

**Primera experiencia en Cuba para el cálculo de Índice de Área Foliar de bosques semidecíduos como ejemplo de bosque tropical seco insular mediante el análisis de vacíos de luz usando una cámara hemisférica**

**The first experience in Cuba to calculate the Leaf Area Index of semideciduous forest as an example of insular tropical dry forest by means of gap light analyzer using the hemispherical camera**

**Ferro Díaz, Jorge<sup>1</sup>, Capote López, René P,<sup>2</sup> Delgado Fernández, Freddy<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>.- Centro de Investigaciones y Servicios Ambientales ECOVIDA, Km. 2 ½ Carretera a Luis Lazo, Pinar del Río. Correo electrónico: jferro@ecovida.vega.inf.cu

<sup>2</sup>.- Instituto de Ecología y Sistemática (IES). AMA. Carretera a Varona K 2 ½ Capdevila. Ciudad Habana.

Fecha de recepción: 19 de enero 2010. Aprobado: 27 de mayo 2010.

**A manera de Introducción**

Las valoraciones exactas de la cobertura forestal son importantes para definir estrategias y políticas de ordenamiento de los recursos naturales para la conservación en las regiones tropicales (Herrera *et al.*, inédito).

Los ecosistemas de bosques tropicales secos están especialmente amenazados por el cambio en la cobertura y el uso del suelo (Sánchez-Azofeifa *et al.*, 2003). A nivel mundial, el 42% de los bosques tropicales son bosques secos (Murphy y Lugo, 1986). Los bosques tropicales secos constituyen la fuente de menos tensiones ambientales y bióticas para el uso humano y la colonización en comparación con otras zonas de vida tropicales. En general, no existen, o son muy escasos, los estudios multidisciplinarios y comparativos sobre los bosques tropicales secos en el continente americano (Herrera *et al.*, inédito).

En Cuba, la clasificación de la vegetación más utilizada (Capote y Berazaín, 1984) reconoce dos tipos de bosques ampliamente difundidos en el territorio nacional: los bosques semidecíduos y los siempreverdes, los cuales fueron las formaciones vegetales dominantes en el país en la etapa precolombina (Del Risco, 1989).

La Península de Guanahacabibes en la provincia Pinar del Río, Cuba, es una de las principales bio-regiones de bosques secos cubanos, la cual posee más de 110 000 ha., ésta comprende la llanura cársica que ocupa el extremo más occidental del archipiélago cubano. Con zonas de conservación estricta y otros sitios de sistemáticas acciones de aprovechamiento forestal, debido a la riqueza de especies y abundancia de individuos que la misma posee, ha estado sometida a las afectaciones históricas de la actividad ciclónica tropical, siendo este conjunto de interacciones las principales fuentes de perturbaciones que determinan sus caracteres funcionales y dinámicos actuales.

Las formaciones vegetales representan la estructura básica del paisaje de la península, integrada por siete del tipo arbóreas, tres arbustivas, cuatro herbáceas, dos complejos de vegetación litoral, así como cultivos y plantaciones asociados a las áreas de las

poblaciones humanas locales (Delgado, 1999). El bosque semidecíduo notófilo constituye el de mayor extensión y representatividad al ocupar cerca del 60% del territorio peninsular; el 65 % de la densidad de este bosque está representado por especies estabilizadoras del estrato arbóreo inferior y del arbustivo (Delgado *et al*, 2000).

Las consideraciones anteriores fueron argumentos básicos para la inclusión de la Reserva de la Biosfera Península de Guanahacabibes como área representativa de la modalidad de bosques tropicales secos insulares en la Red de estudios de bosques tropicales secos de las Américas (Tropi-Dry), proyecto que desde el año 2006 concibió como objetivo general el siguiente:

- Aunar el trabajo de los investigadores en las esferas de la biología de la conservación, ecología y evolución, sistemas de teledetección e información geográfica, sociología, antropología, análisis de política y silvicultura a fin de llegar a una comprensión actualizada e integral del estado de los bosques tropicales secos (primarios y secundarios) en el continente americano.

Para el despliegue metodológico del proyecto, se identificaron tres estados sucesionales del bosque considerando acciones de aprovechamiento forestal practicado:

- sucesión temprana del bosque (El Vallecito)
- sucesión intermedia del bosque (La Jaula)
- sucesión tardía del bosque o bosque maduro (El Veral)

Como parte del conjunto de evaluaciones y análisis a desarrollar fue concebido el estudio de variables que identificaran y representaran mejor estas dinámicas y su representatividad en la estructura y funcionamiento del ecosistema forestal, para lo cual se consideró el cálculo del Índice de Área Foliar (LAI por sus siglas en inglés) como una de singular interés para el proyecto. Tal estudio tendría lugar a partir del protocolo estandarizado que se aplicaría en cada uno de los países incorporados a la Red Tropi-Dry, lo cual ya había tenido lugar en el resto de las áreas seleccionadas del proyecto, sin embargo no así en el caso de Cuba.

### **Aspectos teórico-metodológicos al estimar el Índice de Área Foliar (LAI).**

La cantidad y calidad espectral de la incidencia de la energía solar juega un significativo papel en la determinación de la abundancia y diversidad de plantas del interior de un bosque, así como en el crecimiento y mortalidad de plántulas y el desarrollo, estructura y composición de especies del dosel forestal. (Canham *et al.* 1994; Gray and Spies, 1996; Nicotra *et al.* 1999). Consecuentemente, las especies, sitios y diferencias en la arquitectura del dosel han creado modelos de vacíos que son altamente variables a través del espacio y del tiempo, dejando un complejo mosaico de estructura forestal y ambientes de luz a diferentes escalas del paisaje. (Lertzman *et al.* 1996, Trichon *et al.* 1998).

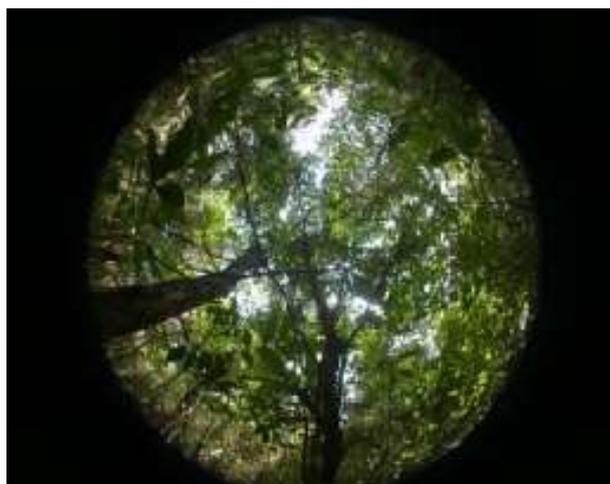
El interés en documentar las relaciones entre la estructura del bosque y el régimen interior de luz han convergido en una propuesta metodológica que atiende a dos consideraciones básicas para su investigación. Por una parte, los ecólogos de comunidades y poblaciones estudian procesos sucesionales relacionados a los vacíos del dosel que se forman de parches de mortalidad arbórea, lo cual es necesario para cuantificar las condiciones ambientales asociadas a esos vacíos (Rich *et al.* 1993, Canham *et al.* 1994, Easter *and* Spies 1994); y por otra parte, los microclimatólogos y ecólogos de la producción requieren métodos no destructivos y de fácil replicación para cuantificar el área foliar existente en una porción del bosque. (Chen *et al.* 1997).

La fotografía hemisférica del dosel es una técnica óptica indirecta que ha sido ampliamente utilizada en estudios de la estructura del dosel y de la transmisión de luz en el bosque. Las fotografías se toman desde el suelo del bosque hacia el cielo (Figura 1) con un lente hemisférico de 180° para producir una imagen circular que registra el tamaño, forma y localización del vacío en el follaje (Figura 2). La cámara digital que lo registra convierte las imágenes hemisféricas en mapas de bits, los cuales son entonces analizados utilizando un software especializado en análisis de este tipo de imágenes. Los datos son posteriormente combinados para producir estimados de crecimiento estacional de la transmisión de luz, así como otras medidas más directamente relacionadas con la estructura del dosel, tales como apertura, área foliar, frecuencia luminosa, etc. (Chazdon *and* Field 1987, Becker *et al.* 1989, ter Steege 1996).

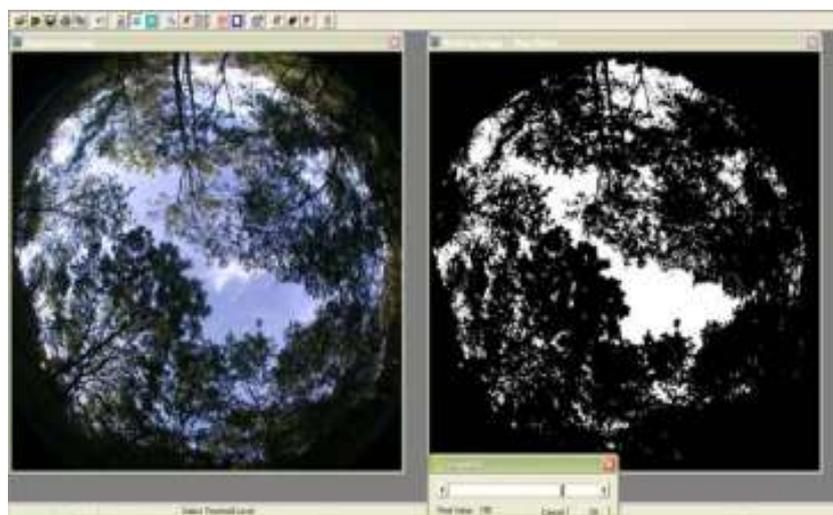
La imagen hemisférica puede ser manipulada usando una técnica tradicional de procesamiento de imagen (contraste, brillo, etc.). Finalmente la imagen es convertida en una representación en blanco y negro de la cobertura del dosel, donde la parte negra son las hojas y la parte blanca es el cielo (Figura 3).



**Fig. 1.** Ubicación de la cámara



**Fig. 2.** Imagen circular registrada por la hemisférica cámara hemisférica



**Fig. 3.** Conversión de imagen por el software GLA para su análisis

### **La primera experiencia en Cuba (Guanahacabibes) del cálculo del Índice de Área Foliar (LAI).**

Como parte del proceso de afianzamiento de la presencia de Cuba en la Red del proyecto Tropi-Dry, se organizó y desarrolló la fase de campo de las mediciones básicas que permitieran poder estimar uno de los índices ecológicos básicos que la Red estableció como imprescindibles en las evaluaciones ecológicas de bosques tropicales secos (el Índice de Área Foliar).

Durante los días 8 al 23 del pasado mes de septiembre de 2010 tuvieron lugar las acciones de campo que tributarían a tal propósito, para lo cual investigadores de ECOVIDA y el IES iniciarían una etapa de rectificación y ajuste de las parcelas que representan la presencia del proyecto en el área de trabajo (la Península de Guanahacabibes). Ello significa que las parcelas hasta el presente asumidas con una unidad muestral de 25 m X 25 m (625 m<sup>2</sup>), fueran ampliadas a la medida de 20 m X 50 m (1 000 m<sup>2</sup>) para su estandarización con las del resto de la Red.

En los trabajos antes aludidos estuvieron presentes los investigadores de las dos instituciones referidas, MSc. Freddy Delgado Fernández, MSc. Alfredo García González, MSc. José A. Camejo Lamas, Dr. Jorge Ferro Díaz, Tec. Lázaro Y. García Padrón, Lic. Elizabeth Roig Vilariño, Dr. René Capote López y Lic. Arelis Sotillo. En representación de la coordinación internacional del proyecto, estuvo presente la investigadora Biol. Mei Mei Chong, de la Universidad de Alberta en Canadá; esta última fue quien que portó la tecnología de trabajo (cámara hemisférica) y transmitió las experiencias con el uso del software asociado a la aplicación de la misma.

Los trabajos de medición implementados en las parcelas comenzaron con sesiones de trabajo previas para entender los procedimientos a desplegar en el campo, lo cual aconteció en el salón de sesiones del Centro de Visitantes del Parque Nacional Guanahacabibes (Figura 4).



**Fig. 4.** Sesiones iniciales previas, preparando el trabajo de campo

Durante los días de realización de las mediciones y toma de imágenes, se reforzaron los criterios de selección de sitios, se analizaron propuestas alternativas para la consideración de otros procesos sucesionales del bosque tropical seco de Guanahacabibes a partir de otros usos del bosque como es el caso de talas practicadas para la ganadería, variante de análisis que sustenta una Tesis de Maestría de una de las investigadoras del proyecto (Biol. Elizabeth Roig Vilariño).

La aplicación de los criterios metodológicos establecidos para la Red Tropi-Dry en su Manual de Métodos (Nassar *et al.*, 2008) referidos a los procedimientos del cálculo del Índice de Área Foliar, permitieron no solo obtener la secuencia completa de imágenes con el entrenamiento consecuente del equipo cubano de investigación (Figura 5), sino afinar y actualizar las evaluaciones de las etapas sucesionales consideradas y reorganizar las proyecciones para una mejor inserción del caso, Cuba en la Red de intercambio existente para este tipo de ecosistema.



**Fig. 5.** Trabajo de campo en parcelas de Guanahacabibes. Entrenamiento y mejora continua de la aplicación de métodos de evaluación del bosque tropical seco cubano.

Concluida la expedición, ya de regreso a la etapa de análisis (Figura 6), se trabaja en la actualización de las bases de datos y el procesamiento de las imágenes obtenidas con el interés de poder obtener el cálculo del índice ecológico previsto, situación que pone en mejor situación la presencia y continuidad del caso Cuba dentro de la Red Tropi-Dry.



**Fig. 6.** Regreso del campo de la mayor parte del equipo de trabajo para emprender la fase analítica de las evaluaciones.

### **Consideraciones finales**

La primera experiencia cubana para determinar el Índice de Área Foliar mediante el uso del análisis de vacíos de luz a través de imágenes obtenidas por la cámara hemisférica en bosques semidecíduos del país, como representación de la variante insular de bosques tropicales secos de las Américas, constituye una aproximación práctica que posibilitó no sólo elevar la inserción nacional en la Red establecida para este tipo de ecosistema, sino entrenar y preparar un equipo de investigadores de instituciones nacionales (ECOVIDA y el IES) en la aplicación del mismo y la comprensión del valor

de la obtención de este índice ecológico para la comprensión del funcionamiento de nuestros ecosistemas forestales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Becker, P., Erhart, D.W., and Smith, A.P. 1989. Analysis of forest light environments Part 1. Computerized estimation of solar radiation from hemispherical canopy photographs. *Agric. For. Meteorol.* 44: 217-232.
- Canham, C.D., Finzi, A.C., Pacala, S.W., and Burbank, D.H. 1994. Causes and consequences of resource heterogeneity in forests: interspecific variation in light transmission by canopy trees. *Can. J. For. Res.* 24: 337-349.
- Capote, R. y R. Berazaín (1984): Clasificación de las formaciones vegetales de Cuba. *Revista del Jardín Botánico Nacional*. Vol. 5. No. 2: 27-75 pp.
- Chazdon, R.L., and Field, C.B. 1987. Photographic estimation of photosynthetically active radiation: evaluation of a computerized technique. *Oecologia (Berlin)* 73: 525-532.
- Chen, J.M., Rich, P.M., Gower, S.T., Norman, J.M., and Plummer, S. 1997. Leaf area index of boreal forests: theory, techniques, and measurements. *J. Geophys. Res.* 102 (D24): 29,429-29,443.
- Delgado Fernández, F. 1999: Estructura y diversidad de los bosques semidecíduos de la Reserva de Biosfera Península de Guanahacabibes. Tesis en opción al grado académico de Máster en Ecología y Sistemática Aplicada. Mención Ecología. 1999, 82 p.
- Delgado Fernández, F.; Pérez Hernández, A; J. Ferro Díaz; et al. (2000): Funcionamiento de bosques semidecíduos y caracterización de otros ecosistemas terrestres en la Reserva de Biosfera Península de Guanahacabibes, Cuba. Informe Final Proyecto 01307029 PNCT «Los Cambios Globales y la Evolución del Medio Ambiente en Cuba». Agencia de Ciencia y Tecnología, CITMA, La Habana. 237 pp.
- Del Risco, E. (1989): Vegetación Original de Cuba. En: Oliva et al. (Eds): Nuevo Atlas Nacional de Cuba. Instituto de Geografía de la A.C.C. X.1.4. 93 pp.
- Easter, M.J., and Spies, T.A. 1994. Using hemispherical photography for estimating photosynthetic photon flux density under canopies and in gaps in Douglas-fir forests of the Pacific Northwest. *Can. J. For. Res.* 24: 2050-2058.
- Gray, A.N., and Spies, T.A. 1996. Gap size, within-gap position and canopy structure effects on conifer seedling establishment. *J. Ecol.* 84: 635-645.
- Herrera Peraza, R.; E.E. García, J. Ferro-Díaz, G. Martín Morales, et al. (inédito). «Evaluación de las dimensiones humanas, ecológicas y biofísicas de bosques tropicales secos en el ejemplo de la Reserva de la Biosfera Península de Guanahacabibes». Proyecto Nacional. PNCT: Cambios Globales y Evolución del Medio Ambiente Cubano. Agencia de Medio Ambiente. CITMA. 2006.
- Lertzman, K.P., Sutherland, G.D., Inselberg, A., and Saunders, S.C. 1996. Canopy gaps and the landscape mosaic in a coastal temperate rain forest. *Ecology* 77(4): 1254-1270.
- Murphy, P.G., y Lugo, A.E. (1986). Structure and biomass of a subtropical dry forest in Puerto Rico. *Biotropica*. 18, 89-96.
- Nassar, Jafet M.; J.P. Rodríguez; A. Sánchez-Azofeifa; T. Garvin y M. Quesada (Editores). 2008. Human, Ecological, and Biophysical Dimensions of Tropical Dry Forests. Manual of Methods. Ediciones, IVIC. ISBN: 978-980-261-103-4 Caracas, Venezuela. 136 pp.

- Rich, P.M., Clark, D.B., Clark, D.A., and Oberbauer, S.F. 1993. Long-term study of solar radiation regimes in a tropical wet forest using quantum sensors and hemispherical photography. *Agric. For. Meteorol.* 65: 107-127.
- Sanchez-Azofeifa, G.A. Castro, K, Rivard, B., Kalascka, M. y Harriss, R.C (2003) Remote Sensing Research Priorities in Tropical Dry Forest Environments. *Biotropica*. 35(2):134-142.
- Ter Steege, H. 1996. WinPhot 5.0, a programme to analyze vegetation indices, light and light quality from hemispherical photographs. Copyright © 1993: The Tropenbos Foundation, Wageningen, The Netherlands.
- Trichon, V. , Walter, J.N., and Laumonier, Y.1998. Identifying spatial patterns in the tropical rain forest structure using hemispherical photographs. *Plant Ecology* 137: 227-244.
- Wright, E.F., Coates, K.D., Canham, C.D., and Bartemucci, P. 1997. Species variability in growth response to light across climatic regions in northwestern British Columbia. *Can. J. For. Res.* 28: 871-886.