



Revista de Ciencias Ambientales (Trop J Environ Sci). EISSN: 2215-3896.

1994. Vol 11(1): 23-28.

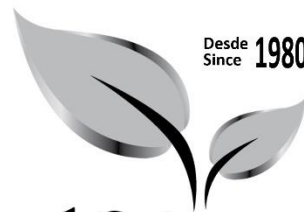
DOI: <http://dx.doi.org/10.15359/rca.11-1.3>

URL: [www.revistas.una.ac.cr/ambientales](http://www.revistas.una.ac.cr/ambientales)

EMAIL: [revista.ambientales@una.cr](mailto:revista.ambientales@una.cr)

Arturo E. Rodríguez C.

# Revista de CIENCIAS AMBIENTALES Tropical Journal of Environmental Sciences



## Composición química de la lluvia en Cuba

Chemical composition of rain in Cuba

*Arturo E. Rodríguez C.,*



Los artículos publicados se distribuyen bajo una Creative Commons Reconocimiento al autor-No comercial-Compartir igual 4.0 Internacional (CC BY NC SA 4.0 Internacional) basada en una obra en <http://www.revistas.una.ac.cr/ambientales>, lo que implica la posibilidad de que los lectores puedan de forma gratuita descargar, almacenar, copiar y distribuir la versión final aprobada y publicada (*post print*) del artículo, siempre y cuando se realice sin fines comerciales y se mencione la fuente y autoría de la obra.

## COMPOSICION QUIMICA DE LA LLUVIA EN CUBA (Recepción del artículo-18 Abril 1993)

Arturo E. Rodríguez C.<sup>1</sup>

### ABSTRACT

Eleven sampling station of the Air Pollution Network Sampling of Cuba allowed the chemical characterization at regional and local level of the precipitation. The sampling points were distributed all over the country, and the study were conducted during the 1980-1990 period.

The chemical composition of the cations (amonia, calcium, magnesium and sodium) and the anions (sulphate, chloride, nitrate and bicarbonate) were determined. Special attention had the regional and local acidity of the rain. Using the Gran's Method the total acidity and the concentration for strong and weak acid was determined. There was not acid rain over Cuba at the regional level ( $\text{pH} > 5.6$ ), however at the local level there were sampling station that showed lower pH. Acids such as formic acid and acetic acid seem to be the higher contributors to the total acidity. Different mathematical models for rain acidity forecasting were established by the use of data from the Casablanca sampling station at La Habana, Cuba.

### RESUMEN

Se caracterizó a nivel regional la composición química de la lluvia en Cuba colectadas en las once estaciones de la Red de Estaciones de Muestreo de la Contaminación del Aire distribuidas por todo el país, durante el período 1980-1990. Fueron hallados los valores de concentración de los principales aniones (sulfato, cloruro, nitrato y bicarbonato), así como los cationes (amonio, calcio, magnesio, sodio y potasio). Especial atención se brindó a la acidez de las lluvias, estudiando la tendencia a la acidez regional y localmente. Empleando el método de valoración de Gran se estableció la acidez total y las concentraciones de ácidos fuertes y débiles. Se encontró que la lluvia sobre Cuba no es ácida a nivel regional ( $\text{pH} > 5.6$ ), aunque localmente existen estaciones con tendencia a la acidez; se demostró la mayor importancia de los ácidos débiles (fórmico y acético) en la acidez total. Empleando los datos de la estación Casablanca, en Ciudad de La Habana, se establecieron diferentes modelos matemáticos para el cálculo y pronóstico de la acidez de la lluvia.

---

<sup>1</sup> Instituto de Meteorología, Academia de Ciencias de Cuba.

## INTRODUCCION

El estudio de la composición química de las precipitaciones atmosféricas es uno de los objetivos principales del sistema de Vigilancia de la Atmósfera Global, al cual se le brinda una meticulosa atención por parte del Servicio Meteorológico de Cuba. En este contexto se tiene un particular esmero en la detección y análisis de las lluvias ácidas, las cuales constituyen uno de los problemas más graves que afronta la humanidad en las postrimerías del siglo XX, por los daños que las mismas causan a los diferentes ecosistemas terrestres y acuáticos. Cuba dispone para monitoreo de la calidad de la lluvia, de una red de estaciones que permite establecer el grado de contaminación en los niveles e impacto, local y regional. El presente trabajo muestra los resultados obtenidos en el estudio de la química de la lluvia a nivel regional.

## DISCUSION DE LOS RESULTADOS

### Composición química de la lluvia

Los resultados de la composición química de la lluvia, a nivel regional, en Cuba se muestran en la Tabla 1. En la misma se pueden apreciar algunas de las regularidades que presentan los constituyentes de las precipitaciones en el país. Los iones cloruro y sodio se encuentran en concentraciones relativamente altas, ya que los mismos son fundamentalmente de origen marino y, al ser Cuba una isla larga y estrecha, la mayoría de las estaciones se encuentran situadas en las proximidades de las costas (distancias inferiores a los 50 km). Los iones asociados al suelo y producidos por las actividades agropecuarias (calcio, potasio y amonio) exhiben, asimismo, elevadas concentraciones. Teniendo en cuenta la naturaleza de los suelos en Cuba, son de esperar los altos valores de calcio y bicarbonato detectados. Las actividades antropogénicas son las principales causantes de la presencia de los iones sulfato y nitrato en la lluvia. Esto es corroborado por el valor del sulfato en exceso, donde se aprecia que el aporte de los aerosoles de sulfato de origen marino no es significativo; por lo cual casi todo el sulfato se puede atribuir a la quema de combustibles fósiles, y un modesto aporte de otras fuentes naturales.

Empleando el criterio de considerar como contaminadas aquellas lluvias cuyo valor de mineralización es superior a 20.0 mg/l, podemos afirmar que la lluvia, a nivel regional, en Cuba no está contaminada. Igualmente, consideramos la lluvia como no-ácida, por lo general, partiendo de la definición de lluvia ácida como aquella cuyo valor de pH es inferior a 5.6. Esto no excluye que en ocasiones ocurran eventos individuales de lluvias ácidas y aún muy ácidas, o lluvias con un alto grado de contaminación, las cuales tienen por causa, generalmente, el transporte transfronterizo a larga distancia y las fuentes de contaminación local.

Los valores de concentración de cada uno de los componentes de la lluvia se ajustan, principalmente, a cuatro leyes de distribuciones de frecuencia. Las mismas son: Gandin, Gumbel, Log-normal y Exponencial; mientras que las distribuciones Normal, Goodrich y Frechet son menos comúnmente encontradas.

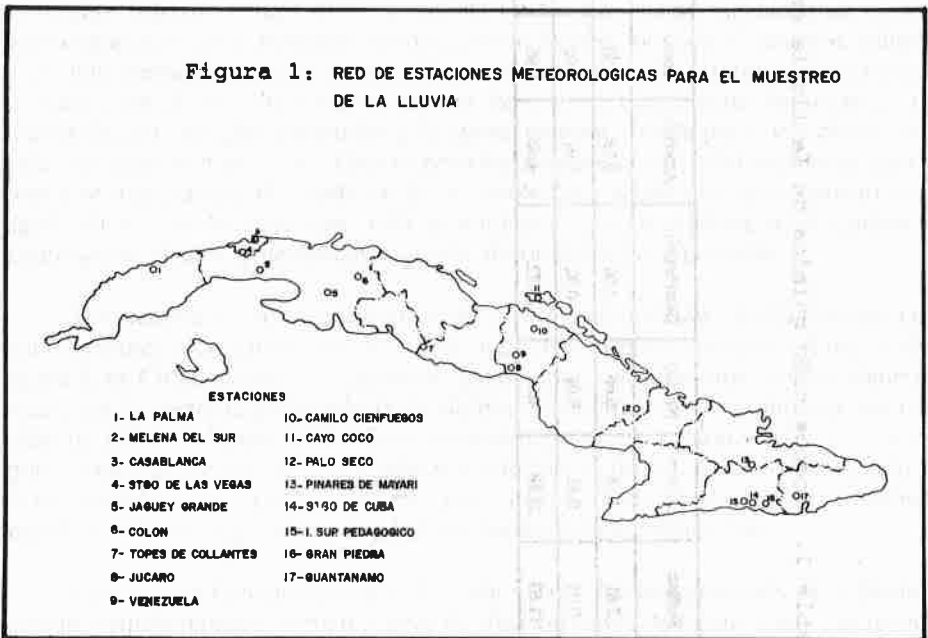
Tabla 1. Composición química de la lluvia en Cuba.

N=32	Sulfato	Cloruro	Nitrato	Bicarbonato	Amonio	Sodio	Potasio	Calcio	Magnesio	pH a	EESP b	SO <sub>4</sub>	M c
media	2.61	5.16	0.66	4.06	0.79	1.36	0.27	1.59	0.58	5.48	24.90	2.28	17.14
mínima	0.03	0.41	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	4.00	4.10	1.10	12.75
máxima	11.83	23.58	4.04	20.72	4.60	8.95	2.53	11.26	3.50	6.63	134.84	3.18	24.71

## Acidez de la lluvia

Fue hallada la tendencia de la acidez de la lluvia en las estaciones donde las series cronológicas de datos son las más largas, encontrándose que el 45% de las estaciones estudiadas muestran tendencias a valores cada vez más bajos de pH en la lluvia (Rodríguez y Alvarez, 1987).

También fueron establecidas las tendencias de las concentraciones de los iones sulfato, nitrato y cloruro para cada una de las estaciones. En la Fig. 1 se muestran los valores mensuales y las rectas de tendencia para el pH y los diferentes iones en la lluvia sobre la estación La Palma (Pinar del Río), a manera de ejemplo. Con el fin de obtener un modelo apropiado para el pronóstico de los valores de pH < y de las concentraciones iónicas) en la lluvia, se aplicó el modelo ARIMA propuesto por Box y Jenkins (1976), el cual dió como resultado para los parámetros estacionales y para los parámetros no-estacionales el siguiente conjunto de valores: (1,1,2) y (0,1,0) para el pronóstico del pH. Para el ion cloruro se demostró la alta variabilidad de los valores de concentración para este ión, lo que permite asumir que toda la serie es un ruido blanco; por lo cual se puede afirmar que los valores de concentración del mismo no son pronosticables por ninguno de los modelos empleados (Rodríguez, 1991)(Figura 1).



Los análisis de la acidez total de la lluvia por medio de la valoración potenciométrica propuesta por Gran en la década del 50 y empleada por Rodríguez y Albertus (1990) demuestran que la acidez total de la lluvia muestreada en Palo Seco (Camaguez) está constituida principalmente por ácidos débiles, como se muestra en la Tabla 2, y en menor proporción, por ácidos fuertes. Los ácidos débiles reportados en otros países tropicales: Venezuela, Brasil, Australia y China (Rodhe y Herrera, 1988) son fundamentalmente fórmico y acético; por lo cual es de suponer que tales sean los ácidos débiles presentes en la lluvia sobre Palo Seco. Los ácidos fuertes son sulfúrico, nítrico y clorhídrico.

Tabla 2. Determinación de la acidez total y las concentraciones de ácidos fuertes y débiles (micromoles/litros)

MUESTRAS MENSUALES	ACIDEZ TOTAL	ACIDOS FUERTES	ACIDOS DEBILES
Febrero 1989	97.72	21.76	76.16
Marzo 1989	376.2	102.60	273.60
Setiembre 1989	145.8	61.20	84.60

## CONCLUSIONES

Se logró caracterizar la composición química de la lluvia a nivel regional en Cuba, determinándose cuáles son los principales iones que constituyen la misma. Se puede concluir que la lluvia sobre Cuba no es ácida, y que de acuerdo a su grado de mineralización la misma no está contaminada. No obstante, se detectan eventos individuales de lluvias ácidas y muy ácidas, así como algunas con alto grado de contaminación; además, en algunas de las estaciones que componen la red existe tendencia a la disminución de los valores del pH en la lluvia. La acidez total de la lluvia, determinada por el método de valoración potenciométrica de Gran, está dada por los ácidos débiles fórmico y acético fundamentalmente.

En gran medida se puede considerar que la acidez y la contaminación de la lluvia sobre Cuba está condicionada por el transporte transfronterizo a gran distancia de los contaminantes, y el aporte de las fuentes de contaminación local. Por este motivo el Servicio Meteorológico Nacional debe continuar manteniendo una atención priorizada al monitoreo de la calidad de la lluvia.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Box, G.E., Jenkins, G.M. 1976. Times Series Analysis Forecasting and Control. Holden Day, San Francisco, 575 pp.
- Rodhe, H, Herrera, R. 1988. Acidification in Tropical Countries. SCOPE 36. J. Wiley & Sons, Great Britain, 405 p.
- Rodríguez, A., Alvarez, O. 1987. Análisis de la Tendencia de la Acidez de la Lluvia en Cuba (inédito).
- , Albertus, F. 1990. Determinación de la Acidez de la Lluvia empleando el Método de Valoración de Gran (inédito).
- , 1991. Composición Química de las Precipitaciones de Sistemas Meteorológicos y Acidez de la Lluvia en Cuba. Tesis presentado en opción al Grado Científico de Candidato a Doctor en Ciencias Geográficas, La Habana, 111 pp. (42 Tablas y 64 Figuras).

Año	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)	pH
1987	25.5	1200	4.5
1988	26.0	1150	4.6
1989	26.5	1100	4.7
1990	27.0	1050	4.8

### CONCLUSIONES

Se observó una tendencia a la acidificación de la lluvia en Cuba durante el período de estudio, lo que se relaciona con el aumento de la contaminación atmosférica y la deposición de ácidos.

El pH de la lluvia disminuyó de 4.5 en 1987 a 4.8 en 1990, lo que indica un aumento de la acidez.

La precipitación total disminuyó ligeramente durante el período de estudio, lo que puede estar relacionado con cambios en el clima.

La temperatura promedio aumentó de 25.5°C en 1987 a 27.0°C en 1990, lo que indica un calentamiento global.