

Estudio de variables meteorológicas secundarias que intervienen en la difusión de contaminantes atmosféricos. Caso de estudio la comunidad de Santa Lucía

*Study of secondary meteorological variables intervening
in the diffusion of atmospheric pollutants. Case study at Santa Lucía's community*

Dagoberto Rodríguez Valdés

Universidad de Pinar del Río
dagoberto@vrect.upr.edu.cu

Liuben Echevarría Pérez

Universidad de Pinar del Río

Almara Sánchez Díaz

Centro Meteorológico Provincial,
Pinar del Río, Cuba

Oswaldo Cuesta Santos

Instituto de Meteorología

Aymara Liudmila Gato Díaz

Palacio de Computación,
Pinar del Río, Cuba

Entregado: 11 de octubre 2012; aceptado: 3 de noviembre 2012.

Resumen

El presente estudio se realizó en la comunidad de Santa Lucía (provincia de Pinar del Río) en la etapa 2006-2008, donde se analizó el comportamiento de las variables meteorológicas *estabilidad atmosférica* y *altura de la capa de mezcla* que intervienen en la difusión de los contaminantes en la atmósfera. Para su cálculo se utilizaron los métodos de Turner y de Pasquill, desarrollados en el Sistema Automatizado de Gestión de Información de Fuentes Contaminantes (SAGIFC), mientras que los datos meteorológicos de superficie se obtuvieron del Centro Meteorológico Provincial de Pinar del Río. Como resultado, se tiene la ocurrencia de las categorías de estabilidad atmosférica en cantidad de *días por meses*, a las horas analizadas para el período; el mismo procedimiento se realizó para determinar las diferentes alturas de la capa de mezcla. A modo de conclusión, se muestran los horarios en que son más favorables y desfavorables las condiciones de dispersión de los contaminantes en la vertical; de este modo, se propone como recomendaciones los horarios y épocas del año en que sería más conveniente que las fuentes contami-

nantes realicen el mayor peso de las actividades de producción, sin afectar los planes económicos, para, de esta forma, tratar de disminuir el potencial contaminante en el área de estudio y sus implicaciones para la salud de las personas.

PALABRAS CLAVE: Estabilidad Atmosférica, Altura de Capa de Mezcla.

Abstract

This study was conducted in the community of Santa Lucía from Pinar del Río province since the years 2006 to 2008, which analyzed the behavior of weather variables, atmospheric stability and mixing-layer height involved in the diffusion of pollutants in the atmosphere, the Pasquill and Turner methods were used for its calculation, developed in the Automated Information Management Pollutant (SAGIFC), the meteorological data of the surface were obtained from the provincial meteorological center of Pinar del Río. The occurrence of atmospheric stability categories in number of days, months at the analyzed hours for all the period studied, was obtained as a result, the same procedure was perfor-

med to determine the different heights of the mixed layer. In conclusion, the study shows the periods in which the conditions are most appropriate and when are less appropriate for the dispersion of pollutant in the vertical, and proposing as recommendations, the time and seasons of the year in which would be more convenient that the pollutant sources make the most important part in the production activities, without affecting economic plans, and in this way to try to reduce the polluting potential in the studied area and the different implications that could bring to the health of people.

KEYWORDS: Atmospheric stability, Mixing-layer height.

Introducción

Los modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos utilizados en la actualidad incluyen una gran cantidad de variables atmosféricas y datos, tanto tecnológicos de los focos emisores, como de terreno, entre otros. En el caso de las variables meteorológicas secundarias, existe una tendencia cada vez más creciente en conocer este comportamiento, lo cual se evidencia en los progresos obtenidos no solo en el campo experimental, sino en el teórico. Los principales avances en el contexto internacional en el conocimiento de la turbulencia en la atmósfera y los estudios sobre la altura de la capa de mezcla o capa límite se han desarrollado simultáneamente durante el siglo XX. De este modo, la teoría estadística de la turbulencia y los problemas relativos a la difusión se deben, en gran medida, al trabajo de G. I. Taylor en el período 1915-1938 (Garratt, 1992). En la década de los cincuenta y a principios de los sesenta del siglo pasado, se realizaron grandes avances en el conocimiento de los procesos turbulentos bajo condiciones de flotabilidad y se desarrollaron las relaciones de flujo-gradiente. En 1954 nace la teoría de similitud de Monin-Obukhov sobre la capa superficial y, en

1960-1961, la de similitud de Kazanski y Monin, para la capa límite. Entre los años 1960 y 1980 se realizaron grandes despliegues instrumentales de cuyos resultados se obtuvieron importantes parametrizaciones (Núñez, 2002), entre los cuales se destaca el experimento de Wangara (1967), el de Kansas (1968) y el de Minnesota (1973).

Desde finales del pasado siglo (Seibert *et al.*, 1998, 2000), se ha venido reclamando el establecimiento de protocolos que, en materia de medio ambiente, tengan como objetivo la armonización de las definiciones y procedimientos para el cálculo de todos los parámetros relativos a la calidad del aire; entre estos se encuentra la altura de la capa de mezcla. En este sentido, uno de los primeros pasos está enmarcado en el contexto de la Cooperación Europea en el Campo Científico y de Investigación Tecnológica (COST Action 710: European Co-operation in the Field of Scientific and Technological Research), dividido en cuatro grupos de trabajo, cuya finalidad es estudiar el balance de energía en superficie, la altura de capa de mezcla, los perfiles verticales de variables promedio y turbulentas, y los fenómenos asociados a terrenos complejos (Fisher *et al.*, 1998).

En el contexto nacional también se han realizado estudios para estimar el comportamiento de las variables meteorológicas secundarias, con aplicaciones a la modelización de la calidad del aire, teniendo sus inicios en la década de los setenta del pasado siglo, con los trabajos de Álvarez, 1976; Álvarez *et al.*, 2002; y López, 1978, 1982, 1984 y 1988, llegando hasta la actualidad con los estudios de Turtós *et al.*, 2003 y 2007; Sánchez *et al.*, 2007; Rodríguez, 2007; Rodríguez *et al.*, 2008, 2009a y 2009b; y Montes *et al.*, 2008a y 2008b.

No obstante todos estos estudios, todavía existe la necesidad de profundizar en el conocimiento de las diferentes variables meteorológicas que intervienen en la dispersión de los contaminantes atmosféricos, principalmente en el caso de las variables meteoroló-

gicas secundarias, puesto que, para una mejor comprensión, es necesario contar con el instrumental que permita realizar sondeos de la atmósfera superior y obtener estos datos, pero nuestro país no dispone de estos instrumentos por ser muy costosos, lo cual trae consigo que los actuales estudios de calidad del aire se apoyen más en la modelización, con énfasis en los modelos vigentes ISC3, Disper, Aermody y el Calpuff, que incorporan un gran número de variables y parámetros, y, de esta manera, se obtienen resultados más representativos; todo esto se ve favorecido a la luz del desarrollo tecnológico.

El presente trabajo se desarrolla dentro del Proyecto Territorial Científico Técnico de Salud “Evaluación del clima y la calidad del aire en la ciudad de Pinar del Río y la comunidad de Santa Lucía, su repercusión en la salud”. La comunidad de Santa Lucía, presenta una situación higiénico sanitaria crítica, en cuanto a condiciones ambientales, y la imposibilidad de su erradicación total, provocó que los esquemas de desarrollo determinarían desde la década de los años 80 el traslado paulatino del asentamiento hacia el este, la zona del consejo popular La Sabana, donde hoy radica el Micro-distrito Roberto Amaran, debido principalmente a las emanaciones tóxicas de la Planta Sulfometales. Actualmente la totalidad de las viviendas del consejo popular Santa Lucía están afectadas por la contaminación hacia la atmósfera que emite dicha industria.

Poder contar con un estudio de la estabilidad atmosférica y la altura de la capa de mezcla en la comunidad de Santa Lucía de la provincia de Pinar del Río, sería de mucha importancia, ya que permite realizar estudios de calidad del aire, mediante la aplicación de los actuales modelos de dispersión de contaminantes para fuentes fijas.

Constituyendo así el objetivo principal de la investigación: Obtener el comportamiento de la estabilidad atmosférica y la altura de la capa de mezcla entre los años 2006 y 2008 en la comunidad de Santa Lucía.

Materiales y métodos

Los datos meteorológicos de superficie para desarrollar el presente trabajo se tomaron de la estación meteorológica de la comunidad de Santa Lucía, perteneciente al Centro Meteorológico Provincial de Pinar del Río, adscrito al Instituto de Meteorología del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba.

El cálculo de la estabilidad atmosférica se realizó mediante el método de Turner, (1964), y esta se refiere a la condición (el estado) de la atmósfera en que se inhibe el desarrollo de nubes cumulonimbos, y está asociada con la presencia de nubes estratiformes y cielos despejados. El método mencionado depende de la velocidad del viento en superficie, la insolación y la nubosidad, tanto de día como de noche; de estas variables, la única que no se registra en las estaciones meteorológicas de Cuba es la insolación, la cual queda definida en este método como el ángulo de inclinación de los rayos solares con respecto a la superficie terrestre, y la forma en que se clasifica se muestra en la tabla 1. Para poder aplicar este método se utilizó el Sistema Automatizado de Gestión de Información de Fuentes Contaminantes (SAGIFC) (Rodríguez, 2007), que tiene implementado el método de Turner y los datos de la posición de Sol con respecto a la superficie terrestre cualesquiera que sean la hora del día y la época del año, los que se obtienen del software Sol (desarrollado en el Instituto de Meteorología de Cuba) y se almacenan en la base de datos de SAGIFC; además de tener implementado el método de Pasquill (1961) (Tabla 2) que constituye las reglas para estimar la estabilidad atmosférica y la altura de la capa de mezcla atmosférica. La estabilidad atmosférica — como se mencionó— se obtiene a partir del método de Turner que, unido al método de Pasquill, aporta los valores de altura de la capa de mezcla atmosférica. En la figura 1 se muestra la pantalla de presentación de SAGIFC.

TABLA 1

Método de Turner para estimar la estabilidad atmosférica

Velocidad del viento U (m/s)	Día: insolación				Cielo cubierto: Nubosidad 10/10, Altura < 2133.6 m	Noche: nubosidad	
	Fuente $\alpha > 60^\circ$	Moderada $35 < \alpha < 60^\circ$	Ligera $\alpha < 35^\circ$	Débil $\alpha < 15^\circ$		> 4/10	< 4/10
0-0.77	A	A	B	C	D	F	F
0.77-1.80	A	B	B	C	D	F	F
1.80-2.83	A	B	C	D	D	E	F
2.83-3.34	B	B	C	D	D	E	F
3.34-3.86	B	B	C	D	D	D	E
3.86-4.89	B	C	C	D	D	D	E
4.89-5.40	C	C	D	D	D	D	E
5.40-5.92	C	C	D	D	D	D	D
>5.92	C	D	D	D	D	D	D

Las diferentes categorías de estabilidad atmosférica y altura de capa de mezcla son identificadas en el trabajo de la forma siguiente:

- *— A Muy inestable (1 600 m)
- B Inestable (1 200 m)
- — C Ligeramente inestable (800 m)
- ▲— D Neutra (560 m)
- E Ligeramente estable (320 m)
- ◆— F Estable (200 m)

TABLA 2

Reglas para estimar la clase de estabilidad atmosférica y las alturas de la mezcla a partir de la velocidad del viento y el grado de insolación

	Velocidad del viento	Clase de Pasquill (estabilidad atmosférica)	Altura de la mezcla (m)
Día (alta insolación)	0-2 m/s	A	1600
	2-3 m/s	B	1200
	3-5 m/s	C	800
	>5 m/s	D	560
Día (baja insolación)	0-2 m/s	B	1200
	2-3 m/s	C	800
	3-5 m/s	D	560
	>5 m/s	D	560
Noche	0-2 m/s	F	200
	2-3 m/s	F	200
	3-5 m/s	E	320
	>5 m/s	D	560
	Nublado	D	560



Fig. 1 Pantalla presentación de SAGIFC.

Discusión de los resultados

Comportamiento de la estabilidad atmosférica en la comunidad de Santa Lucía

En las figuras de la 2 a la 9 se expone el comportamiento de la estabilidad atmosférica en la Comunidad de Santa Lucía, y se establece la cantidad de días que ocurre una determinada categoría de estabilidad, distribuida por meses para el período 2006 y 2008. La figura 2 muestra el comportamiento de la estabilidad atmosférica a las 0 UTC (19:00 horas), expresada en cantidad de días *por meses*, para cada estabilidad, manifestándose que a esta hora ocurrieron las categorías *ligeramente inestable* (c), *neutra* (d), *ligeramente estable* (e) y *estable* (f). Como puede apreciarse, la ca-

tegoría *neutra* (d) es la única que ocurre en todo el período, y tiene sus valores máximos en mayo y junio, con 33 días; ello se debe a que en estos meses existió la mayor ocurrencia de días nublados o bastante nublados y velocidades del viento superiores a 2.24 m/s. En el caso de las categorías *ligeramente estable* (e) y *estable* (f), solo ocurrieron en los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre, puesto que en estos meses, a esta hora, es de noche, excepto de mayo a agosto, cuando existen algunos días con radiación solar, este comportamiento se rige por la componente estacional; alcanzando la categoría *estable* (f) su valor máximo en septiembre, con 75 días, debido a la presencia de días con poca nubosidad o despejados y velocidades del viento que no superaron 2.8 m/s; y la categoría *ligeramente estable* (e) presentó su valor máximo en marzo, con 33 días, y su ocurrencia estuvo regida por días con poca nubosidad, llegando a ser despejado en algunos días y velocidades del viento que oscilaron en el rango de 2.24 hasta 5.04 m/s; por último, la categoría *ligeramente inestable* (c) solo tuvo su presencia en los meses de mayo a agosto, alcanzando su valor máximo en julio, con 77 días, y su ocurrencia a esta hora se debe a la presencia del Sol, atendiendo a que, en estos meses, la horas de luz solar alcanzan su valor máximo.

La figura 3 muestra el comportamiento de la estabilidad atmosférica a las 3 UTC (22:00 hora), expresada en cantidad de *días por meses*, para cada estabilidad; se aprecia que a esta hora de la noche solo ocurren las categorías de estabilidad *neutra* (d), *ligeramente estable* (e) y *estable* (f), las cuales tuvieron presencia en todo el período. La categoría *estable* (f) presentó la mayor ocurrencia, principalmente en los meses de mayo a octubre, donde sus valores superaron 80 días y alcanzaron sus máximos en julio y agosto, con 90 días, los demás meses del año sus valores estuvieron próximo a 80 días; este comportamiento obedece a la presencia de bastantes noches con poca nubosidad, así como también algunas noches despejadas por completo y la poca velocidad del viento, que no superó 2.8 m/s. La categoría *ligeramente estable* (e) presentó sus valores máximos en enero, con 9 días de ocurrencia, y estuvo liada de forma general con noches parcialmente nubladas y, en algunos casos, con cielos despejados, con velocidades del viento que oscilaron entre 2.24 y 5.04 m/s. Por último, la categoría *neutra* (d) tuvo sus máximos en enero, con 11 días; este comportamiento estuvo regido por la presencia de noches nubladas o bastante nubladas y velocidades del viento con un valor mínimo de 3.36 m/s.

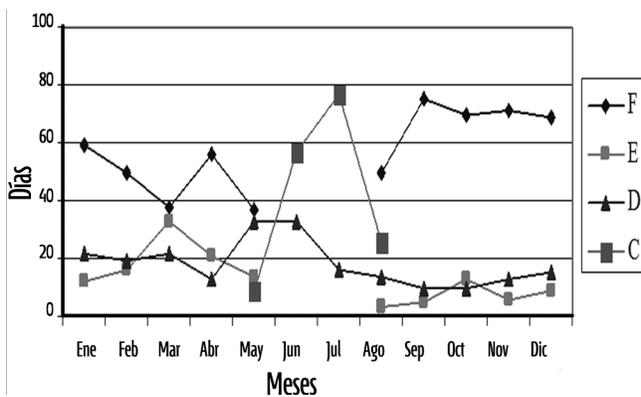


Fig. 2 Comportamiento de las categorías de estabilidad atmosférica por cantidad de días por meses, a las 0 UTC, en la estación de Santa Lucía (2006-2008).

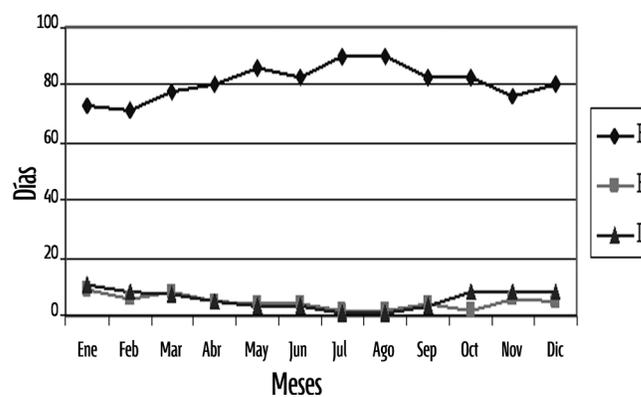


Fig. 3 Comportamiento de las categorías de estabilidad atmosférica por cantidad de días por meses, a las 3 UTC, en la estación de Santa Lucía (2006-2008).

La figura 4 muestra el comportamiento de la estabilidad atmosférica a las 6 UTC (1:00 hora), expresada en cantidad de *días por meses*, para cada estabilidad; a esta hora, al igual que a las 3 UTC, solo ocurren las categorías de estabilidad *neutra* (d), *ligeramente estable* (e) y *estable* (f). Solo tiene presencia en todo el período la categoría *estable* (f) y, a su vez, la mayor ocurrencia, donde en la mayoría de los meses estuvo por encima de 80 días, excepto en enero, febrero y noviembre, cuando estuvo muy próxima a este valor, y sus máximos los presentó en agosto, con 89 días; este comportamiento está regido por la presencia de noches con muy poca nubosidad y, en algunos casos, despejadas, combinadas con vientos en calma o con poca fuerza que no superaron 2.24 m/s, todo lo cual favorece el proceso de irradiación terrestre, que se va intensificando y profundizando durante la noche. La categoría *ligeramente estable* (e) solo no ocurrió en julio y septiembre, y sus valores máximos los alcanzó en enero y febrero, con 9 días; su ocurrencia obedeció a la presencia de algunas noches despejadas y otras parcialmente nubladas, con velocidades del viento entre 2.24 m/s y 5.04 m/s. Por último, la categoría *neutra* (d) solo no ocurrió en julio y su valor máximo lo alcanzó en enero, con 10 días, y su presencia estuvo regida por noches bastante nubladas, con velocidades del viento iguales o superiores a 3.36 m/s.

La figura 5 muestra el comportamiento de la estabilidad atmosférica a las 9 UTC (4:00 hora), ex-

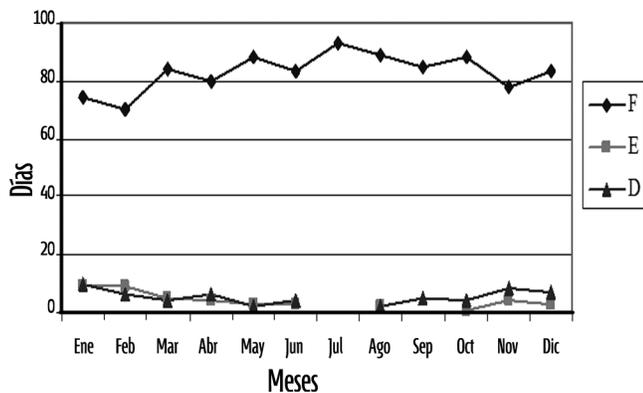


Fig. 4 Comportamiento de las categorías de estabilidad atmosférica por cantidad de *días por meses*, a las 6 UTC, en la estación de Santa Lucía (2006-2008).

presada en cantidad de *días por meses*, para cada estabilidad; a esta hora ocurren las categorías de estabilidad *neutra* (d), *ligeramente estable* (e) y *estable* (f). Están presentes todo el período las categorías *neutra* (d) y *estable* (f), teniendo una mayor presencia la categoría *estable* (f), que alcanza valores por encima de 80 días desde marzo a octubre y diciembre, con su valor máximo en julio, con 92 días, y en los meses de enero, febrero y noviembre alrededor de 80 días; este comportamiento obedece a la presencia de noches despejadas o con poca nubosidad y velocidades del viento que no superaron 1.68 m/s, todo lo cual favorece que el proceso de irradiación terrestre se profundice durante la noche. La categoría *ligeramente estable* (e) solo no ocurrió en mayo y julio, y sus valores máximos los presentó en enero y febrero, con 7 días; su comportamiento estuvo regido por noches parcialmente nubladas y algunas despejadas, con velocidades del viento que entre 1.96 m/s y 5.04 m/s. Por último, la categoría *neutra* (d) presentó su valor máximo en noviembre, con 11 días, dada la presencia de noches parcialmente nubladas y nubladas, con velocidades del viento con un valor mínimo de 3.36 m/s.

La figura 6 muestra el comportamiento de la estabilidad atmosférica a las 12 UTC (7:00 hora), expresada en cantidad de *días por meses*, para cada estabilidad; a esta hora ocurren las categorías de estabilidad *inesta-*

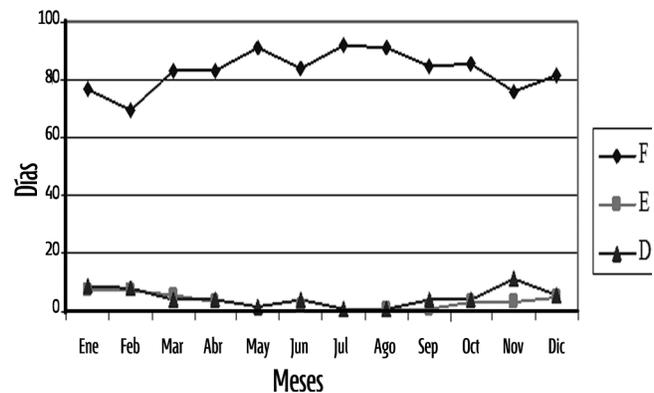


Fig. 5 Comportamiento de las categorías de estabilidad atmosférica por cantidad de *días por meses*, a las 9 UTC, en la estación de Santa Lucía (2006-2008).

ble (b), *ligeramente inestable* (c), *neutra* (d), *ligeramente estable* (e) y *estable* (f). Como puede apreciarse, la categoría *neutra* (d) es la única que ocurre en todo el período, con un valor máximo de 19 días en noviembre; su presencia obedece a la ocurrencia de días nublados y parcialmente nublados, con velocidades del viento superiores a 10 m/s. Las categorías *ligeramente estable* (e) y *estable* (f) solo estuvieron presentes en enero, febrero y diciembre; este comportamiento estuvo regido por el ciclo estacional y provocó que, a esta hora en estos meses, existiera un buen porcentaje de días en que el Sol todavía no tenía su presencia. La categoría *estable* (f) tuvo la mayor presencia en estos meses y alcanzó su valor máximo en enero, con 73 días; por la ocurrencia de días mayormente despejados y algunos parcialmente nublados, con velocidades del viento que no superaron 2.52 m/s. La categoría *ligeramente estable* (e) ocurrió dada la existencia de días parcialmente nublados, con velocidades del viento entre 2.24 m/s y 5.04 m/s. La categoría *ligeramente inestable* (c) fue la de mayor presencia y superó 80 días en abril, julio, agosto, septiembre y octubre, con su valor máximo (90 días) en julio y agosto, y sus mínimos en febrero y diciembre, no llegando a 20 días de ocurrencia debido a una menor duración de las horas de sol. Por último, la categoría *inestable* (b) solo ocurrió en mayo y junio, y su comportamiento estuvo ligado a una mayor duración de las horas de sol en estos meses, lo cual provoca

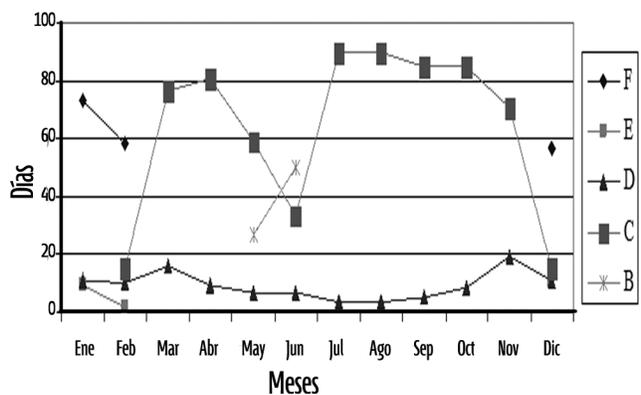


Fig. 6 Comportamiento de las categorías de estabilidad atmosférica por cantidad de días por meses, a las 12 UTC, en la estación de Santa Lucía (2006-2008).

que la atmósfera sea más inestable, y con la presencia de días despejados o ligeramente nublados, con velocidades del viento inferiores a 1.68 m/s.

La figura 7 muestra el comportamiento de la estabilidad atmosférica a las 15 UTC (10:00 hora), expresada en cantidad de *días por meses*, para cada estabilidad, ocurriendo a esta hora las categorías de estabilidad *muy inestable* (a), *inestable* (b), *ligeramente inestable* (c) y *neutra* (d). Se aprecia que las categorías *inestable* (b) y *ligeramente inestable* (c) ocurrieron en todo el período, y resultó la categoría *inestable* (b) la de mayor ocurrencia, con su valor máximo (53 días) en mayo, mientras que en junio, julio y agosto, osciló alrededor de 40 días; su comportamiento estuvo regido por días parcialmente nublados y algunos casi despejados, con velocidades del viento que no superaron 3.36 m/s y una mayor intensidad de la radiación solar por encontrarse en los meses de verano. La categoría *ligeramente inestable* (c) tuvo su valor máximo en enero (49 días), seguido de marzo (47 días) y su ocurrencia se debió a la presencia de días que, en general, fueron parcialmente nublados, algunos casi despejados, con velocidades del viento con un valor mínimo de 2.8 m/s, y sus mínimos los presentó en junio a septiembre; ello obedeció a que, en estos meses, la categoría *muy inestable* (a) tuvo su máximo esplendor, con su valor máximo en septiembre, con 47 días, teniendo la misma presencia desde febrero hasta noviembre; su ocurrencia obedece

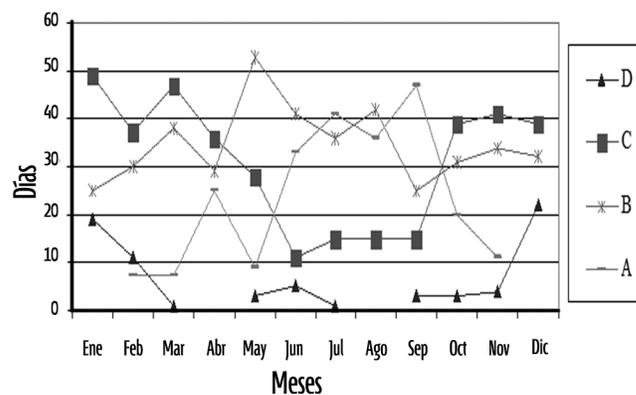


Fig. 7 Comportamiento de las categorías de estabilidad atmosférica por cantidad de días por meses, a las 15 UTC, en la estación de Santa Lucía (2006-2008).

a una mayor intensidad de la radiación solar, la cual se combinó con días parcialmente nublados y algunos casi despejados, pero con velocidades del viento que no superaron 0.56 m/s. Por último, la categoría *neutra* (d) solo no ocurrió en los meses de abril y agosto, y sus valores máximos (19 días) los presentó en enero y diciembre (22 días); su presencia se debió a la ocurrencia de días parcialmente nublados y nublados, con velocidades del viento que tuvieron como valor mínimo 1.12 m/s, aunque existiendo días que superaron 10 m/s.

La figura 8 muestra el comportamiento de la estabilidad atmosférica a las 18 UTC (13:00 hora), expresada en cantidad de *días por meses* para cada estabilidad, estando presente a esta hora, al igual que a las 15 UTC, las categorías *muy inestable* (a), *inestable* (b), *ligeramente inestable* (c) y *neutra* (d). La categoría *neutra* (d) fue la única que no ocurrió en todo el período, dejando de ocurrir solamente en marzo y presentó su valor máximo en junio, con 7 días; su presencia estuvo ligado a días totalmente nublados, con velocidades del viento con un valor mínimo de 0.56 m/s, llegando hasta 10.36 m/s. La categoría *muy inestable* (a) tuvo sus máximos en los meses de verano, de junio a septiembre, alcanzando en este último su valor máximo (33 días), puesto que en estos meses la intensidad de la radiación solar es mayor y provoca una mayor inestabilidad en la atmósfera, unido a la presencia de días parcialmente nublados, con velocidades del

viento inferiores a 2.8 m/s. La categoría *inestable* (b) tuvo un comportamiento bastante homogéneo durante el año, con su valor máximo (30 días) en agosto y su valor mínimo (22 días) en diciembre; su comportamiento estuvo regido por la ocurrencia de días parcialmente nublados, con velocidades del viento entre 0.84 m/s y 4.76 m/s. Por último, la categoría *ligeramente inestable* (c) fue la de mayor presencia (60 días o más) en los meses de enero, marzo, octubre, noviembre y diciembre, con su valor máximo (65 días) en este último; este comportamiento obedeció a la presencia de días parcialmente nublados, con velocidades del viento entre 3.92 m/s y 10.64 m/s.

La figura 9 muestra el comportamiento de la estabilidad atmosférica a las 21 UTC (16:00 hora), expresada en cantidad de *días por meses*, para cada estabilidad; a esta hora del día solo ocurren las categorías *muy inestable* (a), *inestable* (b), *ligeramente inestable* (c) y *neutra* (d). Se aprecia que las categorías *inestable* (b) y *ligeramente inestable* (c) ocurren en todo el período, presentando la categoría *inestable* (b) sus máximos en junio a septiembre, con su valor máximo (con 31 días) en este último mes; este comportamiento está regido por una mayor duración de las horas de sol y una intensidad mayor de la radiación solar al encontrarse en los meses de verano, con velocidades del viento que no sobrepasaron 3.36 m/s y la ocurrencia de días parcialmente nublados. La categoría *ligeramente inestable*

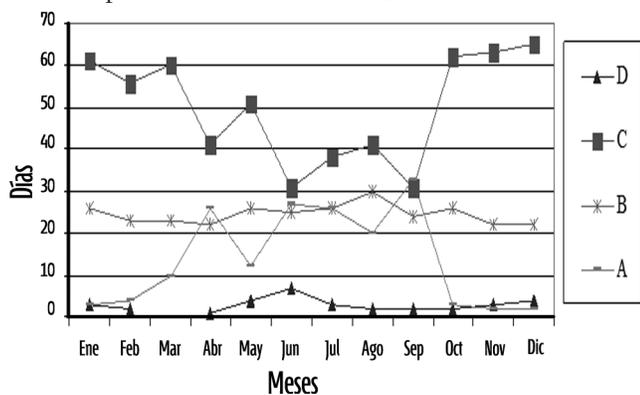


Fig. 8 Comportamiento de las categorías de estabilidad atmosférica por cantidad de días por meses, a las 18 UTC, en la estación de Santa Lucía (2006-2008).

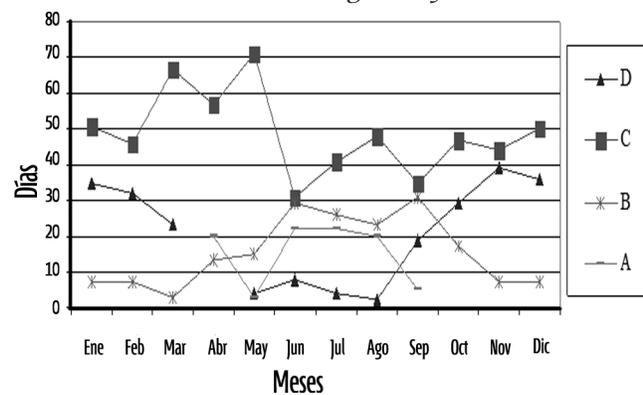


Fig. 9 Comportamiento de las categorías de estabilidad atmosférica por cantidad de días por meses, a las 21 UTC, en la estación de Santa Lucía (2006-2008).

(c) fue la de mayor ocurrencia, con su valor máximo (71 días) en mayo; su presencia obedeció a la ocurrencia de días parcialmente nublados, con velocidades del viento iguales o superior a 2.8 m/s. La categoría *muy inestable* (a) solo ocurrió en abril a septiembre y su valor máximo lo alcanzó en junio y julio, con 22 días; su presencia se debe a la estación de verano, junto con cielos parcialmente nublados, con velocidades del viento que no superaron 0.56 m/s. Por último, la categoría *neutra* (d) debió su ocurrencia a la combinación de días parcialmente nublados y nublados, con velocidades del viento entre 0.56 m/s y más de 10 m/s; esta solo no ocurrió en abril, y sus valores máximos se registraron en noviembre (39 días) y diciembre (36 días), y sus mínimos ocurrieron en agosto, con 2 días.

El comportamiento de la estabilidad atmosférica a las 0 UTC (19:00 horas) estuvo regido por las categorías de estabilidad *ligeramente inestable* (c), *neutra* (d), *ligeramente estable* (e) y *estable* (f); a esta hora se muestra un comportamiento muy bien limitado por las estaciones del año, donde la categoría *ligeramente inestable* (c) se encuentra gobernada por la estación de verano dada la mayor duración de las horas de sol. Con un comportamiento opuesto al anterior, aparecen las categorías de estabilidad *ligeramente estable* (e) y *estable* (f), que mostraron su presencia en los meses de enero a mayo y de agosto a diciembre; la categoría *neutra* (d) es la única que ocurrió en todo el período.

En los horarios nocturnos, de las 3 UTC (22:00 hora), 6 UTC (1:00 hora) y 9 UTC (4:00 hora), el comportamiento de la estabilidad atmosférica estuvo regido por las categorías de estabilidad *neutra* (d), *ligeramente estable* (e) y *estable* (f); en estas horas, la atmósfera tiene, en general, un comportamiento estable (Figs. 3, 4 y 5). Se aprecia que la categoría *estable* (f) es la de mayor ocurrencia durante el año, dado que el proceso de irradiación terrestre se va profundizando entretanto avanza la noche, provocado por una mayor presencia de noches despejadas y con poca velocidad del viento.

A las 12 UTC (7:00 hora) ocurren las categorías de estabilidad *inestable* (b), *ligeramente inestable* (c), *neutra* (d), *ligeramente estable* (e) y *estable* (f); el comportamiento de la estabilidad atmosférica a esta hora está bien marcado por las estaciones del año y se aprecia que las categorías más estables (e y f) solo están presente en enero, febrero y diciembre, debido a una menor duración de las horas de sol. Con un comportamiento opuesto a este, la categoría de estabilidad *inestable* (b) solo ocurrió en mayo y junio, dada la mayor duración de la radiación solar. Las categoría de mayor presencia es la *ligeramente inestable* (c); en cambio, la *neutra* (d) fue la única que ocurrió en todo el período.

En los horarios diurnos 15 UTC (10:00 hora), 18 UTC (13:00 hora) y 21 UTC (16:00 hora), solo ocurren las categorías de estabilidad *muy inestable* (a), *inestable* (b), *ligeramente inestable* (c) y *neutra* (d); en estas horas, la atmósfera alcanza su mayor inestabilidad dada una mayor intensidad de la radiación solar, la cual se hace más marcada en los meses de verano, alcanzando la mayor inestabilidad a las 15 UTC (Fig. 7), donde las categorías *muy inestable* (a) e *inestable* (b) alcanzan sus valores máximos.

Comportamiento de la altura de la capa de mezcla atmosférica en la comunidad de Santa Lucía

En las figuras de la 10 a la 17 se muestran los resultados del comportamiento de la altura de la capa de mezcla atmosférica por cantidad de días, distribuidos por meses en el período 2006-2008 para la comunidad de Santa Lucía, en las diferentes horas a que se realizan las observaciones en las estaciones meteorológicas.

La figura 10 muestra el comportamiento de la altura de la capa de mezcla atmosférica a las 0 UTC (19:00 horas), expresada en cantidad de *días por meses*, para cada altura. Se evidencia que a esta hora ocurrieron las alturas de 200 m, 320 m, 560 m y 800 m; como puede apreciarse, la altura de 560 m es la única que ocurre en todo el período, con sus valores máximos

(33 días) en mayo y junio; esto obedece a que en estos meses existió la mayor ocurrencia de días nublados o bastante nublados, con velocidades del viento superiores a 2.24 m/s. Las alturas de 200 m y 320 m solo ocurrieron en enero, febrero, marzo, abril, mayo, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre, puesto que en estos meses las horas de luz solar son más cortas y a esta hora es de noche, con la excepción de mayo y agosto, cuando existe un porcentaje de días en que a esta hora es aún de día, este comportamiento está regido por la componente estacional, alcanzando la altura de 200 m su valor máximo (75 días) en septiembre, debido a la presencia de días con poca nubosidad o despejados, y velocidades del viento que no superaron 2.8 m/s. La altura de 320 m presentó su valor máximo en marzo, con 33 días, y su ocurrencia estuvo regida por días con poca nubosidad, llegando a ser despejados, y velocidades del viento entre 2.24 m/s y 5.04 m/s. Por último, la altura de 800 m tuvo su presencia en mayo a agosto, con su valor máximo (77 días) en julio; su ocurrencia a esta hora obedece a la presencia del Sol, puesto que, en estos meses, la duración de las horas de luz solar alcanzan su valor máximo.

La figura 11 muestra el comportamiento de la altura de la capa de mezcla atmosférica a las 3 UTC (22:00 hora), expresada en cantidad de *días por meses*, para cada altura. Se aprecia que a esta hora de la noche

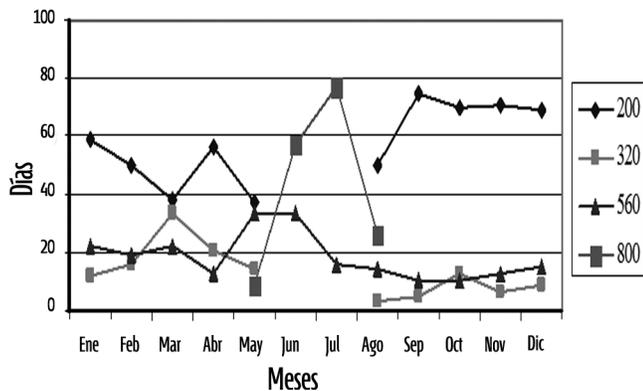


Fig. 10 Comportamiento de la altura de la capa de mezcla atmosférica por días en los 12 meses del año, a las 0 UTC, en la estación de Santa Lucía (2006-2008).

solo ocurren las alturas de 200 m, 320 m y 560 m, que tuvieron presencia en todo el período; la altura de 200 m presentó la mayor ocurrencia, principalmente en mayo a octubre, cuando sus valores superaron 80 días, con máximos (90 días) en julio y agosto; los demás meses del año, sus valores estuvieron próximo a 80 días, dada la presencia de bastantes noches con poca nubosidad y algunas noches despejadas por completo, y la poca velocidad del viento, que no superará 2.8 m/s. La altura de 320 m tuvo sus valores máximos en enero, con 9 días, en general, por las noches parcialmente nubladas y, en algunos casos, con cielos despejados, con velocidades del viento entre 2.24 m/s y 5.04 m/s. Por último, la altura de 560 m presentó sus valores máximos en enero, con 11 días; este comportamiento estuvo regido por la presencia de noches nubladas o bastante nubladas, y velocidades del viento con un valor mínimo de 3.36 m/s.

La figura 12 muestra el comportamiento de la altura de la capa de mezcla atmosférica a las 6 UTC (1:00 hora), expresada en cantidad de *días por meses*, para cada altura. A esta hora, al igual que a las 3 UTC, solo existen las alturas de 200 m, 320 m y 560 m, aunque en todo el período solamente ocurrió la altura de 200 m, la cual mostró, a su vez, una mayor presencia, con su valor máximo en julio, con 93 días, mientras que los demás meses estuvieron por encima de 80 días, excepto enero, febrero y noviembre, que estuvie-

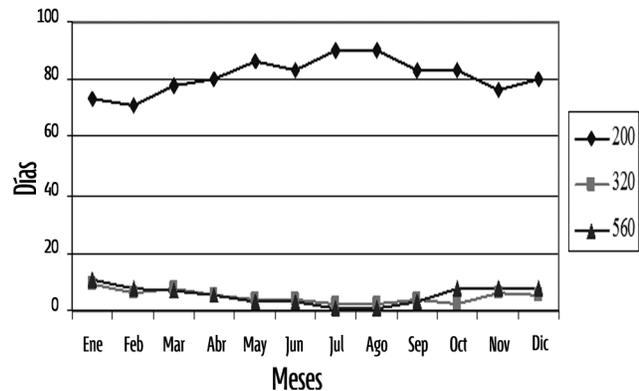


Fig. 11 Comportamiento de la altura de la capa de mezcla atmosférica por días en los 12 meses del año, a las 3 UTC, en la estación de Santa Lucía (2006-2008).

ron muy próximos a ese valor; este comportamiento obedeció a la presencia de noches con muy poca nubosidad y, en algunos casos, despejadas, con vientos en calma o con poca fuerza que no superaron 2.24 m/s, todo lo cual favorece el proceso de irradiación terrestre que se va intensificando y profundizando durante la noche. La altura de 320 m solo no ocurrió en julio y septiembre, y sus valores máximos los alcanzó en enero y febrero, con 9 días; su presencia se debió a la ocurrencia de algunas noches despejadas y otras parcialmente nubladas, con velocidades del viento entre 2.24 m/s y 5.04 m/s. Por último, la altura de 560 m solo no ocurrió en julio y su valor máximo (10 días) lo alcanzó en enero; su presencia estuvo regida por noches bastante nubladas, con velocidades del viento iguales o superiores a 3.36 m/s.

La figura 13 muestra el comportamiento de la altura de la capa de mezcla atmosférica a las 9 UTC (4:00 hora), expresada en cantidad de *días por meses*, para cada altura. A esta hora ocurren las alturas de 200 m, 320 m y 560 m; y están presentes durante período las alturas de 200 m y 560 m, con una mayor ocurrencia la altura de 200 m, que alcanza valores por encima de 80 días desde marzo a octubre y diciembre, con su valor máximo (92 días) en julio, aunque en los meses de enero, febrero y noviembre, estuvo próximo a 80 días; este comportamiento se debe a la presencia de noches despejadas o con poca nubosidad, y velocidad

des del viento que no superaron 1.68 m/s, todo lo cual favorece que el proceso de irradiación terrestre se profundice durante la noche. La altura de 320 m solo no ocurrió en mayo y julio, y sus valores máximos los presentó en enero y febrero, con 7 días; su presencia estuvo regida por noches parcialmente nubladas y algunas despejadas, con velocidades del viento entre 1.96 m/s y 5.04 m/s. Por último, la altura de 560 m alcanzó su valor máximo en noviembre, con 11 días; esto se debió a la presencia de noches parcialmente nubladas y nubladas, con velocidades del viento con un valor mínimo de 3.36 m/s.

La figura 14 muestra el comportamiento de la altura de la capa de mezcla atmosférica a las 12 UTC (7:00 hora), expresada en cantidad de *días por meses*, para cada altura. A esta hora ocurren las alturas de 200 m, 320 m, 560 m, 800 m y 1200 m. Como puede apreciarse, la altura de 560 m es la única que ocurre en todo el período, alcanzando su valor máximo en noviembre con 19 días; su ocurrencia se debe a la existencia de días nublados y parcialmente nublados, con velocidades del viento que en algunos días superaron 10 m/s. Las alturas de 200 m y 320 m ocurrieron en enero, febrero y diciembre, dada la presencia de la estación de invierno, en la cual los días son más cortos y provocan que, a esta hora, en estos meses, existiera un buen porcentaje de días en que el Sol aún no tenía presencia. La altura de 200 m mosró la ma-

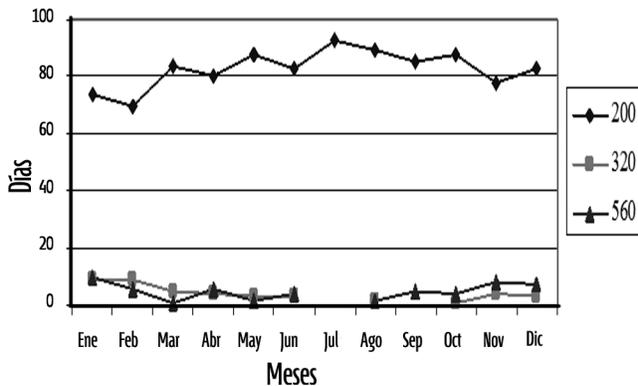


Fig. 12 Comportamiento de la altura de la capa de mezcla atmosférica por días en los 12 meses del año, a las 6 UTC, en la estación de Santa Lucía (2006-2008).

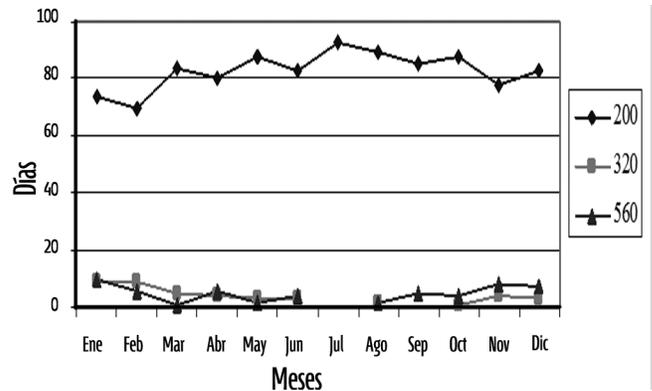


Fig. 13 Comportamiento de la altura de la capa de mezcla atmosférica por días en los 12 meses del año, a las 9 UTC, en la estación de Santa Lucía (2006-2008).

yor ocurrencia en estos meses, con su valor máximo (73 días) en enero; esto se debió a la existencia de días mayormente despejados y algunos parcialmente nublados, con velocidades del viento que no superaron 2.52 m/s. La altura de 320 m ocurrió debido a la existencia de días parcialmente nublados, con velocidades del viento entre 2.24 m/s y 5.04 m/s. La altura de 800 m fue la de mayor ocurrencia y superó 80 días en los meses de abril, julio, agosto, septiembre y octubre, con su valor máximo (90 días) en julio y agosto, y con mínimos en febrero y diciembre que no llegaron a 20 días de ocurrencia, dada la menor duración de las horas de sol. Por último, la altura de 1 200 m solo estuvo presente en mayo y junio, y su ocurrencia estuvo ligada a una mayor duración de las horas de sol, junto con la presencia de días despejados o ligeramente nublados, con velocidades del viento que no sobrepasaron 1.68 m/s, y propiciaron que la atmósfera se comportará más inestable.

La figura 15 muestra el comportamiento de la altura de la capa de mezcla atmosférica a las 15 UTC (10:00 hora), expresada en cantidad de *días por meses*, para cada altura. A esta hora ocurrieron las alturas de 560 m, 800 m, 1 200 m y 1 600 m. Se aprecia que las alturas de 800 m y 1 200 m ocurrieron en todo el período, alcanzando la altura de 1200 m el máximo valor (53 días) en mayo, mientras que en junio, julio y agosto, osciló sobre 40 días; su comportamiento se debió a la pre-

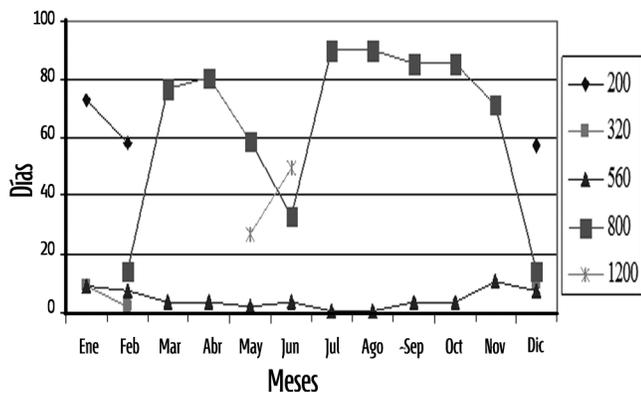


Fig. 14 Comportamiento de la altura de la capa de mezcla atmosférica por días en los 12 meses del año, a las 12 UTC, en la estación de Santa Lucía (2006-2008).

sencia de días parcialmente nublados y algunos casi despejados, con velocidades del viento que no superaron 3.36 m/s y una mayor intensidad de la radiación solar, por encontrarse en los meses de verano. La altura de 800 m tuvo su valor máximo en enero (49 días) y marzo (47 días); su ocurrencia obedeció a la presencia de días, en general, parcialmente nublados y algunos casi despejados, con velocidades del viento que tuvieron como valor mínimo 2.8 m/s, y sus mínimos los presentó en los meses de junio a septiembre, puesto que, en estos meses, la altura de 1 600 m alcanzó sus valores máximos, cuyo pico máximo resultó septiembre (47 días); esta altura estuvo presente desde febrero hasta noviembre y su ocurrencia obedece a una mayor intensidad de la radiación solar, la cual se combinó con días parcialmente nublados y algunos casi despejados, junto con velocidades del viento que no superaron 0.56 m/s. Por último, la altura de 560 m solo no ocurrió en abril y agosto, y sus valores máximos (19 días) los presentó en enero y diciembre (22 días); su ocurrencia obedece a algunos días parcialmente nublados y otros nublados, con velocidades del viento desde 1.12 m/s hasta superar en algunos días 10 m/s.

La figura 16 muestra el comportamiento de la altura de la capa de mezcla atmosférica a las 18 UTC (13:00 hora), expresada en cantidad de *días por meses*, para cada altura. Están presentes a esta hora las alturas de 560 m, 800 m, 1 200 m y 1 600 m. Se aprecia que la

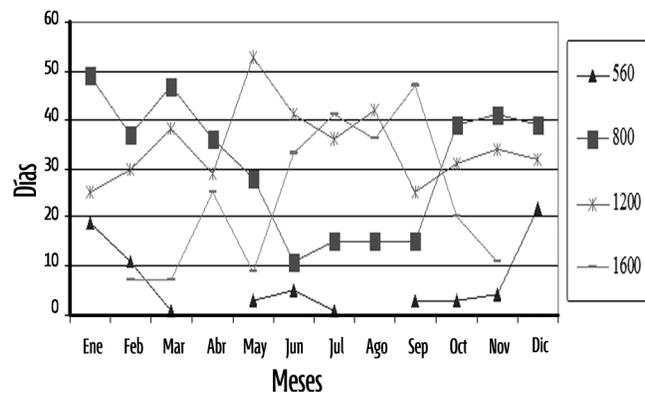


Fig. 15 Comportamiento de la altura de la capa de mezcla atmosférica por días en los 12 meses del año, a las 15 UTC, en la estación de Santa Lucía (2006-2008).

altura de 560 m es la única que no ocurrió en todo el período, dejando de ocurrir solamente en marzo, y su valor máximo lo alcanzó en junio con 7 días; su presencia obedeció a días totalmente nublados, con velocidades del viento con entre 0.56 m/s y 10.36 m/s. La altura de 1 600 m presentó sus máximos en los meses de verano, desde junio a septiembre, alcanzando en este último su valor máximo (33 días); ello se debió a que en estos meses la intensidad de la radiación solar es mayor y se propicia una mayor inestabilidad en la atmósfera, junto con la presencia de días parcialmente nublados, con velocidades del viento que no superaron 2.8 m/s. La altura de 1 200 m se comportó bastante homogénea durante el año, con su valores máximo (30 días) en agosto y mínimo (22 días) en diciembre; su presencia estuvo regida por la ocurrencia de días parcialmente nublados, con velocidades del viento entre 0.84 m/s y 4.76 m/s. Por último, la altura de 800 m fue la de mayor presencia, alrededor de 60 días o más en los meses de enero, marzo, octubre, noviembre y diciembre, con su valor máximo (65 días) en este último mes; este comportamiento estuvo regido por la ocurrencia de días parcialmente nublados, con velocidades del viento entre 3.92 m/s y 10.64 m/s.

La figura 17 muestra el comportamiento de la altura de la capa de mezcla atmosférica a las 21 UTC (16:00 hora), expresada en cantidad de *días por meses*, para cada altura. A esta hora del día ocurren las altu-

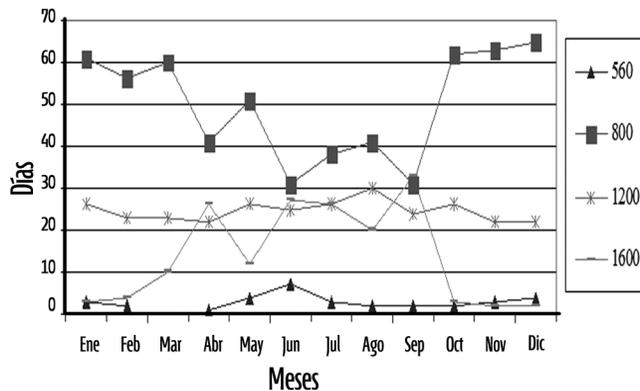


Fig. 16 Comportamiento de la altura de la capa de mezcla atmosférica por días en los 12 meses del año, a las 18 UTC, en la estación de Santa Lucía (2006-2008).

ras de 560 m, 800 m, 1 200 m y 1 600 m. Se aprecia que las alturas de 800 m y 1 200 m ocurren en todo el período, presentado la altura de 1 200 m sus máximos valores de junio a septiembre, alcanzando (31 días), en este último mes, dada la mayor duración de las horas de sol y la mayor intensidad en la radiación solar, por encontrarse en los meses de verano, junto con velocidades del viento que no sobrepasaron 3.36 m/s y la ocurrencia de días parcialmente nublados. La altura de 800 m fue la de mayor ocurrencia, con sus valores máximos (71 días) en mayo; su ocurrencia obedeció a la presencia de días parcialmente nublados, con velocidades del viento iguales o superiores a 2.8 m/s. La altura de 1 600 m solo ocurrió en abril a septiembre, y sus valores máximos se presentaron en junio y julio, con 22 días; su presencia se debe a la estación de verano, además de días con cielos parcialmente nublados, con velocidades del viento que no superaron 0.56 m/s. Por último, la altura de 560 m solo no ocurrió en abril y sus valores máximos (39 días) los presentó en noviembre y diciembre (36 días), y sus mínimos ocurrieron en agosto, con 2 días; su presencia estuvo regida por la combinación de días parcialmente nublados y nublados, con velocidades del viento entre 0.56 m/s y más de 10 m/s.

La altura de la capa de mezcla a las 0 UTC (19:00 horas) estuvo regida por las alturas siguientes: 200 m, 320 m, 560 m y 800 m. Se evidenció que la altura de

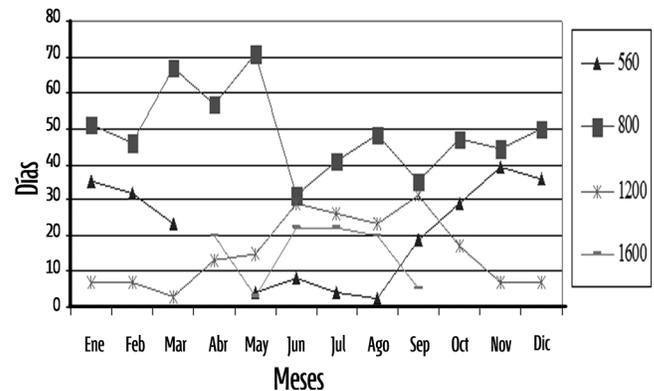


Fig. 17 Comportamiento de la altura de la capa de mezcla atmosférica por días en los 12 meses del año, a las 21 UTC, en la estación de Santa Lucía (2006-2008).

560 m es la única que estuvo presente todo el año; para las demás alturas, a esta hora, existió un comportamiento bien definido por las estaciones del año. En los meses de mayo a agosto ocurrió la altura de 800 m, la cual depende de una mayor duración de las horas de sol en esta época, en contraste con las alturas de 200 m y 320 m, que dependen de una menor duración de las horas de sol. Solo en mayo y agosto existió la presencia de las cuatro alturas, puesto que en estos meses existe un porcentaje de días con luz solar y otro porcentaje que no la tiene.

En los horarios nocturnos 3 UTC (22:00 hora), 6 UTC (1:00 hora) y 9 UTC (4:00 hora), el comportamiento de la altura de la capa de mezcla atmosférica alcanza su menor espesor y ocurren sola las alturas de 200 m, 320 m y 560 m, teniendo una mayor presencia a lo largo de la noche la altura de 200 m (Figs. 11, 12 y 13), haciéndose más marcado este comportamiento a las 9 UTC, debido mayormente a la ocurrencia de noches despejadas o casi despejadas, junto con la poca velocidad del viento, lo cual trae consigo, a su vez, que el proceso de irradiación terrestre se profundice durante el período nocturno.

A las 12 UTC (7:00 hora) ocurren las alturas de 200 m, 320 m, 560 m, 800 m y 1 200 m. El comportamiento de la altura de la capa de mezcla atmosférica transita por la sucesión de la noche al día, lo cual propicia un comportamiento bien marcado a durante el año, regido básicamente por el proceso cíclico de las estaciones del año. Se aprecia que las alturas de 200 m y 320 m solo ocurren en enero, febrero y diciembre, dado que en estos meses existe un porcentaje de días en que aún es de noche; este comportamiento es máximo en enero. Opuestamente se comporta la altura de 1200 m, la cual solo ocurrió en mayo y junio, debido a una mayor duración de las horas de luz solar, provocando que la altura de la capa de mezcla alcance un mayor espesor. La altura de 800 m fue la de mayor ocurrencia y solo no estuvo presente en enero. Por último, la altura de 560 m fue la única que existió

todo el período, aunque su ocurrencia fue baja.

A las 15 UTC (10:00 hora), 18 UTC (13:00 hora) y 21 UTC (16:00 hora), las alturas presentes son 560 m, 800 m, 1 200 m y 1 600 m. Como puede apreciarse, en estas horas diurnas, la altura de la capa de mezcla atmosférica alcanza su máximo esplendor (Figs. 15, 16 y 17) y las alturas de 1200 m y 1600 m exhiben sus valores máximos a las 15 UTC, principalmente, en los meses de verano de junio a septiembre, debido a una mayor duración de las horas de luz solar y la mayor intensidad de la radiación.

Conclusiones

1. A las 0 UTC (19:00 horas), la categoría de estabilidad que más ocurrió es la *estable* (f) (altura de 200 m), con sus valores máximos en los meses de invierno; no ocurriendo esta en los meses de verano de julio y agosto, donde la categoría *inestable* (c) (altura 800 m) alcanzó los valores máximos. Se evidenciaron, en general, condiciones desfavorables para la dispersión de los contaminantes atmosféricos en la vertical, las cuales mejoran en julio y agosto, dado el aumento de las horas de luz solar.
2. En los horarios nocturnos, 3 UTC (22:00 hora), 6 UTC (1:00 hora) y 9 UTC (4:00 hora), la categoría de estabilidad *estable* (f) (altura de 200 m) tiene una mayor presencia durante el período analizado y en la noche, la cual se hizo más marcada a las 9 UTC (Figs. 5 y 13); existió un menor espesor de la altura de la capa de mezcla a lo largo del ciclo diurno de 24 horas, por lo que se muestran las condiciones más desfavorables para la dispersión de los contaminantes atmosféricos en la vertical.
3. En el horario de las 12 UTC (7:00 hora), la categoría de estabilidad que tiene mayor presencia es la *ligera-mente inestable* (c) (altura de 800 m), superando 80 días de ocurrencia en julio a octubre, y disminuyendo significativamente su presencia en febrero y diciembre; no ocurre así en enero, cuando la cate-

goría estable (f) (altura 200 m), alcanza sus valores mayores y, de este modo, constituyen los meses de invierno los más desfavorables para la dispersión de los contaminantes atmosféricos en la vertical, a esta hora del día.

4. En las horas del día, 15 UTC (10:00 hora), 18 UTC (13:00 hora) y 21 UTC (16:00 hora), ocurren la mayor inestabilidad y altura de la capa de mezcla atmosférica, provocadas por una mayor incidencia de la radiación solar, más marcada en los meses de verano, fundamentalmente a las 15 UTC, donde las categorías *muy inestable* (a) altura de 1 600 m e *inestable* (b) (altura de 1200 m) alcanzan sus valores máximos.

Recomendaciones

1. En relación con las fuentes contaminantes que trabajan en el horario de las 0 UTC (19:00 horas) se recomienda reajustar la producción para las horas diurnas en los meses de inviernos, con vistas a atenuar así el incremento de los niveles de contaminación.
2. En los horarios nocturnos, se recomienda disminuir o no realizar actividades laborales en las fuentes contaminantes, con el fin de atenuar los niveles de contaminación.
3. Es recomendable que las fuentes contaminantes que inician sus jornadas laborales a las 12 UTC (7:00 hora), en los meses de inviernos, inicien sus actividades laborales, de ser posible, a las 13 UTC (8:00 hora), en aras de evitar un aumento de los niveles de contaminación.
4. Es recomendable que las fuentes contaminantes centren la mayor cantidad de sus actividades laborales en las horas diurnas 15 UTC (10:00 hora), 18 UTC (13:00 hora) y 21 UTC (16:00 hora), fundamentalmente, en el horario de las 15 UTC, para, de esta forma, aprovechar las buenas condiciones de la dispersión de los contaminantes atmosféricos en la vertical.

Referencias bibliográficas

- Álvarez, R 1976, *Estudio de la dispersión de contaminantes en la atmósfera de Cuba*, tesis, IFA, Moscú.
- Fisher, BEA, Erbrink, JJ, Finardi, S, Jeannet, P, Joffre, S, Morselli, MG, Pechinger et al. (eds.) 1998, *COST Action 710-Final: Report. Harmonisation of the pre-processing of meteorological data for atmospheric dispersion models, L-2985*, European Commission, Luxembourg.
- Garratt, JR 1992, *The atmospheric boundary layer*, Cambridge University Press.
- López, CM 1978, *Factores meteorológicos en la propagación de contaminantes del aire en la Ciudad de La Habana*, en *Informe Científico-Técnico no. 46*, INSMET, ACC, La Habana.
- Núñez, S 2002, *Altura de la capa de mezcla: caracterización experimental y aplicación de un modelo meteorológico para el estudio de su evolución diurna*, tesis, Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- Pasquill, F 1961, 'The estimation of the dispersion of wind-borne material', *Meteorological Magazine*, vol. 90, pp. 33-49.
- Rodríguez, D, Echevarria, L, Cuesta, O, Sánchez, A, Díaz, JM y Vargas, R 2008, *Resultados preliminares de cálculo de la altura de la capa de mezcla a través del uso del Global Forecast System*, in *Convención Trópico 2008*, La Habana.
- Rodríguez, D 2007, *Sistema Automatizado de Gestión de Información de Fuentes Contaminantes (SAGIFC)*, tesis, Universidad de Pinar del Río, Pinar del Río.
- Seibert, P, Beyrich, F, Gryning, SE, Joffre, S, Rasmussen, A & Tercier, P 1998, *Mixing layer depth determination for dispersion modelling*, in BEA FISHER, J J ERBRINK, S FINARDI, P JEANNET, S JOFFRE, MG MORSELLI, et al. (Eds.) 1998, *COST Action 710-Final Report: Harmonisation of the pre-processing of meteorological data for atmospheric dispersion models L-2985*, European Commission, Luxembourg.
- Seibert, P, Beyrich, F, Gryning, SE, Joffre, S, Rasmussen, A & Tercier, P 2000, 'Review and intercomparison of

- operational methods for the determination of the mixing height', *Atmos. Environ*, vol. 34, pp. 1001-1027.
- Turner, DB 1964, 'A difusión model for an urbana area', *Journal Appl. Meteor*, vol. 3, pp. 83-91.
- Turtós L, Roque, A, Soltura, R y Sánchez, M 2003, 'Metodología de estimación de variables meteorológicas secundarias para modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos', *Contribución a la Educación y la Protección Ambiental*, vol. 4. pp. 266-277.