

DINAMICA HÍDRICA EN LA SELVA NUBLADA DE LA CUENCA ALTA DEL RIO CUSIANA Y UN PASTIZAL DE REEMPLAZO, CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA

WATER DYNAMICS IN A CLOUD FOREST AND A PASTURE IN THE UPPER WATERSHED OF THE CUSIANA RIVER, CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA

Héctor Fonseca Peralta^{1,2} y Michele Ataroff³

¹ Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad Seccional Sogamoso
² Postgrado en Ecología Tropical e ³Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas (ICAE), Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. hfonseca@sogamoso.uptc.co, ataroff@ula.ve

RESUMEN

Una gran porción de la cobertura primaria de la selva nublada de la Cordillera Oriental de Colombia ha sido eliminada para dar paso a pastizales. Sus relictos, al igual que los páramos, constituyen el nacimiento de ríos que vierten sus aguas a la orinoquía y que hoy presentan acentuados procesos erosivos, desestabilización de laderas, picos de escorrentía en épocas húmedas y una considerable reducción de caudales durante el estiaje, con consecuencias negativas tanto a nivel local como regional. En este trabajo, analizamos parte de la dinámica hídrica tanto de la selva nublada como de los pastizales que la reemplazan, para establecer los posibles efectos de la deforestación sobre dicha dinámica. La selva nublada y pastizales de reemplazo objeto de investigación, se localizan en la vertiente Este de la Cordillera Oriental de Colombia (2350msnm). Los resultados de las evaluaciones durante el primer año de investigación (2002), indicaron un ingreso de 3153mm por precipitación vertical y un importante aporte de agua por intercepción de neblina (12,3%). La precipitación neta en la selva fué entre 35 y 61% del agua ingresada, lo que determina un muy alto valor de intercepción por parte del follaje entre 65 y 39%. Los muy altos valores de intercepción por el follaje, diferencian estas selvas de la mayoría de los sistemas forestales medidos en el mundo. Por su parte, el escurrimiento superficial, mostró valores relativamente uniformes en los meses húmedos entre 1,4 y 2,7%, mientras que en el pastizal, variaron entre 3,2% y 18,8%. Esta tendencia de la selva, permite afianzar aún más las bondades de las selvas nubladas desde el punto de vista de la regulación hídrica.

ABSTRACT

A large portion of primary cover of cloud forest in the Colombian Eastern Cordillera has been eliminated to give way to pastures. Its relicts, together with the paramos, constitute the origin of rivers which pour their waters to the Orinoquía and which, currently, present accentuated erosion processes, slope instability, peaks in runoff during the wet seasons and considerable reduction in water flow during low water periods, with negative consequences at local and regional levels. In this work we analyze some aspects of water dynamics of the cloud forest and its replacing pastures, in order to establish the possible effects of deforestation on such dynamics. The cloud forest and its replacing pasture in this research are located on the eastern slope of the Eastern Cordillera (2300-2350 masl). Mean results evaluated during the first year (2002) show an important water contribution by fog interception in this system (12.3%). Effective precipitation in the forest has registered between 35 and 61% of incoming water which determines a high interception value by the canopy (between 65 and 39%). These high interception values differentiate these forests from the majority of forest systems measured worldwide. We have postulated that this might be due to the high density of canopy epiphytes in these forests. In terms of surface runoff, values were relatively constant during the wet months, between 1.4 and 2.7, while in the pasture they varied between 3.2 and 18.8%. This sustainable trend in the forest may insure the importance of cloud forests from the point of view of runoff regulation.

INTRODUCCIÓN

Las selvas nubladas andinas constituyen ecosistemas forestales de las montañas tropicales con una estructura compleja con varios estratos de árboles y una alta diversidad de epífitas, las

cuales normalmente ocurren en franjas altitudinales, donde el ambiente se caracteriza por una persistente o estacional cobertura de neblina o nubes bajas (Ataroff 2001). Esta nubosidad

reduce la radiación solar afectando procesos de evapotranspiración y a su vez, la neblina interceptada por la vegetación (precipitación horizontal), representa un significativo aporte de agua al sistema (Hamilton *et al.* 1995, Hamilton 2001, Kappelle y Brown 2001).

En Colombia la extensa cobertura de selvas nubladas tanto de Los Andes, como de los sistemas montañosos aislados, ha sufrido a través del tiempo una progresiva transformación, principalmente a pastizales para ganadería extensiva (Cavelier 1991, Castaño 1991, Etter 1998). La cobertura de selva nublada andina, está quedando cada vez más relegada a zonas relictuales en los lugares con topografía fuertemente quebrada a escarpada. En la vertiente Este de la Cordillera Oriental de Colombia, las selvas nubladas al igual que los páramos, constituyen sistemas de retención y regulación hídrica de los ríos que vierten sus aguas a la orinoquia los cuales, a nivel cuenca hidrográfica, presentan acentuados procesos erosivos, desestabilización de laderas, picos de escorrentía en épocas húmedas y una considerable reducción de caudales durante el estiaje, con consecuencias negativas tanto a nivel local como regional (Fonseca 2001).

En este trabajo, analizamos parte de la dinámica hídrica tanto de la selva nublada como de los pastizales establecidos en las áreas deforestadas en un sector de la Cuenca del Río Cusiana, para establecer los posibles efectos de la deforestación sobre dicha dinámica. En la selva nublada se analiza, la precipitación vertical (lluvia), precipitación horizontal (neblina), y en ambos sistemas (selva y pastizal de reemplazo) evaluamos la intercepción por la vegetación, la precipitación neta y escurrimiento superficial.

AREA DE ESTUDIO

La selva nublada de La Virgen y pastizales de reemplazo objeto de investigación, se localizan en la vertiente Este de la Cordillera Oriental de Colombia (Departamento de Boyacá), margen derecha del Río Cusiana, en los sitios la Virgen y La Rocha entre 2300 y 2350m.s.n.m. Esta selva se encuentra en una ancha franja de selva nublada que cubre un gradiente entre aproximadamente 1700 y 2800m.s.n.m., con orientación EO,



Figura 1. Franja de selva nublada del Cusiana en los sectores La Rocha – La Virgen. Al fondo, escarpe rocoso que limita su continuidad hacia el occidente. Foto: H. Fonseca.

limitada abruptamente al oeste por un escarpe rocoso que conforma La Cuchilla La Gallina (figura 1). Al Oeste se encuentran los paramos de Toquilla, La Sarna y Onganoa de donde desciende en dirección SE el curso principal del Río Cusiana.

De acuerdo a los datos pluviométricos de las Estaciones Meteorológicas del Instituto de Estudios Ambientales, IDEAM, ubicadas a lo largo del cauce del Río Cusiana en Toquilla a 2950m (1254mm), Corinto a 1550m (2944mm) y Pajarito a 842m (3669mm), el comportamiento histórico de la pluviosidad es monomodal con una clara reducción de la precipitación a medida que se asciende topográficamente (influenciada por los vientos Alisios provenientes del Este). En todos los casos, las menores precipitaciones ocurren en diciembre, enero y febrero. El período húmedo va de marzo a noviembre con un pico de precipitación en el mes de julio.

Las principales características de los sistemas estudiados son:

Selva nublada: Es una selva siempreverde que se caracteriza por tener una estructura vertical compleja, con varios estratos abiertos de árboles, con especies importantes como *Weinmannia pubescens*, *Hediosmun bonplandianum*, *Miconia* sp., *Vismia guianensis*, *Myrsianthes* sp., *Ocotea* sp. y *Cecropia* sp. (Manuel Galvis, comunicación personal) que alcanzan hasta los 25m de altura. Bajo el dosel se encuentra un conjunto de árboles y helechos arbóreos de diversa altura. El

sotobosque está dominado por palmas, plántulas de árboles y hierbas. Un número grande de epifitas y trepadoras aumentan la complejidad de la estructura de la selva. Esta selva se encuentra sobre una pendiente del 50%, sobre suelos (Typic Dystrudepts) arcillo limosos, moderadamente profundos, limitados por los estratos rocosos de lutitas carbonosas (inclinados en la dirección de la pendiente).

Pastizal: Corresponde a un pastizal de *Anthoxanthum odoratum*, *Axonopus compressus*, *Pennisetum clandestinum* y *Holcus lanatus*, coexistiendo con *Azorella crenata*, *Albolutecens* sp. y un conjunto de musgos tipo cojin de los generos *Leptodontium*, *Thuidium*, *Dicranum*, *Politrichadelphus* y *Breutelia*. Estos pastizales con cobertura del 100% y desarrollados sobre pendientes entre 50 y 60%, fueron establecidos hace 35 años para ganadería extensiva. Los suelos igualmente son de naturaleza arcillo limosa, remodelados por la actividad ganadera extensiva a lo largo del tiempo de establecimiento, estos son moderadamente profundos e igualmente limitados por los estratos rocosos impermeables, inclinados en la dirección de la pendiente del terreno.

MATERIALES Y METODOS

La toma de datos y su evaluación se realizó entre enero y diciembre de 2002. En el caso de las medidas de selva nublada, los primeros tres meses (enero-marzo 2002) fueron tomadas en la selva del sector alto de la quebrada La Rocha y el resto en La Virgen, ambas localidades a la misma altitud y muy cercanas (menos de 2km). Este cambio fue motivado por imposibilidad de trabajar en el sitio inicial por inseguridad personal. Todas las medidas corresponden a acumulados semanales y consolidación mensual.

La precipitación vertical (Pv) se midió mediante tres pluviómetros de 0,026m² de área de captación, distribuidos al azar en las áreas abiertas (pastizal).

La intercepción de neblina (Ph), se midió mediante tres neblinómetros de pantalla plana Standard fog collector SFC diseñado por Schemenauer y Cereceda (1994) de 1m² de malla doble Raschel (33%), entre 5 y 6m de altura, orientados hacia la dirección preferencial de los

vientos (SE –NO) y ubicados uno en el fondo de valle y dos en la ladera, a estos neblinómetros se les colocó un techo para evitar posibles entradas por lluvia. (figura 2).

La precipitación neta (Pn), se midió mediante 4 canaletas de 3x0,15m en la selva y 3 canaletas de 1x0,013m en el pastizal. La intercepción de agua por la vegetación se estimó mediante la diferencia entre la precipitación total ($P_t = P_v + P_h$) y la precipitación neta.

A su vez el escurrimiento superficial (Esc) se midió tanto en la selva como el pastizal, mediante juegos de tres parcelas rectangulares de 3x10m con el lado mayor en dirección de las pendientes, en cada uno de los ecosistemas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La precipitación total (Pe) en la selva nublada fue de 3591mm año⁻¹, de los cuales 3153mm fueron por lluvia (Pv:87,8%) y 438mm por neblina (Ph:12,2%). El comportamiento pluviométrico siguió la tendencia mostrada por los datos del IDEAM durante los últimos veinte años. El régimen fué monomodal, mostrando un período de menores precipitaciones correspondiente a los meses de diciembre a febrero.



Figura 2. Neblinómetro SFC utilizado para la intercepción de neblina. Foto: H. Fonseca.

Los meses restantes correspondieron al período más húmedo, presentándose un pico en el mes de junio, en el cual precipitó el 18% de la lluvia total anual (640,8mm).

El aporte de agua por neblina interceptada (precipitación horizontal), al igual que la lluvia, tuvo un comportamiento anual monomodal con un pico en el mes de junio; los valores más bajos, igualmente coincidieron con los meses menos lluviosos (figura 3). Sin embargo, el comportamiento mensual de las precipitaciones vertical y horizontal, no mostró un alto coeficiente de correlación ($r= 0,60$). La precipitación horizontal media anual alcanzó 438 mm, equivalente al 12,2 % de Pt. Este valor es ligeramente superior al medido en la Selva nublada de La Mucuy en Mérida, Venezuela (Ataroff 1998, Ataroff y Rada 2000), donde fue 9%. Independientemente del porcentaje, en ambas localidades las entradas de agua por neblina fueron muy importantes. Esos 438mm año⁻¹ de agua aportada por la neblina a la selva del Cusiana, representan el equivalente de un mes adicional muy lluvioso.

Los resultados mostrados en la figura 3, indican presencia de neblina a lo largo de todo el año salvo en dos semanas, una en febrero y otra en marzo. De septiembre a abril (ocho meses) la intercepción de neblina fue baja, con promedios semanales entre 0,73 y 5,25mm; a pesar de que los meses de marzo a noviembre fueron lluviosos. La mayor ocurrencia de neblina se dio de mediados de junio a mediados de agosto, donde se alcanzó el valor máximo de 86,1mm (final de junio), coincidiendo con el valor máximo de precipitación (241,5mm). La correlación entre las entradas de agua, resultó ser baja ($r=0,71$). Es de hacer notar la baja variabilidad en las medidas de ambas variables.

En la selva, el total anual de precipitación neta fue 1999,2mm, representando el 56% de la precipitación total, indicando que la intercepción por el dosel fue 44%. Su comportamiento mes a mes presentó una alta correlación ($r= 0,99$) con el de la precipitación total (lluvia más neblina).

Los muy altos valores de intercepción por el follaje diferencian estas selvas de la mayoría de los sistemas forestales medidos en el mundo, hecho que se ha postulado que puede deberse a la alta densidad de epifitas en el dosel de estas selvas (Ataroff 1998, Ataroff y Rada 2000).

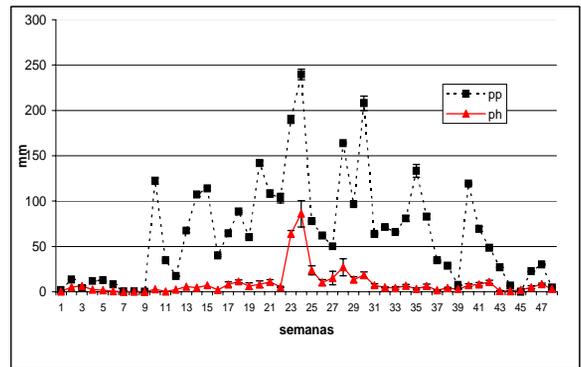


Figura 3. Distribución semanal de la precipitación vertical (Pp) y horizontal (Ph) en la selva nublada de La Virgen (01 enero a 31 de diciembre 2002). Las barras indican \pm una desviación estándar.

El escurrimiento superficial (Esc) fue muy bajo en la selva, con un monto anual de 64mm (1,79%), similar a lo reportado para otras selvas nubladas. La dinámica a lo largo del año mostró una alta correlación con la precipitación total ($r= 0,90$) y con la precipitación neta ($r= 0,87$).

El comportamiento semanal del escurrimiento tuvo una correspondencia con el de la precipitación neta (Figura 5), con una correlación de $r= 0,87$. Los mayores valores se registraron a finales de junio y mediados de agosto, con valores de 183 y 4,7mm precipitación efectiva y escurrimiento respectivamente en la semana 24, y 122 y 5,8mm en la semana 30.

En el pastizal el comportamiento de la precipitación neta y el escurrimiento fue diferente. La precipitación neta parcial medida representó el 42% de la precipitación total (1326mm año⁻¹), indicando que la intercepción fue el 58% (figura 4). Esto es un valor muy alto probablemente consecuencia de la arquitectura de las plantas dominantes y del sistema de medida. La correlación entre la precipitación vertical y la neta fue alta con $r= 0,98$. Por su parte, el escurrimiento superficial fue alto, con valores que variaron entre 3,2% y 18,8%, y un total anual de 366mm (11,6% de Pt) (figura 4). Anualmente, mostró un pico en agosto, coincidente con el segundo pico de precipitación vertical anual. Sin embargo la correlación con la precipitación vertical mostró un $r= 0,81$.

Analizando el comportamiento semanal de la precipitación vertical y la neta, este fue altamente

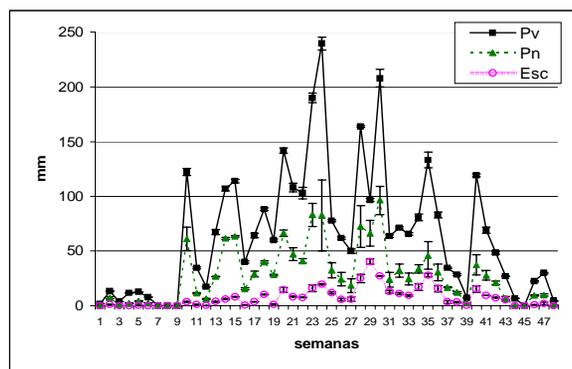


Figura 4. Distribución semanal de la precipitación vertical (Pv), precipitación neta (Pn) y escurrimiento superficial (Esc) en el pastizal de La Virgen (01 enero a 31 de diciembre 2002). Las barras indican \pm una desviación estándar.

correlacionado con un $r=0,96$. Por el contrario el escurrimiento superficial mostró una baja correlación con la precipitación vertical ($r=0,75$).

Relacionando el escurrimiento superficial en porcentaje de la precipitación total en cada uno de los dos ecosistemas (figura 5), se nota como el pastizal favoreció el escurrimiento. Los meses de mayores valores de escurrimiento se presentaron en el pastizal en agosto y septiembre, mientras en la selva fueron en agosto y noviembre. No sólo en las proporciones se evidenció el incremento del escurrimiento en el pastizal, sino también en valores absolutos (figura 5). Los mayores valores semanales se presentaron en el pastizal a principios de agosto con 40,5mm y finales de septiembre con 28mm. A su vez en la selva los mayores valores se presentaron a finales de junio con 4,7mm y mediados de agosto con 5,8mm, siendo ambos mucho menores que los registrados en el pastizal. La correlación entre el comportamiento en los dos ambientes fue de $r=0,83$.

Las grandes diferencias entre el escurrimiento del pastizal y la selva pueden deberse a los cambios ocurridos en el suelo del pastizal desde que se eliminó la selva, a través del manejo de rotación de potreros para ganadería de altura (35 años), por la modificación del sistema radical, la micro y meso

BIBLIOGRAFÍA

Ataroff, M. 1998. Importance of cloud-water in Venezuelan Andean cloud forest water dynamics. Pp 25-28, in R.S Schemenauer y Bridgamm, (eds). Proceedings of the First International Conference on Fog Collection. IDRC, Ottawa.

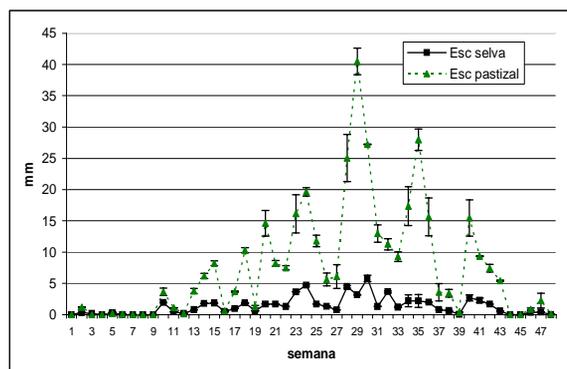


Figura 5. Distribución semanal del escurrimiento superficial en ambos ecosistemas (01 enero a 31 de diciembre 2002). Las barras indican \pm una desviación estándar.

fauna adáfrica, así como la posible compactación por pisoteo. No sucedió lo mismo en la selva nublada donde el escurrimiento tuvo un comportamiento continuo pero bajo a lo largo del año. Esta tendencia permite afianzar aún más las bondades de las selvas nubladas desde el punto de vista de la regulación hídrica superficial, y a su vez, da respuesta desde el punto de vista hídrico, de otro efecto de la deforestación de estas selvas, sumado al de la reducción significativa de las entradas al balance hídrico con la eliminación de la selva y de su potencialidad de intercepción de la neblina.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha recibido apoyo financiero de la Red Interamericana de Cooperación Andes Sabanas (RICAS) financiada por el Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) a través del proyecto IAI-CRN-040, de la Corporación Autónoma Regional de la Orinoquia (CORPORINOQUIA) Colombia y de la División de Investigaciones de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Agradecemos a Manuel Galvis de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, y a Benito Briceño y María Silvina Ussher de la Universidad de Los Andes, Venezuela, por la identificación del material botánico.

Ataroff, M. 2001. Venezuela. Pp. 397-442 in: M. Kapelle y A.D. Brown (eds). Bosques nublados del neotrópico. INBio, Costa Rica.

- Ataroff, M., F. Rada. 2000. Deforestation impact on water dynamics in a Venezuelan Andean cloud forest. *Ambio*. 29 (7):440-444.
- Brown, A.D., M. Kapelle. 2001. Introducción a los bosques nublados del neotrópico. Una síntesis regional. Pp. 26, *in* M. Kapelle y A.D. Brown (eds). *Bosques nublados del neotrópico*. Costa Rica, INBio.
- Bruijnzeel, L. A., L. S. Hamilton. 2000. Decision time for cloud forests. IHP Humid Tropics Programme Series No 13. UNESCO, Paris.
- Castaño, C. 1991. Bosque de niebla y hombre tradicional. Cap 7, Pp 151-170 *in*: C. Uribe (ed), *Bosques de Niebla de Colombia*. Banco de Occidente. Bogotá.
- Cavelier, J. 1991. El ciclo del agua en los bosques montanos. Cap 4. Pp 69-83 *in*: C. Uribe (ed), *Bosques de Niebla de Colombia*. Banco de Occidente. Bogotá.
- Etter, A. 1998. Mapa General de Ecosistemas de Colombia Escala 1: 2'000.000. IAvH y PNUD, Bogotá.
- Fonseca, H. (Comp.). 2001. Esquema de ordenamiento territorial Municipio de Pajarito, Departamento de Boyacá. Corporinoquia / UPTC, Sogamoso.
- Hamilton, L.S. 2001. Una campaña por los bosques nublados. Ecosistemas únicos y valiosos en peligro. Pp. 41-49, *in* M. Kapelle y A.D. Brown (eds). *Bosques nublados del neotrópico*. INBio, Costa Rica.
- Hamilton, L.S., J.O. Juvik, F.N. Scatena. 1995. Tropical Montane cloud forests. *Ecological studies* 10. Springer Verlag, Berlin.
- Kappelle, M., A.D. Brown 2001. *Bosques nublados del neotrópico*. INBio, Costa Rica.
- Schemenauer, R., P. Cereceda. 1994. A proposed standard fog collector for use in high – elevation regions. *J. Appl. Meteo.* 33:1313-1322.