

Abstract

The annual hydrological budget in the montane forest ecosystem of San Eusebio, Mérida, Venezuela, was studied and water samples collected and analysed for chemical composition. Total rainfall was 1 576 mm, canopy rainfall 1 260 and stem flow 12 mm. The soil water content of the soil and its changes were calculated based on tensiometer readings and pF-curve. An evapotranspiration of 980 mm was calculated from meteorological data. Percolating water was collected with ceramic lysimeters and calculated from above data to be 588 mm.

In order to calculate the chemical transfer of elements, 192 water samples were analysed for pH, N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe and Al. The chemical input into the ecosystem depends primarily on the rainfall patterns in the region. The high values for N and Na are related to marine aerosols, gases from petrochemical industries and soil particles. The concentration in the percolating waters are lower than the rainfall, so that there is a chemical accumulation in the ecosystems.

Introducción

Uno de los grandes ciclos en la naturaleza es el del agua; ella se mueve constantemente desde la atmósfera a la tierra: pasa por los ecosistemas —vegetación, animales y suelo— y por la corteza terrestre a los océanos y luego regresa a la atmósfera. Dentro de este ciclo hidrológico —dirigido por la energía del sol y la gravedad— se tiene la conexión entre la atmósfera, litósfera e hidrósfera que hace en última instancia posible la vida en la biósfera. El ciclo hidrológico en un ecosistema es muy importante, ya que el agua determina la fisonomía de la vegetación y la distribución de animales y es un factor de la formación del suelo. Además el agua desempeña, como solvente universal, un papel imprescindible en la translocación de elementos químicos.

Para describir el ciclo del agua en un ecosistema es necesario describir todos los procesos de transferencia del agua dentro del mismo (Figura 1).

El agua que ingresa al ecosistema depende del régimen de lluvias y está asociada a la posición geográfica de la región, la circulación planetaria de las masas de nubes y aire, temperatura, vegetación y otros factores. Una parte del agua que ingresa al ecosistema forestal es retenida por las hojas de la vegetación (intercepción), la cual se evapora en función de la temperatura y la radiación solar. Otra parte del agua que llega al rodal escurre de las hojas o a lo largo de los tallos y llega por gravedad a la superficie de la capa de mantillo del suelo; esta agua puede escurrir sobre la superficie del suelo o percolar en el mismo. El agua almacenada en el suelo, en función de sus características de textura y estructura, representa la reserva de donde las plantas absorben las cantidades necesarias para sus ciclos energéticos y nutrimentales; una parte del agua almacenada en los tejidos vegetales difunde a través de las membranas celulares y pasa a la atmósfera en forma de vapor como agua de transpiración. Cuando el agua que ingresa al suelo sobrepasa la capacidad de retención en el mismo, y en función de la gravedad pasa a la capa freática, egresa del ecosistema.

En áreas tropicales y subtropicales existe una gran cantidad de datos sobre los regímenes pluviales; las

1/ Recibido para publicación el 23 de diciembre de 1980. Los autores agradecen a la Sociedad Alemana de Investigaciones por el apoyo financiero para la conducción de los trabajos y a la Universidad de los Andes por el apoyo logístico.

* Instituto de Suelos y Nutrición Forestales de la Universidad de Göttinga, Alemania, D-3 400 Göttingen, Büsgenweg 2. Actualmente en Centro de Pesquisas Agropecuarias dos Tropicós Umidos, Belém, Brasil.

* Igualmente Institut für Bodenkunde und Waldernährung, Büsgenweg 2, D-3 400 Göttingen-Weende, Rep. Federal de Alemania.

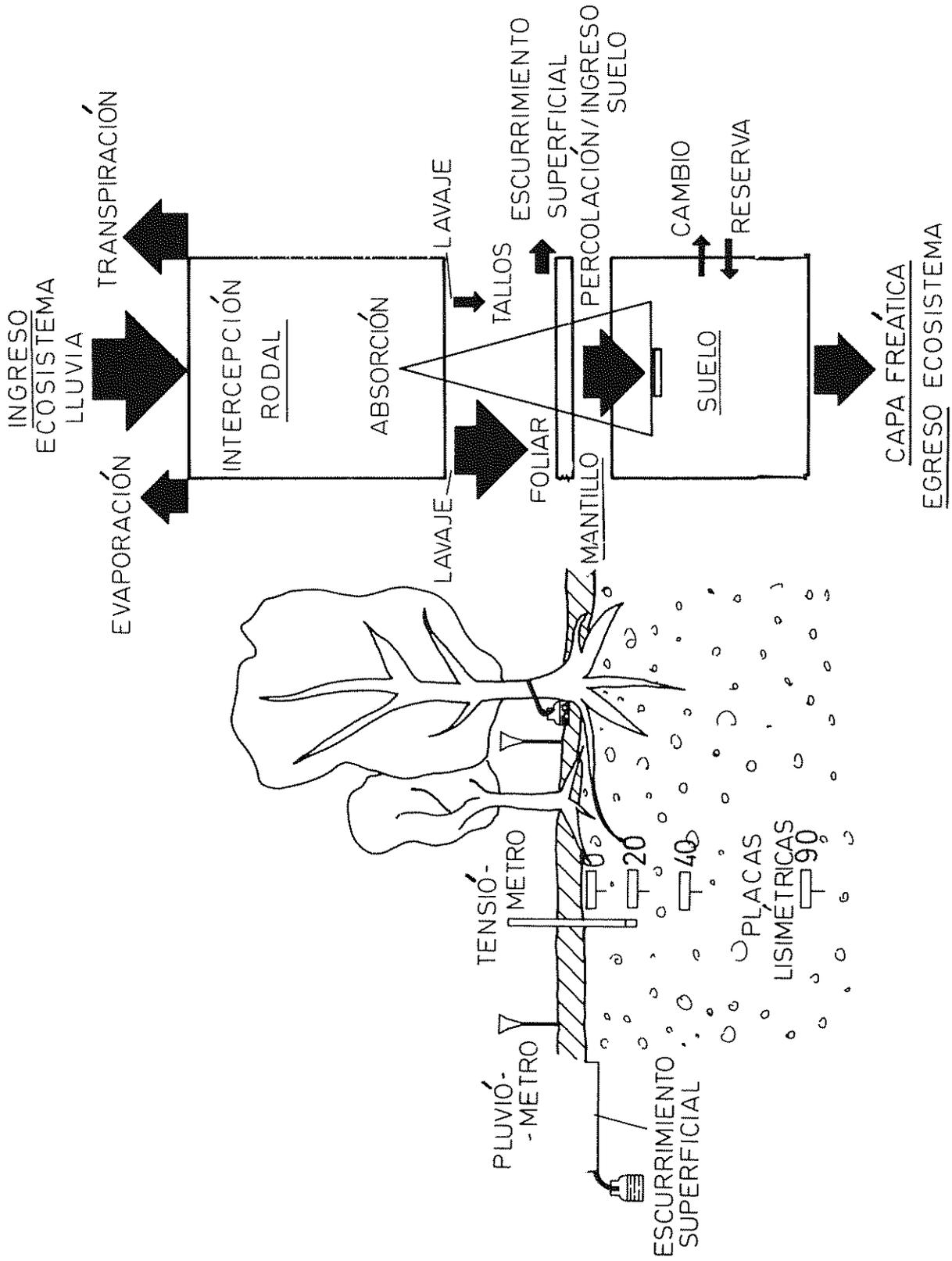


Fig. 1. Representación esquemática de las mediciones de flujos de agua en el ecosistema (sin escala).

informaciones sobre la translocación de elementos químicos con las lluvias son aún escasos (1, 2, 4, 7, 9, 10, 11, 14, 17, 19). Una descripción completa del ciclo hidrológico en ecosistemas ha sido hasta ahora objeto de pocas investigaciones (1, 7, 9, 14), ya que el sistema es bastante complejo y supone una gran cantidad de mediciones.

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

Materiales y métodos

Sitio de los estudios

El estudio se realizó en el bosque "San Eusebio" de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de los Andes en Mérida, Venezuela, descrito en detalle en publicaciones anteriores (6, 8, 15).

Medición de los flujos hidrológicos y recolección de muestras de agua

Después de la instalación y calibración de los equipos para las mediciones correspondientes, se llevaron a cabo los registros durante un año, entre diciembre de 1973 y noviembre de 1974, se utilizó equipo de registro continuo, se hicieron observaciones dos veces por semana, con mayor frecuencia en los meses de mayor pluviosidad. En detalle, se hicieron las siguientes mediciones y recolección de muestras de agua (Figura 1)

La lluvia o ingreso de agua al ecosistema en una parcela de tala rasa dentro del bosque, utilizando un pluviógrafo de Hellmann de registro semanal continuo y 30 pluviómetros de material plástico, distribuidos en tres líneas de 10 pluviómetros, a una distancia de 5 metros entre ellas. Para la recolección de las muestras se consideraron las tres líneas de pluviómetros como repeticiones y muestras mensuales, resultando 36 muestras de agua.

El **lavaje foliar** bajo el rodal de la parcela 3, utilizando igualmente 30 pluviómetros de material plástico, distribuidos en tres líneas como en la parcela de tala rasa; igualmente se recolectaron muestras mensuales con tres repeticiones, o sea 36 en total.

El **lavaje de tallos** en cuatro subparcelas de 100 m² en la parcela 3, en las cuales se ajustaron canaletas de caucho colectoras de agua en el tallo de todos los árboles con un diámetro a la altura del pecho, mayor de 10 cm. De cada una de las subparcelas se preparó

una muestra mensual, resultando 48 muestras en el año de estudio.

La intercepción, equiparable a la evaporación desde el rodal, se calculó como diferencia entre la lluvia y la suma del lavaje foliar y de los tallos.

La lluvia bajo el rodal, equiparable al ingreso de agua en el suelo, se calculó como la suma del lavaje foliar y del lavaje de tallos.

El **escurrimiento superficial** en el suelo en 6 subparcelas de 10 m², distribuidas en forma radial en la parcela 3, construidas con canaletas de lluvia. Mensualmente se homogeneizaron 3 muestras de agua.

El **contenido de agua** en el suelo y su cambio durante el año de observaciones se determinó en función de valores de **tensiómetros** en 20, 45 y 90 cm de profundidad con tres repeticiones y la **curva de pF** característica del suelo, determinada en muestras intactas, tomadas en cilindros metálicos y determinada bajo 1, 5, 50, 100, 33, 1 000, 3 000 y 10 000 cm de succión (Figura 3). Para la recolección de muestras de agua se colocaron **placas lisimétricas de cerámica** con ocho repeticiones bajo la capa de mantillo y en profundidades de 20, 40 y 90 cm en el suelo mineral. En función de las observaciones de la tensión de agua en las diferentes profundidades con los tensiómetros se transfirió la misma tensión a las placas lisimétricas con una carga de agua variable con un sistema de capilares, regulada con dos observaciones semanales (Figura 2). Las muestras de agua de percolación obtenidas representan así exactamente las condiciones hidrológicas en el suelo. Para la recolección de muestras se consideraron las placas bajo la capa de mantillo, a 20 y 90 cm de profundidad en el suelo mineral con tres repeticiones cada mes, resultando 36 muestras en el año de estudio.

Análisis químicos

Las 192 muestras colectadas se guardaron congeladas hasta el momento del análisis. Antes del análisis se evaporó lentamente una alícuota de las muestras en relación 10 : 1 con una plancha eléctrica a 60°C y se hicieron algunas determinaciones (N, P, Fe, Mn). Los análisis se realizaron en los laboratorios del Instituto de Geografía de la Universidad de los Andes en Mérida, con los siguientes métodos (5):

- pH con un electrodo de vidrio en la muestra original.
- N después de una digestión con Se-H₂SO₄ (Kjeldahl) y titulación.

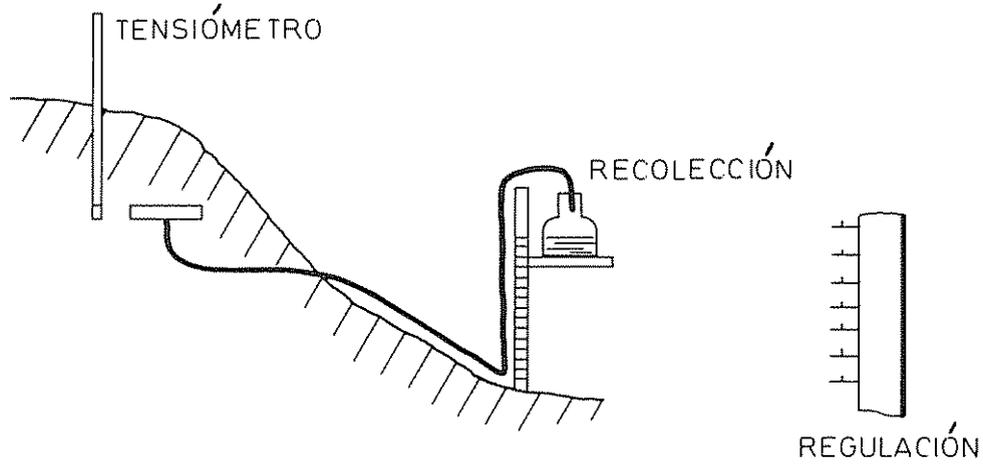


Fig. 2 Detalle de la medición de la tensión de agua en el suelo y la recolección de muestras de agua (sin escala, inclinación del terreno sobreestimada).

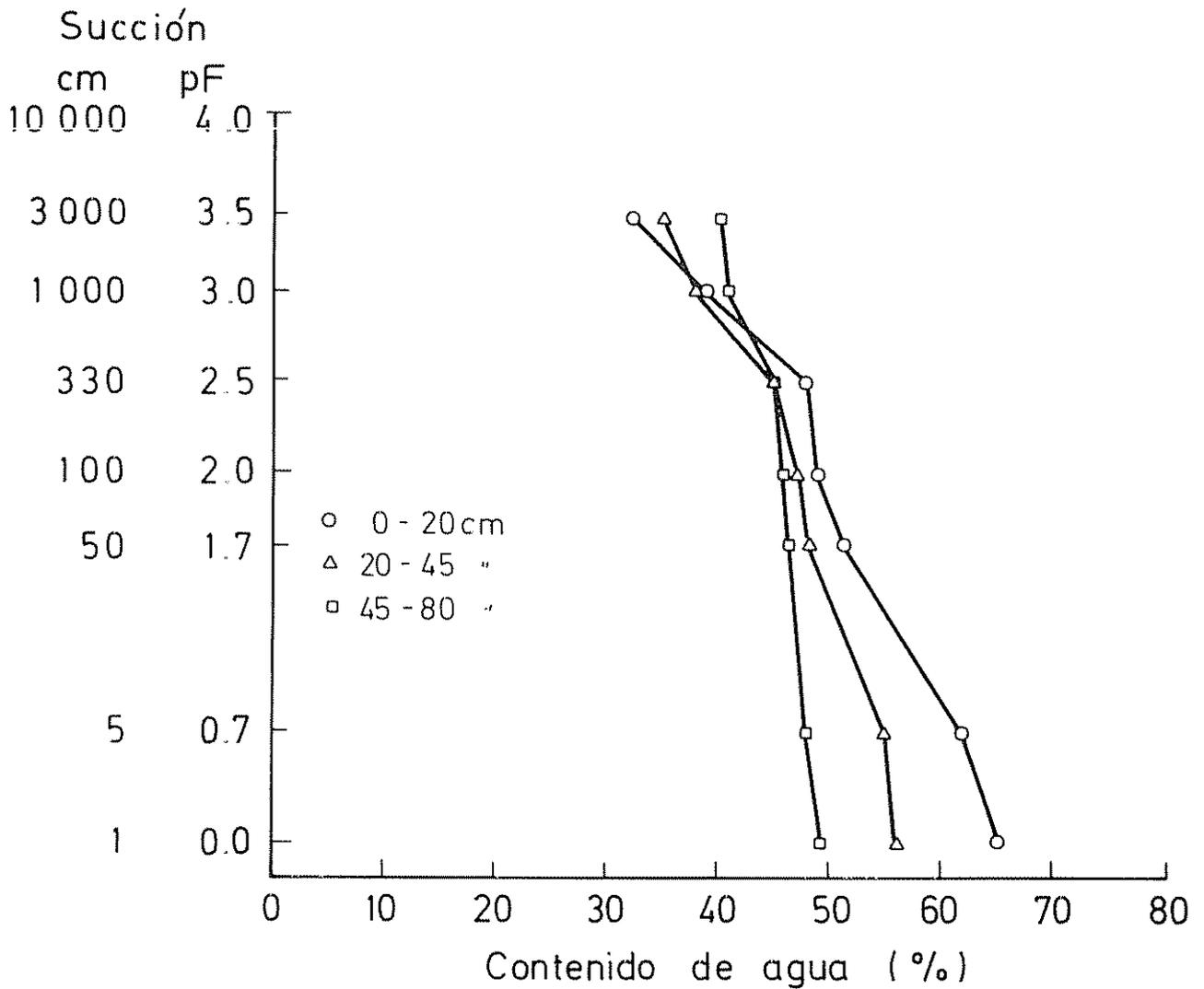


Fig. 3. Curva de tensión de agua del suelo (pF).

- P en la muestra evaporada 10 : 1 en forma de fosfomolibdato de amonio
- 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 y Al igualmente por espectrometría de absorción atómica, pero en las muestras evaporadas 10 : 1.

Cálculo de la evapotranspiración y percolación

La evapotranspiración representa la transferencia de agua del ecosistema a la atmósfera; es un factor importante en el ciclo hidrológico. Aunque los procesos de la evaporación y transpiración son físicamente similares, pueden sólo medirse o calcularse en un ecosistema forestal en forma indirecta.

La evaporación potencial se determinó con una balanza o tanque de evaporación de registro semanal continuo (Fa. Lambrecht) en la parcela del bosque, que arrojó un valor anual de 679 mm. Para el cálculo de la evapotranspiración potencial se utilizaron diferentes fórmulas, dentro de las cuales las de Thornwaite (16) y Turc (18) arrojaron valores anuales de 651 y 740 mm, respectivamente.

La evapotranspiración real se calculó en función de datos climáticos según la fórmula.

$$R_n = R_g + Ra - RF_c - RF_l$$

donde R_n es la radiación neta,

R_g es la radiación global medida con un radiógrafo de registro semanal continuo de la Fa. Robitzsch,

Ra es la radiación atmosférica calculada según la fórmula de Angstrom,

RF_c es la reflexión de onda corta con un valor promedio del 15 por ciento,

RF_l es la reflexión de onda larga calculada con la constante de Boltzmann con un coeficiente de emisión de 0.97

Con los valores de la radiación neta se calculó la evapotranspiración real, suponiendo que el flujo de calor al suelo es compensado en el transcurso de un año, y utilizando los valores del calor sensible de Budyko (3). Con los valores obtenidos y considerando el calor latente (590 kcal por kg de agua), se calculó la evapotranspiración real.

La transpiración del rodal, equiparable a la absorción de agua a partir del suelo, se calculó como la diferencia entre la evapotranspiración y la evaporación (intercepción) del rodal.

El agua de percolación, que egresa del ecosistema, se calculó como la diferencia entre el agua que ingresó al suelo mineral y la absorción por el rodal.

Cálculo de las tasas de transferencia de elementos químicos

Con las concentraciones encontradas para los diferentes elementos químicos analizados se calcularon los valores promedios mensuales y las desviaciones estándares respectivas. En función de las concentraciones (mg/l) y las cantidades de agua en cada uno de los flujos (mm, l/m^2) se calcularon las tasas de transferencia correspondientes.

Resultados y discusión

Flujos de agua en el ecosistema

Los valores mensuales promedios y el valor total anual de cada uno de los procesos durante la época de medición están resumidos en el Cuadro 1.

La lluvia o ingreso de agua al ecosistema alcanzó un valor anual de 1 576 mm. Durante el año de observación se registraron dos épocas de lluvias abundantes (abril/mayo y setiembre/octubre). Los mínimos de lluvias se registraron en febrero y junio, respectivamente. El promedio de lluvias a largo plazo, medido durante 6 años en diferentes lugares del bosque (15), alcanzó un valor de 1 453 mm al año. Al comparar la distribución de las lluvias se constata que los meses de febrero y marzo son los de menor lluvia, los meses de mayo y setiembre son los más lluviosos, pero no presentan valores tan extremos. La variación estadística de los valores de las tres repeticiones (líneas de 10 pluviómetros) es pequeña, alcanzando un coeficiente del 3 por ciento.

El lavaje foliar alcanzó un valor anual total de 1 260 mm, correspondiendo al 80 por ciento de la lluvia. Los valores mensuales presentan en el transcurso del año las mismas tendencias que la lluvia, entre los valores mensuales de ambos flujos existe una correlación estadísticamente significativa de acuerdo con la ecuación:

$$Y (\text{lavaje}) = 0.994 X (\text{lluvia}) - 25.56, \\ r = 0.99^{+++}$$

Cuadro 1: Valores mensuales y anuales de los flujos hidrológicos (mm ó l/m²).

	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Año
Lluvia. Ingreso al ecosistema	77.9	61.9	44.6	70.3	124.9	252.9	42.7	140.7	90.6	326.2	229.3	114.4	1 576.4
Lavaje foliar	35.3	43.7	27.2	46.4	86.2	209.1	26.7	112.6	54.4	307.8	215.2	95.2	1 259.8
Lavaje tallos	0.3	0.4	0.2	0.4	0.7	2.3	0.2	0.9	0.5	2.6	2.2	1.0	11.7
Intercepción													
mm	42.3	17.8	17.2	23.5	38.0	41.5	15.8	27.2	35.7	15.8	11.9	18.2	304.9
%	54	29	39	33	30	16	37	19	39	5	5	16	19
Ingreso al suelo	35.6	44.1	27.4	46.8	86.9	211.4	26.9	113.5	54.9	310.4	217.4	96.2	1 271.5
Ecurr. superf.	2.6	2.3	0.1	0.4	1.7	3.5	0.1	0.2	0.1	2.7	0.7	0.2	14.6
Δ Suelo	2.6	3.3	-25.9	-1.0	36.7	-11.3	-26.9	35.7	-4.7	2.0	9.6	-13.2	6.9
Evapotranspiración													
kcal	4.3	3.0	3.8	3.2	3.6	6.1	5.8	5.9	6.4	6.1	5.6	4.2	57.9
mm	72.7	51.3	64.1	54.8	61.0	103.1	98.2	99.8	108.1	102.9	94.2	71.0	981.4
Transpiración	30.4	33.5	46.9	31.3	23.0	61.8	82.4	72.6	72.4	87.1	82.3	52.8	676.3
Percolación													
Egreso del suelo	2.6	7.3	6.4	16.5	27.2	161.1	-28.6	5.2	-12.8	221.3	125.5	56.6	588.3

El lavaje de tallos alcanzó un valor anual de 12 mm, correspondiendo al 0.7 por ciento de las lluvias. Aunque estos valores son bajos, se encontró una correlación significativa ($r = 0.99^{***}$) entre los valores mensuales de ambos flujos. Tanto en rodales de áreas templadas como tropicales se ha encontrado que el lavaje foliar contribuye con valores más altos dentro del ciclo hidrológico; para el bosque de San Eusebio se debe hacer la observación de que las epifitas y especialmente los musgos y helechos, que crecen en los tallos, retienen notables cantidades de agua.

La intercepción alcanzó un valor total anual de 305 mm, equivalentes al 19 por ciento de las lluvias. En la distribución anual se observa, como se esperaba, que la intercepción tiene valores más altos en los meses de menor pluviosidad; ello está asociado a la estructura de las lluvias; en los meses "secos" de febrero y junio se registraron 15 días de lluvias, y 28 en los "lluviosos" de setiembre y octubre. La correlación:

$$Y (\% \text{ de intercepción}) = 44.19 - 0.13 X (\text{lluvia mensual}), \\ r = 0.81^{***}$$

confirma la situación e indica que al aumentar la pluviosidad disminuye el agua retenida en el rodal.

El escurrimiento superficial en el suelo alcanzó un valor relativamente pequeño de 15 mm, equivalente al 1.2 por ciento de los 1 272 mm que ingresaron al suelo. Este resultado es explicable por la inclinación del terreno —aproximadamente 20 por ciento— de la que resulta más bien una percolación profunda lateral del agua, que es difícil de registrar con canaletas de lluvia.

Los cambios del contenido de agua en el suelo, calculados en función de los valores de los tensiómetros y la curva de pF del suelo, indican que en el transcurso del año existe una variación muy pequeña (7 mm). Sin embargo, y como se constata en la Figura 4, existe una variación constante de los valores en el suelo en función de las lluvias y la absorción de las plantas; en el mes de mayo se registraron hasta 50 cm de succión en la matriz del suelo. Estos valores calculados pueden considerarse sólo como una primera aproximación, ya que las fuentes de error, especialmente la variabilidad de los tensiómetros (Figura 4), es bastante alta.

La evapotranspiración real, calculada en base a datos meteorológicos, alcanzó un valor de 981 mm, contribuyendo la transpiración con 676 mm. Ello implica que la absorción de agua, en promedio diario, llega a ser aproximadamente 2 mm. Si bien éste es un valor dentro del marco de la literatura correspondiente (1, 12), se debe indicar que tiene una serie de fuentes de error —valores aproximados de reflexión, falta de observación de velocidad de vientos, grado de nubosidad, calor sensible— lo cual limita su generalización. En forma global se puede expresar un valor de 1 000 mm de evapotranspiración, correspondientes 300 a evaporación y 700 a transpiración.

El agua de percolación, equiparable al agua que egresa del ecosistema, alcanzó un valor anual de 588 mm; los valores mensuales presentan una distribución paralela a las lluvias. Así, en los meses de mayor pluviosidad y después de la saturación del suelo con agua se observa la percolación. En los meses de mayo y setiembre se calculó una percolación de 161 y 221 mm, respectivamente. El agua de percolación representa el 37 por ciento de las llu-

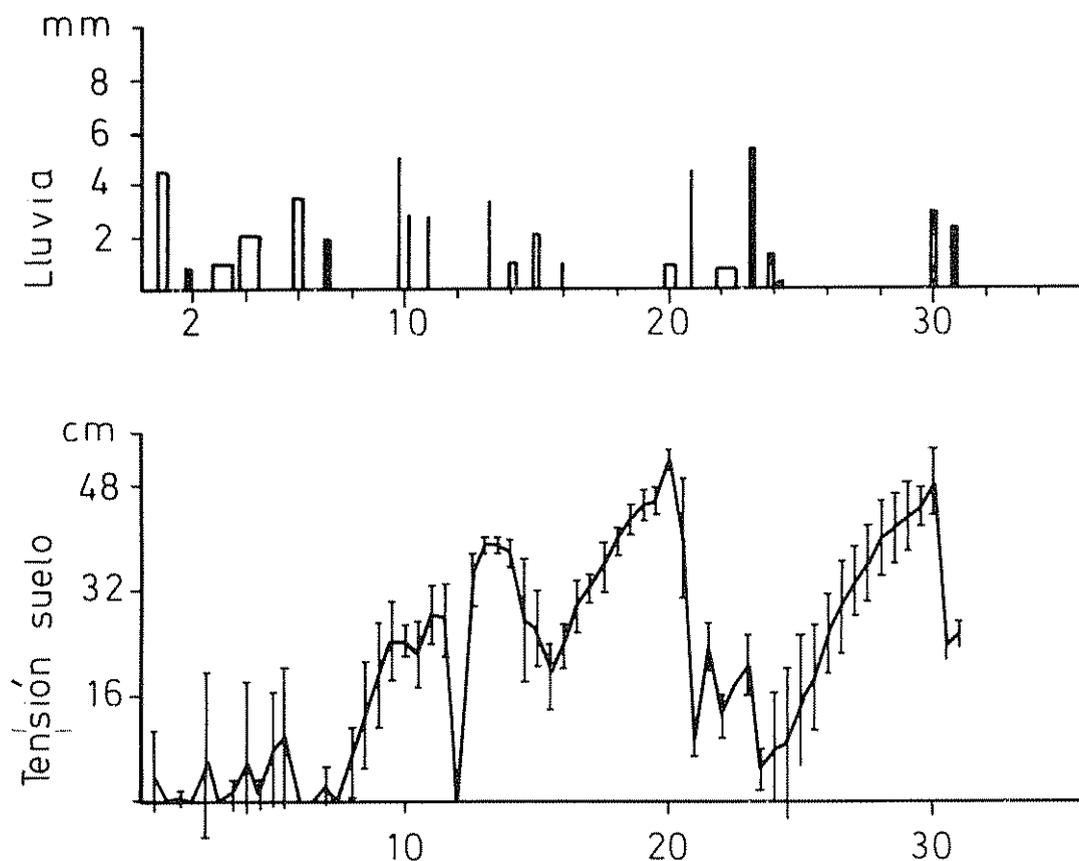


Fig. 4. Variación de la tensión de agua a 20 cm de profundidad en función de las lluvias en el mes de mayo.

vias, y así también es la relación entre el ingreso y egreso del agua en el ecosistema.

Una comparación con los pocos datos encontrados en la literatura resulta difícil, ya que las lluvias, estructuras de los ecosistemas, etc., son muy diferentes. Sin embargo, es interesante observar que en un bosque de llanura en Santa Fé, Panamá (7), se encontró una participación de los flujos de agua en el ecosistema muy similar al de San Eusebio; de los 1 933 mm de lluvia anual corresponde el 17 por ciento a la intercepción y el 39 por ciento a la percolación del suelo.

Concentración de elementos químicos

Los valores promedios anuales del pH y elementos químicos encontrados están sumarizados en el Cuadro 2 y parcialmente representados gráficamente en la Figura 5. La composición química del agua de lluvia ha sido discutida en detalle anteriormente (15); los valores relativamente altos encontrados para los elementos N, S, Cl y Na se deben seguramente a la quema excesiva de gases de la extracción de petróleo y la industria petroquímica al norte de la región de estudio y a la formación de aerosoles de NaCl que ascien-

den en los flancos de los Andes con los vientos alisios reinantes.

Para todos los elementos analizados se observa un cambio de sus concentraciones al pasar por el ecosistema (Figura 5). Así, las concentraciones aumentan con el escurrimiento foliar, alcanzan el valor más alto al pasar por la capa de mantillo y finalmente disminuyen en el suelo mineral. Esta distribución es típica para N, P, K, Ca y Mn; para el Mg no se observa un aumento en el escurrimiento foliar; para el Na y Al se observa el valor más alto en 20 cm de profundidad en el suelo, posiblemente debido a que estos elementos no son absorbidos selectivamente por las plantas. El potasio arroja los valores más extremos al atravesar el ecosistema, llegando a 38 mg/l al ingresar al suelo mineral, donde es absorbido por las plantas rápidamente, alcanzando a 90 cm de profundidad solamente 0.45 mg/l; estudios en otros ecosistemas forestales indican que este elemento es translocado muy rápidamente (7, 14, 20).

Transferencia de elementos químicos

La transferencia de elementos químicos con el agua a través del ecosistema se ha resumido en el Cua-

Cuadro 2: Valor promedio anual de pH y elementos quimicos (mg/l).

	pH	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Al	Na
Lluvia	4.55	0.64	0.052	0.214	0.385	0.514	0.070	0.022	0.157	0.278
Esc. foliar	5.62	0.72	0.079	7.83	0.765	0.450	0.045	0.026	0.191	0.466
Esc. tallos	5.92	0.94	0.096	11.71	1.331	0.452	0.326	0.040	0.271	0.356
Ingr. suelo	5.34	4.56	0.291	38.39	5.082	2.09	0.548	0.101	1.059	0.415
Egr suelo	4.92	0.77	0.016	0.451	0.412	0.113	0.057	0.013	0.180	0.269

dro 3 en forma comparativa con otros estudios de regiones tropicales y subtropicales. Una comparación absoluta es, sin embargo, difícil ya que existen diferencias entre los métodos de recolección de las muestras y especialmente de la duración de los estudios.

Los valores de ingreso en el ecosistema para nitrógeno y elementos alcalinos registrados en San Eusebio son más bajos que los de otros estudios, especialmente para N en Gambia (17) y para Na en Nigeria (10) y

Puerto Rico (14); tal como fue discutido anteriormente, el ingreso de elementos al ecosistema con las lluvias depende notablemente de las condiciones atmosféricas reinantes (tormentas) y de las cercanías de las costas. Una contaminación de P en las muestras, tanto en los valores propios como en los de otros autores, es factible.

Para el escurrimiento foliar se encuentran para el ecosistema de San Eusebio valores generalmente

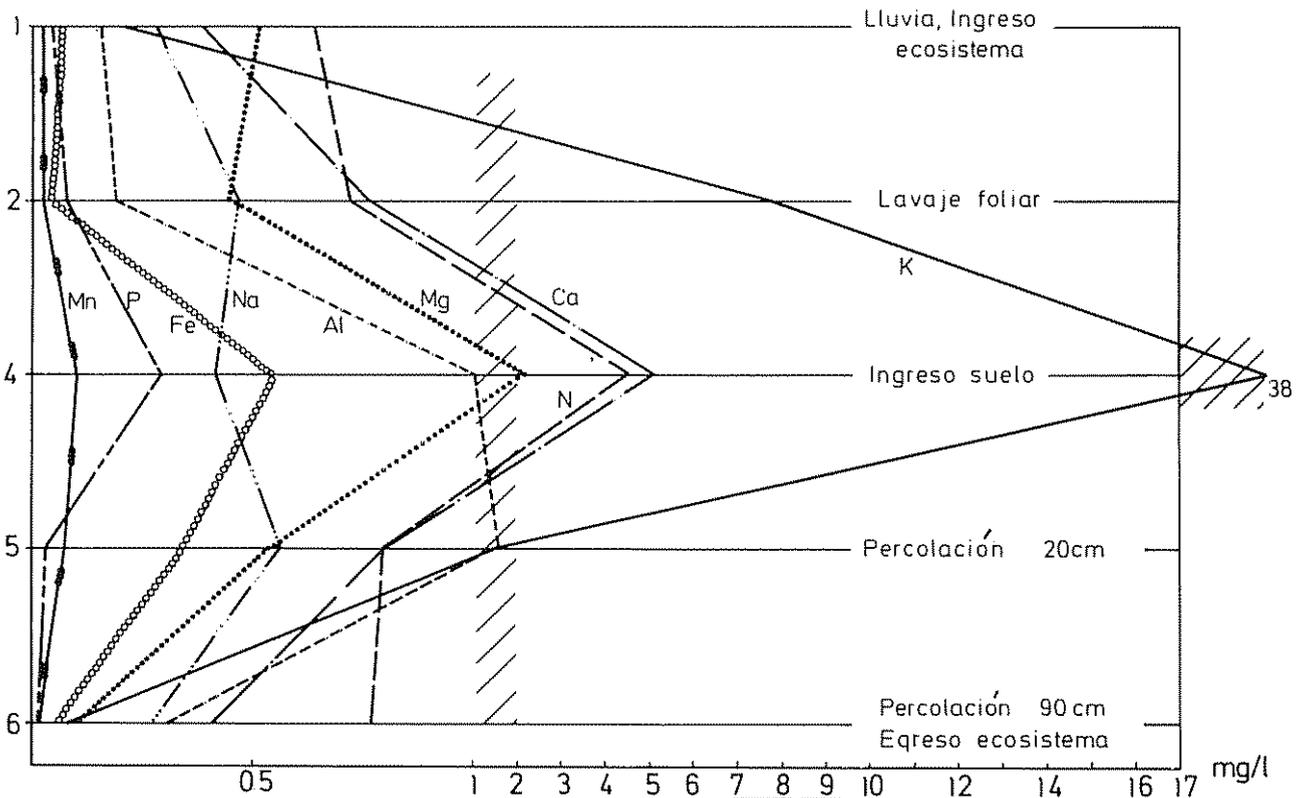


Fig. 5 Concentración de elementos quimicos en el pasaje del ecosistema.

Cuadro 3: Transferencia de elementos químicos con el ciclo hidrológico (kg/ha y año).

Lugar, País (Autor)	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Al	Na
Lluvia									
San Eusebio, Venezuela	9.9	1.1	2.6	5.56	5.20	0.9	0.23	2.40	3.26
Manaos, Brasil (11)	10.0	0.3	—	3.7	3.0	—	—	—	—
Sta Fé, Panamá (7)	—	0.96	9.5	29.3	4.86	3.0	0.43	—	—
El Verde, Pto. Rico (14)	14.0	—	—	33.6	26.3	—	—	—	135.1
Kade, Ghana (13)	14.0	0.42	17.5	12.7	11.3	—	—	—	—
Younde, Camerún (2)	12.0	1.7	12.0	3.8	1.5	—	—	—	—
Samaru, Nigeria (10)	4.8	—	37.2	1.0	2.9	—	—	—	61.1
Kampala, Uganda (19)	19.1	—	21.6	—	—	—	—	—	21.7
Kampala, Zaire (4)	6.4	—	2.0	3.9	1.1	—	—	—	1.7
ESCURRIMIENTO FOLIAR									
San Eusebio, Venezuela	8.5	1.4	69.7	6.86	3.30	0.47	0.24	2.3	4.40
Sta Fé, Panamá (7)	—	0.61	50.0	37.5	9.80	4.28	0.34	—	—
El Verde, Pto. Rico (14)	72.0	—	—	69.4	25.2	—	—	—	211.7
Kade, Ghana (13)	26.5	4.1	237.7	41.6	29.2	—	—	—	—
Banco, Costa Marfil (1)	81.0	9.8	175.0	47.0	48.0	—	—	—	—
ESCURRIMIENTO TALLOS									
San Eusebio, Venezuela	0.06	0.02	1.0	0.12	0.04	0.02	0.003	0.03	0.03
El Verde, Pto. Rico (14)	—	—	—	11.3	6.06	—	—	—	3.18
EGRESO DEL SUELO									
San Eusebio, Venezuela	5.1	0.26	2.2	1.6	0.60	0.26	0.09	1.0	1.3
Sta Fé, Panamá (7)	—	0.70	9.3	163.2	43.6	10.1	0.3	—	—
El Verde, Pto. Rico (14)	—	—	—	43.8	18.2	—	—	—	87.6

más bajos que los de la literatura. En el caso del N se encuentran diferencias hasta de una décima potencia (San Eusebio 8.5, Costa de Marfil (1) 81 kg/ha y año). Más extremo es el caso del Na, donde en San Eusebio se registraron 4.4 y en El Verde en Puerto Rico (14) 221.7 kg/ha y año.

Aunque las concentraciones de los elementos químicos en el escurrimiento de tallos son generalmente más altas que en el escurrimiento foliar, resulta, en función de las cantidades, una transferencia menor en el transcurso del año. Tanto, que las cantidades casi no son de importancia en una observación total del ciclo de los elementos estudiados. Valores comparativos sólo se han encontrado para El Verde en Puerto Rico (14), donde las tasas son generalmente mayores.

Valores comparativos para la percolación del suelo —egreso del ecosistema— sólo se han encontrado en dos estudios, en Santa Fé en Panamá y El Verde en Puerto Rico (7, 14), donde se recolectaron muestras en un riachuelo cercano al sitio de los estudios. En ambos casos se han encontrado egresos de elementos químicos más altos que en el ecosistema de San

Eusebio. La única pérdida importante registrada en este estudio es la del N con 5.1 kg/ha y año.

Al comparar los valores encontrados de ingreso y egreso de elementos químicos en los ecosistemas se constata que en San Eusebio existe una acumulación continua de todos los elementos estudiados, de lo cual resulta un incremento en la estabilidad del ecosistema. En el caso de los ecosistemas de Santa Fé (7) y El Verde (14) los egresos son más altos que los ingresos, resultando así una pérdida continua de elementos.

Resumen

En una parcela del ecosistema forestal montano de "San Eusebio", Mérida, Venezuela, se estudió el ciclo hidrológico y la transferencia de elementos químicos con el agua. Los diferentes flujos de agua en el ecosistema se midieron con equipo de registro semanal continuo y por lo menos dos observaciones semanales. Se registraron las lluvias (con un valor anual de 1 576 mm), el lavaje foliar (1 260 mm) y de tallos (12 mm), el escurrimiento

superficial en el suelo (15 mm) y el contenido de agua del mismo —valores de tensiómetros y curva de pF—. Por diferencia se calcularon la intercepción (305 mm) y la evaporación. Con base en datos meteorológicos se calculó la evapotranspiración real (981 mm), y por diferencia entre la lluvia bajo el rodal y la absorción de agua se calculó la percolación de agua del suelo (588 mm). Se discute la importancia y participación de cada uno de los flujos.

En 192 muestras de agua recolectadas se analizaron los elementos N, P, K, Ca, Mn, Fe, Al y Na y el pH. En función de las concentraciones y los flujos correspondientes se calcularon las tasas de translocación de los elementos químicos. Las concentraciones aumentan en el pasaje del ecosistema en el lavado foliar y de tallos, y disminuyen en el agua de percolación.

Las tasas de ingreso de elementos químicos en el ecosistema depende notablemente de las condiciones medioambientales de la región del estudio, proveniente las cantidades altas de N y Na de la contaminación atmosférica. El ciclo interno de los elementos es intenso, especialmente para el K. Al comparar los valores de ingreso y egreso de elementos químicos en el ecosistema se corrobora una acumulación continua de elementos en el ecosistema en estudio.

Literatura citada

1. BERNHARD—REVERSAT, F. Nutrients in throughfall and their quantitative importance in rain forest mineral cycles. *Tropical Ecological Systems*, New York. 153-159. 1975.
2. BOYER, J. Cycles de la matière organique et des éléments minéraux dans une cacoyère camerounaise. *Café, Cacao, Thé*. 17:3-23. 1973.
3. BUDYKO, M. I. Atlas teplogogo balansa zan nogo schara. Moscú. 1965.
4. ERIKSSON, E. Composition of atmospheric precipitation. I Nitrogen compounds. II. Sulfur, chloride, iodine compounds *Tellus*. 4:215-230, 280-303. 1952.
5. FASSBENDER, H. W. y AHRENS, E. Laborvorschriften und Praktikumsanleitung. *Göttinger Bodenkunde, Berichte*. 7:1-88. 1977.
6. FASSBENDER, H. W. y GRIMM, U. Ciclos biogeoquímicos en un ecosistema forestal de los Andes Occidentales de Venezuela. II. Producción y descomposición de residuos vegetales. *Turrialba*. 31(1):39-47. 1981.
7. GOLLEY, F. B. *et al.* Mineral cycling in a tropical moist forest ecosystem. Athenas. University of Georgia Press. 248 p. 1975.
8. GRIMM, U. y FASSBENDER, H. W. Ciclos biogeoquímicos en un ecosistema forestal de los Andes Occidentales de Venezuela. I. Inventario de las reservas orgánicas y minerales (N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Al y Na). *Turrialba*. 31(1):27-37. 1981.
9. HUTTEL, C. Recherches sur l'écosystème de la forêt subéquatoriale de basse Côte-d'Ivoire Estimation du bilan hydrique. *La Terre et la Vie*. 29:192-202. 1975.
10. JONES, M. J. y BROMFIELD, A. R. Nitrogen rainfall at Samaru, Nigeria. *Nature*. 227:86. 1970.
11. KLINGE, H. y FITTKAU, E. J. Filterfunktionen im Ökosystem des Zentrallamazonischen Regenwaldes. *Mitteilungen der deutschen Bodenkunde-Gesellschaft*. 16:130-135. 1972.
12. LANGE, O. E. *et al.* eds. Water and plant life. *Ecological Studies* 19. Parey Verlag, Berlin. 1976. 536 p.
13. NYE, P. H. y GREELAND, D. J. Changes in the soil after clearing tropical forest. *Plant and Soil*. 21:101-110. 1964.
14. ODUM, H. T. A tropical rain forest. Washington, U. S. Atomic Energy Commission. 1970, s.n.
15. STEINHARDT, U. y FASSBENDER, H. W. Características y composición química de las lluvias de los Andes Occidentales de Venezuela. *Turrialba*. 29:175-182. 1979.
16. THORNWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*. 38:55-94. 1948.
17. THORNTON, I. Nutrient content of rain water in the Gambia. *Nature*. 205:1 025. 1965.

-
18. TURC, L. Evaluation des besoins en eau d'irrigation - évapotranspiration potentielle. *Annales Agronomiques*. 12:13-49. 1961.
 19. VISSER, S. A. Chemical composition of rain water in Kampala, Uganda, and its relation to meteorological and topographical conditions. *Journal of Geophysical Research*. 66:3 754-3 765. 1961.
 20. ZAMIEROWSKI, E. E. Leaching losses of minerals from leaves of trees in montane forest in Kenya. *Journal of Geology*. 63: 679-687. 1975.