

VARIACIONES DIARIAS EN LA ALTURA DE LA CAPA ATMOSFERICA SUPERFICIAL DE MEZCLA SOBRE SANTIAGO.

Pablo Ulriksen

Departamento de Geofísica, Universidad de Chile.
Casilla 2777, Santiago-Chile.

RESUMEN

A partir de perfiles verticales de temperatura sobre Santiago obtenidos durante cuatro períodos de mediciones bihorarias con radiosondas cautivas, se analiza la variación diaria de la altura de la base de la primera capa estable cercana a la superficie.

Los resultados muestran una variación diaria típica de la capa de mezcla, con un desarrollo máximo en las horas de mayor calentamiento e inexistente durante el período nocturno. Se observa una variación estacional de la altura máxima de la capa de mezcla, con valores medianos de 400 m en los meses fríos y superiores a 1.000 m en los meses cálidos.

ABSTRACT

DAILY VARIATIONS OF THE MIXED ATMOSPHERIC SURFACE LAYER OVER SANTIAGO

Daily variations of the stable layer base height nearest to the surface over Santiago are obtained from bihourly vertical temperature profiles measured with captive radiosondes during four 8 to 15 days - length periods.

Results show a typical daily variation of the mixed layer, with a maximum development during the warmest afternoon hours and non existing during the night. A seasonal variation of the maximum layer height is illustrated by the median values, reaching 400 m in the cold months and exceeding 1000 m during the warmest season.

1. INTRODUCCION

La presencia de capas atmosféricas estables ubicadas a cierta altura sobre el suelo limita la dispersión vertical de contaminantes. La

capa de mezcla turbulenta en la cual es posible la difusión de contaminantes queda confinada por la superficie del suelo y la base de la capa estable. Esta última se manifiesta muchas veces en la forma de un cambio brusco en el perfil vertical de temperaturas, presentando una inversión de la tendencia usual a la disminución de la temperatura con la altura (inversión de temperatura). Las capas estables que limitan la difusión de contaminantes también pueden presentar un perfil vertical isotérmico e incluso una disminución de la temperatura con la altura.

En condiciones de cielos despejados, la capa atmosférica cercana a la superficie presenta una variación diaria característica. A la puesta del sol, se desarrolla una capa estable contigua al suelo por el enfriamiento radiativo que sufre éste, la cual aumenta de espesor a lo largo de la noche. Después de la salida del sol, el suelo empieza a calentarse y la capa estable se va erosionando desde abajo, al formarse una capa de mezcla superficial que aumenta de espesor con el tiempo. La capa estable formada durante la noche puede llegar a desaparecer totalmente si el calentamiento superficial es suficientemente intenso. En caso contrario, la capa de mezcla superficial queda confinada bajo la capa estable. A la puesta del sol, nuevamente empieza a formarse desde el suelo la capa estable nocturna.

En algunas regiones se presentan capas estables a cierta altura del suelo, asociadas a sistemas meteorológicos de gran escala. Esto sucede en forma casi permanente en la zona norte y central de Chile, donde se manifiesta una inversión de temperatura por subsidencia del aire superior en el anticiclón subtropical del Pacífico. En Santiago, en muchas ocasiones la inversión de subsidencia y la inversión superficial se confunden en una sola.

En este trabajo se analizan perfiles verticales de temperatura medidos en Santiago con el fin de definir las variaciones diarias que presenta la altura de la base de la primera capa estable cercana a la superficie.

2. DATOS Y METODO DE ANALISIS.

Los datos empleados en este trabajo corresponden a radiosondeos manuales realizados por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile durante cuatro periodos de mediciones intensivas, en el Campus Antumapu de la Universidad ubicado a 15 Km al sur del centro de Santiago. En la Ta-

bla 1 se resumen las características generales de estas observaciones. Algunas de estas campañas de medición han sido informadas con mayor detalle (Rutilant 1973, Ulriksen y Rutilant 1977).

Las mediciones corresponden a dos períodos de invierno, uno de otoño y uno de fines de primavera. Los radiosondeos cautivos alcanzan alturas cercanas a los 1.000 m sobre el suelo y se mide durante el ascenso y el descenso a intervalos de altura de unos 20 m (dependen de la velocidad del radiosonda y del período de repetición de las medidas). Los datos obtenidos fueron procesados en computador, determinándose la temperatura cada 100 m.

La definición de la estabilidad atmosférica a partir de estos datos ha sido realizada por Aceituno (1979), usando un criterio de clasificación empleado generalmente en estudios de dispersión de contaminantes. La condición de estabilidad neutra corresponde a una variación vertical media de la temperatura de $-1,0^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ y abarca el intervalo comprendido entre $-1,5$ y $-0,5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. Las condiciones estables se extienden desde $-0,5/100\text{ m}$ hasta valores positivos del gradiente térmico vertical y comprenden capas con inversión de temperatura (gradiente positivo), capas isotérmicas (gradiente nulo) y capas ligeramente estables con gradiente negativo.

Usando esta definición de condiciones estables, se han determinado las alturas de la base de la capa estable más cercana al suelo. En las Tablas 2, 3, 4 y 5 se presentan los resultados para los períodos de invierno, otoño y primavera respectivamente.

3. RESULTADOS.

El número de observaciones representativas de cada período no es muy grande: cada hora de mediciones está caracterizada por 9 a 14 observaciones, excepto Noviembre que tiene entre 1 y 8 observaciones por hora. Aunque el tamaño de las muestras es pequeño y no se puede asegurar una buena representatividad estadística, se aprecian algunas características generales en todos los períodos de medición.

Durante la noche, casi todas las observaciones muestran capas estables que se desarrollan a partir de la superficie. En el día, no existen capas estables superficiales y la mayor parte de ellas se ubican a partir de algunos cientos de metros sobre la superficie. Este comportamiento se aprecia con mayor claridad en la evolución diaria de la altura mediana de la base de las capas estables, definida como el valor excedido por el 50% de las observaciones (Tabla 6 y Fig. 1). Las alturas máximas se producen en las horas de

TABLA 1 Mediciones con radiosondas cautivas efectuadas por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile en Santiago en el período 1971 - 1976,

AÑO	PERIODO	FRECUENCIA EN MEDICION	Nº de radiosondeos
1971	16 al 24 de Agosto	Cada 2 horas	130
1972	16 al 31 de Agosto	Cada 2 horas	133
1975	13 al 26 de Mayo	Cada 2 horas	157
1976	18 al 26 de Noviembre	Cada 2 horas	68

TABLA 2 Altura de la base de la capa estable cercana al suelo en Santiago Período: Agosto 1971.

Altura (m)	Nº de veces que se observa cada altura											
	00	02	04	06	08	10	12	14	16	18	20	22
0	9	10	8	9	8	3	-	-	1	7	10	1
100	-	-	-	-	-	3	3	-	-	-	-	-
200	-	-	2	2	2	3	1	3	2	-	-	-
300	-	-	-	-	-	2	1	1	2	1	1	-
400	1	1	-	1	-	2	5	2	1	1	-	-
500	-	-	-	-	1	-	1	2	2	-	-	-
600	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-
700	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
900	-	-	-	-	-	-	-	-	(1)	-	-	-
1000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
> 1000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
Total de mediciones	10	11	11	12	11	13	12	9	9	10	11	1

Nota: Entre paréntesis radiosondeos interrumpidos a esa altura, sin capas estables más bajas.

TABLA 3 Altura de la base de la Capa estable cercana al suelo en Santiago
Período: Agosto 1972

Altura (m)	<u>Nº veces que se observa cada altura</u>											
	01	03	05	07	09	11	13	15	17	19	21	23
0	9	8	9	9	3	-	-	-	-	7	12	11
100	2	1	1	1	3	-	-	-	-	1	-	1
200	-	2	-	-	3	2	-	1	1	-	-	-
300	-	-	1	-	-	3(1)	3	1	2	-	-	-
400	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	1
500	-	-	-	-	-	2	2	1	1	-	-	-
600	1	-	-	-	-	2	1	2	1(1)	(1)	-	-
700	-	-	-	-	-	-	(1)	2(1)	-	1	-	-
800	-	-	-	-	-	-	1(1)	1(1)	2	-	-	-
900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1000	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
>1000	-	-	1	-	-	-	-	1	1	1	1	-
Total de Mediciones	12	11	12	11	9	10	10	11	9	12	13	13

TABLA 4 Alturas de la base de la capa estable cercana al suelo en Santiago
Período: Mayo 1975.

Altura (m)	<u>Nº de veces que se observa cada altura</u>											
	01	03	05	07	09	11	13	15	17	19	21	23
0	14	12	12	13	11	1	-	-	7	9	12	12
100	-	-	1	1	2	2	-	-	-	2	-	-
200	-	-	-	-	-	5	2	5	4	1	-	-
300	-	-	-	-	-	4	4	2	-	-	-	-
400	-	-	-	-	-	-	4	2	-	-	-	-
500	-	-	-	-	1	-	1	1	-	-	-	-
600	-	-	-	-	-	-	1	2	(1)	-	-	-
700	-	-	-	-	-	1	-	1	2	-	-	-
800	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
900	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
> 1000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total de mediciones	14	13	13	14	14	13	12	14	14	12	12	12

TABLA 5 Alturas de la base de la capa estable cercana al suelo en Santiago
Período: Noviembre 1976.

Nº veces que se observó cada altura

Altura	00	02	04	06	08	10	12	14	16	18	20	22	
0	8	7	8	8	5	-	-	-	-	-	1	6	
100	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	2	-	
200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	
300	-	-	-	-	-	4	1	1	-	1	-	-	
400	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-	
500	-	-	-	-	-	-	2(1)	-	-	-	-	-	
600	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	
700	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	
800	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	
900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1000	-	-	-	-	-	-	-	2	1	-	-	-	
Total de mediciones	8	7	8	8	8	6	6	4	1	1	5	6	68

TABLA 5 Alturas medianas en metros de la base de la capa estable cercana al suelo en Santiago

(Las cifras entre parentesis debajo de cada altura corresponden a valores con probabilidades de excedencia de 80 y 20% respectivamente).

HORA

Período	00-01	02-03	04-05	06-07	08-09	10-11	12-13	14-15	16-17	18-19	20-21	22-23
Agosto 1971	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-200)	0 (0-200)	0 (0-200)	200 (0-400)	400 (100-500)	400 (200-500)	300 (200-500)	0 (0-400)	0 (0-0)	0 (0-0)
Agosto 1972	0 (0-100)	0 (0-200)	0 (0-300)	0 (0-200)	100 (0-200)	300 (300-500)	500 (300-800)	700 (400-800)	600 (300-800)	0 (0-700)	0 (0-0)	0 (0-100)
Mayo 1975	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-100)	200 (100-300)	350 (300-500)	400 (200-600)	100 (0-200)	0 (0-100)	0 (0-0)	0 (0-0)
Nov 1976	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-100)	300 (300-600)	500 (400-700)	>1000 *	>1000 *	300 *	100 (100-300)	0 (0-0)
Abr 1964	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 (0-0)	-
Jul 1964	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 (0-100)	-
Oct 1964	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100 (0-600)	-
Ene 1965	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	300 (200-500)	-

* : Menos de 5 observaciones

- : No hay observaciones

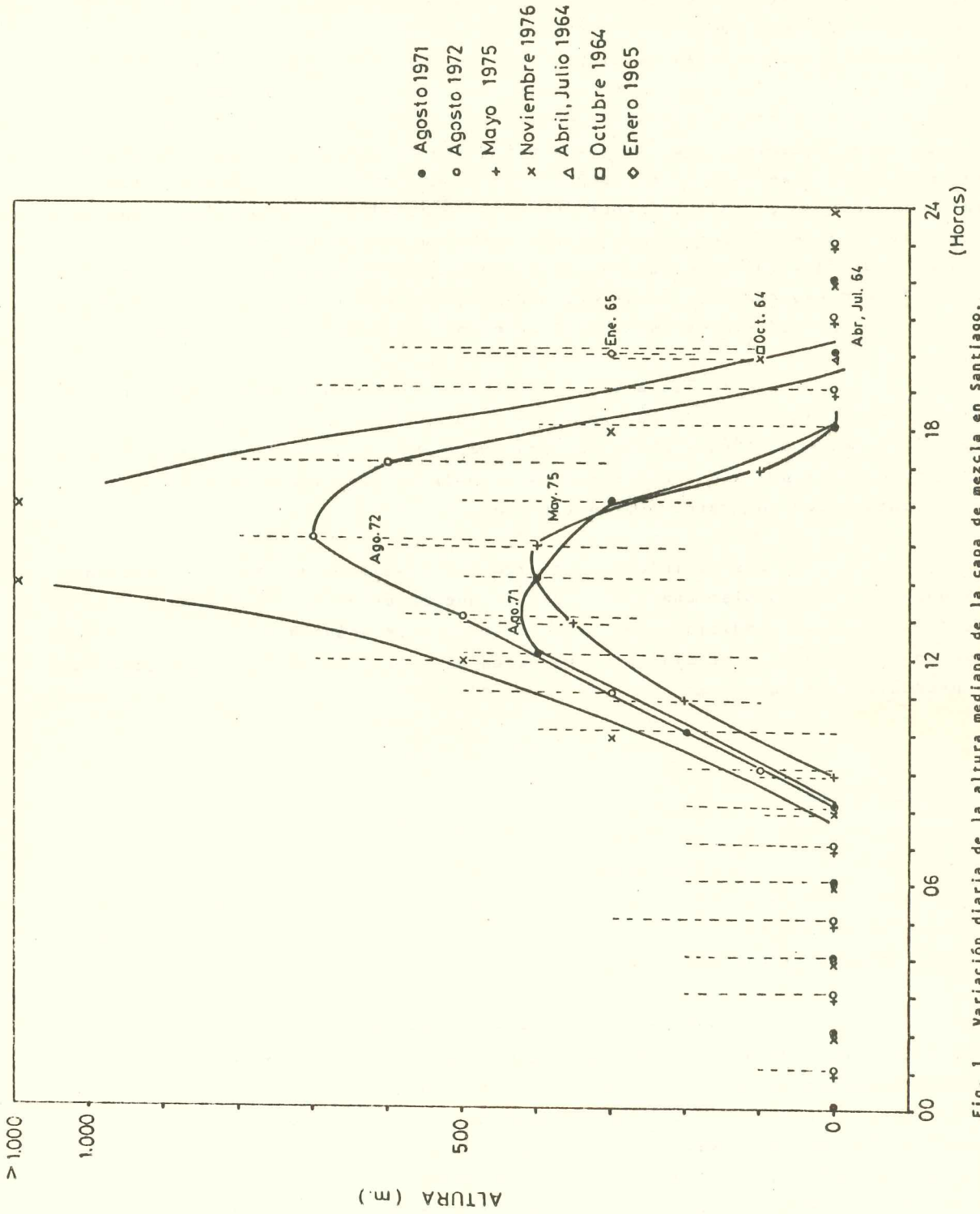


Fig. 1 Variación diaria de la altura mediana de la capa de mezcla en Santiago. (las líneas segmentadas representan el intervalo 20 a 80% de probabilidad de excedencia)

mayor calentamiento y son mayores en la estación cálida del año. Los dos períodos de invierno, Agosto de 1971 y Agosto de 1972, difieren entre sí por las condiciones meteorológicas de ellos. El segundo periodo se caracteriza por el paso de una serie de sistemas frontales sobre Santiago, lo que produce en general una mezcla turbulenta más vigorosa y un aumento de la altura de la base de las capas estables. Los períodos de Agosto de 1971 y Mayo de 1975 presentan una mayor semejanza en el comportamiento de las alturas. Ambos están caracterizados por una predominancia de días despejados y situaciones sinópticas más estacionarias. La Tabla 6 incluye las alturas con probabilidades de excedencia de 80 y 20%; que pueden usarse como estimaciones de los límites de variabilidad esperados de la altura mediana, las que indican que las diferencias entre las mediciones realizadas en otoño e invierno no son significativas.

En la Tabla 6 y la Fig. 1 se incluyen además las alturas medianas de la base de las capas estables observadas a las 20 horas en Abril, Julio y Octubre de 1964 y Enero de 1965, meses en los cuales se efectuó un radiosondeo libre por día (Aceituno et al. 1972). Estos valores se comparan favorablemente con los resultados anteriores.

Las mediciones han sido realizadas en un ambiente suburbano de poca densidad poblacional. Es posible que en áreas de mayor densidad de edificación, las condiciones estables no tengan un desarrollo tan intenso y se mantenga una capa de mezcla nocturna cerca del suelo debido al calor acumulado y producido por la ciudad.

4. CONCLUSIONES.

Los datos usados para definir la altura de la capa de mezcla sobre Santiago (en el cual puede producirse la difusión de contaminantes) son pocos y aunque no forman una muestra estadística representativa, presentan algunas características generales.

La capa de mezcla tiene una variación diaria típica, con un desarrollo nulo durante el período nocturno en el cual se dan condiciones estables a partir de la superficie y un crecimiento sostenido después de la salida del sol, alcanzando su profundidad máxima a las horas de mayor calentamiento. En los meses más fríos, la altura mediana de la capa de mezcla alcanza unos 400 m, mientras que en los meses más cálidos se superan frecuentemente los 1.000 m a las horas de mayor calentamiento superficial.

Serfa recomendable realizar mediciones de la altura de la capa de mezcla en forma constante durante algunos años, para definir con mayor precisión su distribución estadística, los ciclos diarios y las variaciones estacionales.

5. REFERENCIAS.

- ACEITUNO P., 1979 : "Análisis estadístico de la estabilidad estática de la atmósfera sobre Santiago a partir de radiosondeos atmosféricos", TRALKA, Revista de Geofísica y Meteorología, Santiago, Chile, Vol. 1, N° 1, pp. 61-71.
- ACEITUNO P., RUTLLANT J., SIPPA G., 1972, "Estadística de la inversión de temperatura sobre la ciudad de Santiago", Parte A de "Factores meteorológicos de la Contaminación atmosférica de Santiago, Análisis de datos previamente existentes", trabajo presentado en las Iras. Jornadas sobre Contaminación del Ambiente en Chile, Santiago 20-24 de Marzo.
- RUTLLANT J., 1973 : "Factores meteorológicos en la contaminación atmosférica de Santiago, Resultados de las mediciones 71-72", Departamento de Geofísica, Univ. de Chile, Publicación N° 164.
- ULRIKSEN P., RUTLLANT J., 1977 : "Campaña de mediciones meteorológicas en Santiago, Noviembre de 1976", Informe, Departamento de Geofísica, Universidad de Chile.