

CLIMATOLOGIA DE LA DIFUSION ATMOSFERICA DE LA ZONA DE CAMPANA (PROV. BUENOS AIRES)

Nicolás A. Mezzo, Inés A. Camilloni y María I. Gassmann
Departamento de Meteorología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.
Universidad de Buenos Aires
Buenos Aires, Argentina.

RESUMEN

El estudio de la dispersión de contaminantes en la atmósfera es una de las etapas principales en la solución del problema de la contaminación del aire. En este trabajo se presentan y discuten aspectos meteorológicos y de difusión atmosférica en la zona de Campana (Prov. Buenos Aires) como etapa inicial de un proyecto tendiente a desarrollar y aplicar un modelo climatológico de contaminación del aire. Los datos meteorológicos utilizados provienen de la estación INTA Delta. Se encuentra que los contaminantes emitidos desde la zona industrial ubicada en el sector $\overline{W-N}$ y $\overline{N-E}$ de la ciudad interactuando con la capa límite interna generada al atravesar el aire el límite río Paraná-tierra provocarían condiciones de fumigación en más del 40% de todos los casos. Esta situación podría ser la causa de la contaminación del aire urbano.

ABSTRACT

Atmospheric transport and diffusion processes are two of the main aspects in the air pollution problem. Some meteorological and diffusion characteristics of Campana City and its surroundings are discussed in this paper, tending to develop a climatological model of atmospheric pollution. Meteorological data were provided by INTA Delta Station. It was found that pollutants emitted from the industrial area, situated in the $\overline{W-N}$ and $\overline{N-E}$ sectors, could produce fumigation conditions in more than 40% of total cases. Urban air pollution in this area could have its origin in this reason.

1. INTRODUCCION

El aumento de las actividades industriales y comerciales en zonas ribereñas ha generado la necesidad de desarrollar modelos de difusión de contaminantes emitidos a la atmósfera desde fuentes puntuales elevadas ubicadas cerca de superficies de agua. Esos modelos pueden ser utilizados, por ejemplo, en la aplicación de normas legales y en el cálculo de alturas de chimeneas.

En la Figura 1 se presenta un esquema de la difusión de contaminantes emitidos desde una chimenea ubicada cerca de una costa. La mayoría de los modelos de difusión atmosférica desarrollados para ser aplicados en las condiciones meteorológicas y topogeográficas que se presentan en zonas ribereñas está integrada por los siguientes componentes:

- Un submodelo destinado a la estimación de la variación con la distancia de la altura de la capa límite térmica interna (CLTI) (ver Figura 1).
- Un submodelo que tiene por objetivo estimar la altura efectiva de emisión, que se define como la suma del valor de la altura física de una fuente de emisión (por ejemplo, una chimenea) más una altura suplementaria que se origina por la velocidad de emisión y la diferencia relativa entre la densidad de la sustancia emitida y la atmósfera (ver Turner, 1970).
- Un submodelo que permite el cálculo de la difusión de contaminantes en la capa superior estable.
- Un submodelo destinado al cálculo de la difusión de contaminantes en la CLTI.

Un tratamiento integral de los procesos atmosféricos que se verifican en un área ribereña puede ser efectuado utilizando modelos numéricos. Sin embargo, debido a su complejidad o a su costo computacional, muy raramente son utilizados con fines operativos o normativos. Debido a ello se han desarrollado modelos analíticos (Lyons y Cole, 1973; Misra, 1980; Cole y Fowler, 1982; Stunder y otros, 1985) que pueden ser utilizados para calcular la concentración a nivel del suelo de contaminantes emitidos desde fuentes elevadas.

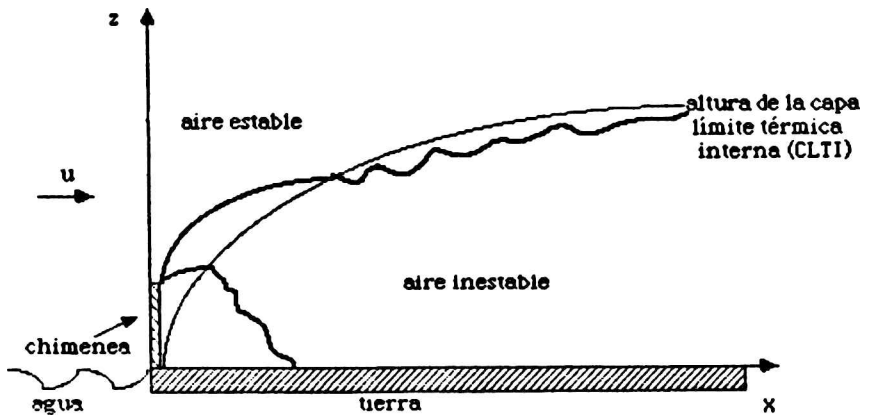


Fig.1. Esquema de la difusión de contaminantes en una zona ribereña.

En la zona de Camerana (Prov. de Buenos Aires) se desarrollan diferentes actividades industriales

ambiente. En un esfuerzo conjunto entre la Secretaría de Vivienda y Ordenamiento Ambiental de la Nación, la Universidad de Buenos Aires y la Municipalidad de Campana se ha iniciado un estudio tendiente a realizar un diagnóstico de las condiciones relacionadas con la calidad del aire en la zona de Campana. Este estudio comprende diferentes etapas: a) Realización de un inventario de emisiones de contaminantes, b) Caracterización de las condiciones de difusión atmosférica en la zona, c) Desarrollo de un modelo de calidad del aire, d) Aplicación, adaptación y verificación de ese modelo, e) Medición de contaminantes en el aire, f) Determinación de áreas de la zona de Campana con mayor contaminación relativa.

En este trabajo, se presentan los resultados de una climatología de las condiciones características de la difusión atmosférica en la zona que comprende una de las etapas del Proyecto mencionado anteriormente. Los aspectos desarrollados comprenden: el análisis del flujo del aire en la zona, de la estabilidad de la atmósfera, de la precipitación pluvial y de la altura de la capa de mezcla.

2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA

Campana se encuentra en la Provincia de Buenos Aires, ubicada cerca de la orilla derecha del Río Paraná de las Palmas a 77 km al noroeste de la ciudad de Buenos Aires, tiene una población que supera los 52.000 habitantes y su superficie es de 8.2 km². En sus límites noroeste y noreste se encuentra instalada una zona industrial, compuesta entre otras por: Dálmine, ESSO, Fábrica de Tolueno, Carboclor, etc. (ver Figura 2).

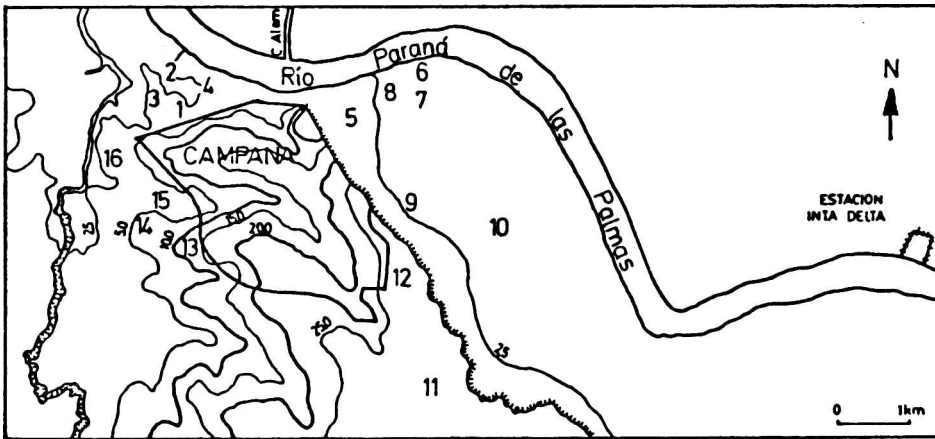


Fig.2. Mapa topográfico de la zona de Campana con ubicación de industrias y de la estación meteorológica INTA Delta. (1.Dálmine, 2.Siderca, 3.Papelera Pedotti, 4.Cometarsa, 5. ESSO, 6.Talleres Metalúrgicos Navales, 7.Carbochlor, 8.Cabot, 9.Fábrica Militar, 10. Cía. Gral.de Fósforos, 11.Cerámica Facera, 12. Catema, 13. La Oxigena, 14.Papelera Argentina, 15.Pennwalt, 16.Trefila).

En esa Figura, también están graficadas las líneas de igual nivel dentro de la zona. La mayor altura sobre el nivel del mar alcanza 30 metros. Sin embargo, existen marcados desniveles en algunas zonas del área urbana que pueden generar turbulencia del aire de origen mecánico.

3. ANALISIS CLIMATOLÓGICO

3.1. Datos meteorológicos

Los datos meteorológicos utilizados corresponden a la Estación INTA Delta ($34^{\circ} 05' S$, $57^{\circ} 58' W$) ubicada aproximadamente a 8 km al este de la ciudad de Campana (ver Figura 2). En esa estación se efectúan mediciones a las 08, 14 y 20 horas. En el período 1968-79 en que funcionó dicha estación, existe una notoria y marcada falta de continuidad en la información como se aprecia en la Tabla 1.

3.2. Flujo horizontal del aire3.2.1. Dirección del viento

Con el objeto de esquematizar la distribución del flujo horizontal del aire en diferentes direcciones se utiliza como representación gráfica la rosa de vientos (Crutcher, 1957). Este diagrama indica la frecuencia relativa de ocurrencia de cada dirección del viento. En las Figuras 3, 4 y 5 se graficaron las rosas de viento anuales correspondientes a las 08, 14 y 20 horas para el período 1968-79. Con el objeto de que los diferentes tamaños de las muestras de datos incluidos en la Tabla 1 sean iguales, los valores de las frecuencias han sido normalizados por una misma cantidad (210) de datos.

En las Figuras 3, 4 y 5 se observan los siguientes aspectos principales:

- Es notoria la mayor frecuencia de ocurrencia (25%) de los vientos del sector NE a las ocho de la mañana.
- La distribución de la frecuencia a las 14 horas es casi uniforme sobre todos los intervalos de direcciones.
- La mayor frecuencia de ocurrencia (20%) a las 20 horas corresponde a los vientos del E, pero existen también otras direcciones con frecuencias apreciables.
- Considerando todas las horas de observación, la dirección menos frecuente es la del oeste.

MES	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	CANT DE MESES
01	-	-	93	93	-	-	-	-	93	93	93	93	6
02	-	-	84	84	-	-	-	84	87	84	84	84	7
03	-	93	93	93	-	-	-	93	93	93	-	-	6
04	-	90	90	90	-	-	-	90	90	90	-	90	7
05	93	93	93	-	-	93	-	93	93	-	93	93	8
06	90	90	90	-	-	-	-	90	90	-	90	90	7
07	-	93	93	-	-	93	-	93	-	-	93	-	5
08	-	93	93	-	-	93	-	93	93	93	93	-	7
09	-	90	90	-	-	-	-	90	-	90	90	-	5
10	-	93	93	-	-	-	-	93	-	93	93	-	5
11	-	90	90	-	-	90	-	90	90	90	-	-	6
12	-	93	93	-	-	-	-	93	93	93	-	-	5

Tabla 1. Cantidad mensual de datos observacionales en la estación INTA Delta.

En el verano la mayor frecuencia de ocurrencia (N-E) coincide con la del período anual, pero en el invierno otras direcciones, como por ejemplo la sur son las prevalientes.

De lo expuesto se puede encontrar que durante el 50% de los casos a las 08 hs, el 45% a las 14 hs y el 36% a las 20 hs, el viento transportaría los contaminantes emitidos en la zona industrial hacia el área urbana.

3.2.2. Velocidad del viento

En la Tabla 2 se incluye la velocidad media estacional del viento para cada hora de medición: Se observa una constancia en la velocidad media del viento con las horas de observación durante el verano que no se verifica en otras estaciones. La mayor velocidad media ocurre en primavera a las 14 hs (3.9 ms^{-1}) y la menor en otoño a las 20 hs (2.8 ms^{-1}).

En las Figuras 3 a 5 se incluyen los valores de la velocidad media a las 08, 14 y 20 hs para cada dirección del viento. Se observa que a las 08 hs cuando el viento es del sector NW-NE la velocidad media es 3.1 ms^{-1} , a las 14 hs para vientos de las mismas direcciones la velocidad media es 3.5 ms^{-1} y a las 20 hs de 2.6 ms^{-1} . Siendo la dimensión longitudinal media típica de la ciudad 4 km, los contaminantes tardarían en promedio entre 19 y 26 minutos en recorrer la ciudad.

HORA	VERANO	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA	ANUAL
08	3.4	3.0	3.0	3.5	3.2
14	3.4	3.4	3.6	3.9	3.6
20	3.4	2.8	3.0	3.0	2.9

Tabla 2. Velocidad media estacional del viento (ms^{-1}) para cada hora de observación.

En las Figuras 6,7 y 8 se incluyen las frecuencias relativas de ocurrencia de velocidades del viento comprendidas entre distintos intervalos de velocidades medias del viento ($v < 1.5 \text{ ms}^{-1}$, $1.5 \text{ ms}^{-1} < v < 2.5 \text{ ms}^{-1}$, $2.5 \text{ ms}^{-1} < v < 4 \text{ ms}^{-1}$, $4 \text{ ms}^{-1} < v < 6.5 \text{ ms}^{-1}$, $v > 6.5 \text{ ms}^{-1}$) para diferentes direcciones. Se observa que a las 08 hs el rango de velocidades más probable (67%) para los vientos que provienen del sector NW-NE es $2.5 \text{ ms}^{-1} < v < 4 \text{ ms}^{-1}$. A las 14 hs los rangos más probables (92%) son $2.5 \text{ ms}^{-1} < v < 4 \text{ ms}^{-1}$ y $4 \text{ ms}^{-1} < v < 6.5 \text{ ms}^{-1}$, en el caso de vientos prevaletientes de ese mismo sector. A las 20 hs el rango más probable (93%) para las mismas direcciones corresponde al comprendido entre 2.5 y 4 ms^{-1} .

3.2.3. Estabilidad de la atmósfera

Pasquill (1961) elaboró un método destinado a estudiar las condiciones de estabilidad atmosférica relacionadas con la difusión de contaminantes en base a observaciones meteorológicas rutinarias (velocidad del viento, radiación solar y nubosidad). Turner (1964) introdujo una modificación de ese método incluyendo la estimación de la insolación en función de la altura del sol, alterada por las condiciones de nubosidad y altura de la base de las nubes. La estimación de la radiación saliente durante la noche se realiza considerando la nubosidad.

Las clases de estabilidad atmosférica son las siguientes:

1. Extremadamente inestable (viento débil y fuerte convección térmica)
2. Inestable
3. Débilmente inestable
4. Neutral (viento fuerte y marcada turbulencia mecánica)

- 5. Ligeramente estable
- 6. Estable (condiciones nocturnas con viento débil)
- 7. Extremadamente estable

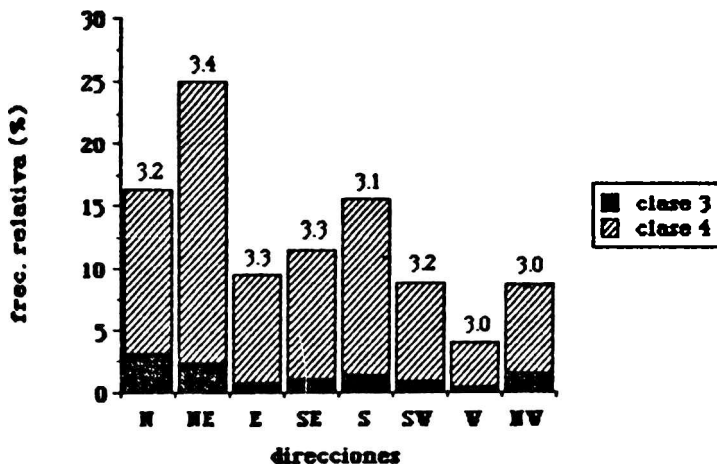


Fig.3. Rosa de vientos. Velocidades medias del viento para cada dirección (ms^{-1}) en el eje de cada barra. Frecuencia media de ocurrencia de distintas clases de estabilidad atmosférica anuales a las 08 horas.

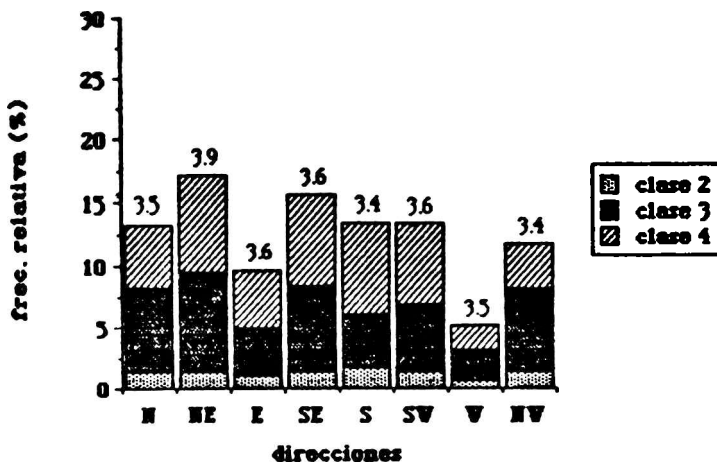


Fig.4. Rosa de vientos. Velocidades medias del viento para cada dirección (ms^{-1}) en el eje de cada barra. Frecuencia media de ocurrencia de distintas clases de estabilidad atmosférica anuales a las 14 horas.

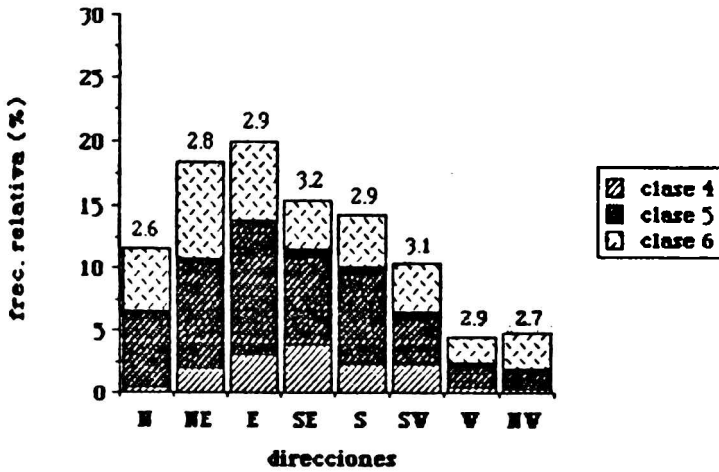


Fig. 5. Rosa de vientos. Velocidades medias del viento para cada dirección (ms^{-1}) en el eje de cada barra. Frecuencia media de ocurrencia de distintas clases de estabilidad atmosferica anuales a las 20 horas.

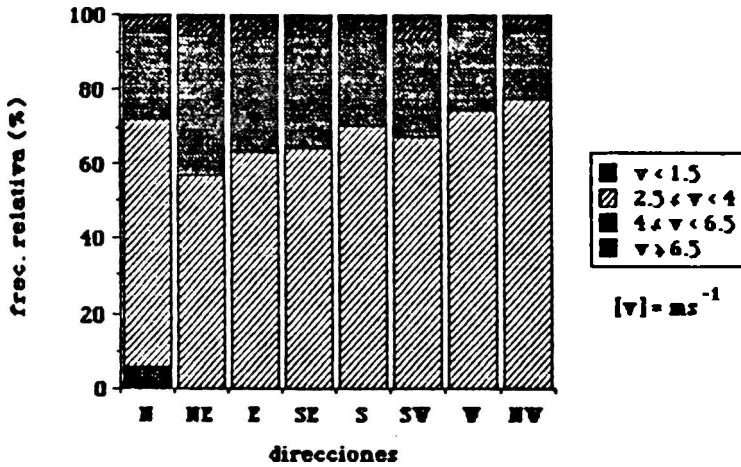


Fig. 6. Frecuencias relativas de ocurrencia correspondientes a diferentes rangos de velocidades del viento. (08 hs).

Utilizando los datos de velocidad del viento y las referencias geográficas de la estación INTA, la información de nubosidad proveniente de la estación San Miguel (ubicada a 39 km de distancia de la estación INTA) para el periodo 1966-79 (ver Tabla 1) y el método propuesto por Turner (1964) se encuentran las frecuencias medias de ocurrencia de las distintas clases de estabilidad atmosférica

(1 a 7) correspondientes a diferentes direcciones del viento y para cada hora de observación (08, 14 y 20) que se encuentran graficadas en las Figuras 3 a 5.

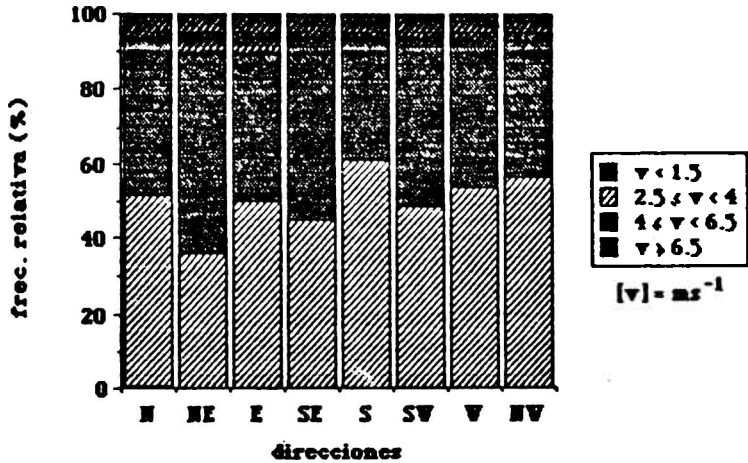


Fig.7. Frecuencias relativas de ocurrencia correspondientes a diferentes rangos de velocidades del viento. (14 hs).

Debido a que las 08 horas (Figura 3) corresponde a la hora en que, generalmente, el sol ya está en el horizonte es de esperar que se presenten condiciones de leve inestabilidad y neutralidad atmosférica dependiendo de la época del año. En la Figura 4 se observa el predominio de la clase 3 (leve inestabilidad) en todas las direcciones del viento.

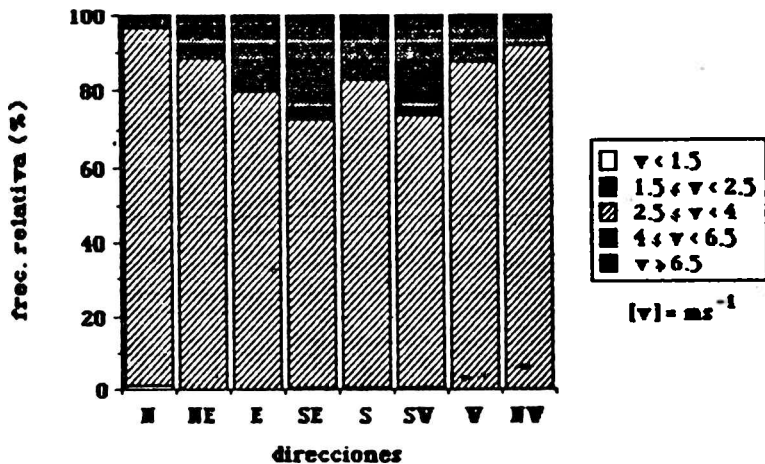


Fig 8. Frecuencias relativas de ocurrencia correspondientes a diferentes rangos de velocidades del viento. (20 hs).

A las 14 horas (Figura 4) cuando la temperatura del aire en la capa próxima a la superficie se encuentre cerca de su valor máximo es probable la ocurrencia de condiciones inestables. En la Figura 4, se observa que las clases 2 (inestable) y 3 (débilmente inestable) son las predominantes en todas las direcciones del viento y se verifica una menor ocurrencia de condiciones neutrales.

A las 20 horas (Figura 5) se verifica, durante la mayor parte del año, el período nocturno y, como se observa en la Figura 6 predomina la ocurrencia de condiciones estables (clases 5 y 6).

En general, las condiciones neutrales, especialmente para las direcciones del viento que son de interés son relativamente bajas.

3.3. Precipitación

La remoción de contaminantes en la atmósfera por acción de la precipitación involucra diferentes y complejos procesos (ver Hanna y otros, 1982). Los contaminantes pueden ser removidos de la atmósfera por procesos que ocurren dentro y debajo de la nube. En general es posible afirmar que las zonas en las que se registra escasa precipitación constituyen áreas con una menor capacidad de decontaminación de la atmósfera.

En la Tabla 3 se incluyen los valores de la precipitación media estacional y la cantidad de días con precipitación por estación para el período considerado. Se encuentra que el verano es la estación más lluviosa con 366.8 mm y el invierno la menor con 164.8 mm. Se observa que la variación estacional de la cantidad de días con precipitación es mínima (el valor máximo es 22 días en primavera y el mínimo 20 días en invierno).

ESTACION	CANT. DE MESES	PP (mm)	DIAS CON LLUVIA
verano	18	366.8	21.5
otoño	21	275.7	21
invierno	19	164.8	20
primavera	16	211.6	22
anual	74	1022.2	83.7

Tabla 3. Precipitación media estacional y cantidad de días lluviosos por estación.

3.4. Capacidad de difusión vertical de la atmósfera

La estructura térmica de la capa de aire próxima al suelo presenta una variación diurna. Esta variación responde, principalmente, a las diferencias en el balance neto de radiación. Durante el período diurno el balance neto es positivo, el suelo recibe radiación que conduce al aire calentándolo y verificándose gradientes térmicos verticales inestables, generándose movimientos verticales que posibilitan la formación de una capa en la que se mezclan los contaminantes. Considerando sólo la mezcla vertical originada por el calentamiento radiativo es posible definir una capa de mezcla vertical. Un parámetro que caracteriza la misma es su espesor, que representa la altura de la capa dentro de la cual se producen movimientos verticales convectivos originados por el calentamiento radiativo. Si se dispone de mediciones aerológicas de la atmósfera con información de temperatura a diferentes alturas y de la temperatura máxima diaria de superficie se puede estimar la altura de máxima mezcla vertical. Utilizando los datos de los radiosondeos

correspondientes a las 12 TMG de las estaciones meteorológicas de altura y los valores de las temperaturas máximas de esas estaciones para la red nacional del periodo 1967-71, Mazzeo y otros (1973) calcularon los espesores mensuales medios de la capa de mezcla vertical. En base a esta información y a la de radiación solar se elaboraron mapas para todo el país de isolíneas de espesores mensuales medios de máxima mezcla vertical. De la información presentada en ese trabajo, se interpolaron los valores medios mensuales de los espesores de capa de mezcla vertical para la zona de Campana.

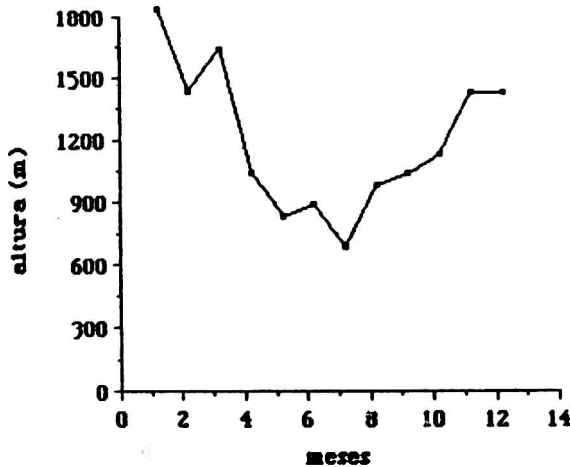


Fig. 9. Variación mensual de los valores medios de la altura de máxima mezcla vertical en la zona de Campana. (Periodo 1967-71)

La Figura 9 representa la variación mensual de los valores medios de la altura de máxima mezcla vertical en la zona de Campana para el periodo 1967-71 (Mazzeo y otros, 1973). Se observa un valor mínimo de 650 metros que corresponde al mes de julio y un máximo de 1800 metros para enero. Se puede considerar que 1500 metros es la altura crítica de la capa de mezcla, que fue obtenida mediante estudios experimentales (Gross, 1970). Por debajo de ese valor aumenta la probabilidad de ocurrencia de episodios de contaminación del aire. De acuerdo con este criterio se encuentra que durante casi todo el verano las condiciones son de buena difusión vertical y que en los meses restantes la dilución vertical es limitada. O sea que el 83% del año la zona de Campana tiene un valor medio mensual de la altura máxima de la capa de mezcla que posibilita una buena dispersión vertical de los contaminantes en horas de máximo calentamiento.

5. CONCLUSIONES

De lo expuesto se pueden resumir las siguientes características relacionadas con la difusión de contaminantes de la atmósfera de la zona de Campana:

- Para el sector NW-NE, que interesa por la ubicación de las industrias, se encuentra que existe una relativamente alta probabilidad (más del 40%) de que los contaminantes emitidos sean transportados a la ciudad.
- Se encuentra que para las 08, 14 y 20 horas el aire fluyente del sector industrial hacia la ciudad el 44% corresponde a condiciones de neutralidad, el 25% a inestabilidad y el 31% a estabilidad atmosférica.
- La velocidad media del viento más probable se encuentra entre 2.6 y 3.1 ms^{-1} cuando su dirección corresponde al sector NW-NE.
- Durante los meses de verano los contaminantes serían removidos por la precipitación en forma más eficaz debido a que se registra mayor precipitación que en las otras estaciones.
- La capa de mezcla vertical determina que existen mejores condiciones de dispersión vertical durante el verano mientras que en el resto de año ésta es limitada.

6.REFERENCIAS

- Cole, H. and Fowler, H. 1982. Draft user manual for the shoreline CRSTER models. United States Environmental Protection Agency.
- Crutcher, H. 1957. On the standard vector-deviation wind rose. *J. of Meteor.* Vol. 14.
- Gross, E. 1970. The National Air Pollution Potential Forecast Program. EPA Technical Program VBTM-NMC 47. Washington.
- Hanna, S.R.; Briggs, G.A. and Hosker, R.P. 1982. Handbook on atmospheric diffusion. Tech. Inf. Center U.S. Dept. of Energy. DOE TIC 11223.
- Lyons, W.A. and Cole H.S. 1973. Fumigation and plume trapping on the shores of Lake Michigan during stable onshore flow. *J. App. Meteor.* 12.
- Mazzeo, N.A.; Nicolini, M.; Moledo, L. and Muller, C. 1973. Large-Scale Estimation of Vertical Dispersion Efficiency of the Atmosphere in the Argentine Republic. Proceedings of the Third International Clean Air Congress. Düsseldorf, Germany.
- Misra, P.K. 1980. Dispersion from tall stacks into a shoreline environment. *Atmos. Env.* Vol. 14.
- Pasquill, F. 1961. The estimation of the dispersion of windborne material. *Meteorol. Mag.* 90.
- Stunder, M.; Sethuraman, S.; Misra, P.K. and Sahota, H. 1985. Downwind non-uniform mixing in shoreline fumigation processes. *Bound. Layer Met.* 32.
- Turner, D.B. 1964. A diffusion model for an urban area. *J. Appl. Meteorol.* 3.
- Turner, D.B. 1970. Workbook of Atmospheric diffusion estimates. USDHEW, PHS. Pub. N°995-AP-26.