

## LA NECESIDAD URGENTE DE MANTENER EL EQUILIBRIO DINÁMICO DEL CICLO HÍDRICO<sup>2</sup>

Los páramos prestan múltiples servicios ambientales a las comunidades rurales y urbanas. El servicio más sobresaliente y preponderante consiste en la producción y regulación hídrica. En los páramos nace la mayoría de los ríos que proporcionan agua para el consumo humano en las ciudades. También para la generación de energía hidroeléctrica y provisión de agua al sector agropecuario.

El incremento cada vez más acelerado de las grandes ciudades, el acelerado crecimiento de la población y el desplazamiento de los cultivos y de la ganadería hacia el páramo amenazan perturbar el equilibrio dinámico del ciclo hídrico y con ello la desaparición del recurso agua.

Es urgente, por consiguiente, estudiar a profundidad, la situación macroambiental, regional y nacional e identificar los interrogantes que precisa resolver. Pero todo lo anterior no podrá realizarse si no se llenan los vacíos de conocimiento y se pueda construir un marco de referencia y de orientación que permita diseñar las estrategias para reparar los disturbios y que eviten la perturbación irreversible del equilibrio dinámico del ciclo hídrico.

Lo primero habrá de comenzar, prioritariamente, con el enriquecimiento de los conocimientos científicos básicos sobre los factores implicados en la capacidad de autorregulación del bioma páramo. Los resultados hasta ahora obtenidos en tal sentido por nuestro Grupo indican que, en primer lugar, las adaptaciones de las plantas dominantes en las diferentes comunidades presentes en el páramo, determinan a la vez el papel de las diferentes comunidades en la regulación del ciclo hídrico.

De acuerdo con **Lauer** (1976) las montañas tropicales muestran un escalonamiento hídrico vertical, de acuerdo con la altura sobre el nivel del mar. A cada piso altitudinal corresponde un intervalo máximo diferente de precipitaciones anuales totales. Si se comparan el clima y la vegetación de diferentes montañas tropicales, se puede explicar que la franja de máximas precipitaciones anuales, puede estar situada entre la base de la montaña y una elevación de más de 2500 m.s.n.m., dependiendo ello del régimen anual del clima y del sistema de circulación atmosférico.

En general, se pueden establecer los siguientes principios:

a) entre más seca sea la base de la montaña, la franja de precipitación máxima anual total está situada a mayor altura en las montañas tropicales. En el área predominante de régimen de precipitaciones convectivas en los trópicos húmedos la franja tropical de máxima precipitación está situada en el intervalo de 900-1400 m.s.n.m. Es decir, que corresponde a una ubicación intermedia en cuanto a la elevación. El máximo de precipitación secundario corresponde al piso del bosque de neblina.

El páramo desértico coincide con el ambiente más extremo habitable por *Espeletia spp.* La mayor área de este sistema tropical alto-andino, se distribuye en la Cordillera de Mérida, Venezuela, por encima de los 4000 m.s.n.m., y alcanza una elevación de 4600 m.s.n.m. en el ecotono de los glaciares. Allí crece *Espeletia tinctoria*. Los páramos de Colombia y del norte de Ecuador, por lo general, son páramos húmedos. Los páramos del sur del Ecuador y la Jalca del norte del Perú son también relativamente secos.

**Malagón**, (1981), analiza las características de suelos del páramo desértico Pico del Águila, precisamente donde crece *Espeletia timotensis* a 4118 mts. de altitud. Los suelos están constituidos por un manto móvil de soliflucción de un espesor de 7 cm. que migra fácilmente a lo largo de las fuertes pendientes. Sobre este manto caen los akenios de *E. timotensis* y encuentran *en tal* substrato un nicho germinativo excelente "Pico del Águila" tiene una temperatura anual promedio de 2.8° C, con una precipitación de 869 mm. de patrón unimodal.

El calentamiento de las hojas de plantas de baja altura tiene influencia sobre los gradientes de humedad, en cuanto facilita la evaporación de las aguas lluvias y por consiguiente, sobre la transpiración. La evotranspiración de los suelos y plantas dominantes del páramo retorna parte de las aguas lluvias a la atmósfera. Mediante la evotranspiración, entre otros factores ecológicos, los ecosistemas de alta montaña de páramos y subpáramos, regulan el ciclo hídrico característico. De la conservación eficiente de tales factores reguladores depende la persistencia de la estructura y dinámica del bioma páramo, de las cuales a la vez depende la interacción equilibrada y sustentable de las comunidades con el medio ambiente.

<sup>2</sup> Palabras pronunciadas por el presidente de la Academia durante el Congreso Mundial de Páramos realizado en Paipa.

Cabe así mismo destacar la capacidad para almacenar agua y regular los flujos hídricos del bioma Páramo. El páramo es un ecosistema en el cual la vegetación y el suelo han desarrollado un gran potencial para interceptar y almacenar agua, de ello depende el valor estratégico del páramo como regulador del ciclo hídrico e inclusive de producir excedentes del tan preciado líquido, aprovechables para los fines ya señalados.

En lo que concierne a la conservación, es decisivo socializar estos conocimientos, al igual que todos aquellos que mediante la investigación científica se logre consolidar sobre los bienes y servicios ecosistémicos del páramo. Ello implica el acercamiento de la comunidad científica y académica a las comunidades de usuarios de los servicios ambientales del páramo, entre ellas las que utilizan o están encargadas del manejo del servicio ambiental del agua.

El calentamiento de las hojas de las plantas del páramo de baja estatura tiene influencia sobre los gradientes de humedad y, por consiguiente, en la transpiración y en la evaporación. El pisoteo del ganado puede causar efectos negativos sobre estos procesos y causar disturbios profundos.

Como es sabido, durante el día la radiación proveniente del sol, calienta la superficie de la tierra. El suelo se vuelve más caliente que el aire que se encuentra por encima. Mediante el proceso de conducción de calor este aire superpuesto, también se calienta. A medida que esto sucede el aire pierde densidad y por lo tanto se hace más liviano y asciende. Inmediatamente, es sustituido por el aire frío que se encuentra por encima, el cual desciende y se calienta por conducción. Así se torna más liviano e igualmente asciende, y así sucesivamente. Este proceso conduce a la denominada "mezcla convectiva de calor" que origina corrientes convectivas ascendentes.

El flujo de calor por conducción durante la noche es de dirección opuesta al que se presenta durante el día. Así se origina el descenso del aire hacia el suelo que está más caliente, pero que continua perdiendo calor por erradicación del calor almacenado durante el día soleado.

### Las respuestas adaptativas de las plantas del páramo

A lo largo de la evolución, las plantas de altas montañas desarrollaron respuestas adaptativas a la marcada inestabilidad, en particular para responder a la inestabilidad de los factores climáticos del Páramo a lo largo del ritmo diario o circadiano.

El estudio de tales estrategias adaptativas en desarrollo del programa de investigaciones que adelante nuestro

Grupo sobre las estrategias adaptativas de especies de plantas de elevada frecuencia en el páramo y bioforma diferente, ha permitido identificar adaptaciones y respuestas adaptativas, tanto estructurales como funcionales de varias especies de plantas del páramo, entre otras, de *Espeletia grandiflora* y de *Pentacalia vaccinioides*, especies de bioforma contrastante.

Se trata de adaptaciones que permiten a estas dos especies regular los efectos sobre la conductancia y la transpiración foliares de las variaciones diurnas frecuentes y fuertes de la radiación global y sus respectivos efectos sobre la temperatura de la hoja, la humedad relativa y la temperatura del aire, así como de la tensión hídrica y de la temperatura del suelo del páramo. Esto último, sobre todo, durante los meses de menor precipitación del año (diciembre-marzo; julio-agosto).

Entre las adaptaciones organizacionales y estructurales, además de las correspondientes a las respectivas bioformas, se identificaron características anatómicas de la hoja y del tallo que contribuyen unas, a regular los efectos negativos de las oscilaciones fuertes de los parámetros ambientales en cuanto crean condiciones para el almacenamiento de agua mientras otras, disminuyen el efecto del calentamiento foliar por exposición a la elevada insolación o, en fin, otros caracteres que, en conjunto contribuyen a mantener condiciones de estabilidad de la "capa límite", entre la atmósfera y la superficie foliar.

De esta manera se obtiene que las especies de plantas del páramo, unas con mayor eficiencia que otras, como es el caso de *Espeletia grandiflora* con respecto a *Pentacalia vaccinioides*, regulen funciones vitales de acuerdo con las variaciones fuertes e intermitentes de los factores ambientales; por ejemplo, funciones relacionadas con el intercambio de gases entre la atmósfera y el interior de la hoja, tal como pudo comprobarse en el estudio, cuyos resultados se presentan, entre otros, en Mora (1995-2000) con respecto a la regulación de la transpiración y de la conductancia foliares, con base en la evaluación estadística de los resultados de las mediciones efectuadas en el páramo de la intensidad de las variaciones de los diferentes parámetros ambientales y de las respectivas intensidades de variación de los parámetros funcionales de las especies de plantas estudiadas, en tres comunidades sustentadas por suelos diferentes. Las diferencias se reflejan en la tensión hídrica negativa de cada uno de tales suelos. Parámetro cuya variación depende de muchos factores ambientales, entre otros, la pluviosidad mayor o menor, a lo largo de un amplio rango.

De acuerdo con **Lauer** (1976) los gradientes altitudinales de las precipitaciones presentan patrones complejos, con una amplia variabilidad entre diferentes cordones montañosos en función de su orientación, altitud, elevación total, etc. En general puede resumirse esta variabilidad en dos situaciones extremas, separadas por una gama de situaciones intermedias. Un caso típico es el incremento gradual de las lluvias con la altitud hasta alcanzar un máximo a alturas medias, del orden de los 2.000 a 2.500 m, determinado especialmente por el nivel de condensación de las precipitaciones orográficas, al cual corresponde el clásico cinturón de selvas nubladas. Luego las precipitaciones decrecen con la altura.

El otro caso típico se encuentra en las Cuencas de las vertientes donde el máximo de lluvias se produce en la parte baja, a alturas inferiores a los 1.000 m., con una disminución paulatina con la altitud. En este caso toda la cuenca presenta formaciones forestales húmedas hasta el límite altitudinal del bosque, resultando mucho más convencional separar un cinturón específico de bosques montanos.

En el trópico tenemos que diferenciar varios niveles de condensación. El primer nivel alcanza 1000-1800 m.s.n.m., luego tenemos el nivel del bosque subandino, con una humedad más elevada del aire. La presencia de muchas plantas epífitas y bejucos trepadores y de helechos en los sitios más húmedos es característica. Este nivel abundan las nubes. El límite inferior de las nubes (primer nivel de condensación), está situado a 1500-1800 m.s.n.m. y hace que el bosque se extienda a alturas de 2500-2800 m.s.n.m. A éste se conoce como el bosque de neblina.

El segundo nivel de condensación depende de la configuración del nivel inmediatamente inferior y según la disponibilidad de vapor de agua está a una altura de 2700 m. y avanza hasta el límite superior del bosque, entre 3200-3500 m.s.n.m, donde produce lluvias. Son más húmedos que los bosques de las tierras templadas, puesto que están presentes muy finas gotitas de agua.

**Weischet** (1965 y 1969) ha propuesto los siguientes principios en cuanto al escalonamiento de la precipitación las lluvias anuales máximas están entre 900-1400 m.s.n.m.; el segundo máximo está en una altura entre 2700 y 3200 m.s.n.m.; el tercer nivel de lluvias está en los valles que atraviesan las Cordilleras de 3200 m. hacia arriba.

Sin embargo, no existen reglas constantes. Las diferentes regiones tropicales muestran que la zonificación altitudinal higráfica de las montañas tropicales no es unita-

ria. Existen diferencias notables según el relieve, pero también según el régimen climático y la circulación atmosférica.

Cuando las montañas son de gran dimensión y están rodeadas por zonas relativamente secas, se presentan fenómenos de condensación que dan lugar a lluvias cuando entran en contacto con los vientos, Pasat, a grandes alturas.

Por otra parte, el ritmo térmico más destacable, en los trópicos, es el que ocurre durante el fotoperiodo por lo cual se habla del ritmo de ciclo diario o ritmo de ciclo circadiano. En los días de fuerte radiación, sobre todo en la superficie del suelo de los páramos, ocurren considerables oscilaciones de la temperatura, donde se han medido temperaturas del suelo, en la noche de  $-10^{\circ}$  C y en el período diurno  $50^{\circ}$  C. Esto promueve la evaporación del agua del suelo del Páramo y de la vegetación; lo cual contribuye a restituir a la atmósfera la humedad promotora de la condensación del vapor de agua en forma de nubes, que en contacto con corrientes de viento frías como los Pasat producen abundante precipitación.

En conclusión, como lo pone en evidencia el análisis que se hace en esta presentación, el significado de los páramos en la regulación del ciclo hídrico y en el sostenimiento del equilibrio dinámico del ciclo del agua es decisivo, por lo cual más pronto que tarde debemos proceder a poner en marcha actividades y programas conducentes a reparar disturbios ya producidos en los ecosistemas que conforman el bioma páramo, con base en conocimientos ya disponibles como los que aquí se han expuesto. Por otra parte, con apoyo en el enriquecimiento del conocimiento sobre el funcionamiento del bioma páramo elaborar estrategias efectivas que conduzcan en forma efectiva a asegurar la persistencia de tan valioso patrimonio natural.

Luis Eduardo Mora Osejo

## BIBLIOGRAFÍA

- Lawer, W.** 1976. Zur hygrischer Hohenstufung tropischer Gebirge *Biogeographica* 7: 169-182.
- Malagón, D.** 1981. Evolución de los suelos en el Páramo Andino. CIDIAT. Mérida.
- Mora-Osejo, L.E. et al** 1995. La regulación de la transpiración momentánea en plantas del páramo por factores endógenos y ambientales. En: Mora-Osejo, L.E. & H. Sturm (eds) Estudios Ecológicos del Páramo y el Bosque alto-andino. Cordillera Oriental de Colombia. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Colección Jorge Álvarez-Lleras No.6. 1:89-149. Editora Guadalupe Bogotá (2ª. Edición).

**Mora-Osejo, L.E. 2001.** Contribución al Estudio Comparativo de la Conductancia y la Transpiración foliar de Especies de Plantas del Páramo. Colección Jorge Álvarez-Lleras No.17. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Editora Guadalupe. Bogotá.

**Murcia, M. & L.E. Mora-Osejo, 2002.** Evasión térmica de las hojas juveniles y de la yema terminal de plantas caulirrosulas de especies de *Espeletia* (en prensa).

**Weischet, W. 1965.** Der tropisch-konvektive und der ausser-tropischadventive Typ der vertikalen Niederschlag-Verteilung. Erdkunde 19: 16-14. Bonn.

——— 1969. Klimatologische Regeln zur Vertikalverteilung der Niederschläge in Tropengebirgen. Die Erde 100: 287-306.