

Citar como:

Pacheco, E., Ataroff, M. 2001. Relación precipitación-percolación en una selva nublada andina venezolana. Memorias del IV Simposio Internacional de Desarrollo Sustentable en Los Andes: La estrategia Andina para el siglo XXI. Edición en CD-ROM.

**RELACIÓN PRECIPITACIÓN - PERCOLACIÓN EN UNA
SELVA NUBLADA ANDINA VENEZOLANA**
*PRECIPITATION-DRAINAGE RELATIONSHIP IN AN ANDEAN CLOUD FOREST IN
VENEZUELA*

Enrique Pacheco¹¹ y Michele Ataroff¹²

RESUMEN

Es sabido que los sistemas forestales favorecen y regulan los procesos de drenaje, garantizando continuidad en la recarga de la zona vadosa, con el consecuente mantenimiento de un caudal mínimo durante las épocas menos lluviosas. Como parte de un programa de estudios detallados de la dinámica ecohidrológica de una selva nublada de Los Andes venezolanos, estudiamos los principales flujos de la selva nublada de La Mucuy (8°38'N, 71°02'W), estado Mérida, a 2300 msnm, por un período de seis meses registrando la información cada 15 min. El balance hídrico de la selva mostró que el 9% de total de agua incidente fue debida a la interceptación de neblina, la precipitación efectiva fue 50% del ingreso total, la escorrentía superficial fue 1,7% y la percolación a -90 cm dentro del suelo fue 25%. Se observaron importantes diferencias en la respuesta del sistema frente a cada una de cinco categorías de intensidad-monto de precipitación vertical, a saber: 0-10, 11-20, 21-40, 41-60, y >60 mm h⁻¹. Los resultados preliminares indican que a) el porcentaje de percolación aumenta a medida que aumenta la intensidad de las precipitaciones, y b) el porcentaje de percolación decrece proporcionalmente a medida que se aumenta en profundidad, al menos hasta 90 cm.

Palabras Clave: dinámica ecohidrológica, selva nublada, Andes, Venezuela

ABSTRACT

It has been established that forest systems stimulate drainage processes and regulate them in time, allowing continuity in the recharge of the vadose zone, and subsequent stability of base flows during dry or lesser rain periods. As part of a broader and detailed study of the Venezuelan cloud forest ecohydrological dynamics, the main water fluxes of a cloud forest at La Mucuy (8°38'N, 71°02'W), Mérida State, at 2300 masl in the Venezuelan Andes, was analyzed during a six-month period, recording each 15 min. Water balance of the cloud forest shows that 9% of total incoming water was due to cloud-water interception, throughfall was 50%, surface runoff was 1.7% and percolation at -90 cm depth was 25%. Important differences were observed, regarding the ecosystem's response to individual precipitation events classified in five intensity-quantity categories: 0-10, 11-20, 21-40, 41-60, and >60 mm h⁻¹. Preliminary results indicate a) percentage of percolation increase while rain intensity-quantity increases and b) drainage proportionally decreases in depth.

Key Words: ecohydrological dynamics, cloud forest, Andes, Venezuela

¹¹ Postgrado Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales

¹² Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas (ICAE) de la Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, Mérida 5101, Venezuela. ambito@cantv.net, ataroff@ula.ve

INTRODUCCIÓN

La cantidad y frecuencia de láminas de percolación constituye un factor fundamental para el mantenimiento del flujo base en cuencas hidrográficas. Con frecuencia se ha señalado que en sistemas forestales este proceso es estimulado físicamente y regularizado en el tiempo, permitiendo continuidad en la recarga de la zona vadosa con el consecuente mantenimiento de caudales mínimos durante períodos de menos pluviosidad o secos. En áreas montañosas tropicales, como es el caso de Los Andes venezolanos, frecuentemente estos procesos son de vital importancia para el abastecimiento hídrico aguas abajo de sistemas urbanos, agrícolas, e industriales, por lo cual el conocimiento de su dinámica es factor fundamental para el diseño y desarrollo de políticas, planes y programas relativos al uso sustentable del territorio.

Enmarcado dentro de un estudio detallado de la dinámica ecohidrológica de la selva nublada andina venezolana (Ataroff 1998, Ataroff y Rada 2000, Ataroff 2002), nos planteamos el análisis de la dinámica de la lámina de percolación en función del ingreso de agua al sistema, midiendo en forma continua las entradas por precipitación y el contenido de agua a 10, 30, 60 y 90 cm dentro del suelo en la selva nublada de La Mucuy, Parque Nacional Sierra Nevada, Cordillera de Mérida, Venezuela.

METODOLOGÍA

a) El área de trabajo

El área de trabajo se encuentra dentro en el sector denominado La Mucuy (8°38'N 71°02'W) a 2300 m de altitud en el Parque Nacional Sierra Nevada, a 12 km de la ciudad de Mérida, estado Mérida, Venezuela.

La cobertura vegetal corresponde a selva nublada montano alta andina (Ataroff, 2001) o bosque muy húmedo montano alto (Ewel et al. 1968), y caracterizada por una alta diversidad de especies vegetales con más de 50 especies arbóreas por hectárea, con una altura media de 25m, entre las que destacan; *Guetarda steyermarkii*, *Clusia multiflora*, *Oreopanax moritzii*, *Sapium stylare*, *Billia columbiana*, y *Laplacea fructicosa*. Además 20 spp. de trepadoras, 40 spp. de epífitas vasculares, entre las que destacan; *Tillandsia flenderi*, *T. Tetrantha*, *T. Biflora*, *Oncidium falcipetalum*, *Epidendrum dendrobii*, y *Peperomia microphyla* (Lamprecht 1954, Sarmiento et al.1971, Ataroff y Rada, 2000).

Las pendientes se encuentran entre el 40 y 80 %, con posición de ladera orientadas en sentido NO. La precipitación en el área es de entre 2800 y 3300 mm anuales y se distribuye en un régimen tetraestacional o bimodal, presentando picos de precipitación para los meses de mayo y octubre, sin períodos climáticamente secos, con temperatura media anual de 14°C (Ataroff y Rada 2000).

Los suelos del orden de los entisoles (Psamments udipsamments) presentan 3 horizontes bien definidos, de textura franco arenosa, con un mayor contenido de materia orgánica en el horizonte A1 en la parcela selva (W. Franco y L. Lugo, comunicación personal).

b) Instrumentación y mediciones

Los procesos medidos fueron: Precipitación vertical (lluvia) con un pluviómetro Texas Electronics 6", precipitación horizontal (intercepción de neblina) con dos neblinómetros instalados a 6 m de altura, uno tipo "Satandtd fog Collector" (Schemenauer y Cereceda 1994) y otro tipo "Grunow" (Juvik y Ekern 1978), precipitación efectiva con 2 pluviómetros tipo canal 6x0,18 m (Ataroff y Rada 2000), y escurrimiento con dos parcelas de escurrimiento superficial de 10x3 m (Ataroff y Rada 2000). Para llevar a cabo las mediciones de contenido volumétrico de humedad, se instalaron 2 juegos de 4 reflectómetros tipo TDR (Time Domain Reflectometer Campbell CS615-L) a 10, 30, 60 y 90 cm de profundidad en dos perfiles edáficos seleccionados. Todas las medidas fueron registradas con un registrador automático (datalogger Cambell CR10X), haciendo lecturas cada 15 min. durante 5 meses, de mayo a septiembre 2001.

RESULTADOS

El balance hídrico de 5 meses muy lluviosos (109 a 514 mm mes⁻¹) en la selva nublada de La Mucuy mostró una importante intercepción de neblina de más del 9% del ingreso total de agua al sistema (Tabla 1). La intercepción por parte del follaje fue muy alta, dejando llegar al suelo sólo el 50% del agua ingresada. Por el contrario, la escurrimiento superficial resultó baja a pesar de las fuertes pendientes. Así, infiltró en el suelo el 47,8% del agua de ingreso y el 24,6% percoló a 90 cm de profundidad.

Tabla 1: Balance hídrico de mayo a septiembre del 2001 en la selva nublada de La Mucuy, estado Mérida, Venezuela. Se muestra los acumulados de ingreso de agua al sistema (PT=Pv+Ph), precipitación vertical (Pv), precipitación horizontal (Ph), precipitación efectiva neta (PeN), escurrimiento superficial (Esc) y agua en el suelo a -10 cm, -30 cm, -60 cm y -90 cm de profundidad (per -10, per -30, per -60 y per -90 respectivamente).

	mm	% PT
Precipitación total (Pv+Ph)	1332,83	100
Precipitación vertical (Pv)	1208,83	90,70
Precipitación horizontal (Ph)	124,00	9,30
Precipitación efectiva neta (PeN)	659,81	49,50
Escurrimiento superficial (Esc)	22,47	1,69
Percolación a -10	587,93	44,11
Percolación a -30	454,43	34,10
Percolación a -60	365,10	27,39
Percolación a -90	327,37	24,56

Se observaron diferencias importantes en cuanto a la respuesta ecohidrológica del sistema frente a eventos de precipitación con intensidades muy distintas. Los flujos hídricos a través de la matriz del suelo fueron referenciados a partir de la precipitación efectiva neta PeN (suma de precipitación efectiva y flujo caulinar).

Se agrupó los eventos de precipitación vertical en 5 categorías de intensidades: 0-10, 11-20, 21-40, 41-60, y >60 mm h⁻¹, correspondientes éstas a medias por evento-intensidad de 6,54, 14,16, 23,58, 47,80 y 64,20 mm. Hasta ahora, los resultados muestran que la proporción de agua que logra atravesar el perfil hasta 90 cm aumenta a medida que

aumenta la intensidad y monto de las lluvias (Tabla 2): para intensidades menores de 10 mm h⁻¹ sólo el 45% del agua que llega a la superficie del suelo alcanza los 90 cm de profundidad, este porcentaje aumenta con la intensidad hasta que para intensidades mayores de 60 mm h⁻¹ el 77% del agua llega a esa profundidad. Por otro lado, el primer horizonte (0 a 30 cm) presenta la mayor “retención” de agua a bajas intensidades y montos, más que los horizontes de 30 a 60 cm y 60 a 90 cm con 36%, 12% y 8% respectivamente, mientras que a altas intensidades y montos los porcentajes son mucho más bajos 10%, 5% y 3% respectivamente. Esa “retención” incluye el agua retenida en los poros del suelo y por hidratación de las partículas sólidas, pero también el agua tomada por las raíces, drenada oblicuamente en el horizonte y evaporada en superficie (en el horizonte superficial).

Tabla 2: Valores promedio de precipitación efectiva neta (PeN), escorrentía superficial (Esc), percolación a -10 cm (per-10), -30 cm (per -30), -60 cm (per -60) y -90 cm (per -90), para eventos de precipitación vertical con intensidades (i): $i < 10 \text{ mm h}^{-1}$, $11 < i < 20 \text{ mm h}^{-1}$, $21 < i < 30 \text{ mm h}^{-1}$, $31 < i < 60 \text{ mm h}^{-1}$, y $i > 60 \text{ mm h}^{-1}$, en la selva nublada de La Mucuy, estado Mérida, Venezuela,

	$i < 10 \text{ mm h}^{-1}$		$11 < i < 20 \text{ mm h}^{-1}$		$21 < i < 30 \text{ mm h}^{-1}$		$31 < i < 60 \text{ mm h}^{-1}$		$i > 60 \text{ mm h}^{-1}$	
	Mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
PeN	2,34	100	8,47	100	21,43	100	27,84	100	39,58	100
Esc	0,03	1,4	0,19	2,2	0,68	3,2	1,34	4,8	1,97	5,0
per -10	2,01	86	7,28	86	19,08	89	24,52	88	35,33	89
per -30	1,48	63	5,89	70	16,60	77	22,31	80	33,92	86
per- 60	1,21	52	5,28	62	13,61	64	21,90	79	31,88	81
per -90	1,06	45	4,96	59	12,89	60	19,89	71	30,67	77

DISCUSIÓN

El balance hídrico de 5 meses muy lluviosos (109 a 514 mm mes⁻¹) en la selva nublada de La Mucuy mostró valores similares a los reportados en años anteriores (Ataroff y Rada 2000). Sin embargo, los valores de intercepción del follaje son muy altos comparados con otras selvas (Bruijnzeel y Proctor 1993, Bruijnzeel 1990), hecho que se ha asociado a complejidad estructural de esta selva y la alta cantidad de epífitas tipo “tanque” y “cojín” (Ataroff 1998, Ataroff y Rada 2000).

Durante el lapso de estudio, el agua que infiltró en el suelo fue el 47,8% del agua de ingreso y el 24,6% percoló a 90 cm de profundidad. Asumiendo el cálculo de Ataroff y Rada (2000) de 16% de transpiración y que el grueso de las raíces estén sobre -90 cm, el agua no absorbida por raíces sería 31,8% de la ingresada al sistema. Ese agua puede movilizarse por flujos subsuperficiales, hidratar partículas sólidas, llenar poros del suelo y/o evaporarse, pero los resultados indican que el 24,6% sobrepasa los 90 cm de profundidad. Suponiendo que a mayores profundidades la absorción por raíces es poca, ese 24,6% del agua total correspondería a agua retenida en horizontes profundos y flujos subsuperficiales también profundos.

Los resultados obtenidos al evaluar la respuesta del sistema a diferentes intensidades y montos de lluvias permiten apreciar una mayor percolación a todas las profundidades a medida que la intensidad aumenta. Los resultados parecieran indicar una alta y rápida

saturación del horizonte superior bajo lluvias fuertes, sin embargo, los valores de escorrentía superficial medidos en las mismas circunstancias son muy bajos (<2%) lo cual aunado a lo anterior revela que la selva nublada tiene una excelente respuesta de regulación hídrica. Así, frente a altas tormentas la selva parece favorecer procesos de percolación en vez de escorrentía superficial, con lo cual alimenta el reservorio profundo y los flujos subsuperficiales que son los que mantienen el nivel de quebradas y ríos.

La transformación del ecosistema selva nublada en sistemas de reemplazo agropecuario y urbano pudiese alterar significativamente la relación precipitación-infiltración-percolación-escorrentía, vulnerando la capacidad hidroreguladora de la cuenca hidrográfica y la sostenibilidad de su principal servicio ambiental: el agua.

Atendiendo a ésta problemática, actualmente, y con el auspicio del proyecto RICAS, se estudia las dinámicas ecohidrológicas y edafohidrológicas del principal sistema de reemplazo de selvas nubladas, potreros para la ganadería de leche. Mediante el estudio comparativo de ambos sistemas se persigue la obtención de datos e información necesaria para la alimentación y desarrollo de modelos que sirvan como base para el uso de diseñadores de políticas y programas de ordenación y desarrollo sustentable territorial.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias al financiamiento de: la Red Interamericana de Cooperación Andes y Sabanas (RICAS) financiada por el Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) a través del proyecto IAI-CRN-040, y el Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (CDCHT-ULA) de la Universidad de Los Andes a través del proyecto C-703-95-01. Agradecemos a INPARQUES por permitirnos realizar las medidas en el Parque Nacional Sierra Nevada, estado Mérida, Venezuela.

BIBLIOGRAFÍA

- ATAROFF, M. 1998. Importance of cloud-water in Venezuelan Andean cloud forest water dynamics. Pp. 25-28. En R.S. Schemenauer y H. Bridgman, eds. Proceedings of the First International Conference on Fog and Fog Collection. IDRC, Ottawa.
- ATAROFF, M. 2001. Venezuela. Pp. 397-442 In M. Kappelle y A.D. Brown (eds.) Bosques Nublados del Neotrópico. Editorial INBIO, Costa Rica.
- ATAROFF, M. 2002. Intercepción en sistemas forestales de Los Andes venezolanos (este volumen)
- ATAROFF, M. y RADA, F. 2000. Deforestation impact on water dynamics in a Venezuelan Andean cloud forest. *Ambio* 29 (7): 440-444
- BRUIJNZEEL, L.A. y PROCTOR, J. 1993. Hydrology and biogeochemistry of tropical montane cloud forests: what do we really know? In: Tropical montane cloud forests. Proceedings of an International Symposium. Hamilton L.S., Juvik J.O. and Scatena F.N. (eds). East-West Center/UNESCO/USDA, Río Piedras, Puerto Rico, pp 25-46.
- BRUIJNZEEL, L.A. 1990. Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review. IHP-UNESCO Humid Tropical Programme, Paris.
- EWEL, J., A. MADRÍZ, J. TOSI. 1968. Zonas de Vida de Venezuela. Ministerio de Agricultura y Cria, Caracas

- JUVIK, J.O., y EKERN, P.C. 1978. A climatology of mountain fog on Mauna Loa, Hawaii Island. Tech. Rpt. # 118, Water Resources Center University of Hawaii, Honolulu, 70 pp.
- LAMPRECHT, H. 1954. Estudios Silviculturales en los Bosques del Valle de La Mucuy, cerca de Mérida. Ed. Fac, Ingenieria Forestal, Univ. Los Andes, Mérida, Venezuela.
- SARMIENTO, G., MONASTERIO, M., AZÓCAR, A., CASTELLANO, E. y SILVA, J. 1971. Vegetación Natural. Estudio Integral de la Cuenca de los Ríos Chama y Capazón. Subproyecto N° III. Oficina de Publicaciones Geográficas, Instituto de Geografía, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. 63 pp.
- SCHEMENAUER, R.S. y CERECEDA P. 1994. A proposed Standard Fog Collector for use in high-elevation regions. J. Applied Meteorology 33, 1313-1322.