

Condiciones meteorológicas que influyen en las inmisiones de contaminantes atmosféricos en dos localidades de La Habana

Meteorological conditions that influence the immissions of air pollutants in two localities of Havana

Ivet Vidal-Ros^{1✉}, Rosemary López-Lee², Osvaldo A. Cuesta-Santos², Javier Bolufé-Torres², Evelio García-Valdés²

¹Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, La Habana, Cuba

²Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba

Resumen

Se realizó la caracterización del comportamiento de condiciones meteorológicas que influyen en las inmisiones de contaminantes atmosféricos en dos localidades de La Habana. Los datos de variables meteorológicas: temperatura, humedad relativa, dirección y fuerza del viento se obtuvieron de las estaciones automáticas de monitoreo atmosférico ubicadas en San Miguel del Padrón y el InSTEC. Los Tipos de Situaciones Sinópticas (TSS) se obtuvieron de los mapas sinópticos del INSMET. El estudio abarcó el período comprendido desde noviembre de 2015 hasta octubre de 2016. Se obtuvo el comportamiento de las variables meteorológicas estudiadas, a diferentes escalas temporales, en ambas localidades. Se identificó un comportamiento claramente estacional de los anticiclones continentales migratorios durante los meses del período poco lluviosos y del Anticiclón Subtropical del Atlántico en el período lluvioso.

Palabras clave: variables meteorológicas, patrones sinópticos, La Habana.

Abstract

This study characterized the behavior of meteorological conditions that influence the immissions of air pollutants in two localities of Havana. The data of meteorological variables: temperature, relative humidity, direction and wind speed were obtained from the automatic atmospheric monitoring stations located in San Miguel del Padron and InSTEC. Synoptic Situation Types (TSS) were obtained from INSMET synoptic maps. The study covered the period from November 2015 to October 2016. The behavior of the meteorological variables studied was obtained at different time scales in both localities. A clearly seasonal behavior of the migratory continental anticyclones was identified during the months of the low rainy season and the Atlantic subtropical anticyclone in the rainy season.

Keywords: meteorological variables, synoptic patterns, Havana.

✉ Autor para correspondencia: *Ivet Vidal-Ros*. E-mail: ivet.vidal@nauta.cu

Recibido: 21/2/2018

Aceptado: 26/3/2018

INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica puede ser definida como “una condición de la atmósfera en la cual están presentes, sustancias en concentraciones tales como para afectar la calidad y composición del aire y provocar efectos perjudiciales para los seres humanos, los elementos naturales, ecosistemas, materiales, construcciones e instalaciones, el clima etc.” (López, 2006).

Los estudios realizados sobre contaminación atmosférica se despliegan en tres niveles fundamentales, asociados a las escalas de los procesos meteorológicos, en los que se incluye el nivel global, regional y local (Cuesta *et al.*, 2014). Este último, responde a los efectos inmediatos del deterioro de la calidad del aire sobre la salud humana o sobre los ecosistemas.

Las condiciones meteorológicas influyen sobre el transporte y dispersión de los contaminantes en la atmósfera, así como también en los procesos de remoción de los mismos. Ellas determinan, junto a otros factores, los valores de inmisión de contaminantes en el aire.

Algunos trabajos relacionados con esta temática, se han llevado a cabo por especialistas del Centro de Estudios sobre Contaminación y Química Atmosférica (CECONT) del Instituto de Meteorología. Entre ellos podemos mencionar a López (1978), Sánchez y Cuesta (1992) que explican la capacidad de las variables velocidad y dirección del viento, estabilidad atmosférica y la altura de capa de mezcla, de incrementar o disminuir los valores de inmisión de contaminantes en la atmósfera sobre una zona determinada. Se han relacionado, además, los patrones sinópticos con la contaminación atmosférica a diferentes escalas, para conocer

así su comportamiento (Cuesta, 1995; Fonseca, 2010).

Por ello, el objetivo de este trabajo es caracterizar el comportamiento de condiciones meteorológicas que influyen en las inmisiones de contaminantes atmosféricos en dos localidades de La Habana en el período comprendido desde noviembre de 2015 hasta octubre de 2016.

MATERIALES Y MÉTODOS

Fueron utilizados los datos meteorológicos registrados por las Estaciones Automáticas de Monitoreo Atmosférico (EAMA). Las mismas se encuentran ubicadas en la sede del Consejo de la Administración Municipal de San Miguel del Padrón (SMP), y en el Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC), en Plaza de la Revolución (Figura 1). Los datos de las ubicaciones geográficas se muestran en la tabla 1.

Las estaciones automáticas están equipadas con sensores de la marca AIRMAR, que de manera continua y precisa miden las variables meteorológicas: temperatura, humedad relativa, dirección y velocidad del viento y presión barométrica del ambiente, según el Manual de las Estaciones Automáticas (Wuhang Yuhong, 2014).

En el estudio de las situaciones sinópticas asociadas, se utilizaron los archivos del Centro Nacional de Pronósticos del Instituto de Meteorología. Para la clasificación de los patrones sinópticos se tuvo en cuenta la metodología desarrollada por Lapinel (1988). La misma permite identificar y clasificar el Tipo de Situación Sinóptica (TSS) representado en un mapa de superficie, considerando el patrón predominante de presión y viento, así como las variables meteorológicas asociadas. Comprende nueve tipos principales.

Tabla 1. Ubicación geográfica de las EAMA

Estación	Latitud (° N)	Longitud (° W)	Período de estudio
InSTEC	23°07'55.2"	82°22'53.1"	noviembre 2015 - octubre 2016
SMP	23°04'31.8"	82°19'23.8"	noviembre 2015 - octubre 2016

Tabla 2. Total de observaciones horarias realizadas de las variables meteorológicas en las EAMA en el período desde noviembre del 2015 hasta octubre del 2016

Estaciones	InSTEC	SMP
Total de observaciones horarias	6194	6817
% de observaciones realizadas en el período	70,5	77,6

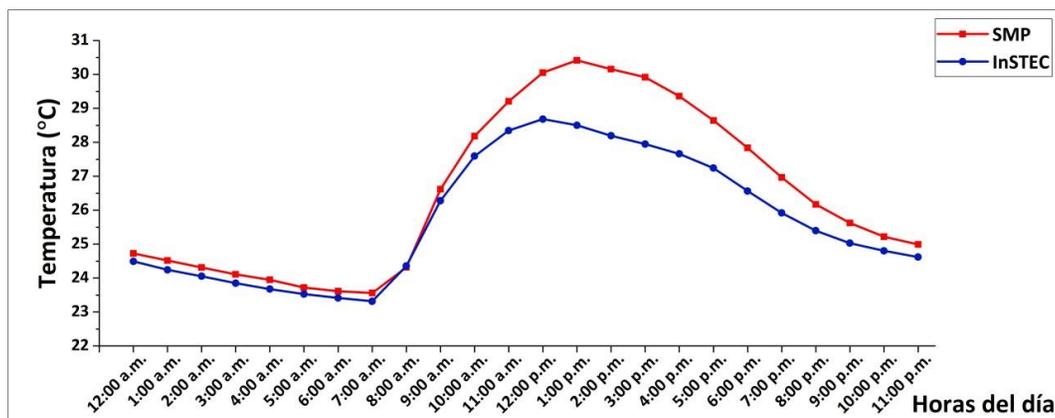


Figura 2. Marcha diaria de la temperatura en las EAMA en el período desde noviembre del 2015 hasta octubre del 2016

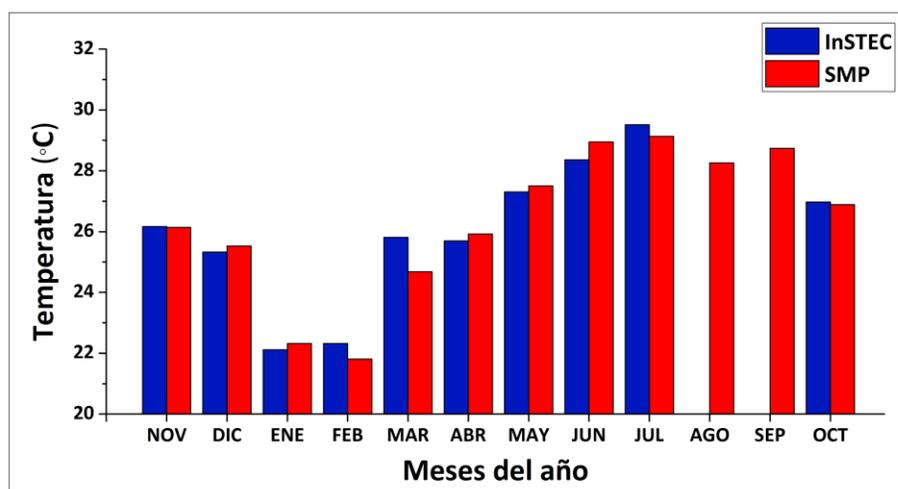


Figura 3. Marcha anual de la temperatura en las EAMA en el período desde noviembre del 2015 hasta octubre del 2016

febrero y el valor más elevado 29,1 °C en julio. La temperatura media anual en el período fue de 26,5 °C. Diversos autores señalan que la temperatura del aire juega un papel importante en los niveles de inmisión de contaminantes en la atmósfera. Según [Gómez \(2001\)](#), en la ciudad de Santiago de Chile durante el verano,

las máximas concentraciones de SO₂ se presentan por lo general en horas de la tarde, cuando las temperaturas del aire alcanzan su valor máximo. Por otro lado, las altas temperaturas del verano en Pensilvania contribuyen a la formación de especies

químicas oxidantes, como el ozono en la baja troposfera ([Dayan y Lamb, 2003](#)).

1.2. Humedad relativa

La humedad relativa en las dos estaciones sigue un comportamiento diario casi opuesto al de la temperatura. La marcha diaria mostró el máximo en horas de la noche y principalmente en la madrugada, en el horario de 6:00 a.m. a 7:00 a.m., con valores cercanos a la saturación ([Figura 4](#)). Con la salida del sol y el incremento de la temperatura, la humedad relativa comienza a descender hasta alcanzar un mínimo entre las 12:00 p.m. y 1:00 p.m., que en ocasiones fue inferior al 50 %.

La humedad relativa del aire presenta una marcha anual que se corresponde, en líneas generales, con el comportamiento estacional de las precipitaciones ([Pérez, 2013](#)). En la [figura 5](#) se observa que esta variable presentó un valor mínimo promedio de 57 % en el mes de junio y un máximo promedio de 76 % en diciembre, en la estación del InSTEC. La media anual fue de 67 %. En SMP se observó el promedio mínimo mensual en abril de 63 % y el más alto en agosto de 74 %. La media anual fue de 69 %. La humedad relativa alta ofrece condiciones favorables para la disminución de las concentraciones de gases y partículas ([Calderón, 2011](#); [Tang et al., 2005](#); [Zhu et al., 2011](#)).

1.3. Viento (velocidad y dirección)

Debido a que las estaciones automáticas tienen mayor sensibilidad que las estaciones meteorológicas convencionales para determinar la fuerza del viento, se tomó como calma, las velocidades que no exceden 1,5 m/s. Según la escala de Beaufort, estas velocidades incluyen calma y ventolina, que para la dispersión de contaminantes se comportan de manera similar ([García et al., 2014](#)). Se consideró viento débil cuando la velocidad del viento es menor o igual a 4 m/s y los vientos con velocidades superiores a 4 m/s fueron considerados los que más facilitan el transporte y dispersión de los contaminantes.

Se conoce de investigaciones anteriores que, en gran parte del territorio nacional, los vientos, como promedio, no suelen tener velocidades muy elevadas. Los valores máximos ocurren durante el día, por lo general, en las primeras horas de la tarde, mientras que los mínimos se producen en las horas de la noche y la madrugada, cuando predominan las calmas ([Barcia et al., 2014](#)).

El comportamiento de viento en ambas estaciones fue similar a los resultados antes citados ([Figura 6](#)). Los valores mínimos predominaron durante la noche y la madrugada, con un gran por ciento de calmas, como resultado del enfriamiento de la

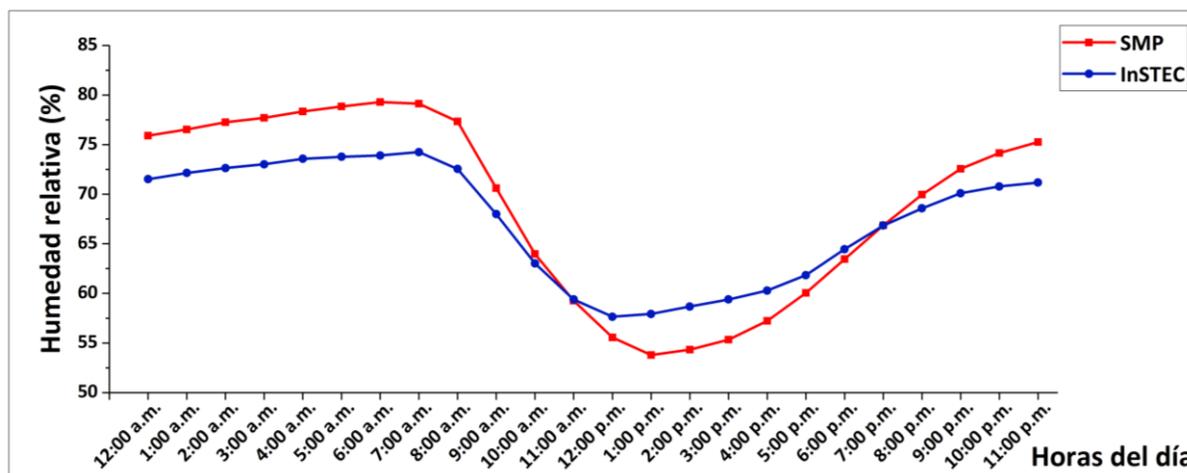


Figura 4. Marcha diaria de la humedad relativa en las EAMA en el período desde noviembre del 2015 hasta octubre del 2016

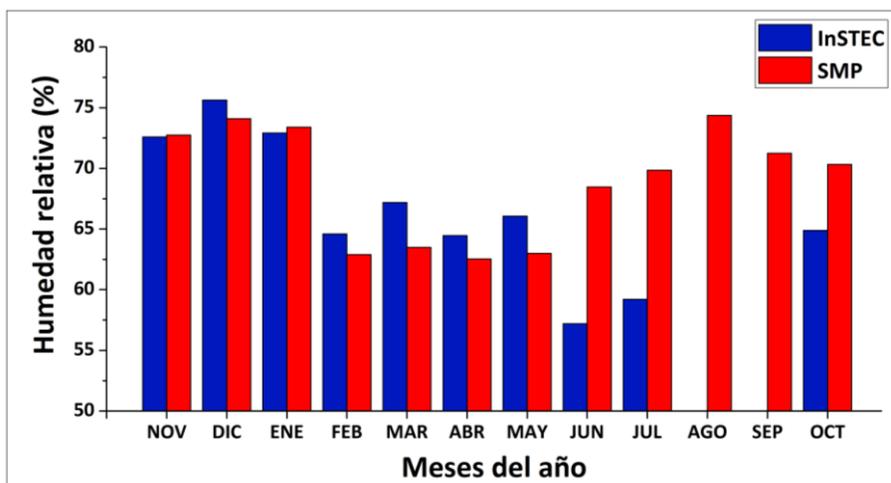


Figura 5. Marcha anual de la humedad relativa en las EAMA en el período desde noviembre del 2015 hasta octubre del 2016

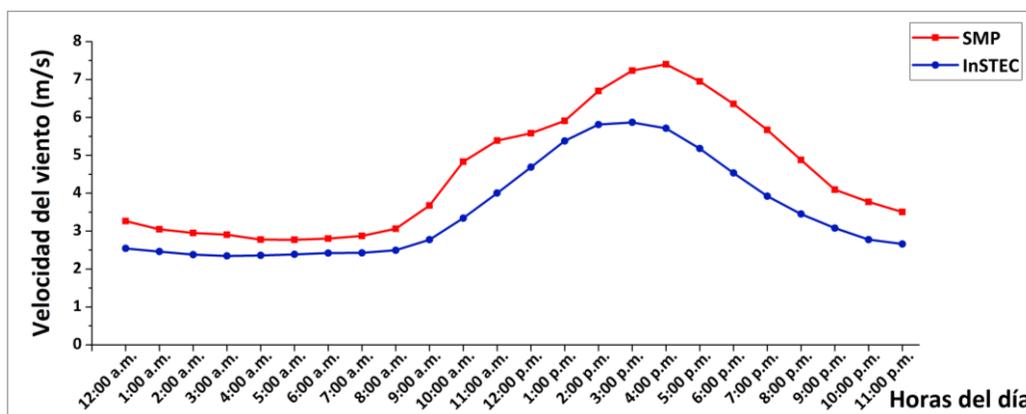


Figura 6. Marcha diaria de la velocidad del viento en las EAMA en el período desde noviembre del 2015 hasta octubre del 2016

superficie, y alcanzaron su máximo de frecuencia de 4:00 a.m. a 7:00 a.m. El máximo se registró en los horarios vespertinos, de 1:00 p.m. a 5:00 p.m.

En la [figura 7](#) se observa la marcha anual de la velocidad del viento. En la misma se identifica, que la estación de SMP, como promedio, presentó las mayores velocidades. El promedio mensual máximo fue en febrero con 5,8 m/s y mínimo en septiembre con 3,3 m/s. Por otro lado, en el InSTEC la velocidad máxima promedio fue de 4,5 m/s en el mes de octubre. El mínimo tuvo lugar en diciembre con 2,6 m/s. La rapidez del viento resulta un eficiente indicador de las condiciones generales de dispersión de los compuestos

originados en la propia localidad tanto de origen natural como antrópico ([Cuesta et al., 2000](#)). Mientras que valores de velocidades bajos favorece la acumulación de los contaminantes ([Tang et al., 2005](#); [López et al., 2015](#)).

Mediante el cálculo de la frecuencia relativa (%) y de la velocidad media (m/s) del viento se determinó el rumbo predominante y la distribución de las velocidades para cada rumbo en cada estación ([Figura 8](#)). Se identificó que en el InSTEC el rumbo predominante en 24 horas fue del segundo cuadrante, mientras que en SMP los vientos predominantes fueron del primer cuadrante, fundamentalmente del NE al E. Las mayores velocidades del viento en el InSTEC y SMP, se

presentaron cuando su plazos horarios, y se calculó la frecuencia

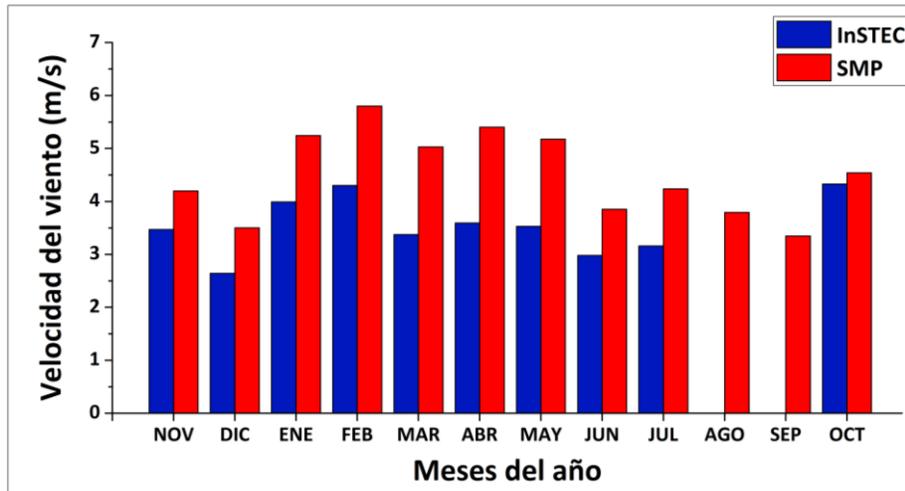


Figura 7. Marcha anual de la velocidad del viento en las EAMA en el período desde noviembre del 2015 hasta octubre del 2016

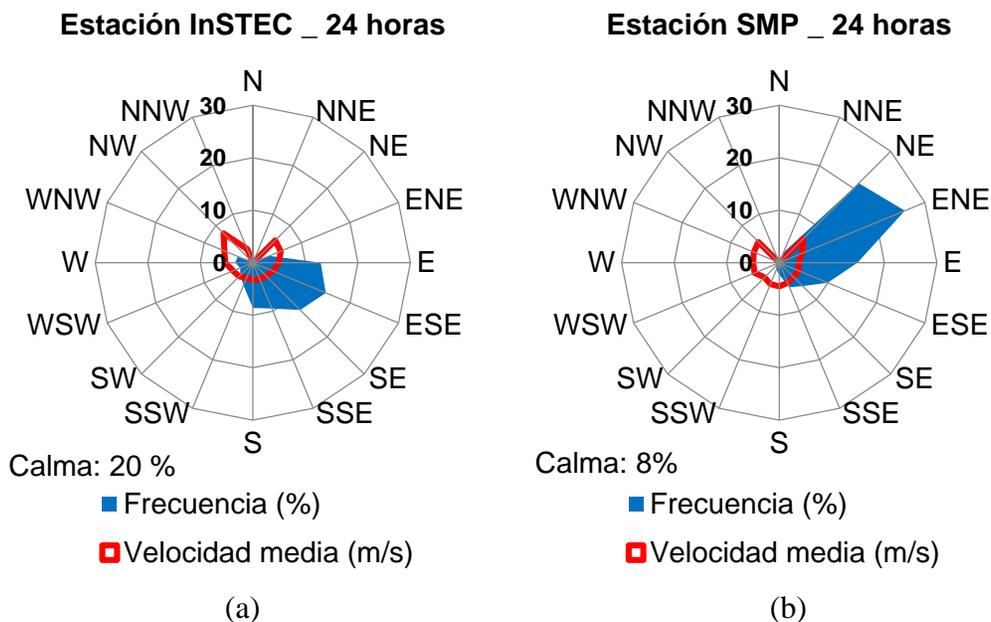


Figura 8. Rosas de los vientos en 24 horas en las EAMA en el período desde noviembre del 2015 hasta octubre del 2016: (a) InSTEC; (b) SMP

dirección fue del NW y del NE, respectivamente.

Diversos estudios señalan que, el comportamiento del viento determina condiciones favorables o desfavorables para la dispersión y transporte de contaminantes atmosféricos en dependencia del horario del día (Cuesta *et al.*, 2009; Collazo, 2011; Alonso, 2013). Por ello se determinaron diferentes

relativa y velocidad media del viento en cada EAMA para su mejor apreciación, resultados que muestran las figuras 9 y 10.

En la estación del InSTEC ocurrieron más número de calmas (más del doble) que en la estación de SMP. La mayor cantidad se produjo durante la madrugada con un 40 % en el InSTEC y 18 % en SMP, mientras que un por ciento muy bajo tuvo lugar en la tarde (2 % en

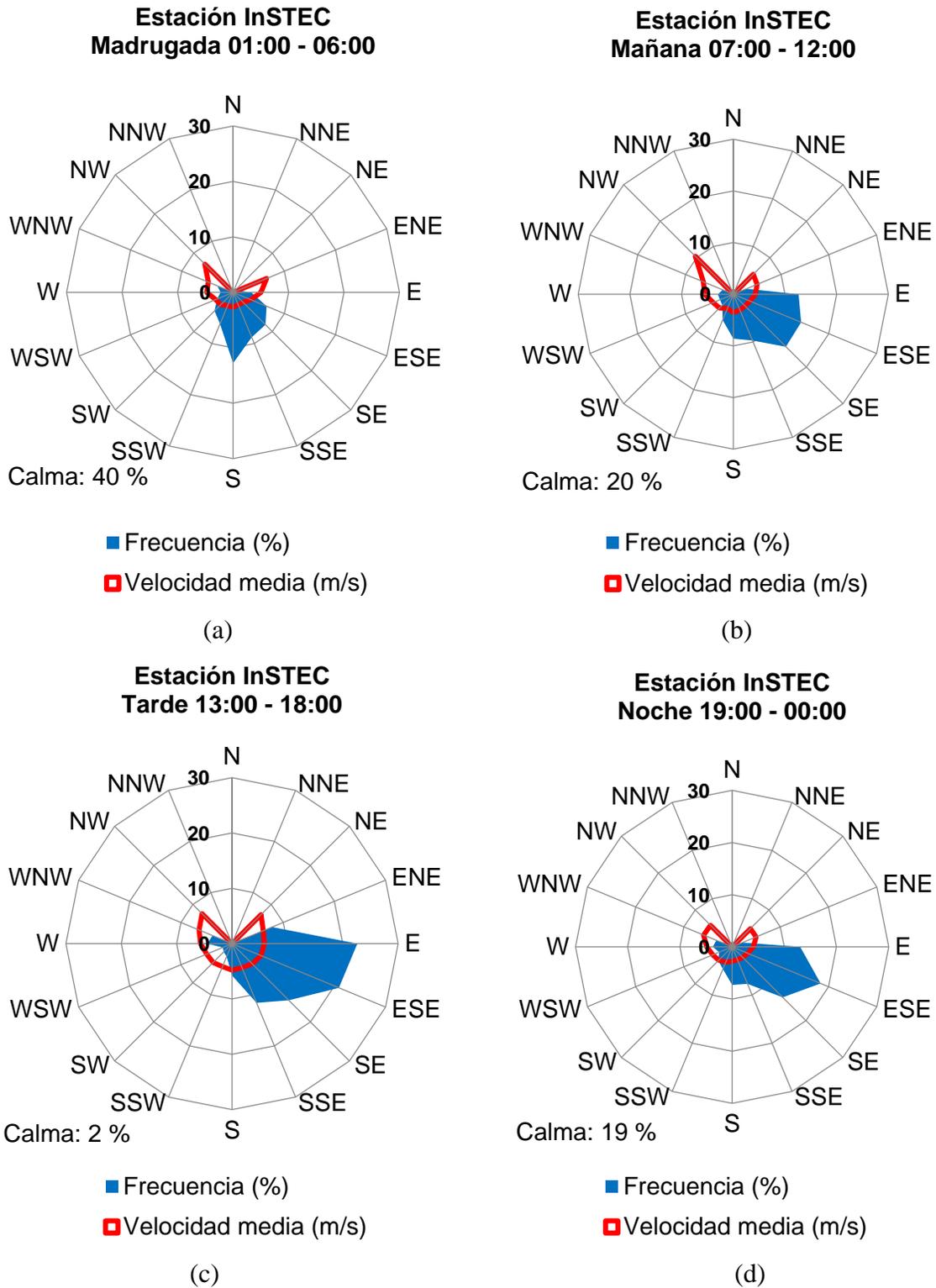


Figura 9. Rosas de los vientos en la EAMA del InSTEC en el período desde noviembre del 2015 hasta octubre del 2016 para: (a) la madrugada; (b) la mañana; (c) la tarde y (d) la noche

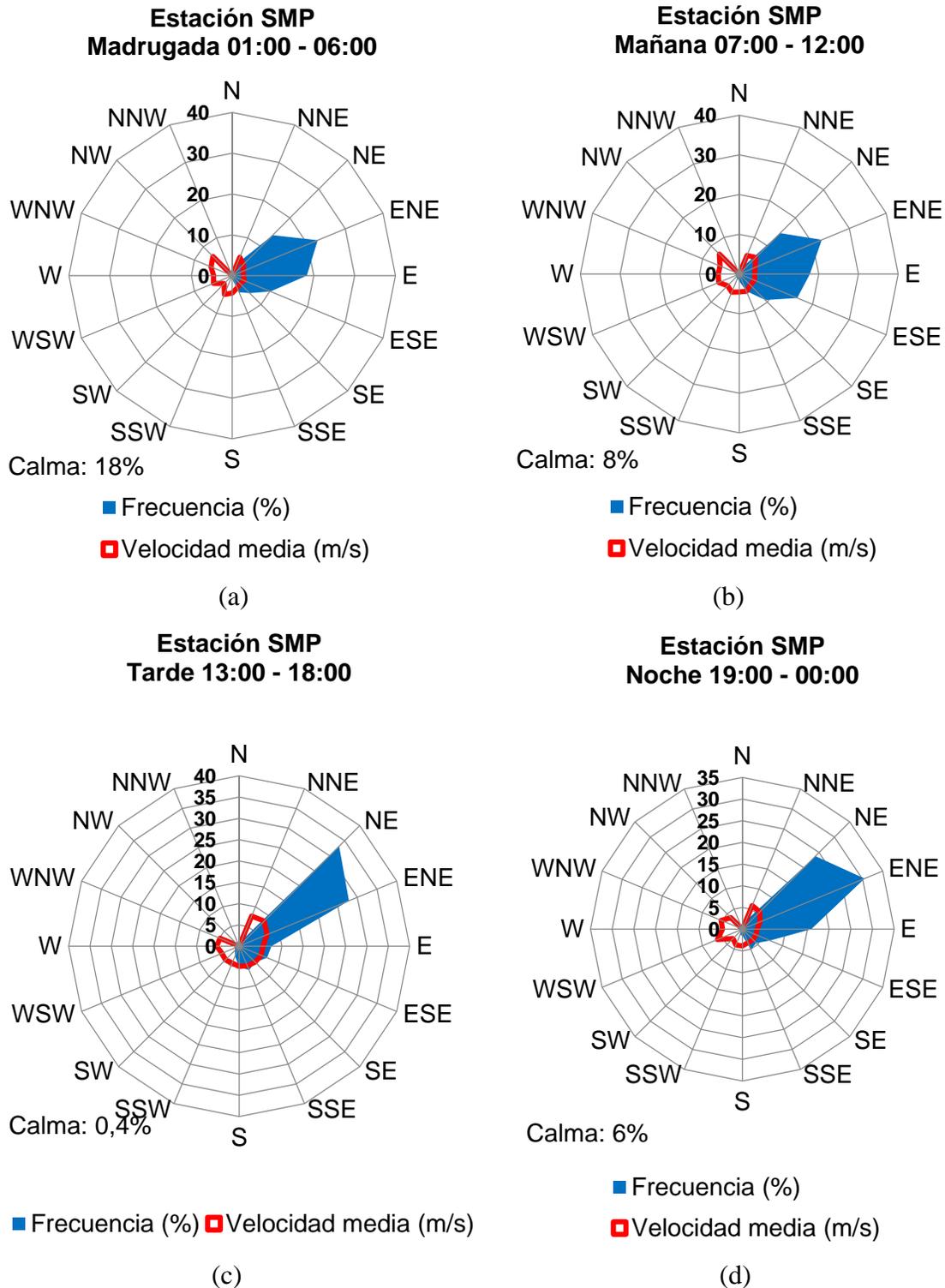


Figura 10. Rosas de los vientos en la EAMA de SMP en el período desde noviembre del 2015 hasta octubre del 2016 para: (a) la madrugada; (b) la mañana; (c) la tarde y (d) la noche

el InSTEC y 0,4 % en SMP). En la mañana y la noche el porcentaje de calmas fue similar.

En horas de la madrugada en la estación del InSTEC la dirección predominante del viento fue de región sur. En la mañana la dirección del viento fue del segundo cuadrante. En la tarde el viento tuvo una componente más acentuada del E y en la noche del ESE.

Las direcciones predominantes del viento durante el día en SMP mostraron poca variación. Durante la noche, la madrugada y la mañana el rumbo predominante de mayor frecuencia fue el ENE, mientras que en la tarde sufrió un ligero cambio hacia el NE.

El transporte horizontal de los contaminantes atmosféricos depende de la velocidad y dirección del viento. En el InSTEC, si los vientos son del primer cuadrante podría estar bajo la influencia de fuentes fijas circundantes, como la empresa de Concentrado y la tintorería Espada, del municipio Centro Habana; con vientos del segundo y tercer cuadrante de la empresa de embutidos “El Miño”, el Hospital Pediátrico del Cerro, la Antillana de Acero y la termoeléctrica Otto Parellada (Tallapiedra) y la refinería Níco López; con vientos del cuarto cuadrante de los hospitales Oncológico y “Calixto García” de Plaza de la Revolución (Cremata, 2013; Cuesta *et al.*, 2014).

En SMP si los vientos son de región S recibirá las emisiones de fuentes fijas cercanas como la empresa mecánica “Enrique Varona”. La refinería Níco López y el grupo electrógeno de Regla, juegan un papel determinante en la calidad del aire de este lugar con vientos del NE (Cuesta *et al.*, 2014).

1.4. Tipos de Situaciones Sinópticas

En la [figura 11](#) se muestra el por ciento de ocurrencia de los TSS por meses para el período de estudio. Predominaron el TSS I, asociado a la influencia del Anticiclón Subtropical del Atlántico, con un 33,3 % y el VIII, relacionado con los anticiclones continentales migratorios con un 39,9 % del total. Ellos fueron los sistemas sinópticos que

prevalecieron durante los períodos lluvioso y poco lluvioso, respectivamente. Este resultado corresponde con el comportamiento estacional que otros autores han observado en la región occidental ([Lapinel, 1988](#); [Fonseca, 2010](#); [Alonso, 2013](#); [Cala, 2015](#); [Bolufé, 2016](#)).

Vale destacar, el alto por ciento relacionado con los anticiclones continentales migratorios, especialmente en los meses de transición entre los períodos: mayo y octubre.

El TSS VIII comprende la influencia de los anticiclones típicos continentales de Norteamérica y de estos organismos en regiones marítimas sobre la costa oriental de los Estados Unidos o el Golfo de México. Se caracterizan por la presencia de una masa de aire fría, seca y estable que provoca una disminución notable de las temperaturas, la humedad del aire y las precipitaciones, asociándose al predominio de largas secuencias de días despejados con buen tiempo ([Lecha *et al.*, 1994](#)). Imponen, además, vientos de componente norte ([Cremata, 2013](#)). Esto explica el comportamiento de las variables meteorológicas en los meses de noviembre a abril, que no favorecen la dispersión de los contaminantes atmosféricos.

Algunos autores aseguran que estos sistemas arrastran las masas de aire frías desde el continente americano hacia latitudes bajas. Esta región geográfica, correspondiente al suroeste de los EE.UU y al norte de México es altamente industrializada, lo que unido al movimiento de las masas de aire, puede ocasionar el transporte transfronterizo de los contaminantes ([Cala, 2015](#); [López *et al.*, 2015](#)). Por otro lado, el TSS I, predominante en los meses de mayo a octubre, se caracteriza por masas de aire cálidas y húmedas, procedentes del océano Atlántico. El viento predominante asociado a este sistema puede ser del primero o segundo cuadrante, de región este fundamentalmente. Según [Galloway *et al.* \(1983\)](#), las masas de aire que provienen del este (Atlántico Norte) presentan concentraciones de contaminantes inferiores a las provenientes del oeste.

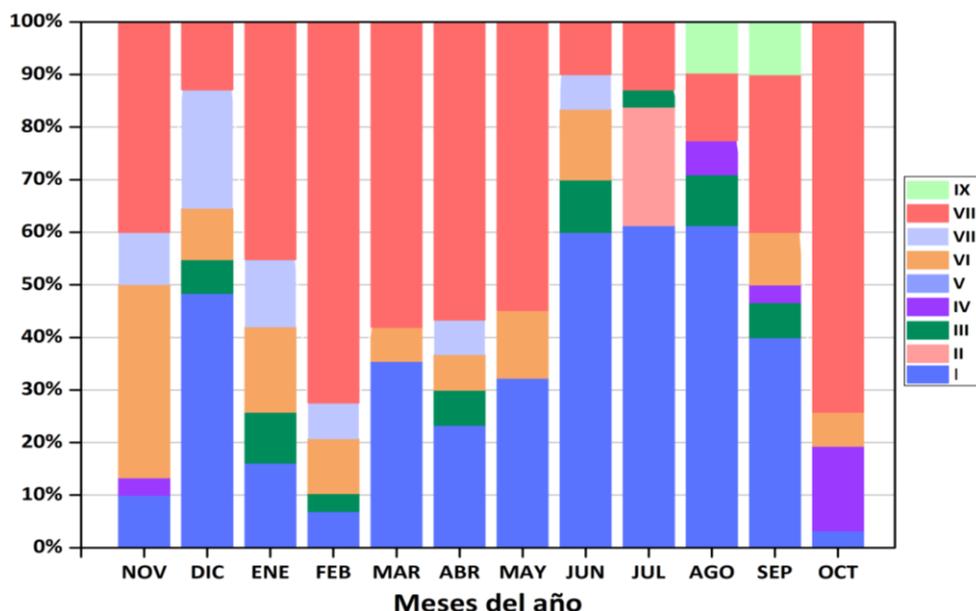


Figura 11. Por ciento de ocurrencia de los TSS por meses para el período desde noviembre del 2015 hasta octubre del 2016

CONCLUSIONES

1. Las marchas diaria, anual y estacional de las variables meteorológicas temperatura, humedad relativa y fuerza del viento en el período desde noviembre de 2015 hasta octubre de 2016 siguen el patrón típico de la región occidental de Cuba.
2. Es significativo el predominio de los anticiclones continentales migratorios en el período poco lluvioso.
3. Predomina la influencia del Anticiclón Subtropical del Atlántico Norte en los meses del período lluvioso.

REFERENCIAS

- Alonso, A. (2013) Estudio de algunos factores meteorológicos que influyen en la dispersión de la contaminación atmosférica en La Habana. Trabajo de Diploma. Facultad de Medio Ambiente. InSTEC. La Habana, Cuba.
- Ángel, L.; Ramírez, A. y Domínguez E. (2010) Isla de calor y cambios espacio-temporales de la temperatura en la ciudad de Bogotá. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 34 (131): 173-183. ISSN 0370-3908.

- Barcia, S. et al., (2014) Variabilidad temporal de las variables meteorológicas que intervienen en los pronósticos a corto plazo en Cuba. Revista Cubana de Meteorología, Vol. 20, No. 2. La Habana, Cuba. 114 - 124pp.
- Bolufé, J. et al., (2016) Influencia de la variabilidad del clima y la calidad del aire en algunas enfermedades crónicas no transmisibles en la región occidental de Cuba. Informe científico técnico. INSMET. La Habana, Cuba.
- Cala, Y. (2015) Patrones sinópticos y zonas de procedencia de masas de aire asociados a la acidificación de las lluvias en Casablanca. Trabajo de Diploma. Facultad de Medio Ambiente. InSTEC. La Habana, Cuba.
- Calderón, V. A. (2011) Evaluación de riesgos a la salud humana y vegetal debido a la presencia atmosférica de contaminantes MP₁₀, MP_{2.5}, SO₂, NO₂, O₃ y elementos traza en la cuenca del Aconcagua, Chile. Tesis para optar al grado de Magister en Gestión y Planificación Ambiental. Facultad de Ciencias Forestales y de la

- Conservación de la Naturaleza. Universidad de Chile. Santiago de Chile, Chile. 140pp.
- Carreras, C. et al., (1990) Modificaciones térmicas en las ciudades. Avance sobre la isla de calor en Barcelona. *Documents Di Análisi Geogràfica* 17: 51-77.
- Collazo, A. (2011) Análisis de la contaminación transfronteriza y local de contaminantes gaseosos precursores de la deposición ácida húmeda y formación de ozono en Cuba. Tesis en opción al grado de Magíster en Gestión y Planificación Ambiental. Universidad de Chile. Santiago de Chile, Chile.
- Cremata, L. (2013) Influencia de los Tipos de Situaciones Sinópticas en la deposición total de metales pesados. Caso de estudio. Trabajo de Diploma. Facultad de Medio Ambiente. INSTEC. La Habana, Cuba.
- Cuesta, O. (1995) Caracterización de las concentraciones de los principales compuestos del nitrógeno atmosférico en Cuba y su relación con los Tipos de Situaciones Sinópticas. Tesis presentada en opción al grado científico de Candidato a Doctor en Ciencias Geográficas. INSMET. La Habana, Cuba.
- Cuesta, O. et al., (2000) Evaluación del medio ambiente atmosférico en la ribera este de la bahía de La Habana y su repercusión en la salud. Informe científico técnico. INSMET. La Habana, Cuba.
- Cuesta, O. et al., (2009) Estado de la Contaminación Atmosférica en Cuba. Evaluación del medio ambiente cubano. ISBN 978-959-300-002-4. La Habana, Cuba.
- Cuesta, O. et al., (2014) Diagnóstico del medio ambiente atmosférico producto de las principales fuentes fijas de la Ciudad de la Habana. Informe científico técnico. INSMET. La Habana, Cuba. 192pp.
- Dayan, U. and Lamb, D. (2003) Meteorological indicators of summer precipitation chemistry in central Pennsylvania. *Atmospheric Environment* 37: 1045-1055.
- Fonseca, M. (2010) Caracterización de las concentraciones de los gaseosos del nitrógeno atmosférico asociados a diversos Tipos de Situaciones Sinópticas (TSS) en la estación La Palma, Pinar del Río, Cuba. Trabajo de Diploma. Facultad de Gestión de la Ciencia, la Tecnología y el Medio Ambiente. INSTEC. La Habana, Cuba.
- Galloway, J.N.; Knap, A.H. and Church, T.M. (1983) The composition of western Atlantic precipitation using shipboard collectors. *Journal of Geophysical Research* 88, 10: 859-864
- García, M. et al., (2014) Comportamiento de los vientos dominantes y su influencia en la contaminación atmosférica en la zona metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*. ISSN 2334-2501. Jalisco, México.
- Gómez, L. A. (2001) Comportamiento espacial y temporal de los contaminantes atmosféricos medidos por la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Santiago. Tesis de diploma. Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile. Santiago de Chile, Chile.
- Lapinel, B. (1988) La circulación atmosférica y las características espacio temporales de las lluvias en Cuba. Tesis presentada en opción al grado científico de Candidato a Doctor en Ciencias Geográficas. INSMET. La Habana, Cuba.
- Lecha, L.; Paz, L. R. y Lapinel, B. (1994) El Clima de Cuba. Editorial Academia. La Habana, Cuba. 196pp.
- López, C. M. (1978) Factores meteorológicos en la propagación de contaminantes del aire en La ciudad de La Habana. Informe Científico - Técnico No. 46. Editorial Academia. La Habana, Cuba.
- López, C. M. (2006) Introducción a la Gestión de la Calidad del Aire. Versión electrónica. Registro de Derecho de Autor No: 583 - 2007. Centro de Química y Contaminación Atmosférica, INSMET. La Habana, Cuba.
- López, R. et al. (2015) Contribución a la gestión de la calidad del aire en Cuba: Gases

contaminantes y Componentes químicos de la lluvia y su relación con las fuentes de emisión y condiciones meteorológicas. Informe de proyecto del CITMA. INSMET. La Habana, Cuba. 200pp.

Oke, T. R. (1989) The Micrometeorology of the Urban Forest. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences 324, 1223: 335-348, Forest, Weather and Climate.

Pérez, L. (2013) Lluvia y bienestar térmico en La Habana. Trabajo de Diploma. Facultad de Medio Ambiente. InSTEC. La Habana, Cuba.

Sánchez, P. y Cuesta, O. (1992) Smog en la Ciudad de La Habana. Situación meteorológica asociada. Revista Cubana de Meteorología, Vol. 5, No.1. La Habana, Cuba. 3 - 8pp.

Tang, A. et al., (2005) The chemistry of precipitation and its relation to aerosol in Beijing. Atmospheric Environment 39: 3397-3406.

Wuhang Yuhong, (2014) Manual de las Estaciones Automáticas - Automated Air Quality Monitoring System (TH-2000).

Zhu, J. and Liu, Z. (2003) Long-range persistence of acid deposition. Atmospheric Environment 37: 2605-2613.