A photograph of a mossy tree trunk in a forest. A clear plastic tube is attached to the trunk with yellow string, likely for collecting water. The forest floor is covered in fallen leaves and various plants, including a pink flower with yellow stamens in the foreground. The background is filled with dense green foliage and ferns.

CAPTACIÓN DE LLUVIA HORIZONTAL POR
BRIOFITAS EN EL BOSQUE NUBOSO DE
BAJA VERAPAZ, GUATEMALA

ADREA CABARRÚS Y EMILY CAR-CALÁN

Captación de lluvia horizontal por Briofitas en el Bosque Nuboso de Baja Verapaz, Guatemala

Andrea Cabarrús^{1*} y Emily Car-Calán^{1**}

¹ Escuela de biología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad San Carlos de Guatemala
* andrea.cabarrus@gmail.com; **emycpgd8@gmail.com

Resumen

El Bosque Nuboso (BN) se caracteriza por la presencia frecuente de viento nuboso y una composición vegetal única, junto a condiciones atmosféricas particulares. Dichas condiciones propician la presencia de diversas plantas epífitas, entre ellas briofitas. En el BN la humedad ingresa al sistema de condensación al entrar en contacto con cualquier tipo de vegetación, con lo que se forma la precipitación horizontal. Ésta puede ser medida directamente con pluviómetros, atrapanieblas o bien indirectamente vía la biomasa y la humedad captada por un cuerpo vegetal. El Biotopo Universitario para la Conservación del Quetzal (BUCQ) es representativo del BN guatemalteco, en este lugar se aplicaron dos métodos para poder medir la lluvia horizontal: alfombras de briofitas foliosas y el método del escurrimiento de tronco. Con esta investigación se quiere dar a conocer la importancia de las briofitas en la composición vegetal del BN al obtener datos sobre la cantidad de lluvia horizontal que absorben, que ayuda al mantenimiento del delicado equilibrio hídrico de este ecosistema. En este estudio, las alfombras de briofitas mostraron una mayor capacidad para captar agua proveniente de la lluvia horizontal en comparación con el método de escurrimiento de tronco. Además, se observó que la composición particular de cada una de las alfombras estudiadas determina a su vez su capacidad de captación, esto pudo deberse a diferencias de densidad dentro de las comunidades de briofitas analizadas, morfología de los organismos y de la proporción musgos:hepáticas.

Palabras Clave: Neblina, Musgos, Hepáticas, Biomasa

Abstract

The Cloud Forest (CF) is characterized by the frequent presence of cloudy winds and a unique vegetal composition with distinct atmospheric conditions. These conditions favor the presence of various epiphytic plants, including bryophytes. In the CF, humidity enters into the condensation system, and when it contacts any type of vegetation, thereby forms horizontal precipitation. This can be measured directly with rain gauges, fog traps or indirectly via biomass and moisture captured by plants. The Biotopo para la Conservación del Quetzal (BUCQ) is representative of the Guatemalan CF, in this place two methods were applied to be able to measure horizontal rainfall: folious bryophyte carpets and the trunk runoff method. This research aims to show the importance of bryophytes in the CF plant composition by obtaining data on the amount of horizontal rain absorbed by them, to maintain the delicate water balance of this ecosystem. In this study, bryophyte carpets showed a greater capacity to capture water from horizontal rainfall compared to the log runoff method. In addition, it was observed that the particular composition of each of the studied carpets determines in turn its uptake capacity, this may be due to differences in density within the analyzed bryophyte communities, morphology of the organisms and the moss:liverwort ratio.

Key words: Fog, Moss, Liverworts, Biomass

Introducción

El Bosque Nuboso (BN) se caracteriza por la presencia frecuente de neblina y lluvia horizontal. Estas condiciones provienen de la exposición de los vientos húmedos provenientes de los océanos, en combinación con las bajas temperaturas. La humedad resultante se condensa en la superficie de la vegetación dando origen a la lluvia horizontal (Stadtmüller, 1987). El rango altitudinal en el BN varía entre los 500 a los 3500 msnm, con una composición vegetal particularmente compleja. Las condiciones climáticas propician la presencia abundante de plantas epífitas, entre ellas figuran las briofitas (Gradstein et al., 2002; Myers, 1969; Stadtmüller, 1987). En un mismo forofito suelen haber regiones que no han sido colonizadas por plantas epífitas. Esto puede deberse a condiciones diferenciales de microhábitat, o bien porque se han desprendido por el peso propio o accidentes climáticos. En estos casos, la lluvia horizontal se presenta por el contacto de la humedad en el propio tronco desnudo, favoreciendo su escurrimiento en él (Herrera, 2013; Vaca, 2015).

La precipitación horizontal se puede medir directa o indirectamente. Stadtmüller (1987) y Sánchez (2010) describen en base a Juvik y Ekern (1978) dos métodos de medición directa de precipitación horizontal: la utilización de pluviómetros o bien el uso de atrapanieblas para captar las gotas de niebla por condensación. Vaca (2015), propuso una metodología para medir la lluvia horizontal por medio de la cuantificación de la niebla captada por acción del escurrimiento de los troncos desnudos. Así mismo, una vía indirecta, es la de medir la humedad almacenada en la biomasa de un cuerpo vegetal (Montenegro et al., 2005; Esarte, 2009; Montenegro, 2011; Holub et al., 2015).

La presente investigación tuvo como objetivos el inferir la cantidad de lluvia horizontal que absorben las briofitas, evaluar la proporción de musgos:hepáticas y cómo esto afecta la cantidad de lluvia horizontal captada por diferentes colchones en un BN de Guatemala. Debido a las características de las briofitas, podría pensarse que la heterogeneidad del colchón determina la captación de lluvia horizontal ya que la proporción musgos:hepáticas determinaría la cantidad de agua que captan. Las briofitas captan grandes cantidades de agua debido a cinco características principales: forman comunidades gregarias, la densidad de las comunidades, su tamaño, características propias de los gametofitos y su condición poiquilohídrica (Gradstein et al., 2002; Glime, 2013b). Su papel ecológico incluye la modulación de la humedad ambiental, ya que absorben el exceso de agua acumulada de la lluvia, liberándola lentamente, contribuyendo al ciclo de lluvia horizontal y al mantenimiento del microclima característico del BN (Glime, 2013a & b).

Materiales y métodos

Durante el mes de julio del 2016 se hizo un muestreo a lo largo del Sendero "Los Helechos" de El Biotopo Universitario para la Conservación del Quetzal (BUCQ). Durante cinco días consecutivos se tomaron los siguientes datos de cinco estaciones para dos tratamientos con sus repeticiones: humedad relativa del ambiente (%), temperatura (°C), cantidad de lluvia horizontal captada por las alfombras de briofitas (ml), vía escurrimiento manual de las muestras y la cantidad de lluvia horizontal captada por el método del escurrimiento de tronco (ml) (Vaca, 2015). El tiempo de exposición para ambos métodos fue de seis horas diarias

por la mañana en el período de 4:00 am a 10:00 am.

Para el tratamiento 1 se utilizaron diez alfombras de 900 cm² formadas por briofitas epífitas. Estas alfombras se encontraban en árboles adyacentes del Sendero Interpretativo “Los Helechos”. Adaptando la metodología de Montenegro et al. (2005) y Montenegro (2011). Las alfombras fueron tomadas a la altura del pecho (1.40m) del tronco de los árboles. A estos parches se les tomó el peso in vivo (g) en el día 1. Durante 5 días se tomaron datos de la cantidad de agua absorbida (ml) por las alfombras de musgos.

Una vez terminada la fase de campo, en laboratorio se calculó la Biomasa tomando peso in vivo inicial (g), y secando las proporciones de musgos y hepáticas que correspondían a cada alfombra, separando a su vez residuos de otro material vegetal o inorgánico que no correspondiera a briofitas.

El tratamiento 2 consistió en la captación de lluvia horizontal por medio de una manguera de vinil, siguiendo la metodología del escurrimiento del tronco (Vaca, 2015). Se colocaron mangueras de vinil a 1.40m del suelo y dando un pequeño giro con inclinación que se dirigía en el extremo terminal hacia bolsas colectoras cerradas de manera hermética. Las bolsas colectoras se revisaron paralelamente a las alfombras de briofitas durante las mediciones diarias, ver figura 1.

Para el análisis estadístico de los datos se realizaron agrupaciones para evaluar categóricamente las muestras. Se realizaron dos grupos, uno en donde las alfombras tenían más musgos y el otro en

donde las alfombras tenían más hepáticas, teniendo una variable categórica (grupo musgos o hepáticas) y una variable numérica (peso total de la alfombra in situ). También se realizó un diagrama de cajas con el objetivo de comparar la cantidad de agua captada por cada uno de los tratamientos estudiados y observar la simetría de la distribución de los datos (Moore, 2005). De esta manera fue posible determinar cuál de ellos presenta una mayor eficiencia.



Figura 1. Metodología. Se observan ambos tratamientos para la captación de lluvia horizontal. En la parte superior se observa el método con briofitas, mientras que en la parte inferior el método por escurrimiento del tronco. Fuente: datos experimentales tomados durante la fase de campo.

Tabla 1. Mililitros de lluvia horizontal recolectados por los dos métodos utilizados

Estación	HR inicio (%)	HR final (%)	Agua absorbida por las alfombras in situ (mL)	mL de agua captados por escurrimiento de tronco	Peso alfombras <i>in situ</i> (g)	Peso de las briofitas de las alfombras (g)
1a	76.4	68.1	14.34	1.52	243.5	158.4
1b	76.4	68.3	8.24	1.36	152	108.4
2a	74.7	69.7	5.44	1.64	170	117.4
2b	75.7	69.5	5.72	1.42	251.5	90.1
3a	76.3	69.9	12.3	1.2	232.5	135
3b	76.4	69.8	11.82	1.38	172.5	114
4a	76.5	74.8	3.5	1.56	304	100.5
4b	76.5	74.8	3.9	2.2	225.5	123
5a	70.5	77.6	10.62	5.88	201	74

Nota: HR: humedad relativa; % porcentaje; mL: mililitros; g: gramos. Se consideró que la diferencia entre el peso de las alfombras in situ, con el peso de las briofitas, es el peso de los residuos (sustrato, rizoides, desechos, etc.) que presentaban las alfombras. Fuente: Elaboración propia

Resultados

Cuantificación de neblina en el campo: In situ se cuantificó la cantidad de mililitros absorbidos en cada uno de los métodos (tabla 1), así como la humedad relativa promedio por día en cada estación. La temperatura promedio fue constante (21°C) durante los cinco días en todos los puntos de muestreo. En la figura 2A se observa que el escurrimiento de tronco captó menos agua que las alfombras de musgos en comparación con las alfombras de briofitas. En la figura 2B se observa que las alfombras con cantidad mayor de musgos pesan más que las alfombras que aquellas que tienen una cantidad mayor de hepáticas.

Cuantificación de la biomasa: con los datos del día 1 in situ se contrastaron los datos del peso seco. En la tabla 1 se observa el peso total del día 1 de mediciones. Cabe resaltar que en este peso se incluyen los residuos encontrados en las alfombras. Para la toma del peso seco se realizó la separación de las alfombras en 3 porciones: la porción formada por musgos, la conformada por hepáticas y la que estaba formada por los residuos, así se obtuvo la suma de la biomasa y se pudo calcular el peso seco real de las muestras.

Discusión

La captación de lluvia horizontal mostró resultados positivos para ambos métodos

(tabla 1), sin embargo, el método de Vaca (2015) no captó tanta lluvia como la metodología propuesta con las briofitas. Esto puede deberse a la naturaleza misma del método, ya que el ancho de la boca de la manguera es un factor limitante pues la entrada de agua a una pequeña sección de 2.5cm de diámetro (equivalente a 1 pulgada), por lo que no fue posible captar toda la lluvia horizontal que resulta del proceso de condensación, esto también se puede observar en la figura 2A.

En el caso de las briofitas puede decirse que no hay una relación directa entre el peso de la alfombra in situ o en el laboratorio, con la cantidad de agua que captaron. Así la relación musgos: hepáticas es la responsable de las diferencias de la captación de lluvia horizontal entre las diferentes unidades experimentales. La composición de una alfombra de briofitas se ve afectada por diferentes factores climáticos, como la temperatura, el fotoperiodo, disponibilidad de agua y humedad relativa del ambiente, entre otros (Glime, 2013a).

Glime (2013a) y Gradstein et al. (2002) hacen énfasis en la alta diversidad de briofitas en los trópicos, sobre todo en ámbitos que presentan altas cantidades de humedad, alta disponibilidad de agua y temperaturas que oscilan entre los 18 y los 25°C. El BN del BUCQ es un ambiente con una alta diversidad para este taxón (Freire, 2006; Freire & Salazar, 2006; Freire et al., 2004), por lo que las alfombras suelen ser muy heterogéneas. La heterogeneidad del colchón repercute en su ecología y dinámica con el ambiente (Glime, 2013b & d). Así la proporción musgos:hepáticas y las especies que están presentes tienen diferentes interacciones intra e interespecíficas (Glime, 2013b & d).

En la tabla 1 y la figura 2B se observa una tendencia de almacenar más agua en las alfombras de mayor peso, aunque el peso de las briofitas totales no tenga la misma tendencia (tabla 2). Las alfombras que presentan mayor cantidad de musgos pesaron más, pero no necesariamente almacenaron mayor cantidad de agua. Lo anterior puede explicarse por la naturaleza básica de los musgos, en cuyos rizoides se puede encontrar una mayor cantidad de residuos (pequeños trozos de madera, rocas y ramas, etc.) debido a la necesidad de sostén de los organismos al sustrato o superficie donde se encuentran. Estos residuos aumentan el peso y el área de captación de agua que, por adhesión y cohesión, entra al sistema ectohídrico de las briofitas pero que no proviene de su almacenamiento en las hojas. Los musgos de los trabajos de Glime, (2013), al igual que las hepáticas, son de regiones templadas donde los parches son grandes pero conformados por una o muy pocas especies. En la región neotropical, no puede generalizarse que las alfombras de musgos captan más agua en comparación con las formadas por hepáticas, puesto que hay una gran heterogeneidad en las mismas.

En la tabla 2 se observa la cantidad de agua que es capaz de almacenar cada una de las submuestras de cada alfombra, una vez separadas. La diferencia entre cada una de las estaciones no es significativa, así como tampoco lo es el promedio recolectado por musgos y hepáticas. Las hepáticas, como Glime (2013b) reporta en sus trabajos, tienden a almacenar menos agua por su pequeño tamaño, disposición dorsoventral de las hojas y aunque algunas tienen lóbulos modificados y anfigastos que ayudan al almacenamiento del agua, no tienen la capacidad de almacenamiento de los musgos.

Tabla 2. Comparación de mililitros absorbidos por musgos y hepáticas en laboratorio

Estación	5g musgos (mL)	5g hepáticas (mL)
1a	3.83	2.45
1b	2.99	2.81
2a	3.28	3.8
2b	8.1	6.19
3a	3.23	3.84
3b	4.81	3.44
4a	4.51	4.5
4b	3.86	4.64
5a	3.18	4.53
Total	37.79	36.2
Promedio	4.2	4.02

Nota: Promedio de mL de agua que se obtuvo por la saturación de musgos y hepáticas en laboratorio sobre 5 g de cada muestra.
Fuente: Elaboración propia

En los musgos las hojas se encuentran (en su mayoría) a un ángulo de 45°, lo que facilita la conducción y almacenamiento del agua ectohídrica. Sin embargo, en cuanto a las briofitas tropicales, tal homogeneidad no se da y suelen haber muchas especies en un tamaño reducido de espacio (Gradstein et al., 2002).

Lo observado durante la separación de las alfombras utilizadas en este estudio es que las hepáticas forman grandes parches de varias especies que se sobreponen unas sobre otras de manera desordenada. Es común que las hepáticas formen estos

parches ya que esta disposición favorece la formación de la capa de agua que necesitan para su desarrollo (Glime, 2013b & c). Es así como la compensación de las hepáticas ante su reducido tamaño y disposición de las hojas se da por la formación de parches complejos, compactos y diversos, que facilitan la conducción y manejo del agua ectohídrica de la comunidad y crear movimiento del

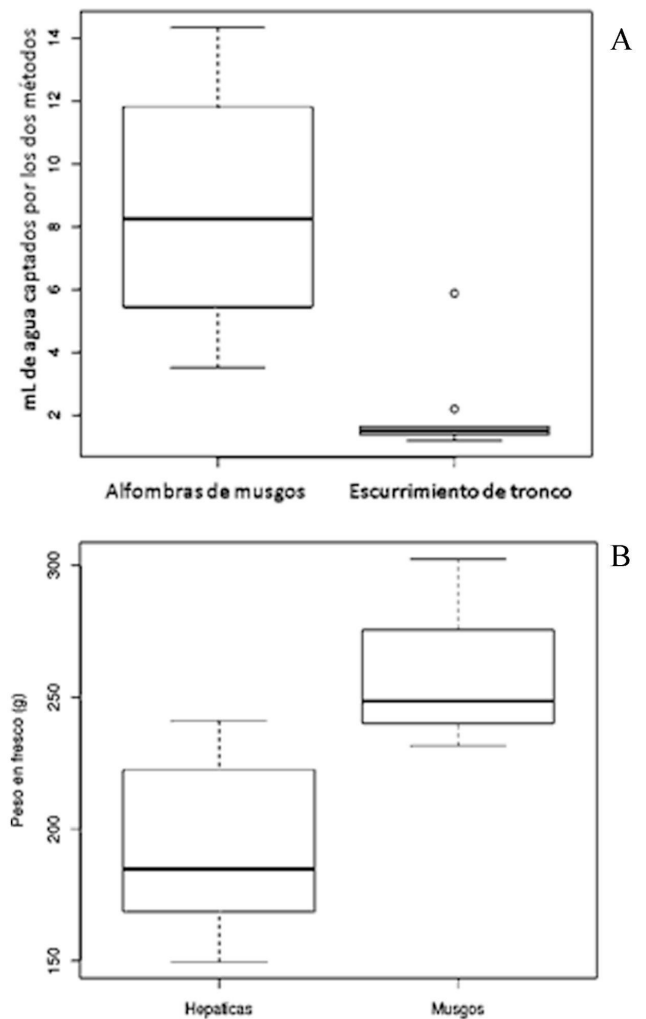


Figura 2. (A). Diagrama de cajas comparando los mililitros absorbidos por los dos métodos: alfombras de musgos y escurrimiento de tronco. (B). Diagrama de cajas comparando las distribuciones de pesos de grupos de hepáticas y grupos de musgos y los pesos en fresco de las alfombras. Fuente: Elaboración propia

agua de célula a célula de manera uniforme (Glime, 2013c), así son capaces de absorber casi tanta agua o incluso un poco más que los musgos presentes en el mismo parche.

En este trabajo se comprobó que, si bien las hepáticas (teóricamente) almacenan menos agua de manera individual debido a su morfología, forman comunidades gregarias, densas y de mayor extensión los grupos de musgos con que comparten el espacio. En cambio, los musgos presentan de manera individual un sistema mejorado el almacenamiento de agua, pero de manera gregaria almacenan casi la misma cantidad de agua que las alfombras de hepáticas y debido a la disposición de sus hojas, los colchones no son tan densos ni compactos.

Se concluye que la proporción musgos:hepáticas sí influye en la cantidad de lluvia horizontal captada por las alfombras de briofitas en el BN, aunque de manera indirecta. A mayor cantidad de musgos, mayor cantidad de sustrato y de residuos que amplían el área de extensión de la capa de agua ectohídrica que, junto a su mayor eficiencia para almacenar agua por sus adaptaciones morfológicas, hacen que las alfombras con mayor cantidad de musgos capten mayores cantidades de lluvia horizontal, aunque no de manera significativa. Así mismo, el método de captación de neblina usando briofitas es más eficiente que el del escurrimiento del tronco, debido a las limitaciones de este último en cuanto al área de captación. Esto comprueba que las briofitas sí ayudan a la captación de lluvia horizontal y que su papel dentro del BN podría ayudar a gestionar programas de monitoreo de la lluvia horizontal del BN y generar estrategias para mitigar los efectos del cambio climático y fragmentación del

paisaje en este ecosistema utilizando la misma brioflora presente en los troncos.

Para obtener el valor real de lluvia horizontal absorbida se recomienda eliminar los residuos de la alfombra antes de realizar la captación, además de realizar el estudio en diferentes épocas del año para estimar la cantidad de neblina captada en diferentes condiciones.

Agradecimientos

A la Dra. Maura Quezada y al Herbario USCG por su apoyo incondicional, préstamo del equipo necesario para la toma de datos, tanto in situ como en la fase de análisis de muestras posterior a la fase de campo.

A la Licda. Mayra Oliva y al Lic. Jorge del Cid quienes nos facilitaron las instalaciones del Biotopo.

Al Lic. Jorge Jiménez por su asesoría al proceso de análisis de datos y manejo estadístico de los mismos.

Al Ms. Pavel García y a la MsC. Sara Barrios por su asesoría en los cursos de Investigación Aplicada I y II respectivamente, ya que este trabajo es el fruto de estos cursos correspondientes a los 7mo y 8vo semestres de la carrera de Biología, Facultad de CCQQ y Farmacia de la Universidad San Carlos de Guatemala.

Referencias

- Esarte, J. (2009). Determinación de la Humedad de la Madera y otros Materiales de Construcción. Gipuzkoa, España: Colegio de Ingenieros Industriales de Gipuzkoa.
- Freire, V. (2006). Las Hepáticas (Bryophyta) de Guatemala. En E. Cano, Biodiversidad de Guatemala Vol. 1 (págs. 55-68). Universidad del Valle de Guatemala.
- Freire, V. & Salazar, N. (2006). Introducción al Estudio de la Diversidad de briofitas de Guatemala. En E. Cano, Biodiversidad de Guatemala vol. 1 (págs. 49-54). Universidad del Valle de Guatemala.

- Freire, V., Pérez, M. & Remírez, F. (2012). Biodiversidad de hepáticas y antocerontes de Guatemala II. En E. Cano, Biodiversidad de Guatemala Vol. 2 (págs. 1-8). Universidad del Valle de Guatemala.
- Freire, V., Ramírez, F., Ríos, V. & Pérez, M. (2004). Distribución de las hepáticas presentes en el sendero interpretativos "Los Musgos" del Biotopo Universitario para la Conservación del Quetzal "Lic. Mario Dary Rivera" Purulhá, Baja Verapaz, Guatemala. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación.
- Glime, J. (2013). Temperature: Species and Ecosystems. En Bryophytes Ecology (Vol.10- cap 4). Michigan Technological University.
- Glime, J. (2013). Water Relations: Plant Strategies. En Bryophytes Ecology (Vol.7- cap3). Michigan Technological University.
- Glime, J. (2013). Water Relations: Movement. En Bryophytes Ecology (Vol.7- cap2). Michigan Technological University.
- Glime, J. (2013). Water Relations: Physiological Adaptations. En: Bryophytes Ecology (Vol.7- cap5). Michigan Technological University.
- Gradstein, R., Salazar-Allen, N., & Churchill, P. (2002). Guide to the Bryophytes of Tropical America. New York: Botanical Garden.
- Herrera, P. (2013). Musgos epífitos en bosques mesófilos de la Sierra Madre Oriental. Querétaro: Universidad Autónoma de Querétaro.
- Holub, P., Tuma, I., Záhora, J., & Fiala, K. (2015). Biomass production of different grass land communities under artificially modified amount of rainfall. *Polich Journal of Ecology*, 63, 320-332.
- Montenegro, L., Chaparro, M., & Barón, A. (2005). Regulación Hídrica en Cinco Musgos del Páramo de Chigaza. En M. Bonilla, Estrategias Adaptativas de Plantas del Páramo y del Bosque Alto andino en la Cordillera Oriental de Colombia. Colombia.
- Moore, D. (2005) Estadística aplicada básica. (2ª. Ed.). España: Antoni Bosch
- Myers, C. (1969). The ecological geography of cloud forests in Panamá. *American Museum Novitates*, 52.
- Sánchez, A. (2010). Captación de Agua a Partir de Niebla por Pinos en la Región Central Montañosa de Veracruz. México [Tesis de Ph.D. Universidad Veracruzana]
- Stadtmüller, T. (1986). Captación de agua a partir de niebla por pinos en la región central montañosa de Veracruz. Costa Rica.
- Stadtmüller, T. (1987). Los bosques nublados en el trópico húmedo. Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 85 p.
- Vaca, M. (2015). Propuesta Metodológica para medir la Precipitación Horizontal en el Bosque Nublado de la Reserva Biológica Uyuca, Honduras. Zamorano, Honduras [Tesis de Pregrado, Escuela Agrícola Panamericana]