

# HETEROGENEIDAD ESTRUCTURAL Y LUMÍNICA DEL SOTOBOSQUE DE UNA SELVA NUBLADA ANDINA DE VENEZUELA

MIGUEL F. ACEVEDO, MICHELE ATAROFF,  
SUSAN MONTELEONE y CARLOS A. ESTRADA

Las condiciones particulares de los ambientes de sotobosque son fundamentales para la ocurrencia de procesos de los que depende el futuro de todo el bosque, como por ejemplo la germinación de las plantas enraizadas en el suelo muchas de las cuales son árboles que pasarán a determinar la estructura de la selva varias décadas después. De las muchas variables que componen el ambiente de sotobosque algunas son más importantes para las actividades fisiológicas. En particular, las características lumínicas, constituyen un factor determinante de muchos procesos biológicos (Young, 1975; Huber, 1978; Smith, 1982; Foster y Janson, 1985; Lee, 1987; Forget, 1992a, b; Enderler, 1993; Hammond y Brown, 1995; Lee *et al.*, 1996; Loiselle *et al.*, 1996; Grant, 1997). La cantidad y calidad de la radiación solar recibida, así como su distribución y variación en el espacio y el tiempo son elementos importantes para la comprensión de muchos procesos dinámicos de la selva.

La luz incidente sobre el dosel de la selva nublada montana es afectada por las condiciones climáticas y topográficas, como la nubosidad y el sombreado ocasionado por las laderas a diferentes horas del día dependiendo de la ubicación de la selva bajo estudio (Huber, 1978). En el sotobosque, la luz se ve afectada por características del rodal, como la densidad de árboles (troncos) y su distribución de tamaños, pero también por características del dosel como la densidad del follaje y la proporción de aberturas y de hojas que reflejan luz hacia el sotobosque.

En trabajo anterior (Acevedo *et al.*, 2001) se analizó la relación entre algunas de estas características del dosel y el espectro de la luz recibida a 1m sobre el suelo de una selva nublada andina de Venezuela. Se determinó que en esta selva el sotobosque es generalmente muy sombreado, como resultado de un porcentaje bajo de área abierta del dosel. En particular se encontró que en este ambiente sombreado, el número y

distribución de tamaño de las aberturas del dosel incide en la distribución espectral de la luz.

En el presente trabajo se caracteriza el ambiente de sotobosque de esa selva, describiendo la estructura del rodal y del dosel, y la composición espectral de la luz. Las variables estructurales seleccionadas fueron: para el rodal, la densidad de árboles y el área basal de dos categorías diamétricas; para el dosel, el índice de área foliar, los porcentajes de área abierta y de área de hojas reflectoras hacia el sotobosque. Los espectros se examinaron en el intervalo de 400-800nm y para sintetizarlos se seleccionaron aspectos prominentes de dichos espectros en el verde y rojo lejano. Para complementar estos indicadores de calidad de luz, se incluyó una medida de la cantidad total de luz transmitida utilizando la integral del espectro en el intervalo visible de longitudes de onda.

La caracterización de todas estas variables se hizo en forma horizontal a 1m del suelo, en puntos dispues-

**PALABRAS CLAVE / Densidad Arbórea / Dosel / Radiación Solar / Selva Nublada / Sotobosque /**

Recibido: 21/03/2003. Modificado: 20/06/2003. Aceptado: 25/06/2003

Miguel F. Acevedo. Ingeniero Electrónico y M.Sc., Universidad de Texas, Austin, EEUU. M.Eng. y Ph.D. en Biofísica, Universidad de California, Berkeley, EEUU. Profesor, Departamento de Geografía e Instituto de Ciencias Aplicadas, University of North Texas (UNT), Denton, Texas, EEUU y Centro de Simulación y Modelos (CESIMO), Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes (ULA), Venezuela. Dirección: Department of Geography and Institute of Applied Sciences, University of North Texas, Denton, Texas 76203, EE.UU. e-mail: acevedo@unt.edu.

Michele Ataroff. Bióloga, ULA. M.Sc. y Doctora en Ecología Tropical, ULA. Profesora, Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas (ICAE-ULA). Dirección: ICAE, Facultad de Ciencia, ULA. Mérida 5101, Venezuela. e-mail: ataroff@ula.ve

Susan Monteleone. Bióloga, Allegheny College, EEUU. M.Sc., SUNY, Fredonia, EEUU. Ph.D. en Biología, UNT. Profesora, Lindsey Wilson College, Kentucky, EEUU. Dirección: Biology Department, Lindsey Wilson College, Columbia, Kentucky 42728, EEUU. e-mail: monteleo@lindsey.edu

Carlos A. Estrada. Biólogo, ULA. M.Sc. y Doctor en Ecología Tropical, ULA. Profesor, ICAE-ULA. Dirección: ICAE, Facultad de Ciencia, ULA. Mérida 5101, Venezuela. e-mail: estrada@ula.ve

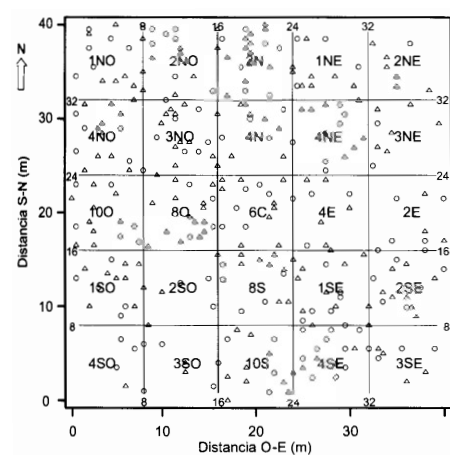


Figura 1. Diagrama de la parcela, mostrando la disposición de los puntos de muestreo y la distribución de los árboles en dos categorías de diámetro a la altura del pecho (DAP):  $2.5\text{cm} < \text{DAP} \leq 10\text{cm}$  ( $\Delta$ ) y  $\text{DAP} > 10\text{cm}$  ( $\circ$ ). Los lados de los cuadrados miden 8m. El centro y código de cada cuadrado corresponde al punto donde se realizaron las medidas de espectro de luz, índice de área foliar y toma de las fotos hemisféricas.

tos en forma regular cada 8m sobre una cuadrícula de 40m de lado. Adicionalmente, las variables espectrales fueron examinadas verticalmente desde 1m sobre el suelo hasta 6,6m de altura, en cuatro puntos selectos de las cuadrículas. El arreglo espacial de las mediciones efectuadas en este trabajo permite estudiar si existen patrones espaciales en la distribución de árboles, así como en las características del rodal, del dosel, y del espectro. Adicionalmente, se estudiaron las relaciones entre las variables estructurales y las espectrales para identificar como las características del rodal y dosel se manifiestan en el campo lumínico.

## Materiales y Métodos

### Área de estudio

El estudio se realizó en La Mucuy ( $8^{\circ}38'N$ ,  $70^{\circ}02'W$ ) a 2300m de altitud, en el Parque Nacional Sierra Nevada, estado Mérida, en Los Andes de Venezuela. La vegetación corresponde a una selva nublada montana alta, la cual se desarrolla en un ambiente muy húmedo y con alta nubosidad (Ataroff, 2003). Su estructura es muy compleja, mostrando un dosel abierto e irregular que alcanza 20-30m, el cual se sobrepone a árboles menores con alturas de 6 a 15m y a árboles pequeños y arbustos entre 1 y 6m, todos ellos soportando una alta y diversa biomasa de epífitas. Las especies de árboles más frecuentes incluyen *Clusia*

*multiflora*, *Guettarda steyermarkii*, *Laplacea fruticosa*, *Alchornea triplinervia*, *Oreopanax moritzii*, *Sapium stylare* y *Billia columbiana* (Lamprecht, 1954, Acevedo *et al.*, 2001). Entre las especies más comunes en el sotobosque se encuentran *Palicourea demissa*, *Psychotria aubletiana*, *Solanum meridense*, *Monochaetum meridense*, *Fuchsia venusta*, y *Chusquea fendleri*. Las epífitas más frecuentes son *Tillandsia tetrantha*, *T. biflora*, *Epidendrum dendrobii*, *Oncidium falcipetalum*, y *Peperomia microphylla* (Acevedo *et al.*, 2001).

Las temperaturas medias anuales varían poco, alrededor de  $14^{\circ}C$ . La precipitación anual es de 1700-3500mm, con un patrón tetraestacional con dos picos, uno en abril-mayo y otro en octubre-noviembre, ambos de 300-360mm mensuales. Los meses con menores precipitaciones son enero y febrero, con menos de 50mm mensuales, y junio y julio con 100-150mm mensuales. La humedad relativa en el sotobosque es muy alta, fluctuando entre 80 y 100%. La mayor parte del año, se forma una capa de nubes bajas y neblina durante la tarde hasta medianoche (Acevedo *et al.*, 2001, Ataroff, 2003).

### Cuadrícula de muestreo

Se trazó una cuadrícula en una parcela de 40x40m (Figura 1) ubicada en la vertiente Noroeste (NO) de la Sierra Nevada, sobre una ladera con pendientes de 20-30°. La cruz central coincide con las transectas este-oeste (EO) y norte-sur (NS) discutidas en Acevedo *et al.* (2001). Para garantizar un ambiente de sotobosque, la cuadrícula fue trazada alejada de los claros grandes. El punto más cercano a un claro fue el 1E, ubicado a 10m del borde de un claro de aproximadamente 50m de diámetro. Los puntos de muestreo distaron 8m entre sí, para un total de 25 puntos.

### Variables del rodal: mediciones y procesamiento

Para caracterizar el rodal en la parcela, el 20 octubre 1997 se contaron todos los árboles con diámetro a altura del pecho (DAP) superior a 2,5cm y se determinó su posición en la cuadrícula por medio de dos coordenadas (Figura 1). Para aquellos árboles con  $\text{DAP} > 10\text{cm}$  se midió el DAP de cada árbol para calcular el área basal (AB), expresada en  $\text{m}^2/\text{ha}$ . Para el cálculo de AB en árboles con ramificación basal se midió cada tronco por separado. El número de árboles fue convertido a unidades de densidad ( $\text{ind}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) en ambas categorías diamétricas para ob-

tener la densidad de árboles con DAP entre 2,5 y 10cm (Dp) y la densidad de árboles con  $\text{DAP} > 10\text{cm}$  (Da).

### Variables del dosel: mediciones y procesamiento

En cada uno de los puntos de muestreo de la cuadrícula (Figura 1), a una altura de 1m, el 01 marzo 1997 se tomó una fotografía hemisférica (ángulo de  $180^{\circ}$ ) mirando hacia el dosel con un lente "ojo de pescado" (Canon EF 15mm f/2.8) instalado en una cámara de 35mm (Canon EOS). Las fotos resultantes fueron de 36x24mm, diagonal de 43mm y área de  $864\text{mm}^2$ . Según el fabricante del lente, este rectángulo está inscrito en la foto hemisférica circular de 43mm de diámetro, con área de  $1452\text{mm}^2$ . Por lo tanto, la fracción del área cubierta por la imagen rectangular utilizada en este trabajo es de aproximadamente 60% de la foto hemisférica original (Acevedo *et al.*, 2001).

Cada foto hemisférica se digitalizó mediante un escaner (Nikon Coolscan) para obtener una imagen formato TIF con resolución de 1200 pixels por pulgada y de 8 bits; así cada pixel puede tener un valor digital de 0 a 255 (de negro a blanco, respectivamente). La Figura 2 ilustra las fotos tomadas en los cuatro puntos de la cuadrícula donde se efectuaron las mediciones verticales. Los histogramas de valor o intensidad de los pixels de cada imagen fueron analizados por medio de un programa de procesamiento gráfico (Adobe Photoshop), en conjunto con una revisión del valor de los pixels correspondientes a los diferentes elementos (aberturas, follaje y troncos) de la imagen. Como resultado, se seleccionaron dos intervalos de intensidad, uno de 90 a 230, correspondiente a tonos grises claros que representan las hojas reflectoras (hacia el sotobosque) y otro de 230 a 255, correspondiente a tonos blancos que representan las aberturas del dosel. El número de pixels en cada uno de estos intervalos se dividió entre el total de pixels en la imagen para obtener el porcentaje del área de la imagen ocupada por hojas reflectoras (AFR) y por aberturas del dosel (PAA). Este análisis se realizó con el total de la foto rectangular pero también se analizó por separado una porción central de la foto correspondiente al ángulo de visión de una fibra óptica con el extremo libre (sin corrector de coseno,  $25^{\circ}$ ) para poder estudiar las relaciones con variables espectrales cuyos datos fueron tomados con una fibra óptica con esas características.

Las medidas del índice de área foliar (IAF) fueron realizadas en

