

## ESPECTROS DE GOTAS DE NIEBLA EN LA SIERRA MADRE ORIENTAL

F. García-García y R.A. Montañez

Centro de Ciencias de la Atmósfera  
Universidad Nacional Autónoma de México

### INTRODUCCION:

La niebla es un agregado de gotitas de agua suspendidas en la atmósfera a nivel del suelo y que, de acuerdo a la definición internacional, reduce la visibilidad horizontal a menos de un kilómetro. En otras palabras, la niebla es una nube que se localiza muy cerca de la superficie de la tierra. Existen dos condiciones necesarias para su formación: una de carácter microfísico y una termodinámica. La primera implica la presencia de núcleos de condensación de nube para iniciar la condensación de vapor de agua disponible. La condición termodinámica consiste en que la temperatura del aire y la de punto de rocío sean aproximadamente iguales, lo cual se puede lograr en la atmósfera mediante tres procesos básicos: en friamiento del aire hasta el punto de rocío, adición de vapor de agua al aire, o mezcla vertical de parcelas de aire húmedo de temperaturas diferentes. Aunque más de uno de estos procesos básicos puede ocurrir durante un evento de niebla, generalmente alguno de ellos será el dominante. Existe además otro posible mecanismo indirecto de formación de niebla, conocido como "niebla costera". En este último caso, ciertos bancos de nubes stratus poco profundas, que suelen formarse sobre el océano en regiones costeras del mundo, son llevados por advección tierra adentro e interceptados en terrenos altos, donde se convierten en un caso de niebla. Así, las características microfísicas en cada caso particular (espectro y concentración de gotitas, contenido de agua líquida, etc.) dependerá del origen, estado de desarrollo e intensidad del evento.

Debido a los peligros que representa para la industria del transporte, los primeros estudios recientes sobre niebla se concentraron en su disipación por métodos artificiales (Silverman & Weinstein 1974). Sin embargo, el potencial del fenómeno como recurso hidráulico ha llevado al establecimiento de proyectos con el fin de extraer cantidades apreciables de agua para consumo humano (Schemenauer et al. 1988). En todo caso, la caracterización microfísica de las diferentes etapas de desarrollo del fenómeno es indispensable tanto para su comprensión integral como para la implementación de programas con enfoques aplicados.

En México existen estudios acerca de la distribución espacial y temporal de ocurrencia de niebla, basados generalmente en registros de estaciones climatológicas (Maderrey et al. 1989). Para la Sierra Madre Oriental, algunos reportes a nivel regional han descrito diferentes aspectos de la importancia del fenómeno para el desarrollo y mantenimiento de ciertos tipos de vegetación (Vogelmann 1973), así como para el balance hidrológico del área (Barradas 1983). También a nivel regional, Fitzjarrald (1986) reportó que el régimen de vientos de mesoescala, que propician la advección de nubes formadas sobre el Golfo de México y la Planicie Costera hacia el Altiplano, es relevante para la formación de nieblas costeras en esa zona. El único estudio microfísico de niebla del que tengamos noticia en nuestro país es el de García & Montañez (1991), quienes caracterizaron algunos eventos en la Sierra. El presente reporte es una continuación de este último trabajo. Los resultados de una segunda campaña de muestreo llevada a cabo durante el mes de enero de 1991 en la misma área, indican que las características microfísicas de distintos eventos de niebla en la Sierra pueden ser diferentes aún bajo condiciones sinópticas similares y durante la misma época del año. Dichos resultados se presentan a continuación.

### DESCRIPCION DEL EVENTO Y METODOLOGIA

El caso de estudio aquí reportado ocurrió el día 13 de enero de 1991. El sitio de muestreo comprende un trayecto de 4.5 km de longitud, localizado en la Carretera Estatal de Puebla que comunica las poblaciones de Zaragoza y Zacapoaxtla. Las condiciones sinópticas imperantes correspondieron a la típica situación de "norte" que ocurre comúnmente durante el invierno en las costas del Golfo de México. Aproximadamente a las 1500 HL (hora local), el sitio fue cubierto por una nube proveniente del norte, acarreada por el viento a una velocidad de 8km/h. La visibilidad a nivel del suelo disminuyó a menos de 400 m. La niebla persistió durante una hora y media, disipándose por completo aproximadamente a las 17:45 HL.

Para su caracterización microfísica se hicieron

varias penetraciones en la nube con una camioneta instrumentada (Montañez & García 1991) equipada con dos espectrómetros de gotas. El primero de ellos es un Espectrómetro de Dispersión Frontal (FSSP<sup>1,3</sup>) capaz de detectar partículas con diámetros entre 2.5 y 70  $\mu\text{m}$ , con una resolución nominal de 3  $\mu\text{m}$ , [para detalles de operación y funcionamiento, ver García & Montañez (1989)]. El segundo instrumento es un Espectrómetro de arreglo Óptico (OAP<sup>2,3</sup>) para conteo de gotas con rango nominal de 800  $\mu\text{m}$  (Knollenberg 1976), y fué utilizado con una resolución de 13.6  $\mu\text{m}$ . Los datos fueron analizados tomando promedios de distribuciones de gotas para trayectos de 0.1, 1.0 y 4.5 km de longitud. Para mayores detalles acerca del sitio y de la metodología de muestreo, el lector puede referirse a García & Montañez (1991).

## RESULTADOS Y DISCUSION:

En la figura 1 se presentan las distribuciones por tamaño de gota obtenidas con los dos espectrómetros, promediadas sobre la longitud total del trayecto de muestreo, para una penetración en la nube efectuada a las 1517 HL. Las concentraciones totales de gotas obtenidas con el FSSP y con el OAP fueron 166  $\text{cm}^{-3}$  y 38  $\text{cm}^{-3}$ , correspondiendo a contenidos de agua líquida de 0.106  $\text{g m}^{-3}$  y 0.215  $\text{g m}^{-3}$ , respectivamente. Sin embargo, dichas concentraciones variaron de aproximadamente 150  $\text{cm}^{-3}$  y 32  $\text{cm}^{-3}$  para los tres primeros tramos de 1 Km. de longitud, hasta 234  $\text{cm}^{-3}$  y 43  $\text{cm}^{-3}$  para los dos últimos tramos. Esta diferencia indica inhomogeneidades espaciales en la nube que no fueron tan marcadas para penetraciones subsecuentes en las que se observó que los valores relativos permanecieron constantes, con una disminución en la concentración absoluta de hasta en un 35%. Hay que hacer notar que el diámetro máximo detectado fue de 204  $\mu\text{m}$ , y que, aunque menos del 1% de la concentración total obtenida con el OAP correspondió a gotas mayores que 50  $\mu\text{m}$ , la contribución de este rango del espectro al contenido de agua líquida de la nube es muy importante. (Figura 2).

Los parámetros microfísicos corresponden a características típicas de nubes stratus, con pequeñas zonas de convección inmersa en la nube debido a las modificaciones sufridas por efecto orográfico (ver Pruppacher & Klett 1978). El valor del diámetro de la masa media obtenido (10  $\mu\text{m}$ , en el rango de 5 a 40  $\mu\text{m}$ ), corrobora esta última observación. La disminución de la concentración total con el tiempo es indicativa de la etapa disipativa de la nube mientras que la presencia de gotas de llovizna (> 100  $\mu\text{m}$ ) apunta a que el proceso de desarrollo de la nube por mecanismos de colisión-coalescencia se encontraba en estado avanzado o maduro.

Aunque las situaciones sinópticas en el caso aquí analizado y en aquellos presentados por García & Mon-

tañez (1991) fueron similares, las diferencias microfísicas son obvias. En la primera campaña de muestreo, los espectros de gotas mostraron rangos de tamaños más reducidos (de hasta unas 70  $\mu\text{m}$ ), pero de diámetros de la masa de entre 24 y 19  $\mu\text{m}$  y contenidos de agua líquida de hasta 0.85  $\text{g m}^{-3}$ . En conclusión puede decirse que, independientemente de las condiciones sinópticas imperantes, eventos de niebla de muy diferente origen y desarrollo pueden producirse en la región.

## RESUMEN Y CONCLUSIONES:

Se realizaron mediciones de características microfísicas de niebla en la Sierra Madre Oriental haciendo uso de una camioneta instrumentada para estudios de física de nubes y precipitación. Las distribuciones por tamaño, obtenidas con dos espectrómetros de gotas, indicaron la presencia de gotas de llovizna, lo que constituye una diferencia importante en relación a casos analizados anteriormente.

Los resultados obtenidos tiene implicaciones importantes en la planeación de programas con enfoques aplicados. En particular, si se pretendiera la implementación de proyectos para la extracción de agua de niebla para consumo humano, los colectores utilizados deberían ser diseñados con la capacidad de atrapar gotas de agua de muy diferentes tamaños para, de esta manera, optimizar la eficiencia bajo cualquier condición presente. Sería de seable caracterizar eventos de niebla no sólo en la Sierra, sino también en otras regiones del país, bajo distintas condiciones sinópticas y para diferentes épocas del año. Esto último se encuentra actualmente en etapa de planeación.

## AGRADECIMIENTOS:

Los autores agradecen el apoyo técnico prestado por los Ings. J. Escalante, A. Rodríguez y V. Zarraluqui del Laboratorio de Instrumentación Meteorológica del Centro de Ciencias de la Atmósfera. El desarrollo de los programas de cómputo para el análisis de datos del Espectrómetro de Arreglo Óptico se debe a los Srs. J.M. Alvarez y J. Torreblanca. El análisis sinóptico fué proporcionado por el Ing. E. Azpra. El presente trabajo fué realizado con apoyo del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua de la Comisión Nacional del Agua, y del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CoNaCyT).

## REFERENCIAS:

Barradas V. L., 1982: Capacidad de captación de agua a partir de la niebla en *Pinus Montezumae* Lambert, de la región de las grandes montañas del Estado de Veracruz Biótica, 8 427-431.

Fitzjarrald D.R., 1986: Slope winds in Veracruz. *J. Climate Appl. Meteor*, 25, 133-144.

García-García F., and R. A. Montañez, 1989: Evaluación de un espectrómetro de gotas para estudios de microfísica de nubes. *Geos. (Boletín Unión Geofísica Mexicana)*. Epoca II. 9, 25-31.

García-García F., and R. A. Montañez, 1991: Warm fog in eastern México: A case study. *Atmósfera*, 4, 53-64.

Knollenberg, R.G., 1976: Three new instruments for cloud physics measurements: The 2-D Spectrometer, the Forward Scattering Spectrometer Probe, and the Active Scattering Aerosol Spectrometer. *Prepr. Int. Cloud Phys. Conf.*, July 26-30, Boulder, Colo. *Amer. Meteor. Soc.*, 554-561.

Mederey L. E., H. del Castillo y F. J. Cruz, 1989: Distribución del rocío y de la niebla: Fuentes de humedad para la vegetación en la República Mexicana. *Ciencia*, 40, 223-231.

Montañez R.A., y F. García-García, 1991: Vehículo instrumentado para estudios de microfísica de nubes y precipitación. Reunión anual Unión Geofísica Mexicana, Noviembre 11-15, Puerto Vallarta Jalisco.

Pruppacher H.R., and J. D., Klett, 1978: *Microphysics of Clouds and Precipitation*. D. Reidel Publishing Co., 714 pp.

Schemenauer R. S., H. Fuenzalida and P. Cereceda, 1988: A neglected water resource: The emanchaca of South America. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 69, 138-147.

Silver B.A., and A. I. Weinstein, 1974: Fog. In: *Weather and Climate Modification*, W.N. Hess (Editor). John Wiley & Sons, 355-383.

Vogelmann H. W., 1973: Fog precipitation in the cloud forests of eastern México. *BioScience*, 23, 96-100.

