Desde el Herbario CICY 11: 47–51 (7/marzo/2019)
Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/
ISSN: 2395-8790

La unión hace la fuerza: combinación de sensores remotos para el monitoreo de bosques tropicales

JOSÉ LUIS HERNÁNDEZ-STEFANONI

Unidad de Recursos Naturales, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
Calle 43 No. 130 x 32 y 34, Col. Chuburná de Hidalgo, 97205,
Mérida, Yucatán, México.
jl_stefanoni@cicy.mx

El mapeo de la distribución espacial de la diversidad de plantas y la biomasa aérea es de vital importancia, ya que esta información puede ser utilizada para la planeación de actividades, encaminadas a mantener la biodiversidad y las reservas de carbono de los bosques tropicales. Los sistemas de sensores remotos multiespectrales, se encuentran entre los más comúnmente utilizados para mapear la vegetación. Sin embargo, existen varias limitaciones en el uso de estos datos, como la saturación del NDVI bajo condiciones de vegetación densa o la limitada capacidad de penetración del dosel. Por el contrario, LiDAR es una herramienta poderosa para predecir la estructura de la vegetación (altura, área basal, densidad de tallos, etc.), pero carecen de la capacidad para identificar especies. La integración de estos dos tipos de sensores, puede ser utilizada para solventar las limitaciones que presenta cada sensor en mapeo de los atributos de la vegetación.

Palabras clave: Biomasa, estructura de la vegetación, imágenes multiespectrales, LiDAR, riqueza de especies.

Los bosques tropicales son una de las comunidades terrestres más diversas del mundo. Proporcionan bienes y servicios ecológicos a los seres humanos. Además, almacenan una mayor cantidad de carbono que cualquier otro ecosistema terrestre. Por lo tanto, son muy importantes para mitigar el calentamiento global. A pesar de ello, la perdida en superficie del bosque se ha incrementado de manera alarmante. La deforestación en los bosques tropicales representa actualmente entre el 15 y el 25% de las emisiones globales anuales de gases de efecto invernadero (Le Quéré *et al*. 2014). La tala del bosque, además trae consigo una disminución en la diversidad biológica, las funciones ambientales y los productos forestales. El mapeo de la distribución espacial de la diversidad de plantas, la biomasa aérea y otros atributos de la vegetación es de vital importancia, ya que esta información puede ser utilizada para la planeación de actividades encaminadas a mantener la diversidad de plantas y las reservas de carbono de los bosques tropicales.

Los atributos de la vegetación que típicamente pueden ser mapeados con datos de percepción remota, son el volumen de madera en pie, la biomasa, la altura de los árboles, la detección de árboles muertos, la diversidad de especies, entre otros. Los sistemas de sensores remotos ópticos multiespectrales como Landsat, Spot, Sentinel, Rapid eye, IKONOS y QuickBird se encuentran entre los más comúnmente utilizados para mapear estos atributos (Figura 1). Por ejemplo, para el mapeo de la diversidad de especies comúnmente se utiliza, la variabilidad de los valores de reflectancia de un grupo de pixeles dentro la imagen. Esta variabilidad espectral está

Desde el Herbario CICY 11: 47–51 (7/marzo/2019)
Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/
ISSN: 2395-8790

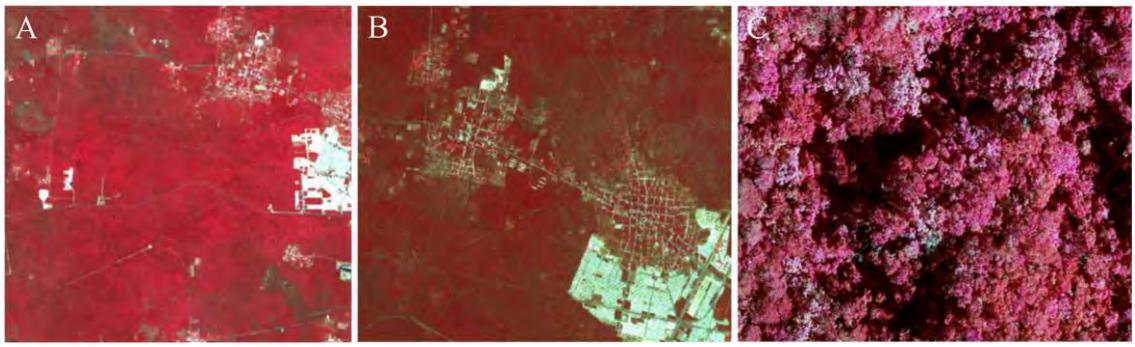

Figura 1. Imágenes ópticas en falso color. **A**. Landsat (resolución 30 m). **B**. Spot (resolución 10 m) **C**. Ortofoto (resolución 7 cm). (Imágenes: José Luis Hernández-Stefanoni).

relacionada directamente con la heterogeneidad ambiental, es decir a una mayor heterogeneidad ambiental podemos encontrar mayor riqueza de especies (Hernández-Stefanoni *et al*. 2012). Por otro lado, los valores de reflectancia y los índices de vegetación derivados de imágenes ópticas, como el NDVI se han utilizado para estimar la biomasa aérea de los bosques tropicales. Existen varios estudios con estimaciones precisas de la biomasa aérea de bosques tropicales en extensiones espaciales locales, regionales y globales (Lu *et al*. 2016).

Sin embargo, se encuentran varias limitaciones en el uso de datos de imágenes ópticas para cuantificar parámetros importantes de la estructura de la vegetación, como la diversidad y la biomasa. La primera limitación tiene que ver con la saturación del NDVI bajo condiciones de vegetación densa. Es decir, a partir de una cantidad de biomasa en el bosque, a pesar de que esta biomasa se incremente, el índice de vegetación no la detecta (Lu *et al*. 2012). Una segunda limitación se debe, a que imágenes con resoluciones espaciales altas o medias (> 10 m), rara vez se han utilizado para examinar las características de la estructura de la vegetación, debido a la limitada capacidad de penetración del dosel que tienen los datos multiespectrales. Sin embargo, las imágenes ópticas de muy alta resolución (ver Ortofoto en la Figura 1) ayudan a identificar elementos más finos del dosel del bosque, como la variación del tamaño y la densidad de las copas (Ploton *et al.* 2017). Finalmente, a menudo existe poca disponibilidad de imágenes ópticas en los trópicos que no presentan nubes.

Estudios recientes han encontrado que LiDAR (Light Detection And Ranging por sus siglas en ingles), un sensor remoto activo, es una herramienta poderosa para predecir diferentes atributos de la vegetación, como la altura, el área basal, la densidad de tallos y otros parámetros de estructura de la vegetación (Véga *et al*. 2015, Hernández-Stefanoni *et al*. 2018), sin embargo, LiDAR raramente se ha utilizado para predecir la diversidad de especies de plantas (George-Chacon *et al*. 2019). Este sensor puede medir con precisión la distribución tridimensional de objetos de la superficie terrestre, ya que utiliza pulsos láser para medir directamente la altura de la vegetación, así como la cobertura de las superficies interceptadas (Figura 2). Estas características lo convierten en una herramienta ideal para mapear la estructura de la vegetación, sin problemas de saturación en condiciones de vegetación densa. La biomasa aérea está relacionada con el diámetro, la altura y el área basal y estos parámetros pueden ser fácilmente predichos por LiDAR, por lo tanto, las estimaciones de biomasa del bosque usando LiDAR son muy precisas. Sin embargo, debido a la falta de información espectral del dosel cuando se utiliza LIDAR, es limitada la capacidad de

Desde el Herbario CICY 11: 47–51 (7/marzo/2019)
Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/
ISSN: 2395-8790

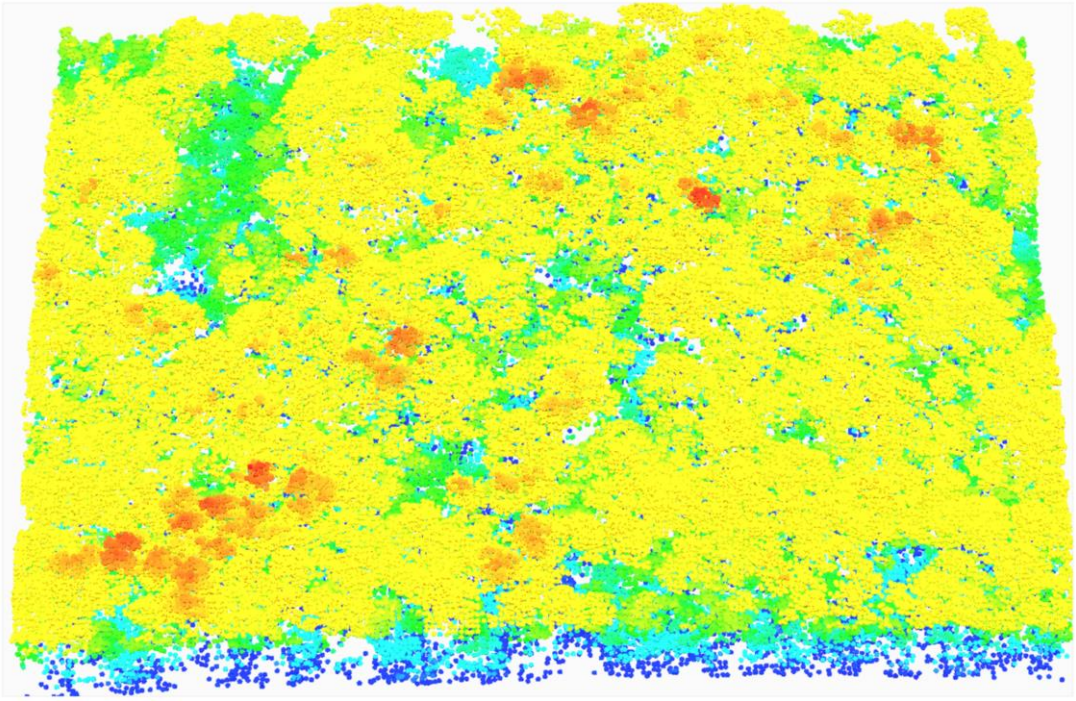

Figura 2. Estructura tridimensional de los datos LiDAR en Kaxil Kiuic, Yucatán. Los colores azules y verdes indican menores alturas, mientras que los amarillos y rojos representan las alturas más grandes. (Imagen: José Luis Hernández-Stefanoni).

este sensor para clasificar especies de árboles, particularmente en dónde la estructura de la vegetación es compleja, como en el caso de los bosques tropicales (Su *et al*. 2016).

Cada tipo de sensor de imágenes solo puede centrarse en un rango operativo y condiciones ambientales diferentes. Es decir, no es posible recibir toda la información necesaria para detectar un objeto o clasificar una escena a partir de un solo sensor. Por lo tanto, se han desarrollado técnicas avanzadas de análisis de imágenes, como la fusión de datos. Estas metodologías tienen como objetivo mejoras las características de los datos obtenidos con percepción remota a partir de la unión de datos con diferentes sensores (Ghassemian 2016). Un ejemplo común es la combinación de la banda 8 pancromática en Landsat (15 m resolución), con imágenes multiespectrales Landsat (7 bandas, 30 metros de resolución), para producir Imágenes multiespectrales Landsat en 7 bandas con 15 metros de resolución. De esta manera la integración de datos obtenidos con sensores activos como LiDAR, con datos de sensores pasivos como los de las imágenes multiespectrales, puede ser utilizada para solventar las limitaciones que presenta cada sensor en la estimación de los atributos de la vegetación.

Un ejemplo de la integración de datos para mejorar la precisión del mapeo de la vegetación es el estudio de Cho *et al*. (2012), cuyo objetivo fue mapear y monitorear las especies de árboles de mayor altura y con tamaños de copas grandes. Los árboles grandes juegan un papel determinante en el paisaje, ya que son el hábitat para la reproducción de muchas aves, producen frutas utilizadas por las comunidades locales, y actúan como fuente de nutrientes para el suelo, creando islas de fertilidad en el paisaje. Para lograr este objetivo usaron datos multiespectrales (WorldView-2) en la identificación de las 7 especies más comunes de árboles en la

sabana y datos de LiDAR para mapear la altura y copa de los árboles en la Reserva Sabi Sands y terrenos comunales del Parque Nacional Kruger en Sudáfrica. En este estudio se concluyó que la combinación de datos de los sensores WorldView-2 y LiDAR permitió ubicar las especies de interés y de mayor tamaño de copa en el paisaje con una mejor precisión.

Finalmente, en otro ejemplo, George-Chacon *et al*. (2019) usaron dos sensores para mejorar la precisión de las estimaciones de la diversidad de plantas en los bosques tropicales secos de la península de Yucatán. En este estudio se utilizaron medidas de textura de imágenes multiespectrales (Rapid eye, 5 metros de resolución), como un indicador de la heterogeneidad ambiental, ya que esta variable es un factor asociado a la diversidad de plantas. Sin embargo, la diversidad vegetal también está estrechamente relacionada con la estructura de la vegetación. Algunos estudios sobre la sucesión de bosques tropicales han encontrado aumentos en la diversidad de especies relacionados con aumentos en la altura del dosel, el área basal del rodal y la complejidad estructural bosque (Dupuy *et al*. 2012). Las métricas de datos LiDAR se usaron como sustitutos de la complejidad de la estructura de la vegetación. En este estudio se concluyó que la combinación de textura de las imágenes multiespectrales y los datos LiDAR proporcionaron las mejores estimaciones de riqueza y diversidad de especies.

En conclusión, la combinación de diferentes sensores remotos en el monitoreo de la vegetación es un tema de investigación que despierta mucho interés en la comunidad científica. En donde el objetivo principal es el aumento de la precisión de los mapas del monitoreo de la vegetación, resolviendo las limitaciones que presenta cada sensor con la combinación de los mismos.

Referencias

Cho M.A., Mathieu R., Asner G.P., Naidoo L., van Aardt J., Ramoelo A., Debba P., Wessels K., Main R., Smit I.P. y Erasmus B. 2012. Mapping tree species composition in South African savannas using an integrated airborne spectral and LiDAR system. *Remote Sensing of Environment* 125: 214-226.

Dupuy J.M., Hernández-Stefanoni J.L., Hernández-Juárez R.A., Tetetla-Rangel E., López-Martínez J.O., Leyequién-Abarca E., Tun-Dzul F.J. y May-Pat F. 2012. Patterns and correlates of tropical dry forest structure and composition in a highly replicated chronosequence in Yucatan, Mexico. *Biotropica* 44(2): 151-162.

George-Chacon S.P., Dupuy J.M., Peduzzi A. y Hernández-Stefanoni J.L. 2019. Combining high resolution satellite imagery and lidar data to model woody species diversity of tropical dry forests. *Ecological Indicators* 101: 975-984.

Ghassemian H. 2016. A review of remote sensing image fusion methods. *Information Fusion* 32: 75-89.

Hernández-Stefanoni J.L., Gallardo-Cruz J.A., Meave J.A., Rocchini D., Bello-Pineda J. y López-Martínez J.O. 2012. Modeling α-and β-diversity in a tropical forest from remotely sensed and spatial data. *International journal of applied earth observation and geoinformation* 19: 359-368.

Hernández-Stefanoni J.L., Reyes-Palomeque G., Castillo-Santiago M., George-Chacón S., Huechacona-Ruiz A., Tun-Dzul F., Rondon-Rivera D. y Dupuy J.M. 2018. Effects of Sample Plot Size and GPS Location Errors on Aboveground Biomass Estimates from LiDAR in Tropical Dry Forests. *Remote Sensing* 10(10): 1586.

Le Quéré C., Peters G.P., Andres R.J., Andrew R.M., Boden T.A., Ciais P., Friedlingstein P., Houghton R.A., Marland G., Moriarty R., Sitch S., Tans P., Arneth A., Arvanitis A., Bakker D.C.E., Bopp L., Canadell J.G., Chini L.P., Doney S.C., Harper A., Harris I., House J.I., Jain A.K., Jones S.D., Kato E., Keeling R.F., Klein Goldewijk K., Körtzinger A., Koven C., Lefèvre N., Maignan F., Omar A., Ono T., Park G.-H., Pfeil B., Poulter B., Raupach M.R., Regnier P., Rödenbeck C., Saito S., Schwinger J., Segschneider J., Stocker B.D., Takahashi T., Tilbrook B., van Heuven S., Viovy N., Wanninkhof R., Wiltshire A., y Zaehle S. 2014. Global carbon budget 2013. *Earth System Science Data* 6(1): 235-263.

Lu D., Chen Q., Wang G., Moran E., Batistella M., Zhang M., Vaglio Laurin G. y Saah D. 2012. Aboveground forest biomass estimation with Landsat and LiDAR data and uncertainty analysis of the estimates. *International Journal of Forestry Research*. 2012: 1-16. (ID 436537). doi:10.1155/2012/436537

Lu D., Chen Q., Wang G., Liu L., Li G. y Moran E. 2016. A survey of remote sensing-based aboveground biomass estimation methods in forest ecosystems. *International Journal of Digital Earth* 9(1): 63-105.

Ploton P., Barbier N., Couteron P., Antin C.M., Ayyappan N., Balachandran N., Barathan N., Bastin J.-F., Chuyong G., Dauby G., Droissart V., Gastellu-Etchegorry J.-P., Kamdem N.G., Kenfack D., Libalah M., Mofack II G., Momo S.T., Pargal S., Petronelli P., Proisy C., Réjou-Méchain M., Sonké B., Texier N., Thomas D., Verley P., Zebaze Dongmo D., Berger U. y. Pélissier R. 2017. Toward a general tropical forest biomass prediction model from very high resolution optical satellite images. *Remote Sensing of Environment* 200: 140-153.

Su Y., Guo Q., Fry D.L., Collins B.M., Kelly M., Flanagan J.P. y Battles J.J. 2016. A vegetation mapping strategy for conifer forests by combining airborne LiDAR data and aerial imagery. *Canadian Journal of Remote Sensing* 42(1): 1-15.

Véga C., Vepakomma U., Morel J., Bader J.-L., Rajashekar G., Jha C.S., Ferêt J., Proisy C., Pélissier R. y Dadhwal V.K. 2015. Aboveground-biomass estimation of a complex tropical forest in India using lidar. *Remote Sensing* 7(8): 10607-10625.

Desde el Herbario CICY, 11: 47–51 (7-marzo-2019), es una publicación semanal editada por el Herbario CICY del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., con oficinas en Calle 43 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97200, Mérida, Yucatán, México. Tel. 52 (999) 942-8330 Ext. 232, www.cicy.mx/Sitios/Desde_Herbario/, webmas@cicy.mx. Editores responsables: Germán Carnevali Fernández-Concha y José Luis Tapia Muñoz. Reserva de Derechos al Título Exclusivo No. 04-2016-041413195700-203, otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, ISSN: 2395-8790. Responsable de la publicación: José Fernely Aguilar Cruz, Calle 43 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97200, Mérida, Yucatán, México. Fecha de última modificación: 7 de marzo de 2019. Las opiniones expuestas por los autores no necesariamente expresan la postura del editor de la publicación. De la misma manera, la responsabilidad sobre la veracidad y la precisión de los contenidos, le corresponde totalmente a los autores de los ensayos.