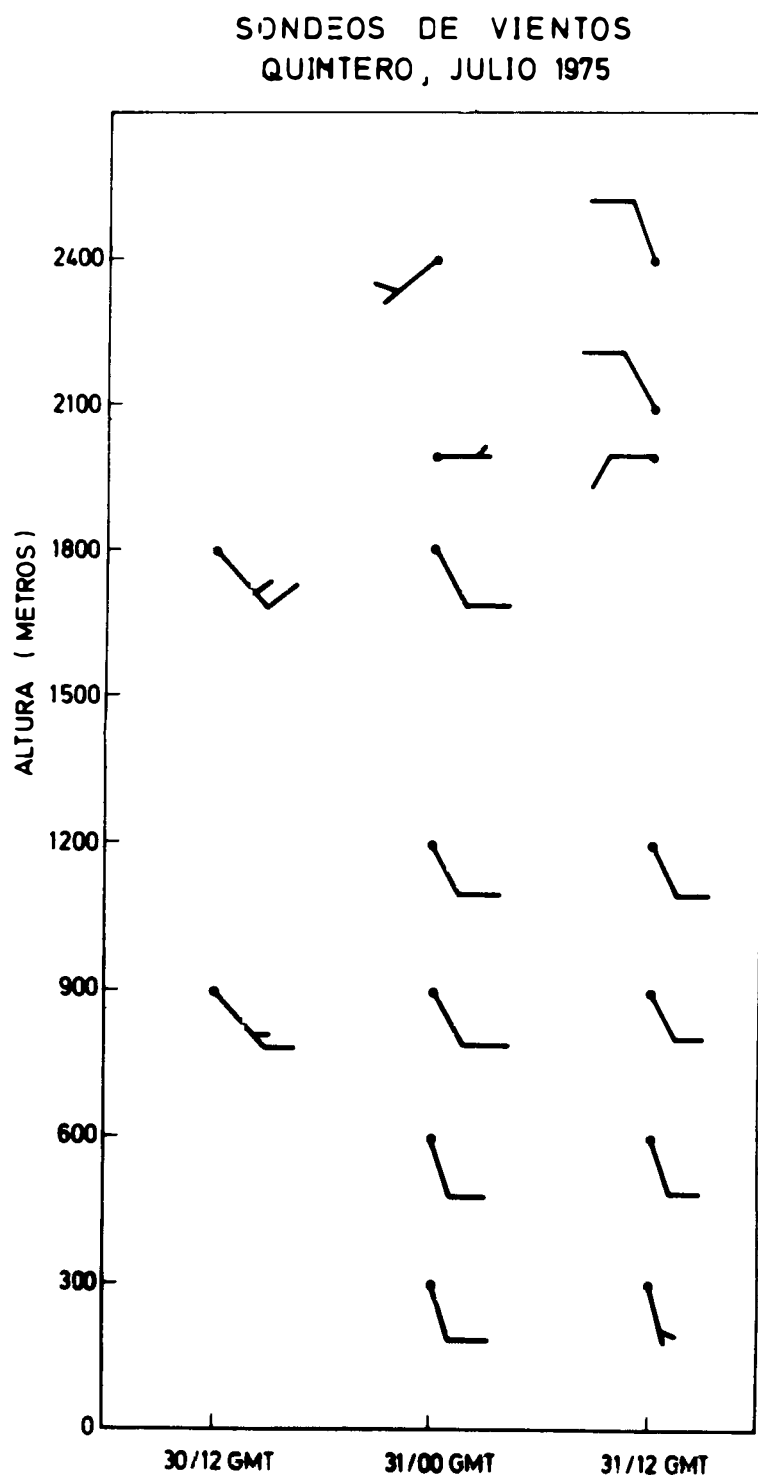


FIG. 3. Sondeos de vientos altos en Quintero. El mástil indica la dirección de donde viene el viento, y las barras corresponden a velocidades de 10 nudos y medias barras a 5 nudos.

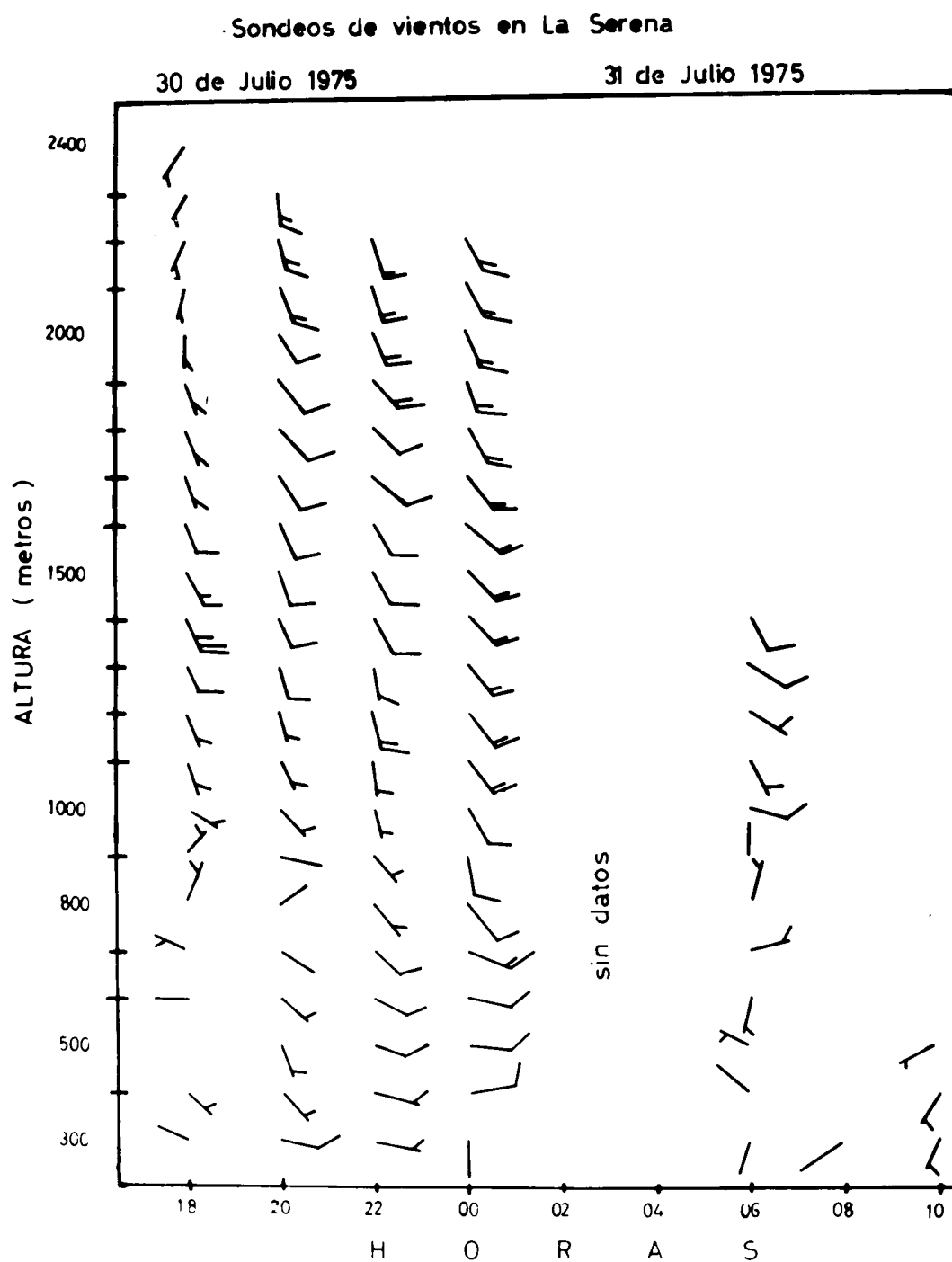


FIG. 4. Sondeos de vientos altos en La Serena. Dirección e intensidad según Fig. 3.

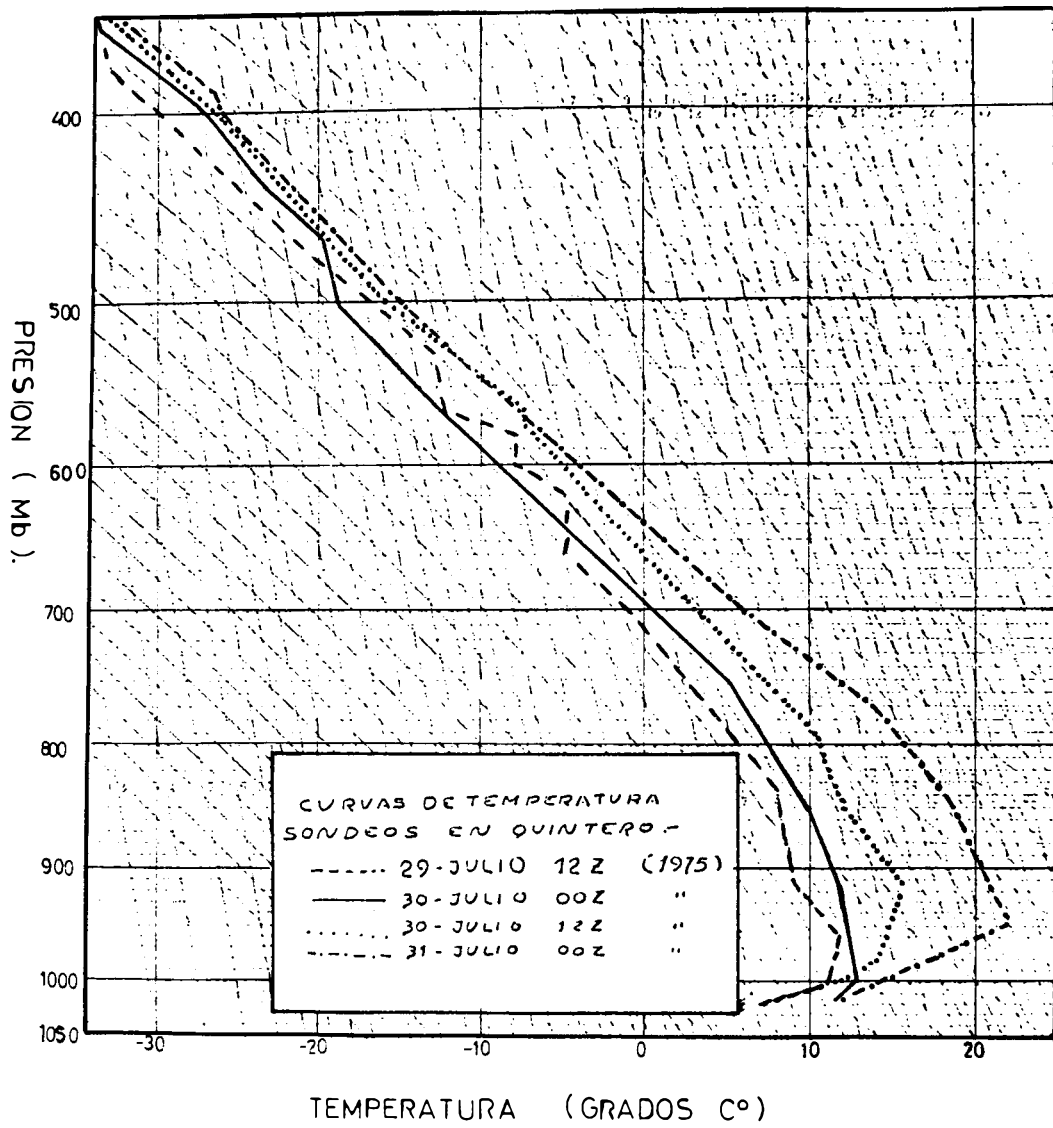


FIG. 5. Curvas de temperatura de los radiosondeos en Quintero, cada 12 horas. El calentamiento es significativo hasta 700 mb.

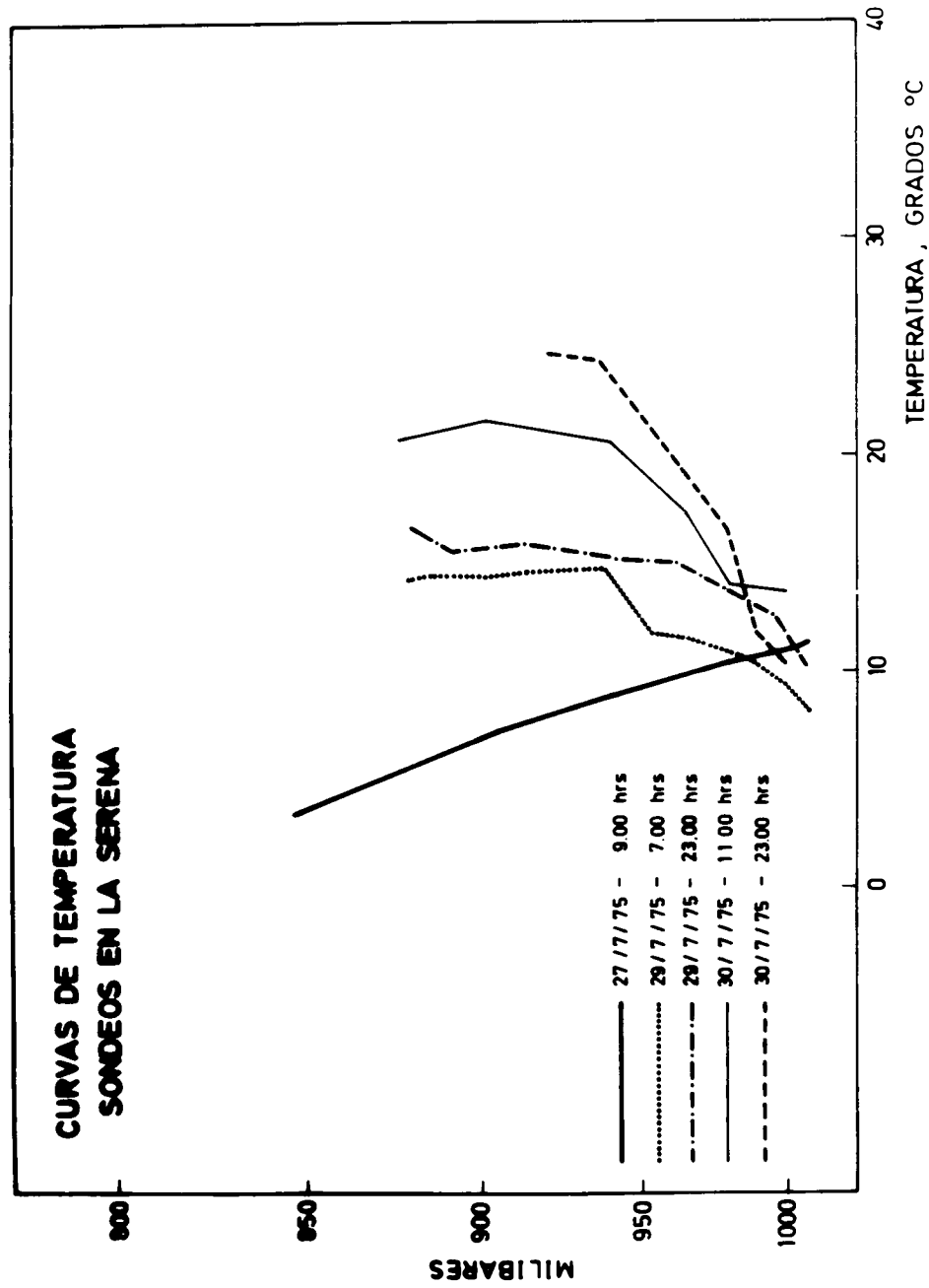


FIG. 6. Curvas de temperatura de radiosondeos seleccionados de La Serena, que demuestra el gran calentamiento experimentado por el aire en la baja tropósfera desde la curva típica de una masa de aire frío del día 27 de Julio de 1975 a las 9 horas a la marcada inversión del 30 de Julio de 1975 a las 23 horas durante el teral.

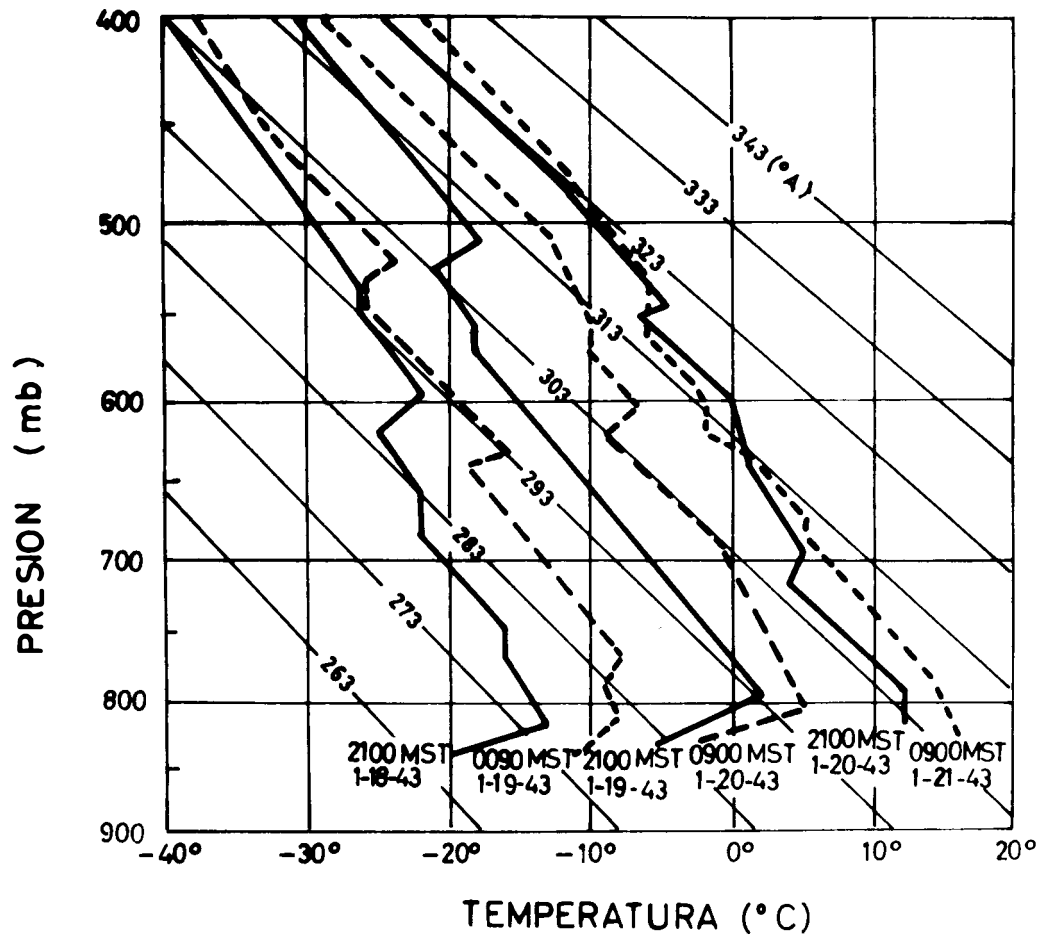


FIG. 7. Radiosondeos en Denver durante una situación con chinook, mostrando fuerte advección cálida hasta 400 mb. (Según A.W. Cook y A.G. Topil).

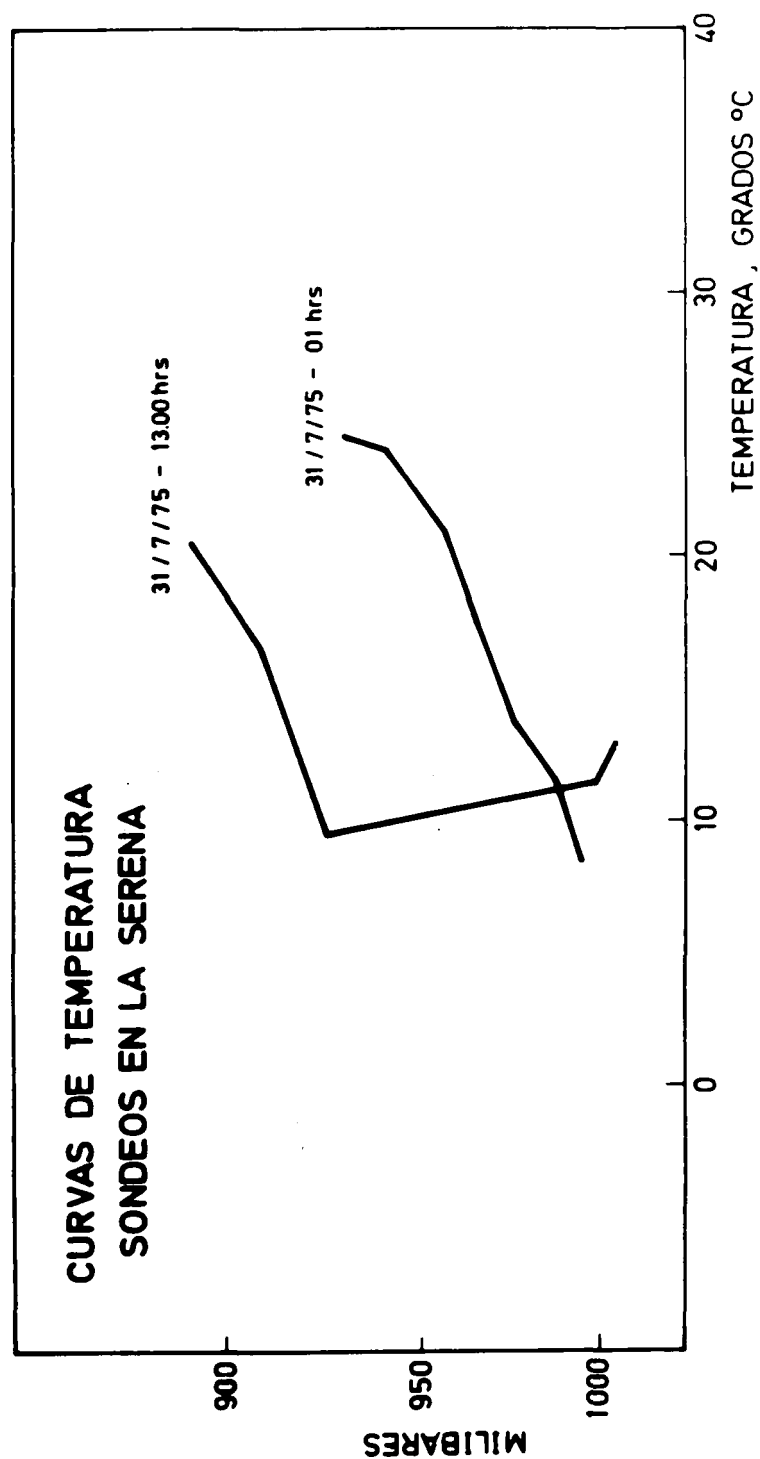


FIG. 8. Curvas de temperatura, sondeos en La Serena. La mezcla turbulenta del aire bajo 925 mb. es responsable de la curva cuasi-isotérmica en las primeras capas de la atmósfera 31 de Julio de 1975 a las 13 horas, en contraste con la curva de las 01 horas durante el teral.

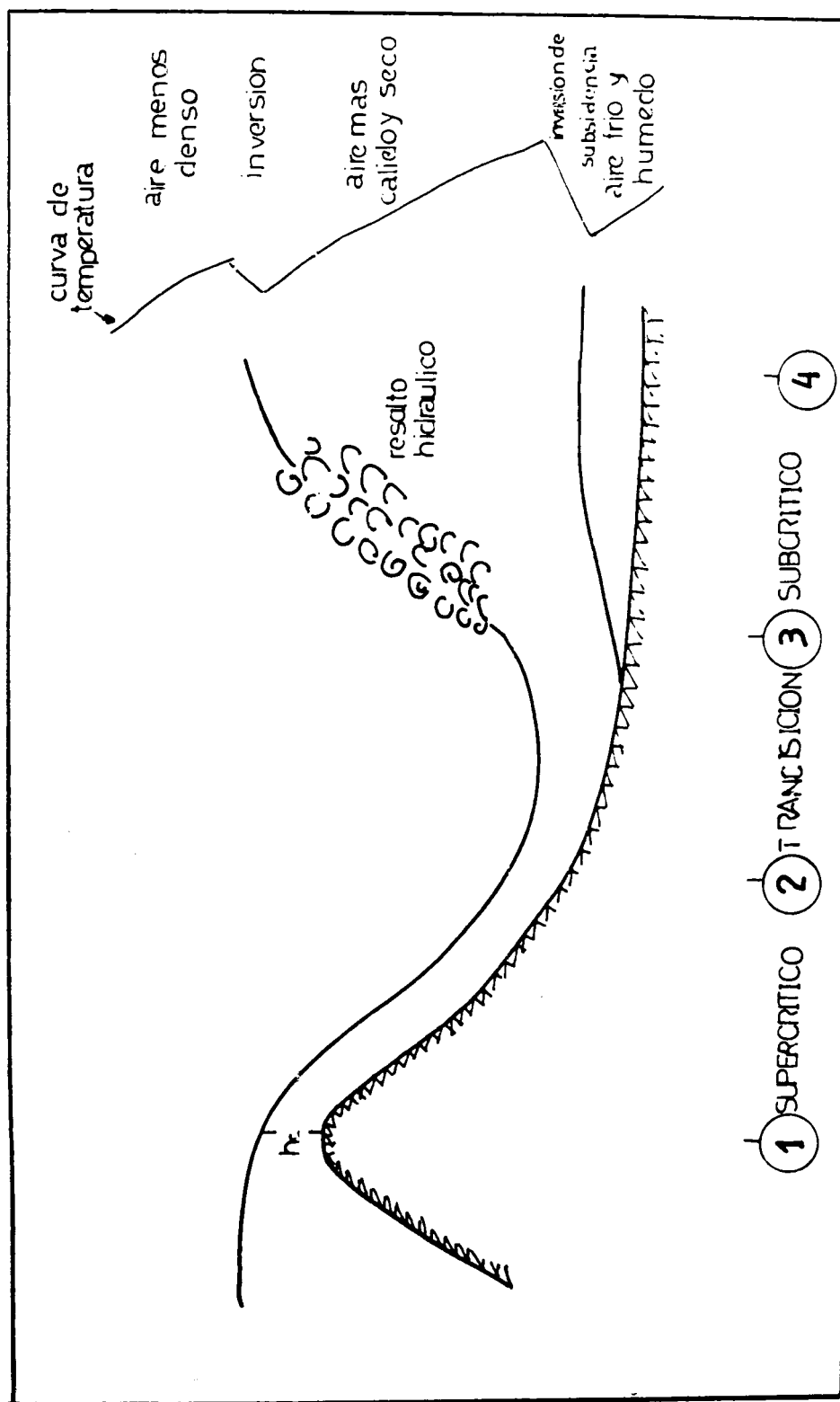


FIG. 9. Esquema de los mecanismos que regirían los vientos descendentes. A la izquierda, sondeos hipotéticos de temperatura en que se ha destacado la inversión de subsidencia, típica de las regiones costeras del Pacífico Sur-occidental.





FIG. 10. Mapa del relieve en la zona del Valle del Elqui. Al Sureste de Vicuña se ubica un macizo cuyas cumbres se elevan sobre los 5000 metros.