

# Sulfatos y nitratos en las lluvias y tipos de situaciones sinópticas: período noviembre 2008–abril 2010

*Sulfates and nitrates in rainfall and types of synoptic situations: period november 2008 - april 2010.*

**Dra. Rosemary López Lee** | [rosemary.lopez@insmet.cu](mailto:rosemary.lopez@insmet.cu) | Centro de Contaminación y Química de la Atmósfera, INSMET

Recibido: 30 de enero, 2013; Aceptado: 15 de mayo, 2013. pp. 106 - 112.

## Resumen

La composición química de la lluvia depende de las estaciones del año y se ve afectada por las condiciones del tiempo a escala sinóptica. El objetivo de este resumen es determinar la relación entre las concentraciones de sulfatos no marinos y nitratos presentes en las lluvias, y los sistemas sinópticos que afectaron a Cuba durante el período noviembre de 2008 a abril de 2010. Las muestras mensuales de agua de lluvia provienen de cuatro estaciones de la región Occidental, dos estaciones de la región Central y cinco estaciones de la región Oriental. La cuantificación de las especies químicas se realizó por cromatografía iónica y se utilizó el estadígrafo de la moda para determinar el tipo de situación sinóptica (TSS) mensual predominante para el occidente, el centro y el oriente de Cuba. En las regiones Occidental y Central se observó un aumento de las concentraciones de nitratos y sulfatos no marinos durante el período poco lluvioso, cuando predomina la presencia del anticiclón continental y los frentes fríos, probablemente, debido al transporte local de contaminantes desde los Estados Unidos. En cambio, en la región Oriental, estas especies químicas mostraron un patrón de comportamiento inverso: las mayores concentraciones de nitratos y sulfato no marinos fueron observadas durante el período lluvioso, tal vez por el predominio de la situación sinóptica del anticiclón del Atlántico

Norte.

**PALABRAS CLAVE:** composición química de la precipitación, situación sinóptica, lluvia, estación de las lluvias, período poco lluvioso, Cuba.

## Abstract

The chemical composition of rain depends on the seasons and synoptic conditions. The aim of this study was to determine the relationship between concentrations of non-marine sulphate and nitrates in rainfall and synoptic systems affecting Cuba during the period November 2008–April 2010. Monthly rainwater samples were gathered from 4 Western monitoring stations, 2 Central monitoring stations and 5 Eastern monitoring stations. The Chemical analyses were conducted using ion chromatography equipment. The monthly synoptic situation was determined by mode statistic function. The Western exhibited increased concentrations of non-marine sulphate and nitrates during the dry season when the anticyclone continental and cold fronts predominated, most likely due to the long-range transport of pollutants from the northeastern United States and locally. In contrast, in the eastern region, the inmissions patron of non-marine sulphate and nitrates were inverse. The highest concentrations was exhibited during the rainy season possibly associated with the predominance of North Atlantic anticyclo-

ne.

**KEYWORDS:** Chemical composition of precipitation, synoptic situation, rain, rainy period, dry period, Cuba.

## Introducción

Muchos son los autores que han relacionado los patrones sinópticos con la contaminación atmosférica a escalas local y regional para poder conocer el comportamiento de los diversos compuestos según las características de estos patrones sinópticos (Rodríguez, 1991; Cuesta, 1995; Tang *et al.*, 2005; Baéz *et al.*, 2006). Los sistemas sinópticos que, en gran medida, han ocasionado incrementos de contaminantes en la depositación húmeda en Pensilvania fueron los frentes fríos y los frentes cálidos (Buda y DeWalle, 2002). Dayan y Lamb (2003) determinaron, además, que los sistemas sinópticos que más influyen en la composición química de las precipitaciones de verano son los sistemas de tipo convectivo con altas presiones al sur (HSC, por sus siglas en inglés) y los frentes fríos, en los cuales se cuantificaron las mayores concentraciones de los analitos mayoritarios estudiados (iones hidrógeno, sulfato, nitrato y amonio). Estos sistemas producen tormentas convectivas que limpian de forma eficiente los contaminantes en el nivel inferior de la tropósfera.

En Puerto Rico, durante el verano, el polvo del desierto de Sahara contribuye con una porción significativa de iones calcio, potasio y magnesio, mientras que durante los meses de invierno, los frentes fríos transportan sulfatos y nitratos desde Norteamérica (McDowell *et al.*, 1990; Reyes-Rodríguez *et al.*, 2009).

En Cuba, el tipo de situación sinóptica denominado frente frío o zona frontal, según la clasificación de Lapinel (1988), produce lluvias asociadas a nubes que en su trayectoria han recorrido gran parte del continente americano del hemisferio norte. Este tipo de sistema sinóptico afecta a Cuba durante el período

de poco lluvioso (noviembre–abril), el cual coincide con los meses de temperaturas más bajas para el hemisferio norte, mientras que durante el período lluvioso (mayo–octubre), las situaciones sinópticas que afectan son, generalmente, hondonadas y ciclones tropicales que, en sus retrotrayectorias, han recorrido gran parte de América Central y(o) el Mar Caribe antes de llegar al país. Rodríguez (1991) observó que la acidez de las lluvias vinculadas con los frentes fríos se acentuó en estaciones de la región Occidental.

De esta forma, los tipos de situaciones sinópticas, según su origen y su lugar de desplazamiento, pueden estimular el aumento o la disminución de las especies químicas en las precipitaciones (Rodríguez, 1991); por ello, el objetivo de este trabajo es determinar la relación entre las concentraciones mensuales de sulfato no marino y nitrato en aguas de lluvia, y los tipos de situaciones sinópticas durante el período noviembre de 2008 a abril de 2010 en Cuba.

## Materiales y métodos

### Estaciones de muestreo

La figura 1 muestra las estaciones de monitoreo utilizadas durante la investigación.

### Muestreo

La toma de las muestras de agua de lluvia se realizó utilizando un colector manual que se expuso solo durante la precipitación y se retiró rápidamente al finalizar esta, con el objetivo de eliminar los aportes a las muestras de compuestos provenientes de la depositación seca de aerosoles y gases. Aunque se muestreó cada evento individual de lluvia, sus aportes fueron combinados en una sola muestra mensual con vistas a obtener una composición “promedio”.

### Datos meteorológicos

Los tipos de situaciones sinópticas fueron clasificados de conjunto por especialistas del Centro del

Clima, el Centro de Física de la Atmósfera, y el Centro de Química y Contaminación del INSMET, y de forma diaria para las tres regiones en que se divide Cuba: Occidental, Central y Oriental, según Lapinel (1988).

Con miras a determinar el tipo de situación sinóptica mensual predominante para el occidente, el centro y el oriente de Cuba se utilizó el estadígrafo de la moda, a partir de los cuales se determinó, a su vez, el TSS predominante en cada región para dos períodos poco lluvioso (noviembre 2008-abril 2009) y (noviembre 2009-abril 2010), y un período lluvioso (mayo 2009-octubre 2009). De este modo, se recopiló la información con respecto al número y el tipo de frentes fríos que afectaron cada región durante los períodos poco lluviosos.

#### Procedimientos analíticos

La cuantificación de las especies químicas  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  se realizó en un cromatógrafo de intercambio iónico ICS-3000, para lo cual las muestras fueron previamente filtradas a través de membranas Millipore de  $0,45 \mu\text{m}$  (López, 2012).

## Resultados y discusión

La tabla 1 muestra el predominio de la situación sinóptica anticiclón continental polar durante los dos períodos poco lluviosos, que se caracteriza por altas polares típicas que dejan sobre el territorio de Cuba bajas temperaturas y vientos de componente norte desde el continente americano. En el período lluvioso predomina el anticiclón del Atlántico Norte, que se caracteriza por vientos húmedos del este. Según Galloway *et al.* (1983), en el Mar Caribe, las masas de aire del oeste que provienen del continente presentan concentraciones de nitrato y sulfato significativamente superiores a las que provienen del este (Atlántico Norte).

La tabla 2 muestra que el occidente fue afectado por un mayor número de frentes fríos de los tipos 14 (frente frío clásico), 16 (frente frío casi estacionario) y 17 (frente frío en disipación). Estos producen lluvias asociadas a nubes que en su trayectoria han recorrido gran parte del continente americano del hemisferio norte (Lapinel, 1988); por ende, este tipo de situación sinóptica puede estimular el aumento de las concen-

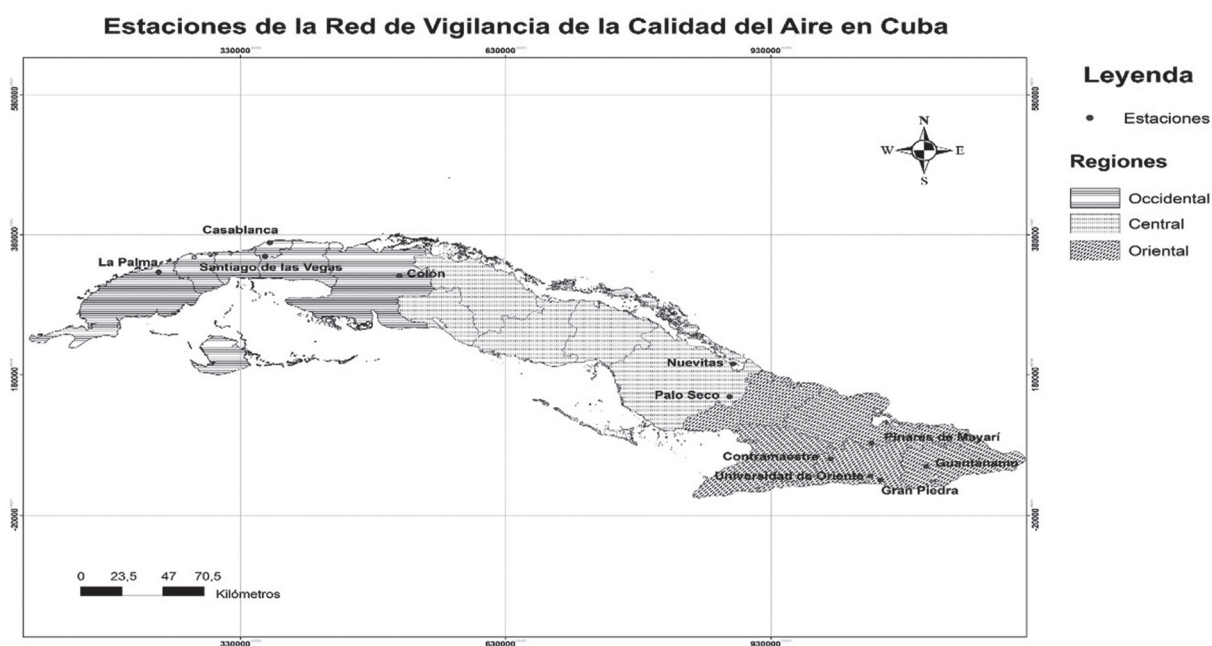


Fig. 1 Estaciones de monitoreo.

TABLA 1

Tipo de situación sinóptica predominante en las regiones de Cuba durante el período de noviembre de 2008 a abril de 2010

Período	Región Occidental	Región Central	Región Oriental
Poco lluvioso (noviembre 2008-abril 2009)	Anticiclón Continental Polar (tipo VIII)	Anticiclón Continental Polar (tipo VIII)	Anticiclón Continental Polar (tipo VIII)
Lluvioso (mayo 2009-octubre 2009)	Anticiclón del Atlántico (tipo I)	Anticiclón del Atlántico (tipo I)	Anticiclón del Atlántico (tipo I)
Poco lluvioso (noviembre 2009-abril 2010)	Anticiclón Continental Polar (tipo VIII)	Anticiclón Continental Polar (tipo VIII)	Anticiclón del Atlántico (tipo II)

TABLA 2

Número y tipos de frentes fríos que afectaron a las regiones de Cuba durante los períodos poco lluviosos de noviembre de 2008 a abril de 2009 y noviembre de 2009 a abril de 2010

Período	Año	Mes	tipos	R. Occidental	R. Central	R. Oriental
Poco lluvioso (noviembre 2008-abril 2009)	2008	11	14	3	3	3
			16	-	-	-
			17	-	-	-
	2008	12	14	4	4	3
			16	-	-	-
			17	-	-	-
	2009	1	14	3	3	2
			16	-	-	-
			17	2	1	1
	2009	2	14	3	2	2
			16	-	-	-
			17	-	-	-
2009	3	14	-	-	-	
		16	-	-	-	
		17	-	-	-	
2009	4	14	2	2	2	
		16	-	-	-	
		17	-	-	-	
Poco lluvioso (noviembre 2009-abril 2010)	2009	11	14	4	4	3
			16	-	-	-
			17	-	-	-
	2009	12	14	1	1	-
			16	3	2	1
			17	-	-	-
	2010	1	14	4	2	2
			16	1	-	-
			17	1	1	-
	2010	2	14	7	4	3
			16	-	-	-
			17	1	-	-
2010	3	14	5	4	2	
		16	-	-	-	
		17	1	-	-	
2010	4	14	-	-	-	
		16	-	-	-	
		17	-	-	-	

traciones de las especies químicas de las precipitaciones. Diferentes autores han identificado al territorio de los Estados Unidos, en especial la zona industrializada del NE, como el causante de procesos de transporte transfronterizo de nitratos y sulfatos hacia el Mar Caribe, fundamentalmente, durante el período poco lluvioso asociado con la llegada de los frentes fríos TSS VII (Jickells *et al.*, 1982; McDowell *et al.*, 1990).

Las figuras 2 y 3 muestran que el comportamiento estacional de las concentraciones de los iones  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  no marino es diferente entre las regiones de Cuba. Las regiones Occidental y Central alcanzan mayores concentraciones durante el período poco lluvioso en comparación con el período lluvioso; en la región Oriental se observó lo contrario.

La variabilidad regional en el comportamiento de las concentraciones mensuales de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  no marino de Cuba pudiera estar asociada con el tipo de situación sinóptica predominante, puesto que durante el período poco lluvioso, por la presencia del anticiclón continental y los frentes fríos, llegan a Cuba masas de aire que en su trayectoria han recorrido gran parte del continente americano del hemisferio norte, las cuales pudieran estar enriquecidas en nitratos y sulfatos, y afectarían primero a la región Occidental. Además, en la estación de Casablanca (región Occidental), durante el período poco lluvioso 2007 hubo una mayor contribución de masas de aire del TSS VIII vinculadas con trayectorias provenientes de fuentes externas a Cuba (Collazo, 2011).

Por otra parte, los frentes fríos pueden transportar hacia el este contaminantes desde sitios urba-

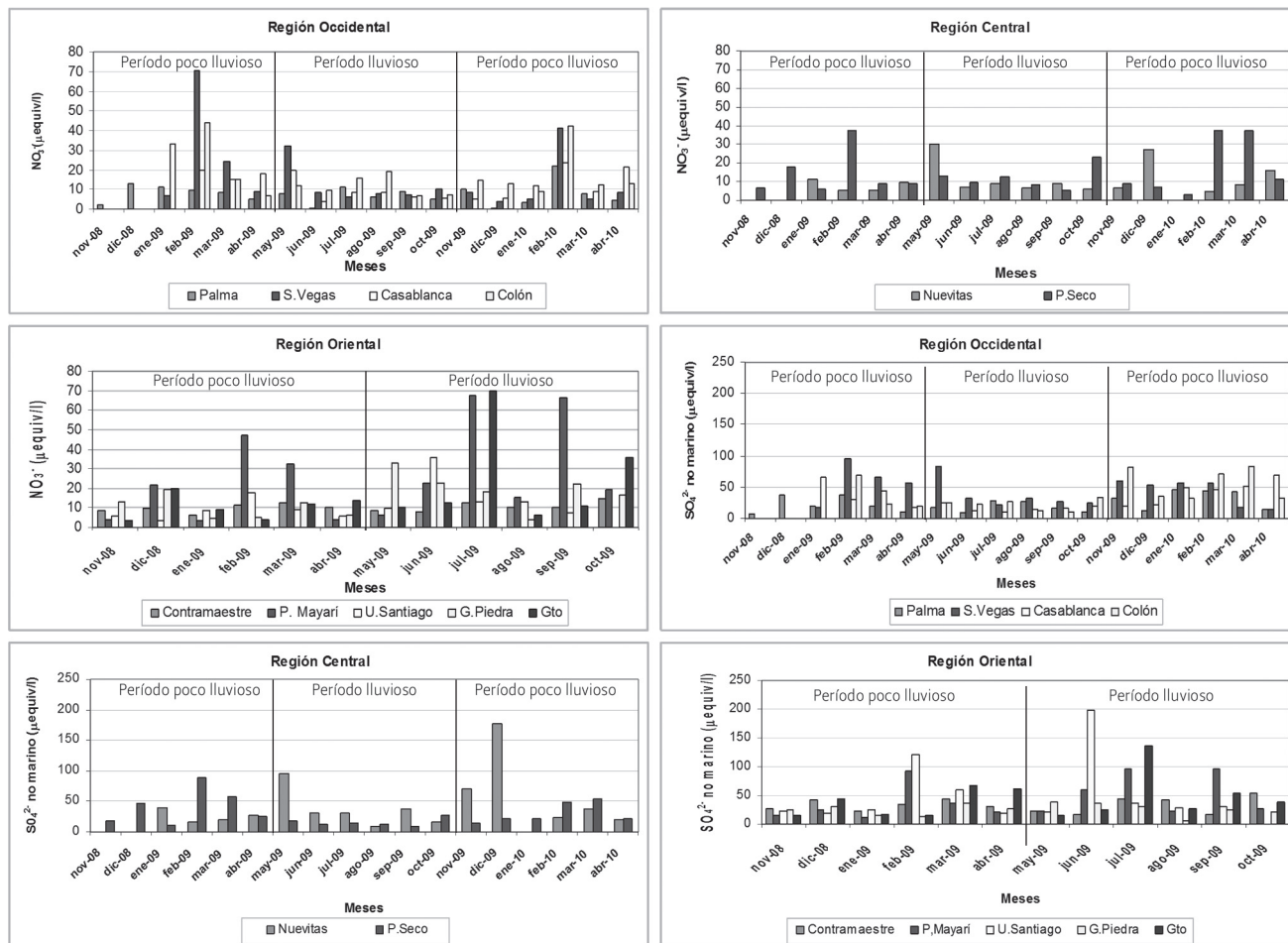


Fig. 2 Variación mensual del  $\text{NO}_3^-$  durante el período de noviembre de 2008 a abril de 2010, en las estaciones de monitoreo de las regiones Occidental, Central y Oriental.

Fig. 3 Variación mensual del  $\text{SO}_4^{2-}$  no marino durante el período de noviembre de 2008 a abril de 2010, en las estaciones de monitoreo de las regiones Occidental, Central y Oriental.

nos e industriales situados en el oeste de Cuba, que podrían aumentar las concentraciones de nitratos y sulfatos no marinos en las estaciones de Stgo. de las Vegas, Casablanca y Colón, situadas en la región Occidental (Fig. 4).

Sin embargo, en las estaciones de la región Oriental se observan mayores concentraciones durante el período lluvioso, tal vez en relación con el predominio de la situación sinóptica del Anticiclón del Atlántico Norte, que se caracteriza por vientos predominantes con una componente noreste, lo cual, probablemente, facilita el transporte de nitratos y sulfatos no marinos hacia las estaciones de monitoreo de las provincias orientales desde el noreste de la región Oriental,

donde se encuentran una termoeléctrica y una zona industrial para el procesamiento de níquel.

## Conclusiones

La variación estacional de los nitratos y sulfatos está determinada no solo por la magnitud y la cercanía a las fuentes de emisión, sino también por las condiciones meteorológicas. De esta manera, la química de las precipitaciones en Cuba está influenciada por los transportes local y regional de contaminantes.

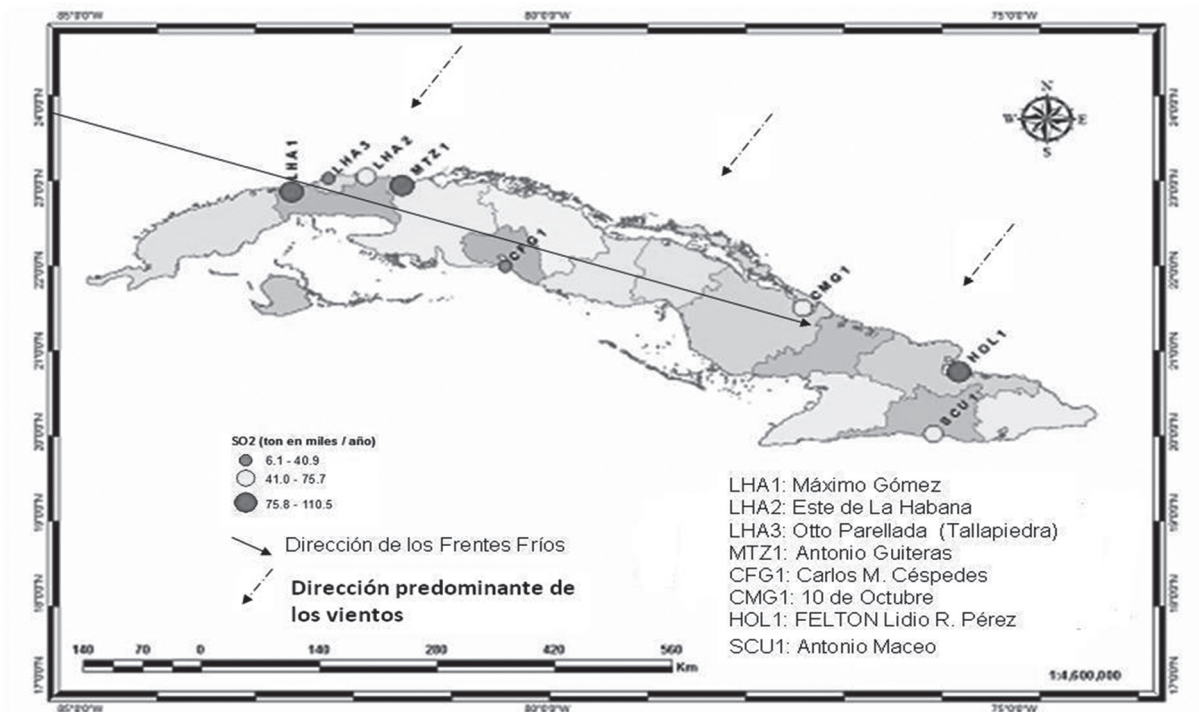


Figura 4. Distribución de las emisiones de  $SO_2$  provenientes de centrales termoeléctricas, la dirección de los vientos predominantes y los frentes fríos.

Fuente: Modificado de Collazo, 2011.

## Recomendaciones

Los resultados muestran la necesidad y la importancia de realizar un monitoreo por evento de lluvia sistemático para desarrollar la climatología química de la lluvia en Cuba.

## Referencias

- Báez, A. P., Belmont, R. D., García, R.M., Torres, M. C. B. y Padilla, H. G. 2006: "Rainwater chemical composition at two sites in Central Mexico", *Atmospheric Research*, 80: 67-85.
- Buda, A. y De Walle, D. R. 2002: "Potential effects of changes in precipitation and temperature on wet deposition in central Pennsylvania", *Atmospheric Environment*, 36: 3767-3778.
- Collazo, A. 2011: Análisis de la contaminación transfronteriza y local de contaminantes gaseosos pre-

cursores de la depositación ácida húmeda y formación de ozono en Cuba. Tesis para optar al grado de magíster en Gestión y Planificación Ambiental, Santiago de Chile, 92 pp.

- 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 en opción al grado científico de candidato a doctor en Ciencias Geográficas, La Habana.
- Dayan, U. y Lamb, D. 2003: Meteorological indicators of summer precipitation chemistry in central Pennsylvania, *Atmospheric Environment*, 37: 1045-1055.
- Galloway, J. N., Knap A. H. y Church, T. M. 1983: "The composition of western Atlantic precipitation using shipboard collectors", *Journal of Geophysical Research*, 88, 10: 859-864.
- Jickells, T., Knap, A., Church, T., Galloway, J. y Miller,

- J. 1982: “Acid rain on Bermuda”, *Nature*, 297, 55–57.
- Lapinel, B. 1988: La circulación atmosférica y las características espacio-temporales de las lluvias en Cuba. Tesis en opción al grado científico de candidato a doctor en Ciencias Geográficas, Camagüey, 108 pp.
- López, R. 2012: “Componentes iónicos de la lluvia, fuentes de emisión y condiciones meteorológicas estacionales en Cuba”, *Revista cubana de meteorología*, 18 (2):59–75.
- McDowell, W. H., Sánchez, C. G., Asbury, C. E. y Ramos, C. R. 1990: “Influence of sea SALT aerosols and long range transport on precipitation chemistry at El verde, Puerto Rico”, *Atmospheric Environment*, part A, 24 (11): 2813–2821.
- Reyes-Rodríguez, G. J., Gioda, A., Mayol-Bracero, O. L. y Collett, J. Jr. 2009: “Organic carbon, total nitrogen, and water-soluble ions in clouds from a tropical montane cloud forest in Puerto Rico”, *Atmospheric Environment*, 43: 4171–4177.
- Rodríguez, A. 1991: Composición química de las precipitaciones de sistemas meteorológicos y acidez de la lluvia en Cuba. Tesis presentada en opción al grado científico de candidato a doctor en Ciencias Geográficas, La Habana, 111 pp.
- Tang, A., Zhuanga, G., Wanga, Y., Yuana, H. y Suna, Y. 2005: “The chemistry of precipitation and its relation to aerosol in Beijing”, *Atmospheric Environment*, 39: 3397–3406.