

ACIDEZ DEL AGUA DE LLUVIA EN LA CIUDAD DE SAN RAMON, ALAJUELA, COSTA RICA 1983-1985.

Jenaro A. Acuña**, Bernardo Chacón** y Jorge Montero*

RESUMEN

Se determinó la acidez de las lluvias que ocurrieron durante 1983-1985, en la ciudad de San Ramón, Costa Rica. Se observó un incremento en los promedios anuales de acidez con ponderación por volumen (μN) y desviación estándar. El pH promedio correspondiente fue $4,69 \pm 0,01$; $4,53 \pm 0,01$ y $3,78 \pm 0,01$.

INTRODUCCION

La precipitación ácida está relacionada con el origen y las características químicas de la parcela de aire, la cantidad y tipo de precipitación y la velocidad de intercambio de especies químicas entre las fases involucradas. Por lo general, una alta acidez se asocia con velocidades de transporte lentas y concentraciones elevadas de SO_2 y NO_x en el aire, lo cual corresponde a una situación de cuasi-estancamiento en la que se favorece el incremento en la concentración de contaminantes^{1,7,8}. Se acostumbra utilizar como referencia analítica y geoquímica, un pH de 5,6 para el agua de lluvia no contaminada, correspondiente al pH de agua pura en equilibrio con el dióxido de carbono atmosférico en un sistema cerrado.

Potencialmente, ácidos inorgánicos fuertes (H_2SO_4 , HNO_3) y débiles (H_2CO_3), ácidos orgánicos débiles (HCOOH , CH_3COOH), ácidos húmicos y metales hidrolizables (Fe^{3+} , Al^{3+}), pueden suministrar los protones causantes de la acidez de la lluvia, mientras que el amoníaco puede contribuir a la disminución de la acidez^{5,10,11,12}. Estas sustancias proceden de ciertos fenómenos naturales, como la descomposición anaeróbica de la materia orgánica, aerosoles marinos

y erupciones volcánicas; de algunos procesos industriales, como las fundiciones; y del uso de los combustibles fósiles. Como consecuencia de este tipo de contaminación sobre el ambiente, están el deterioro de estructuras de mármol, superficies metálicas, bosques, productos agrícolas, lagos, sistemas de acuicultura^{3,4,13,15}.

En las lluvias afectadas por fuentes puntuales de contaminantes atmosféricos, es notable el aumento en la concentración de los iones hidrógeno, sulfato y nitrato, principalmente. Puesto que el medio de dispersión es el aire, los sitios que reciben la precipitación ácida incluyen tanto las zonas adyacentes a la fuente de emisión como también los lugares que se encuentran en la ruta de paso de la masa de aire contaminada y que es arrastrada por el sistema de vientos predominante en la región. En esta forma, puede ocurrir una precipitación ácida a muchos kilómetros del foco de contaminación (Church *et al.*, 1984; Jickells *et al.*, 1982). El término acidez, en los equilibrios químicos en que participan especies del sistema de carbonatos, se refiere a la suma de equivalentes de ácidos que se puede valorar con una base fuerte; representa la capacidad de neutralización básica y tiene la propiedad de que es una cantidad conservativa.

La realización de estudios sistemáticos en ámbito regional y global, sobre procesos químicos que ocurren durante fenómenos atmosféricos y oceánicos, permite obtener parámetros que conducen a evaluar de una mejor manera las características del agua de lluvia^{1,4,6,12}. En el presente trabajo se propuso como objetivo aportar los valores de parámetros primarios para promover estudios sobre las variaciones durante el trienio 1983-1985, sobre la acidez del agua de lluvia de la Ciudad de San Ramón, en la provincia de Alajuela, Costa Rica. En esta zona no hay industria que aparentemente provoque contaminación atmosférica.

* Centro Regional de Occidente, UCR.

** Centro de Investigaciones en Contaminación Ambiental (CICA) Universidad de Costa Rica.

rica. Se utilizaron las ecuaciones de Liljestrand¹⁴ con el propósito de lograr exactitud en los valores de acidez calculados.

MATERIALES Y METODOS

La estación de muestreo se ubicó en la ciudad universitaria de la Ciudad de San Ramón, Alajuela, Costa Rica; en la Figura No. 1 se indica su localización.

El equipo de recolección de muestras consistió en un embudo de plástico, cubierto con un tamiz plástico, unido a un recipiente de polietileno de dos litros y con salida de rebalse hacia un frasco cerrado. El muestreador se colocó a una altura de un metro y se tomaron las precauciones necesarias para excluir la deposición seca.

El muestreo se inició con la primera lluvia del año, al final de la época seca (generalmente entre febrero y abril), y se concluyó con la última lluvia de la época lluviosa (generalmente en diciembre). Cada 24 horas se recogió la muestra y se midió de inmediato el pH con un medidor marca Corning, modelo 10, calibrado con disoluciones reguladoras de pH 4,0 y 7,0. La precipitación diaria se midió con un pluviómetro.

El valor de la acidez (μN) correspondiente a cada pH medido, se calculó con la ecuación de Liljestrand¹⁴:

$$[\text{acidez}] = [\text{H}^+] - \frac{10^{-11,212}}{[\text{H}^+]} - \frac{10^{-21,341}}{[\text{H}^+]^2} - \frac{10^{-14}}{[\text{H}^+]}$$

La acidez promedio con ponderación por volumen (pmpv), se calculó utilizando la ecuación:

$$[\text{acidez}]_{\text{pmpv}} = \frac{\sum_i [\text{acidez}]_i P_i}{\sum_i P_i}$$

El pH promedio con ponderación de volumen (pmpv), se calculó para $[\text{acidez}]_{\text{pmpv}} > -50 \mu\text{N}$ de acuerdo con la ecuación:

$$[\text{H}^+]_{\text{pmpv}} = 1/2 \{ [\text{acidez}]_{\text{pmpv}} + [(\text{acidez})_{\text{pmpv}}^2 + 10^{-10,711}]^{1/2} \}$$

y para $[\text{acidez}]_{\text{pmpv}} \leq -50 \mu\text{N}$:

$$[\text{H}^+] = \frac{\{ -10^{-11,312} - [(10^{-22,626} - (10^{-20,739} [\text{acidez}]_{\text{pmpv}}))]^{1/2} \}}{2 [\text{acidez}]_{\text{pmpv}}}$$

RESULTADOS

AÑO 1983

La precipitación anual fue de 1774 mm y se recolectaron un total de 113 muestras. La primera lluvia con volumen suficiente para la medición ocurrió el 28 de febrero (pH = 6,70). Durante los primeros cuatro meses, todas las muestras presentaron valores pH mayores que 6,0 (n=17); en los siguientes meses, el pH promedio fue inferior a 6,0 (n=96). La última muestra se recogió el 4 de diciembre (pH = 4,10). El pH máximo (7,10) ocurrió el 16 de marzo, y el mínimo (3,90) el 27 de agosto y el 8 de noviembre. El promedio mensual con ponderación de volumen para la acidez y el pH se muestra en el Cuadro No. 1

AÑO 1984

La precipitación anual fue de 2090 mm y se recolectaron un total de 115 muestras. La primera lluvia ocurrió el 25 de abril (pH = 4,10). Se registraron tres lluvias con pH mayor o igual que 6,0 (24 de mayo, 6,00; 29 de julio, 6,20; y 04 de setiembre, 6,50). En el resto de los meses fue inferior a 5,80 (n=112). La última muestra se recogió el 5 de diciembre (pH=4,10) y el ámbito para este año fue de 3,50 a 6,50. El promedio mensual con ponderación de volumen para la acidez y el pH se presenta en el Cuadro No. 2.

AÑO 1985

La precipitación anual fue de 1796 mm y se recolectaron un total de 81 muestras. La primera lluvia ocurrió el 30 de abril (pH = 4,10). El pH máximo (5,00) se dio el 01 de noviembre y el mínimo (2,50) el 19 de setiembre. Durante los meses de mayo, julio, agosto y setiembre, el pH de cada una de las muestras no sobrepasó el valor 4,10 (n=47). La última muestra se recogió el 21 de noviembre. El promedio mensual con ponderación de volumen para la acidez y el pH se indica en el Cuadro No. 3.

DISCUSION

En la Figura No. 2 se representa la distribución temporal del pH medido para cada una de las mues-

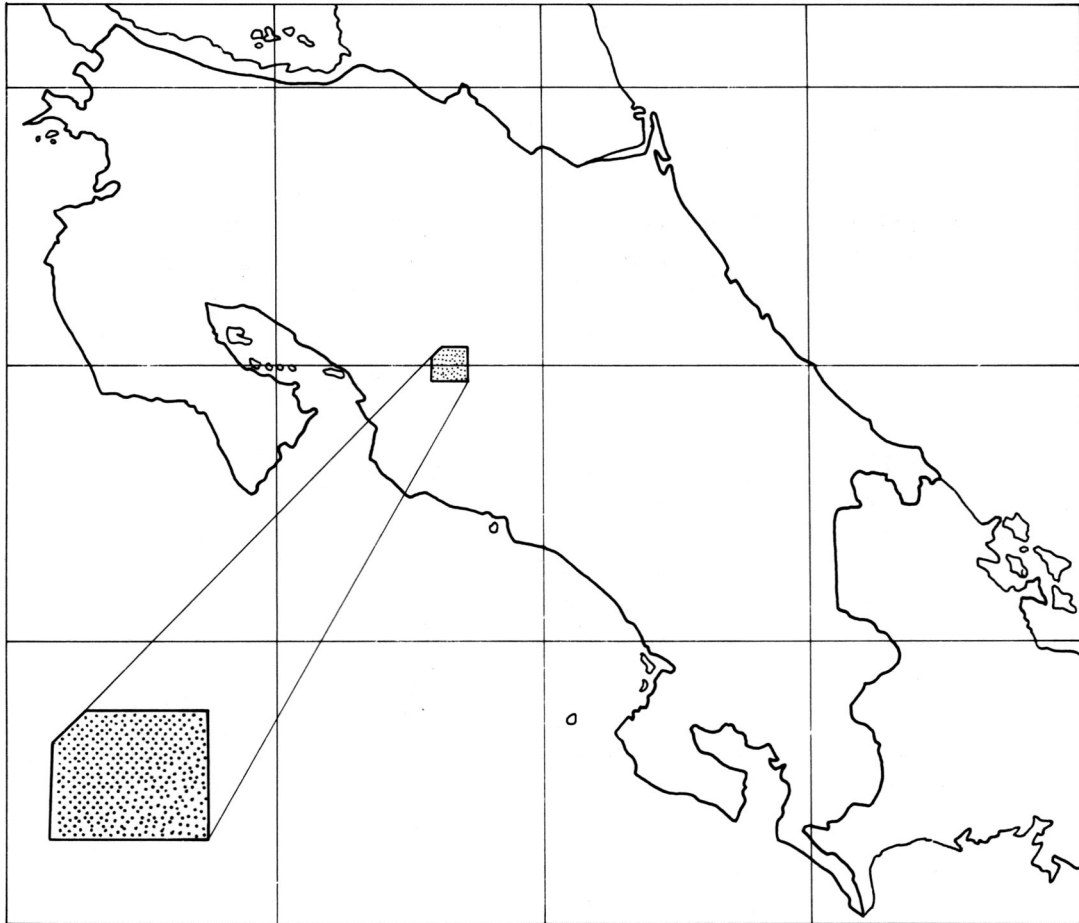


FIGURA No. 1. Ubicación geográfica de la estación de muestreo.

CUADRO No. 1

Algunas características del agua de lluvia en San Ramón.
Alajuela, Costa Rica, durante el año 1983

Mes	Precipitación (mm)	Número de muestras	Acidez* (μm)	Desviación estándar	pH*
Enero	0	0			
Febrero	0,7	1	-24,2		6,70
Marzo	27,9	4	-17	6	6,54
Abril	26,9	3	-11	2	6,35
Mayo	60,4	9	-14	2	6,46
Junio	236,7	17	0,4	0,4	5,62
Julio	127,1	12	0,6	0,3	5,60
Agosto	284,1	18	30	2	4,52
Setiembre	483,0	21	28	1	4,55
Octubre	345,8	17	23	1	4,63
Noviembre	180,5	10	41	3	4,39
Diciembre	1,2	1	79,4		4,10

* Promedio con ponderación de volumen

CUADRO No. 2

*Algunas características del agua de lluvia en San Ramón.
Alajuela, Costa Rica, durante el año 1984*

Mes	Precipitación (mm)	Número de muestras	Acidez* (μ m)	Desviación estándar	pH*
Enero	0	0			
Febrero	0	0			
Marzo	0	0			
Abril	2,2	1	79,4		4,10
Mayo	315,9	14	15	2	4,81
Junio	191,6	15	20	1	4,69
Julio	312,2	18	7,7	0,5	5,08
Agosto	329,7	18	28	4	4,55
Setiembre	471,9	23	42	3	4,38
Octubre	294,3	15	49	3	4,31
Noviembre	171,2	10	39	3	4,41
Diciembre	1,0	1	79,4		4,10

* Promedio con ponderación de volumen

CUADRO No. 3

*Algunas características del agua de lluvia en San Ramón.
Alajuela, Costa Rica, durante el año 1985*

Mes	Precipitación (mm)	Número de muestras	Acidez* (μ m)	Desviación estándar	pH*
Enero	0				
Febrero	0				
Marzo	0				
Abril	78,0	1	79,4		4,10
Mayo	62,0	6	165	18	3,78
Junio	288,0	15	95	4	4,02
Julio	212,0	11	156	11	3,81
Agosto	327,0	17	184	7	3,74
Setiembre	210,0	13	466	26	3,33
Octubre	490,0	12	107	6	3,97
Noviembre	129,0	6	65,2		4,19
Diciembre	0	0			

* Promedio con ponderación de volumen

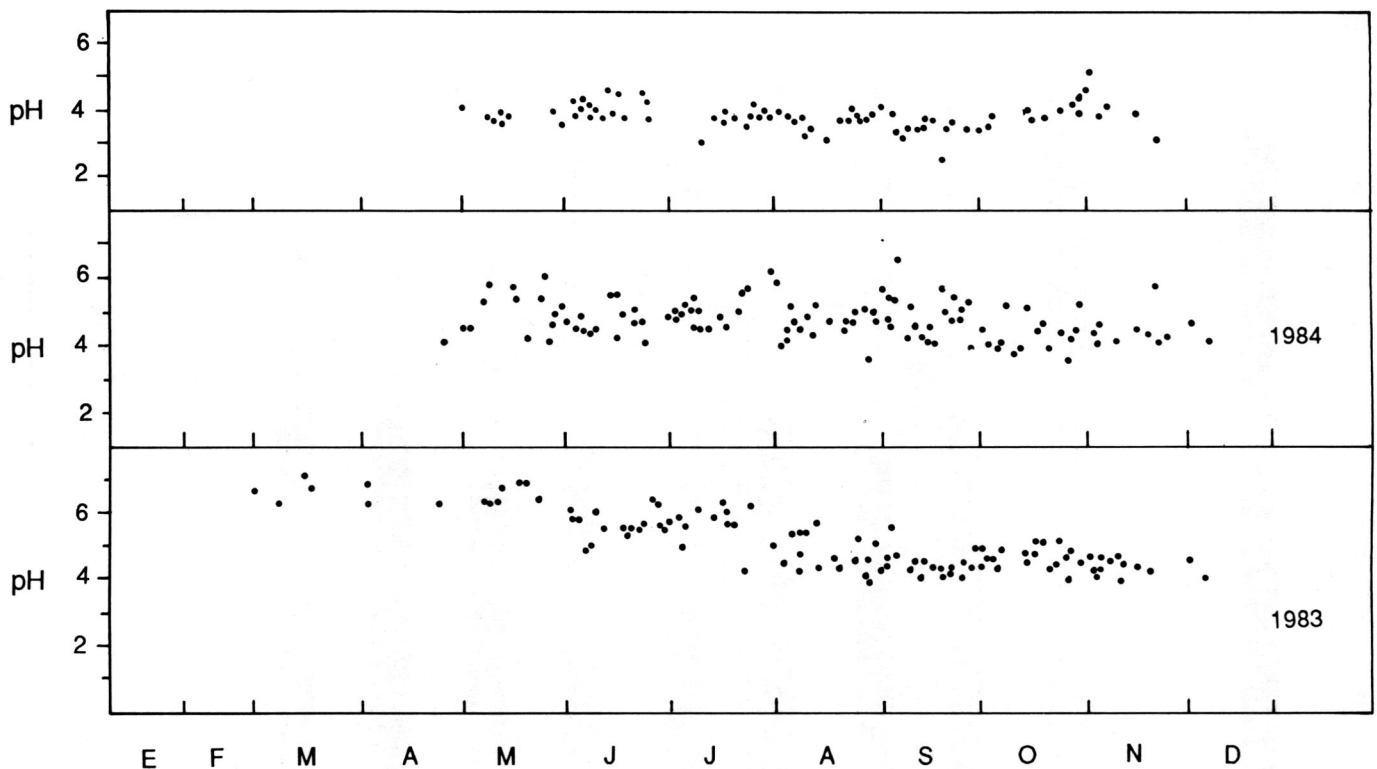


FIGURA No. 2. Distribución temporal del pH medido para cada una de las muestras del período en estudio.

tras del período en estudio. Se observa que existe una tendencia hacia la disminución y cuasi-estabilización en los últimos meses de cada año, en un ámbito inferior al valor 5,6, considerado como estándar para agua en equilibrio con el CO_2 atmosférico.

En el Cuadro No. 1 se ofrecen los promedios con ponderación por volumen de la acidez y del pH calculados para el año 1983. Puesto que en las primeras 17 muestras el pH medido fue superior a 5,6, la acidez calculada correspondiente presentó valores negativos; esto puede ser indicativo de la presencia de sustancias de carácter básico. A partir del mes de junio los promedios de pH disminuyen, se produce una acidez promedio positiva y ya se puede hacer referencia a lluvias definitivamente ácidas. Los promedios anuales con ponderación por volumen, fueron $20,16 \pm 0,29 \mu\text{N}$ para la acidez y $4,69 \pm 0,01$ para el pH.

El gráfico del pH promedio mensual correspondiente a los valores de acidez, se representa por medio de un histograma en la Figura No. 3. Se nota que el decrecimiento en el pH en 1983 ocurre a manera de tres líneas de tendencia: la primera decreciente, de febrero a mayo, y comprende los valores

más altos de pH en el trienio 1983-1985; la segunda constante, de junio a julio y la tercera decreciente, de agosto a diciembre. No existe correlación con los datos de precipitación.

En el Cuadro No. 2 se presentan los promedios con ponderación por volumen de la acidez y del pH calculados para el año 1984. Se observa que todos los valores de acidez son positivos, o sea que las lluvias presentaron características ácidas durante este año. Los valores de pH correspondiente permiten visualizar de una mejor manera el grado de incorporación de especies químicas de tipo ácido en el agua de lluvia de la región. Los promedios anuales con ponderación por volumen, fueron $29,5 \pm 0,43 \mu\text{N}$ para la acidez y $4,53 \pm 0,01$ para el pH.

En el histograma de la Figura No. 3, se pueden trazar dos líneas de tendencia general para 1984: una creciente, de abril a julio, por debajo de las dos primeras líneas de tendencia de 1983; y otra decreciente, de agosto a diciembre, similar a la observada para 1983 en ese mismo período.

En el Cuadro No. 3 se ofrecen los promedios con ponderación por volumen de la acidez y del pH

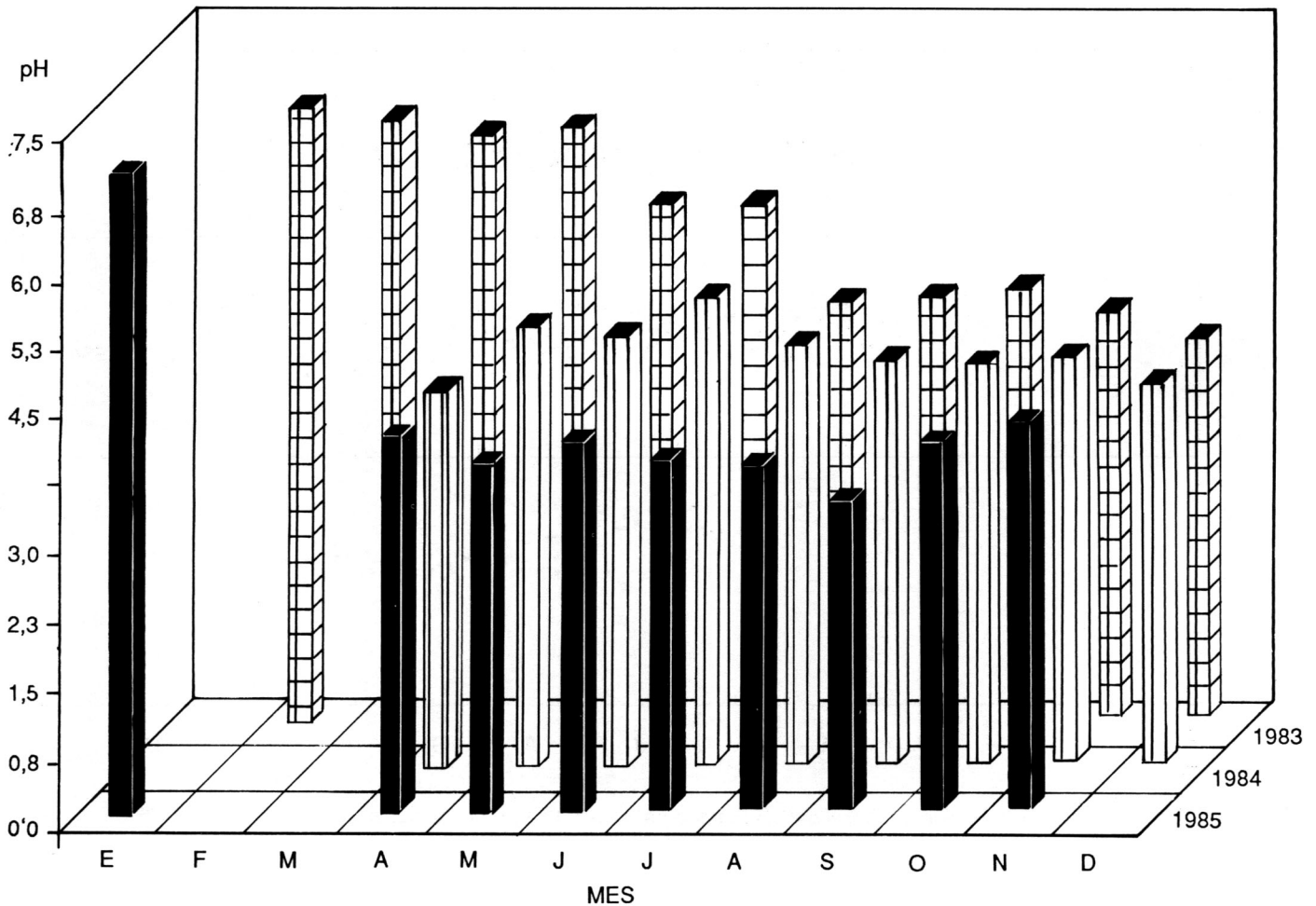


FIGURA No. 3. Distribución temporal del pH del agua de lluvia en San Ramón, Alajuela, Costa Rica.

calculados para el año 1985. Todos los valores de acidez fueron positivos, pero de mayor magnitud que el año anterior. Esto se debió a que varias muestras presentaron valores de pH alrededor de 3,0, aunque se observó una menor oscilación en la distribución del pH medido (Figura No. 2). La lluvia más ácida de todo el trienio se registró en el mes de setiembre, lo cual elevó el promedio de acidez de este mes a $466 \pm 26 \mu\text{N}$; sin embargo, el volumen recolectado fue apenas suficiente para realizar la medición de pH porque se trató de una lluvia corta y de pequeña intensidad. Los promedios anuales con ponderación por volumen fueron $165 \pm 2 \mu\text{N}$ para la acidez y $3,78 \pm 0,01$ para el pH.

En la Figura No. 3 se pueden trazar dos líneas de tendencia general para 1985: la primera de abril a agosto, en forma decreciente y la segunda, de setiembre a noviembre, en forma creciente.

CONCLUSIONES

Como ha quedado demostrado en los valores presentados en los Cuadros No. 1, 2, y 3 y la distribución temporal del pH para cada una de las muestras del período en el que se realizó este estudio (histograma de la Figura No. 3) tanto el valor de la acidez calculado, como el valor del pH presentó una disminución en el año 1985 en relación con el año 1984, y de éste en relación con el año 1983.

Se puede observar que hubo disminución del pH a valores inferiores a 5,6, valor que se acostumbra tomar como referencia analítica y geoquímica para el agua de lluvia. Lo anterior nos permite concluir que en la zona estudiada en este caso —que corresponde al cantón de San Ramón, perteneciente a la provincia de Alajuela—, el agua de lluvia se puede calificar como claramente ácida. Los valores llegan en determinados

momentos a alcanzar cifras menores de pH de 3,0 unidades.

Es importante además dejar claro que aún no se ha podido concluir por nuestra parte si los efectos que producen estas alteraciones son en su mayor parte provocados por causas naturales o por el contrario si éstas son de origen antropogénico. Por esta razón se plantea la necesidad de continuar la investigación, no solo en este sentido, sino también en relación con las consecuencias que este fenómeno puede traer sobre los diferentes ecosistemas y por su influencia en la agricultura, la industria y la salud de nuestro país.

AGRADECIMIENTO

Deseamos expresar nuestro agradecimiento a la VICE-RECTORIA DE INVESTIGACION DE LA UNIVERSIDAD DE COSTA RICA, que nos financió esta investigación. Así mismo deseamos agradecer al CENTRO REGIONAL DE OCCIDENTE, las facilidades que nos dio para llevar adelante la investigación, tanto en lo referente al espacio físico, como de personal y transporte. Al CIMAR por su colaboración en los aspectos relativos con los servicios de computación.

LITERATURA CITADA

1. Charlson, R.J.; Vong, R. y Hegg, D.A. *The sources of sulfate precipitation. 2. Sensitivities to chemical variable.* **Journal of Geophysical Research**, 88 (C2):1375-1377. 1983.
2. Church, T.M. *et al.* *The wet deposition of trace metals to the western Atlantic Ocean at the mid-Atlantic coast and on Bermuda.* **Atmospheric Environment**, 18(12):2657-2664. 1984.
3. Clair, T.A.; Witteman, J.P.; Whitlow, S.H. *Acid precipitation sensitivity of Canada's Atlantic provinces.* **Environment Canada**, Technical Bulletin No. 124, 12 p. 1982.
4. Ember, L.R. *Acid pollutants: Hitchhikers ride the wind.* **Chemical and Engineering News**, 59(37):20-31. 1981.
5. Galloway, J.N. y Cosby Jr., B.J. *Acid precipitation: measurement of pH and acidity.* **Limnology and Oceanography**, 24(6):1161-1165. 1979.
6. Galloway, J.N. *et al.* *The composition of precipitation in remote areas of the world.* **Journal of Geophysical Research**, 87(11):8771-8786. 1982.
7. Haagenson, P.L. *et al.* *A relationship between acid precipitation and the three-dimensional transport associated with synoptic-scale cyclons.* **Journal of Climatic and Apply Meteorology**, 24(9):967-976. 1985.
8. Hegg, D.A. *The sources of sulfate in precipitation. 1. Parametrization scheme and physical sensitivities.* **Journal of Geophysical Research**, 88(C2):1369-1374. 1983.
9. Jickells, T.D. *et al.* *Acid rain on Bermuda.* **Nature**, 297(5861):55-57. 1982.
10. Keene, W.C. y Galloway, J.N. *Grans's Titrations: inherent errors in measuring the acidity of precipitation.* **Atmospheric Environment**, 19(1):199-202. 1985.
11. Keene, W.C. y Galloway, J.N. *A note on acid rain in an Amazon rainforest.* **Tellus**, 36B:137-138. 1984.
12. Keene, W.C.; Galloway, J.N.; Holden, J.D. Jr. *Measurement of weak organic acidity in precipitation from remote areas of the world.* **Journal of Geophysical Research**, 88(C9):2122-2130. 1983.
13. Kilham, P. *Acid precipitation: its role in the alkalization of a lake in Michigan.* **Limnology and Oceanography**, :856-867. 1982.
14. Liljestrand, H.M. *Average rainwater pH, concepts of atmospheric acidity and buffering in open systems.* **Atmospheric Environment**, 19(3):487-499. 1985.
15. Liljestrand, H.M. y Morgan, J.J. *Spatial variations of acid precipitation in Southern California.* **Environmental Science & Technology**, 15(3):333-338. 1981.
16. Mahendrappa, M.K. *Precipitation chemistry affected by differences in location of collection sites and storage methods.* **Atmospheric Environment**, 19(10):1681-1684. 1985.