

# Características y composición química de las lluvias de los Andes occidentales de Venezuela\*

U. STEINHARDT\*\*, H. W. FASSBENDER\*\*

## ABSTRACT

*During one year the rainfall patterns in San Eusebio, northwestern Venezuela (cloud forest, 2300 m NN, 8° 37' N, 71° 21' W) was registered, rain water collected and analysed for chemical content.*

*During this period a total amount of 1576 rainfall was recorded, which is higher than the six years average of 1453 mm. Rainfall days were recorded per year, only 21 events exceeded 5 mm. The rainfall pattern is related to geographical position, altitude wind and clouds formation in the area.*

*The following chemical inputs with precipitation were measured (Kg/ha and year). N 9.9, P 1.1; S 11.8, Cl 59.4; Na 3.26; K 2.60; Ca 5.60, Mg 5.23; Al 2.43, H 0.81. As sources for chemical particulates and gases in the atmosphere are discussed. marine aerosols, gases from petrochemical industry and soil particulates from colian erosion.*

*Heavy metals reached a deposition with rainfall (g/ha and year) of: Mn 230, Fe 900, Cu 45, Zn 30, Pb 33 and Cd 8.6.*

## Introducción

EL agua es un elemento primordial en la vida de los organismos; la distribución de las lluvias y la humedad relativa del aire determinan la fisonomía de la vegetación y la distribución de los animales, desde los desiertos hasta los bosques pluviales tropicales. El agua es igualmente un factor decisivo en la formación de los suelos como medio de disolución y transporte. Por otro lado desempeña el agua un papel muy importante en la transferencia de los elementos químicos en la biosfera; a través de la transpiración y evaporación se transfiere el agua de la superficie terrestre a la atmósfera para formar nubes en función de la presencia de núcleos de condensación, los cuales son partículas de polvo o aerosoles de diferentes elementos o compuestos químicos; a través de las lluvias se transfieren nuevamente las aguas y los elementos químicos disueltos a la superficie terrestre. La transferencia del nitrógeno, como elemento nutritivo ha sido objeto de estudios anteriores (1, 7). La

medición de la transferencia de otros elementos químicos en asociación con la polución global y la adición de elementos nutritivos y tóxicos en los ecosistemas se ha incrementado en los últimos años, no sólo en áreas templadas (6, 11, 16, 24), sino también en áreas tropicales (10, 19).

Dentro de un programa de estudios de los ecosistemas forestales de la región occidental de los Andes de Venezuela, se realizaron mediciones de las lluvias y análisis químicos respectivos, cuyos resultados se presentan en este trabajo.

## Materiales y métodos

### Muestreo y registros pluviométricos

El estudio se realizó en el bosque "San Eusebio" (La Carbonera) de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de los Andes, localizada en la ladera noroccidental de la Sierra de Mérida (8° 37' norte, 71° 21' este, a una altura de 2300 msnm). Según la Figura 1, el lugar de muestreo está localizado al suroriente de Maracaibo (aproximadamente 200 km), de la región de explotación del petróleo en el lago de Maracaibo y de las orillas del mar del Caribe.

\* Recibido para la publicación el 13 de marzo de 1979

\*\* Instituto de Suelos y Nutrición Forestales de la Universidad de Göttinga. D-3400 Göttingen-Weende. Büsgenweg 2 República Federal de Alemania.

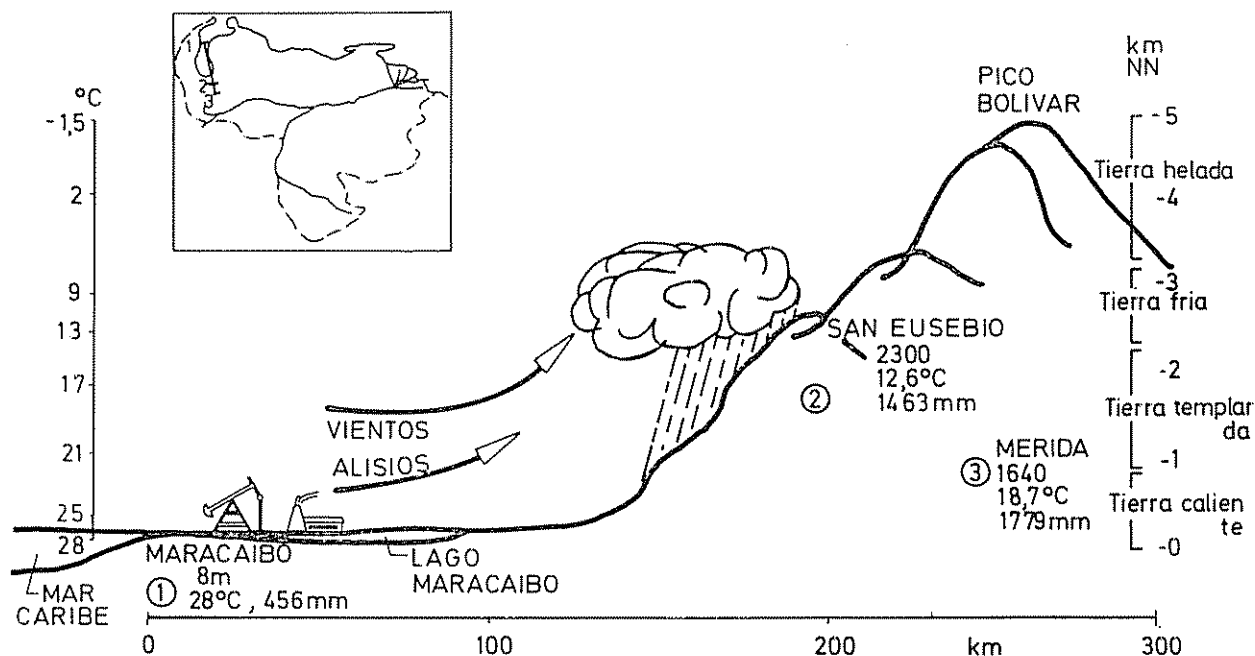


Fig. 1.—Representación esquemática del lugar de muestreo en "San Eusebio" (Regiones ecológicas y temperaturas adaptadas de Walter (27), datos de Maracaibo y Mérida (28))

Bajo la influencia de los vientos alisios, de la humedad relativa del aire y de las temperaturas reinantes se desarrolla una zona de nubes y nieblas entre 2000 y 3500 msnm; bajo éstas condiciones se ha establecido un bosque submontano nublado húmedo (8, 27). La zona del estudio se encuentra en el área de influencia de los vientos alisios surorientales, los cuales antes de llegar a la zona pasan por Curazao (Willhelmstaat), Aruba (San Nicolás) y Coro (El Cardon, Amuay) donde funcionan refinerías de petróleo con capacidad de más de 15 millones de toneladas por año.

En una parcela de tala rasa dentro del bosque se llevaron a cabo las mediciones pluviométricas entre diciembre 1973 y noviembre 1974 utilizando un pluviógrafo de Hellmann de registro semanal continuo. Como control de las mediciones y para la recolección de muestras de agua de lluvia se utilizaron 30 pluviómetros de material plástico que se observaron dos veces por semana; en los meses de mayor pluviosidad, más frecuentemente. Para la colección de las muestras se consideraron tres repeticiones, correspondiendo cada una a una línea de 10 pluviómetros a una distancia de 5 metros entre ellos. Las muestras colectadas se homogeneizaron y se guardaron congeladas hasta el momento del análisis.

Para el estudio de las interacciones entre los diferentes elementos químicos se colectaron 27 muestras de precipitaciones separadas de diferente intensidad.

#### Análisis químicos

Después de ser descongeladas las muestras mensuales de agua de lluvia se evaporó una alícuota de las

mismas lentamente en relación 10:1 utilizando una plancha eléctrica a 60°C y así poder hacer algunos análisis (N, P, Fe, Mn, Al). Los siguientes análisis se realizaron en los laboratorios del Instituto de Geografía de la Universidad de los Andes en Mérida utilizando los siguientes métodos:

- pH con un electrodo de vidrio en la muestra original
- N después de una digestión con  $\text{Se-H}_2\text{SO}_4$  (Kjeldahl) y titulación con ácido bórico (2).
- P en la muestra evaporada 10:1 en forma de fosfomolibdato de amonio (2)
- Na y K con un espectrógrafo Zeiss PF 5 en las muestras originales.
- Ca y Mg por espectrofotometría de absorción atómica (Perkin Elmer 303), utilizando óxido de lantano para controlar interferencias.
- Fe, Mn, Zn y Al igualmente por espectrometría de absorción atómica pero en las muestras evaporadas 10:1.

Mezclando las tres repeticiones mensuales de las muestras de lluvia se prepararon muestras que fueron transportadas congeladas y directamente analizadas en el Instituto de Suelos y Nutrición Forestales de la Universidad de Gotinga en los siguientes elementos (9):

- Cl titrimétricamente como  $\text{AgCl}$

Cuadro 1.—Lluvias mensuales en mm o l/m<sup>2</sup> (Dic 1973) en 6 años, y sus valores de pH y concentraciones en N, P, S, y Cl (mg/l).

	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	Suma Promedio	Cv %
1973/74	77,90	61,90	44,60	70,30	124,90	252,90	42,70	140,70	90,60	326,20	229,30	114,40	1576,40	
6 años	34,60	55,00	30,20	54,30	210,10	189,90	135,60	148,00	171,20	170,70	147,60	104,10	1453,30	
PH	4,23	4,01	4,35	4,61	6,21	3,85	3,96	4,30	3,93	4,76	4,81	4,78	4,55	
N	0,48	0,87	0,54	0,46	0,81	0,39	0,55	0,42	0,71	0,71	0,60	1,11	0,64	5,60
P	0,02	0,04	0,04	0,03	0,01	0,06	0,04	0,02	0,057	0,147	0,072	0,328	0,052	15,50
S	—	—	—	—	0,65	0,65	1,50	0,70	1,20	0,55	0,65	0,55	0,80	
Cl	—	—	—	—	8,51	3,28	2,23	5,67	8,53	1,86	2,75	3,19	4,50	

— S colorimétricamente con el Autoanalyser de Fa Technicon como complejo de Salicilato-nitroprusito.

— Pb, Cd y Cu por la espectrometría de absorción atómica con la cápsula de grafito de la Fa. Perkin-Elmer.

Las 27 muestras de aguaceros separados fueron analizadas en los laboratorios en Gottinga, Utilizando los métodos arriba indicados a excepción de: (9)

— N colorimétricamente después de una digestión con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> por el método de Kjeldahl como complejo de salicilato-nitroprusito.

— Fe y Al también colorimétricamente con el Autoanalyser como complejo de fenantrolina y alumina.

— Na y K por espectrometría de absorción atómica con el Perkin-Elmer 403

#### *Cálculo de las tasas de transferencia de elementos nutritivos*

Con las concentraciones encontradas se calcularon los valores promedios mensuales y su desviación estándar. En función de las concentraciones (mg/l o µg/l) y las cantidades de lluvia mensuales (l/m<sup>2</sup> o mm) se calcularon las tasas de transferencia de la atmósfera a la superficie terrestre y sus desviaciones estándar correspondientes.

#### *Resultados y discusión*

##### *Régimen de lluvias*

Las lluvias mensuales durante la época de medición están resumidas en el Cuadro 1 y representadas gráficamente en la Fig. 2. Durante esa época se registraron dos períodos de lluvias abundantes (abril/mayo y septiembre/octubre). Los mínimos de lluvias se registraron en febrero y junio respectivamente. La suma total

alcanzó 1576 mm. Comparando la distribución de las lluvias medidas en el promedio de 6 años (medido en diferentes lugares cerca de la parcela de tala rasa en la Reserva de San Eusebio) se constata que los meses de febrero y marzo son los de menor lluvia (Cuadro 1, Fig. 2). Los meses de mayo a septiembre no representan valores tan extremos; sin embargo tienen siempre un carácter perhúmedo (>100 mm). El promedio general de lluvias alcanza 1453 mm al año.

En el año de estudio se registraron en total 265 días con aguaceros, con valores extremos mínimos mensuales de 15 días con lluvia en febrero y junio y 28 días con lluvias en septiembre y octubre. La ocurrencia diaria de las lluvias se caracteriza por un inicio generalmente en las horas de la tarde con valores promedios diarios entre 2,3 y 7,6 horas, aunque existen días con dos aguaceros y períodos de lluvia o sequía continuos no regulares. Durante todo el año se registraron 21 chaparrones con lluvias mayores que 5 mm. Los valores extremos de lluvias alcanzaron 34,7 y 39,8 mm en un día.

El origen y la distribución de las lluvias está estrechamente asociado a la posición geográfica de la región, la circulación planetaria de las masas de aire, la formación de vientos alisios en el mar del Caribe que ascienden en los flancos de los Andes formando nubes y nieblas que se descargan en las laderas y valles andinos. Así las lluvias anuales aumentan de 456 mm en Maracaibo a 1453 en San Eusebio y 1779 en Mérida (1) (Figura 1). La zona sur del mar del Caribe se encuentra en el flanco sudoccidental de la zona de presiones altas nordatlánticas y sus variaciones estacionales determinan el régimen de lluvias. En el "verano" (abril-noviembre) se registran vientos alisios ascendentes de velocidades medias desde las superficies de mares y suelos hacia la tropósfera que generan lluvias. En el "invierno" (noviembre-marzo) se localiza un centro de altas presiones en la región del estudio, la velocidad de ascenso de las masas de aire disminuye, muchas veces se producen inversiones y las lluvias disminuyen notablemente por la falta de formación de nubes (12). Un régimen muy similar de

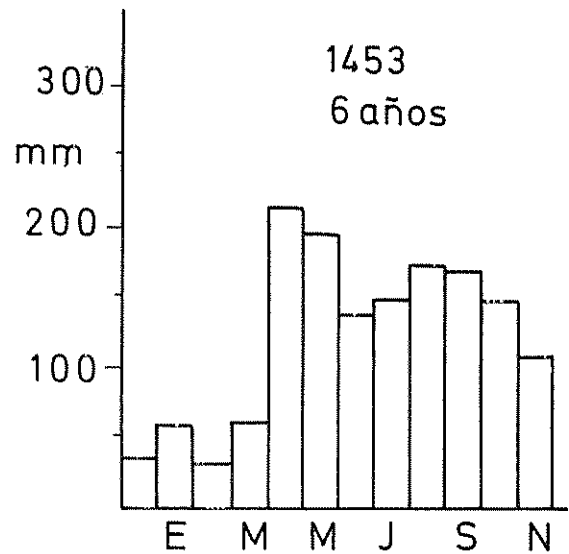
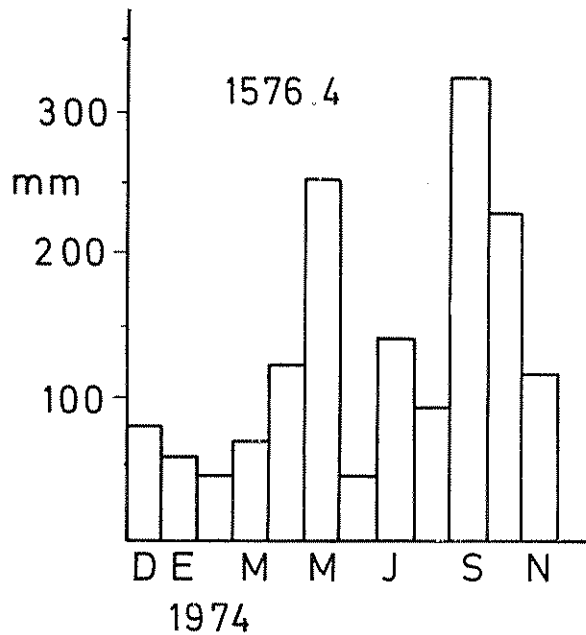


Fig. 2.—Lluvias mensuales en el año de mediciones (dic. 1973 - nov. 1974) y en promedio de 6 años.

lluvias fue observado por Hermann (12) en la Sierra Nevada de Santa Marta en la región nororiental de Colombia (aproximadamente 450 km al noreste de la región del presente estudio) con 351 mm en Santa Marta y un ascenso a 2500 mm en la Cuchilla de San Lorenzo (2100 msnm) y 1800 mm en el Pico de San Hilario (3500 msnm). Aquí igualmente se registran vientos alisios ascendentes en los Andes que determinan la distribución y cantidad de las lluvias.

*Composición y deposición química con las Lluvias*

*Elementos no metálicos*

Las concentraciones de los elementos N, P, Cl y S en las aguas de lluvia se presentan en el Cuadro 1, las tasas de deposición resultantes en el Cuadro 4.

Las concentraciones de N oscilan entre 0,39 y 1,11 mgN/l; en un promedio de 0,64 mg/l presentan un coeficiente de variación bajo (5,6%). La tasa de deposición anual de  $9,9 \pm 0,56$  kg/ha y año queda dentro del marco de los valores encontrados en la literatura para áreas tropicales, los cuales oscilan entre 4,8 y 35,4 kg N/ha y año (Cuadro 4). Los valores de la literatura son muy variables ya que como fuente más importante del nitrógeno se consideran las descargas eléctricas de las nubes con formación de rayos dentro de los cuales se alcanzan tensiones eléctricas muy altas capaces de inducir la oxidación del nitrógeno atómico atmosférico (7, 14). En el área de estudio es factible que la quema de gases excesivos en la extracción del petróleo en las regiones del lago de

Maracaibo conlleve a la volatilización de gases nitrogenados que ascienden con los vientos ascendentes en los flancos de los Andes contribuyendo notablemente a los valores encontrados. De la industria petroquímica en El Cardon y Amuray (Coro) así como Curazao y Aruba resultan seguramente gases nitrogenados que influyen en los valores encontrados. Los valores encontrados en áreas templadas (Cuadro 4) (7, 16, 24) son generalmente más altos debido a la quema e incineración de materias primas de energía y calor (carbón, hulla, gas) las cuales presentan contenidos variables de nitrógeno.

Las concentraciones de fósforo son siempre bajas, a excepción de los meses de septiembre a noviembre;

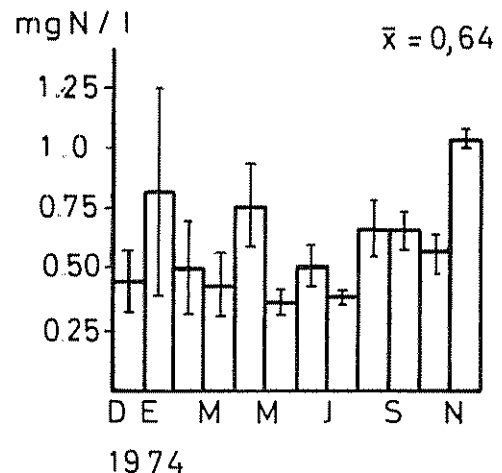


Fig. 3.—Concentraciones promedio mensuales de nitrógeno en las aguas de lluvia.

Cuadro 2.—Concentración de Na, K, Ca, Mg y Al en las muestras mensuales de lluvia (mg/l) y su coeficiente de variación (%)

	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	Promed	Cv%
Na	0,517	0,200	0,317	0,350	0,767	0,150	0,383	0,250	0,250	0,040	0,010	0,100	0,287	13,9
K	0,300	0,010	0,433	0,300	0,300	0,010	0,300	0,300	0,300	0,010	0,300	0,010	0,214	4,0
Ca	0,710	0,460	0,377	0,653	0,413	1,050	0,363	0,193	0,207	0,010	0,060	0,120	0,385	31,7
Mg	0,977	0,643	1,470	0,743	0,643	0,117	0,567	0,260	0,357	0,143	0,093	0,160	0,514	1,0
Al	0,150	0,067	0,153	0,023	0,060	0,060	0,177	0,180	0,243	0,117	0,250	0,403	0,157	7,2

ellos conllevan a un coeficiente de variación más alto (16 por ciento). La posibilidad de una contaminación de las muestras con polen, insectos u otros materiales biológicos no es muy probable ya que las tres repeticiones, provenientes cada una de 10 pluviómetros arrojan concentraciones similares. Sin embargo un error analítico rutinario no se puede controlar con los datos disponibles. La tasa de transferencia de P con  $1,1 \pm 0,19$  kg/ha y año es relativamente alta en relación con los datos de la literatura (Cuadro 4).

Para los elementos S y Cl sólo se analizaron 8 muestras promedio mensuales; por ello no se indican en los Cuadros 1 y 4 las variaciones estadísticas correspondientes; para el cálculo de las tasas de transferencia en los meses no analizados, se tomaron las concentraciones promedio de los meses analizados (S=0,80; Cl=4,50 mg/l). Las concentraciones de S son bastante constantes, oscilando entre 0,55 y 1,50 mg S/l; la deposición correspondiente alcanza 11,8 kg S/ha y año. Valores comparativos de áreas tropicales casi no se encuentran en la literatura, los valores de Uganda (26) y Zaire (7) con respectivamente 7,6 y 4,6 kg S/ha y año son más bajos que los resultados obtenidos en éste estudio. Igualmente que para el N, se encuentran para el S en mediciones de climas templados valores más altos (Cuadro 4).

Las concentraciones de cloro son bastante variables, quedan entre 1,8 y 8,5 mg/l y con el promedio de

4,6 mg/l (Cuadro 1) y conllevan a una deposición de 59,4 kg Cl/ha y año. Este valor es relativamente alto al compararlo con los valores de la literatura. Varios autores consideran la formación de aerosoles de NaCl en la superficie del mar, los cuales son trasladados con las masas de aire y lavados con las lluvias (5, 7, 14, 25). De ello resulta que la deposición de cloro disminuye notablemente con la distancia de la costa, por ejemplo en Nueva Zelanda de 216 a 35 Kg Cl por ha y año al aumentar la distancia de la costa de 0,5 a 61 km. Sorprendente resulta sin embargo que en las mediciones realizadas en este estudio y en otros trabajos no se constata una relación Na : Cl como la existente en el cloruro de sodio (1,54) o en el agua de mar (1,8), aun cuando no se encuentre una correlación significativa entre ambos elementos. El análisis de correlación de las 27 muestras de agua de aguaceros separados indica más bien que el cloro guarda una correlación significativa con el hidrógeno ( $r=0,757^{**}$ ) lo cual sugiere la hipótesis de que los ácidos utilizados en la industria petroquímica y la quema de gases excesivos en la explotación del petróleo pueden ser fuente de contaminación de la atmósfera.

La composición promedio aniónica de las aguas de lluvia llega a  $178,82 \pm 64,5 \cdot \mu$  Mol/l y se distribuye en los elementos Cl, S y P en 69, 30 y 1 por ciento respectivamente. Los valores del nitrógeno total

Cuadro 3.—Concentraciones de los metales pesados (Mn, Fe, Cu, Zn, Cd y Pb,  $\mu$ g/l) en las muestras mensuales de lluvia.

	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	Promedio	Cv %
Mn	17	10	10	10	101	10	130	10	30	10	10	10	22,00	1,90
Fe	87	57	77	67	40	30	160	27	103	40	70	87	70,00	11,30
Cu	—	—	—	—	2,10	1,90	0,77	4,60	6,00	3,70	2,40	0,87	2,79	
Zn	1,10	1,10	4,53	5,61	1,75	1,25	1,69	1,50	5,16	1,44	1,29	2,05	2,40	
Cd	—	—	—	—	0,96	0,55	1,35	0,65	1,00	0,25	0,23	0,48	0,68	
Pb	—	—	—	—	2,33	2,00	6,00	2,60	2,00	1,10	2,40	4,25	2,83	

Cuadro 4.—Tasas de deposición de elementos químicos (kg/ha y año) en San Eusebio en comparación con valores de la literatura.

Lugar.	País	N	P	S	Cl	Na	K	Ca	Mg	Al	H
San Eusebio	Venezuela	9,90	1,10	11,8	59,40	3,26	2,60	5,60	5,23	2,43	0,81
Variación estandar ( $\pm$ )		0,56	0,19			0,45	0,10	1,76	0,05	0,17	—
Santa Fe	Panamá (11)	—	0,95	—	—	30,70	9,50	29,30	4,86	—	—
Adiorodoumé	Costa Marfil (22)	21,20	2,30	—	—	—	5,50	30,00	7,00	—	—
Kade	Ghana (19)	14,00	0,42	—	—	—	17,50	12,70	11,33	—	—
Younde,	Camerun (4)	12,00	1,70	—	—	—	12,00	3,80	1,50	—	—
Samaru,	Nigeria (14)	4,80	—	—	—	61,11	37,20	1,00	2,95	—	—
Kampala	Uganda (26)	19,10	—	7,60	11,40	21,70	21,60	—	—	—	—
	Zaire (8)	6,4	—	4,60	3,50	1,70	2,00	3,90	1,07	—	—
	Gambia (23)	35,40	0,25	—	—	8,10	4,30	2,90	—	—	—
Manaos	Brasil (16)	10,00	0,30	—	—	—	—	3,7	3,0	—	—
El Verde	Puerto Rico (20)	14,00	—	—	—	135,10	—	33,60	26,28	—	—
Berkeley	USA (18)	2,00	0,81	14,51	5,81	6,60	1,72	2,20	0,33	—	0,06
Hubbar Brook	USA (19)	22,60	0,13	38,40	7,01	1,59	0,89	2,17	0,58	—	0,98
				$\pm 2,50$		$\pm 0,12$	$\pm 0,19$	$\pm 0,12$	$\pm 0,07$		
Solling	Alemania (29)	22,60	0,80	24,10	16,00	7,20	3,70	14,40	2,40	1,10	0,80

no se consideran en esta evaluación ya que sus formas amoniacales y orgánicas son más bien de carácter catiónico y ellos no fueron analizadas por separado.

#### Metales alcalinos, térreos y alcalinotérreos

Las concentraciones mensuales promedio encontradas para los elementos Na, K, Ca, Mg y Al se presentan en el Cuadro 2, las tasas de transferencia en el Cuadro 4. El orden encontrado en las concentraciones guarda la secuencia Mg, Ca, Na, K y Al; sin embargo, los coeficientes de variación son muy heterogéneos, variando entre 1,0 y 32 por ciento para el magnesio y el calcio. Las concentraciones y variaciones encontradas conllevan a una deposición de estos elementos relativamente pequeña. La deposición de Na con  $3,26 \pm 0,45$  kg/ha y año es baja en relación con los valores de la literatura; en sitios más cercanos al mar como en El Verde, Puerto Rico (19) se han encontrado valores de hasta 125 kg/ha y año. La deposición del K con  $2,6 \pm 0,10$  kg/ha y año es igualmente baja en comparación con los valores de la literatura. Las deposiciones de Ca y Mg se encuentran más bien dentro del rango normal encontrado en áreas tropicales. La deposición de Al con  $2,43 \pm 0,17$  kg/ha y año es más baja que la de los elementos alcalinos y alcalinotérreos; un criterio de comparación no existe pues no existen datos en la literatura.

La interpretación de la secuencia de las concentraciones y tasas de deposición de éstos elementos es difícil. Sin duda la quema de gases en la explotación del petróleo es una fuente de aerosoles que contienen esos elementos. En la evaluación de las correlaciones entre elementos, basándose en las 27 muestras de aguaceros separados, se encontraron relaciones muy estrechas entre Na, K, Ca y Mg pero no así con Al. El Na correlaciona con K ( $r = 0,805^{**}$ ) y con Ca ( $r = 0,668^{**}$ ); el K con Ca ( $r = 0,636^{**}$ ) y Mg ( $r = 0,568^{**}$ ). Ello sugiere que la formación de polvos y aerosoles a partir de los suelos y rocas de la región en forma de una erosión eólica sea una fuente de esos elementos en las aguas de lluvia. Ello se ratifica por la circunstancia de que la región xerófila al norte del sitio de muestreo, por donde pasan los vientos alisios ascendentes, tiene una cobertura vegetal escasa; la mayor parte de la península de la Guajira y la región costera de los estados de Falcon, Coro y Zulia pertenecen a las formaciones de bosque seco espinoso, muy seco y seco tropical (8).

#### Metales pesados

Las concentraciones encontradas en las aguas de lluvia para los elementos Mn, Fe, Cu, Zn, Cd y Pb son relativamente pequeñas (Cuadro 3). Los coeficientes de variación para el Mn (1,9%), Fe (11,3%)

Cuadro 5.—Tasas de deposición de elementos pesados (g/ha y año) en San Eusebio en comparación con valores de literatura

Lugar	País	Mn	Fe	Cu	Zn	Pb	Cd
San Eusebio	Venezuela	230	900	15	30,3	33,5	8,6
Variación estandar		4	101				
Santa Fe	Panamá (11)	400	300	500	900	600	—
Berkeley	USA (18)	10	70	20	80	—	—
Indiana	USA (21)	—	—	164	983	814	8,2
Solling	Aleman (22)	200	900	233	—	527	17,1

y Zn (3,2%) son bajos, confirmando la homogeneidad de las muestras. Los elementos cobre, cadmio y plomo sólo fueron determinados en las muestras mezcladas de ocho meses; para el cálculo de las tasas de deposición en los meses no analizados, se utilizó el promedio correspondiente. Los promedios para Cu, Zn y Pb son comparables; esos elementos correlacionan entre ellos significativamente (Cu vs Zn  $r = 0,622^{**}$ ; Cu vs Pb  $r = 0,627^{**}$ ). Las concentraciones de cadmio son más bajas; este elemento correlaciona significativamente con el plomo ( $r = 0,583^{**}$ ). Las tasas de deposición para Cu, Pb y Zn alcanzan 45, 33 y 30 g/ha y año son bajas en comparación con los valores encontrados en Panamá por Golley y colaboradores (10). Igualmente son los valores encontrados más pequeños que los encontrados en Alemania por Ulrich *et al.* (24). Sin embargo, y por la falta de valores comparativos, es difícil interpretar si la deposición encontrada, especialmente para Pb y Cd, representa una contaminación severa del ecosistema.

#### Valores de pH

El pH de las muestras analizadas oscila entre 3,83 y 6,21 y alcanza un promedio de 4,55 (Cuadro 1). De acuerdo con la Figura 4 no se puede encontrar una tendencia definida en el año de mediciones. La reacción de las aguas de lluvia se encuentra dentro del ámbito de mediana acidez. Mediciones del pH realizadas en aguas de lluvia en Manaos han arrojado valores comparables (21); en 43 muestras de la época de lluvia se encontró un valor promedio de pH de 4,65; en 10 muestras de la época de sequía un promedio de 4,54. Una explicación de las fuentes de hidrógeno en la atmósfera no es por ahora factible. Los valores de H correlacionan significativamente con el

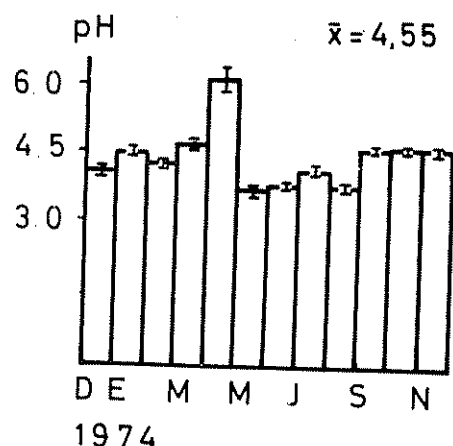


Fig. 4.—Valores mensuales promedios de pH en aguas de lluvia.

cloro ( $r = 0,757^{**}$ ) y el azufre ( $r = 0,386^{*}$ ); es probable que la formación y disociación del HCl y  $H_2SO_4$  en las nubes sea una fuente importante del hidrógeno.

La suma de los cationes en las muestras del agua de lluvia alcanza un valor promedio mensual de  $150 \pm 67 \mu \text{ Mol/l}$ . En la distribución de los cationes juega el H un papel importante (31,6%), siguiendo Mg (27,6%), Al (14,8%), Ca (11,7%) y Na (8,0). Los otros cationes (K, Fe y Mn, etc.) contribuyen poco en la composición de las lluvias.

La tasa de deposición del hidrógeno es de 0,81 kg/ha y año. El efecto acidulante de este elemento es comparable con los efectos encontrados en regiones templadas (4). Los valores de H encontrados en los ecosistemas de Hubbardbrook, USA, (16) alcanzan un promedio de 10 años 0,98; para los ecosistemas del Solling, Alemania (25) se han registrado en 8 años valores promedios de 0,80 kg/ha y año. El impacto del H en los ecosistemas tropicales debe ser objeto de estudios futuros.

#### Resumen

Durante un año se observaron los regímenes de lluvia en la selva nublada de San Eusebio en los Andes de Venezuela (2300msnm,  $8^{\circ} 37'$  norte,  $71^{\circ} 21'$  este) y se analizaron las muestras correspondientes para determinar las tasas de deposición de diferentes elementos químicos en la región.

La suma total de las lluvias alcanzó 1576 mm en el año de estudio y se encuentra ligeramente bajo el promedio de 6 años de observaciones (1453 mm). En el año se registraron 265 días de lluvias y sólo 21 chaparrones con más de 5 mm de lluvia. El régimen pluvial está asociado directamente con la posición geográfica y altitudinal, los vientos alisios del mar del Caribe que ascienden en los flancos de los Andes y las temperaturas de condensación reinantes.

Los análisis químicos arrojaron los siguientes valores de tasas de deposición de elementos químicos (kg/ha y año): N 9,9; P 1,1; S 11,84 Cl 59,4; Na 3,26; K 2,60; Ca 5,6; Mg 5,23; Al 2,43 y H 0,81. Como fuente de esos elementos en la atmósfera, se consideran los aerosoles marinos y los provenientes de la quema de los gases excesivos en la explotación del petróleo y partículas de erosión cólica al norte de la región en estudio. Se discuten los valores en comparación con los encontrados en la literatura. Los elementos pesados alcanzaron las siguientes tasas de deposición (g/ha y año): Mn 230; Fe 900; Cu 45; Zn 30; Pb 33 y Cd 8,6.

#### *Literatura citada*

- 1 BARTHOLOMEW, W.V. y CLARK, F.E. Soil nitrogen. Madison, Wis 1965, 15 p.
- 2 BLACK, C.A. ed. Methods of soil analysis ASA- Monographs 9. Madison, Wis 1965, 1572 p.
- 3 BOYER, J. Cycles de la matière organique et des éléments minéraux dans une cacaoyère camerounaise. Café, Cacao, Thé 17: 3-23 1973.
- 4 DOCHINGER, I.S. y SELIGA, T.A. ed. Proceedings of the First International Symposium on acid precipitation and the forest ecosystem. Upper Darby, Pa. Northeast Forestry Experiment Station, General Technical Report NE-23, 1976 1074 p.
- 5 DYRSSEN, D. The changing chemistry of the oceans. Ambio (Succia) 1: 21-26 1972.
- 6 ELLENBERG, H. Integrated experimental ecology. Berlin, Springer Verlag, 1971 214 p.
- 7 ERIKSSON, E. Composition of atmospheric precipitation. I Nitrogen compounds. II Sulfur, chloride, iodine compounds. Tellus 4: 215-230, 280-303: 1952.
- 8 EWEL, J. J. y MADRIZ, A. Zonas de vida de Venezuela, Caracas, Ministerio de Agricultura y Cría, 1968. 264 p.
- 9 FASSBENDER, H.W. y AHRENS, E. Laborvorschriften und Praktikumsanleitung Göttingen Bodenkunde Berichte 7: 1-88 1977.
- 10 GOLLEY, F.B. *et al.* Mineral cycling in a tropical moist forest ecosystem. Athens. University of Georgia Press 1975. 248 p.
- 11 HEINRICHS, H. y MAYER, R. Distribution and cycling of major and trace elements in two Central European forest ecosystems. Journal of Environmental Quality 6:402-407 1977.
- 12 HERMANN, R. Zur regionalhydrologischen Analyse und Gliederung der nordwestlichen Sierra Nevada de Santa Marta (Kolumbien). Giessener Geographischen Schriften 23: 1-88 1971.
- 13 JONES, M.J. y BROMFIELD, A.R. Nitrogen rainfall at Samaru, Nigeria. Nature 227: 86. 1970.
- 14 JUNGE, C.E. Air chemistry and radioactivity. Academic Press, 1963. 382 p.
- 15 KLINGE, H. y FIITKAU, E.J. Filterfunktionen im Ökosystem des Zentralamazonischen Regenwaldes. Mitteilungen der deutschen Bodenkunde Gesellschaft 16:130-135 1972.
- 16 LIKENS, G.E. *et al.* Biogeochemistry of a forested ecosystem. New York. Springer 1977 146 p.
- 17 MAC COLL, J.G. y BUSH, D.S. Precipitation and throughfall chemistry in the San Francisco Bay area. Journal of Environmental Quality 7:352-357. 1978.
- 18 NYE, P.H. y GREELAND, D.J. Changes in the soil after clearing tropical forest. Plant and Soil 21: 101-110 1964.
- 19 ODUM, H.T. A Tropical rain forest. Washington, U.S. Atomic Energy Commission. 1970 s.n.
- 20 PARKER, G.R. *et al.* Metal distribution in forested ecosystems in urban and rural northwestern Indiana. Journal of Environmental Quality 7:337-342 1978.
- 21 REGENWASSERANALYSEN aus Zentralamazonien. Amazoniana 3: 186-198. 1972.
- 22 ROOSE, E.J. Influence du type de plante et du niveau de fertilisation sur la composition des eaux de drainage en climat tropical humide. Com. XIII. Journal de Hydraulique, 1974.
- 23 THORNTON, I. Nutrient content of rain water in the Gambia. Nature 205: 1025. 1965.
- 24 ULRICH, B. *et al.* Input, Output und interner Umsatz von chemischen Elementen bei einem Buchen und einem Fichtenbestand. Verhandlungen der Gesellschaft fuer Ökologie (Göttingen) 1976 pp. 17-28.
- 25 ULRICH, B. *et al.* Fracht an chemischen Elementen im Niederschlagswasser im Solling. Zeitschrift (en prensa). 1979.
- 26 VISSER, S.A. Chemical composition of rain water in Kampala, Uganda, and its relation to meteorological and topographical conditions. Journal of Geophysical Research 66:3754-3765. 1961.
- 27 WALTER, H. Die Vegetation der Erde. Stuttgart G. Fischer Verlag 1973. 743 p.
- 28 WALTER, H. y LIETH, H. Klimadiagramm Weltatlas. Jena, G. Fischer Verlag 1960. s.p.