

Modelo regresivo para la estimación de biomasa aérea forestal a partir de datos de parcelas permanentes y datos Radar SAR ALOS PALSAR en el Parque Natural Bataclán, Cali

Regressive model to estimate forest biomass data from permanent plots and ALOS PALSAR radar data in Bataclán Natural Park, Cali

Álvaro Clemente Quijano Angarita ¹ Yeimy Lorena Morales Gaitán²

Para citar este artículo: Quijano, A. & Morales, Y. (2016). Modelo regresivo para la estimación de biomasa aérea forestal a partir de datos de parcelas permanentes y datos Radar SAR ALOS PALSAR en el Parque Natural Bataclán, Cali. *UD y la Geomática*, 11, 66-72.

Fecha de recepción: 24 de octubre de 2016

Fecha de aceptación: 01 de diciembre de 2016

RESUMEN

Los bosques cumplen un papel fundamental en el ciclo de carbono y son considerados los sistemas más complejos y ricos en carbono en el mundo. En América Latina son los encargados de secuestrar aproximadamente el 32% del carbono a nivel mundial en una superficie que no supera el 15%; un adecuado monitoreo y gestión de los mismos propende a su conservación y así mismo a la eliminación de la huella de carbono a nivel global. En años recientes se ha realizado un esfuerzo por entender la relación entre los datos de sensores de Radar y parámetros biofísicos de la vegetación, entre estos, la biomasa aérea forestal; es por esto que este artículo tiene como objetivo encontrar una relación empírica entre la respuesta del sensor radar ALOS PALSAR-L y la biomasa aérea estimada, a partir de datos de parcelas permanentes en el Parque Natural Bataclán, Cali, derivado de un modelo con un buen ajuste y permitiendo la obtención de un mapa de biomasa aérea en la superficie del área de estudio.

Palabras clave: ALOS PALSAR, biomasa aérea forestal, carbono, parcelas, radar.

ABSTRACT

Forests play a key role in the carbon cycle and are considered the most complex and rich in carbon systems in the world. In Latin America they are responsible for kidnapping about 32% of global carbon on a surface that does not exceed 15%. Adequate monitoring and managing them tends to preserve and likewise to eliminate the carbon footprint globally. In recent years it has made an effort to understand the relationship between radar sensor data and biophysical parameters of vegetation, among these, the forest biomass. That is why this paper aims to find an empirical relationship between estimated from data from permanent plots in the Bataclán Natural Park, Cali derived from a model with a good fit response radar sensor ALOS PALSAR-L and aboveground biomass and allowing to obtain a map of aboveground biomass on the surface of the study area.

Key words: aboveground biomass, ALOS PALSAR, carbon, plots, radar.

1 Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: acquijsano@correo.udistrital.edu.co

2 Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: yloresalesg@correo.udistrital.edu.co

Introducción

La Conferencia de Estocolmo (1972) reconoció que de todos los ecosistemas los bosques son el mayor, el más complejo y el de mayor capacidad de perpetuarse a sí mismo, y puso énfasis en la necesidad de contar con políticas acertadas para el uso de las tierras y bosques, vigilando de manera continua el estado de los bosques del planeta e introduciendo la planificación de la gestión forestal en las políticas territoriales. (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2002)

La necesidad actual de conservar los bosques para frenar la tasa de aumento de CO₂ en la atmósfera requiere de un eficiente monitoreo y conservación de los mismos. Con el aumento de las concentraciones de CO₂ aparece una patente preocupación mundial en materia ambiental dado que Lacis, *et al.* (2010) encontraron que este es el principal responsable del cambio climático, además, un interés por los bosques pues estos constituyen uno de los principales almacenes de carbono a nivel mundial. A finales del siglo pasado Deans (1996) afirmó que en los últimos 200 años el incremento de carbono en la atmósfera fue de 250 ppm a 350ppm con una tasa de incremento anual promedio de 1 ppm; en marzo de 2015, investigadores de la Administración Oceánica y Atmosférica de EEUU (NOAA) anunciaron que se superó la barrera de los 400 ppm a nivel global; un año después, en 2016, se llega a una concentración mundial de CO₂ de 404 ppm (Dlugokencky and Tans, 2016) lo que

indica que la tasa promedio de 1ppm/añal estimada por Deans paso a 4ppm por año rompiendo records y aumentando la preocupación de la comunidad científica (Figura 1).

En las últimas décadas, con el desarrollo de las tecnologías de teledetección remota, se ha incrementado el interés por las aplicaciones forestales de los datos de radar de apertura sintética (SAR, por sus siglas en inglés) que surge de dos grandes ventajas que brinda el sistema; en primer lugar, el radar puede proveer información relacionada a la estructura del árbol y, en segundo lugar, tiene la posibilidad de adquirir datos sin depender de las condiciones climáticas y de iluminación (Hamdan, *et al.*, 2011).

En previas investigaciones se ha hecho un gran esfuerzo por estudiar la relación entre la sección cruzada radar normalizada y parámetros biofísicos de la vegetación tales como: volumen, densidad, área basal, biomasa aérea forestal (AGB, por sus siglas en inglés) y almacenes de carbono (Sader, 1987; Le Toan, *et al.*, 1992; Beaudoin, *et al.*, 1994; Dobson, *et al.*, 1992; Handam, 2011); la mayoría de estos han demostrado que los datos SAR pueden ser utilizados para discriminar diferentes tipos de bosque y que la intensidad de la retrodifusión radar que llega a la antena se relaciona con la biomasa aérea de las masas forestales dado que la absorción o dispersión de la señal depende, en mayor o menor medida, de la frecuencia SAR empleada, del grado de penetración a través del dosel, densidad y estructura de la vegetación (ramas y tronco) (Figura 2).

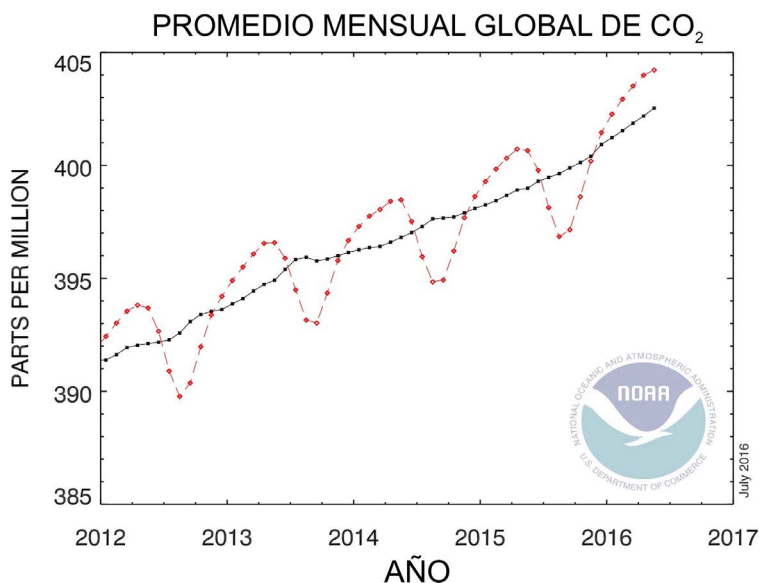


Figura 1. Promedio mensual global de CO₂

Fuente: Dlugokencky and Tans (2016).

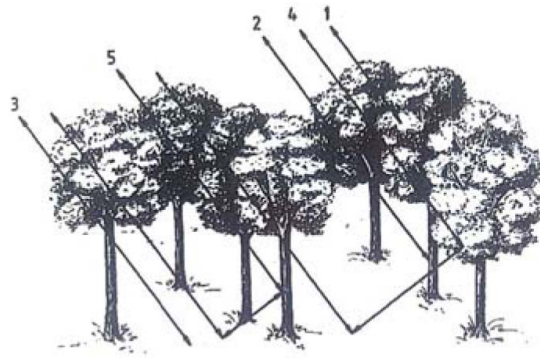


Figura 2. Interacciones de la onda radar con un dosel de bosque: 1) dispersión de la copa, 2) dispersión directa de troncos, 3) dispersión directa del suelo, 4) dispersión copa - suelo y 5) retrodispersión troncos - suelo

Fuente: Henderson and Lewis (1998)

La frecuencia del radar SAR es directamente proporcional a la profundidad de penetración de la onda, lo que significa que ondas cortas solo podrán penetrar el bosque por unos pocos centímetros mientras que las ondas largas pueden interactuar con el suelo del bosque (Imhoff, 1995).

En la Tabla 1 Chauhan, *et al.* (1991) demuestran que de las partes del árbol es el componente arbóreo quien más participa en la retrodifusión radar (atenuación de la señal), y es por esta razón que se explica el hecho de relacionar la sección cruzada radar con la biomasa aérea forestal (AGB) para el presente estudio.

El componente aéreo del estrato arbóreo constituye uno de los principales almacenes de biomasa, por lo tanto, de carbono. Cabe destacar que en la actualidad no existen estudios que usen los datos SAR para el mapeo de la distribución espacial de la biomasa aérea forestal y las reservas de carbono en Colombia; adicionalmente, son varios los estudios que sugieren la investigación en los bosques del trópico pues, por las condiciones climáticas, la relación puede verse afectada.

Por esto último, se buscó un bosque tropical que permitiese obtener información de biomasa aérea forestal que coincidiera con la fecha de captura de la imagen ALOS PALSAR; por esta razón se pensó en el Parque Natural Bataclán en la ciudad de Cali, el cual ha sido objeto de

diversas estrategias de regeneración de los suelos y vegetación, en estas se incluye la regeneración natural con y sin establecimiento de barreras de bambú. El sistema de regeneración natural consiste en dejar un área para el crecimiento natural de la vegetación, como su nombre lo indica y las barreras de bambú chino se plantaron como estrategia para la retención del suelo altamente degradado y para evitar la continua intervención de los visitantes sobre el bosque, además del establecimiento de parcelas permanentes para el monitoreo del bosque en el lugar (Cárdenas, 2015).

Se ha visto que los sistemas SAR han demostrado su potencial para evidenciar el estado de los bosques (Champion, *et al.*, 2013); por esto, con el objetivo de determinar la biomasa aérea forestal (AGB) en el parque Natural Bataclán y conseguir un mapeo de toda la superficie de estudio, se establece una relación (significativa) entre la sección cruzada radar normalizada y datos de campos de parcelas permanentes del área de estudio. Esto permitirá, además, demostrar la capacidad de las imágenes radar para la correcta discriminación de la biomasa aérea forestal y el aporte de la banda L a la explicación de la biomasa en los bosques tropicales pues como, lo menciona Puliainen, *et al.* (1999), la banda L de un sistema SAR es más sensible al incremento de volumen de bosque que la banda C.

Tabla 1. Contribución porcentual (%) de los diferentes componentes del dosel a la atenuación total de la onda radar derivada del modelo de retrodifusión de Hemlock Stand

Componente	Banda C		Banda L		Banda P	
	H pol.	V pol.	H pol.	V pol.	H pol.	V pol.
Hojas	49	54	26	32	24	24
Ramas secundarias	17	19	6	6	4	4
Ramas primarias	24	18	49	37	44	26
Troncos	10	9	19	25	28	46

Fuente: Chauhan, *et al.*, 1991

Metodología

Área de estudio

El parque natural Bataclán, con un área de 18 has se encuentra ubicado en la ciudad de Cali (Figura 3), costado oriental del cerro de las Tres Cruces limitando con el barrio Juanambú (Comuna 2).

Esta área se encuentra protegida por el DAGMA (Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente) y pertenece al ecosistema bosque seco tropical (bs-T) en la escala de Holdridge (1947).

Datos

El producto ALOS PALSAR que se utilizó para el presente estudio fue adquirido el 3 de agosto de 2011 por el satélite ALOS quien es el sucesor del sistema JERS-1. Lanzado en 2006 desde el centro espacial Tanegashima de JAXA en enero de 2006, opera en una órbita heliosincrónica a 691 km y tiene una resolución temporal de 46 días; además, cuenta con tres instrumentos de teledetección a bordo: el instrumento para estéreo-mapeo PRISM, el radiómetro AVNIR2 y la antena SAR banda L PALSAR. El producto adquirido tiene dos polarizaciones: horizontal-horizontal (HH) y horizontal-vertical (HV) y alcanza una resolución de doce metros (Figura 4).

Datos de campo

El Parque Natural Bataclán cuenta con parcelas permanentes para la determinación y seguimiento de la biomasa aérea forestal en las estrategias de regeneración natural de bosque (sin barreras de bambú y con barreras de bambú), se establecieron en el mes de agosto del año 2011. Hay un total de seis parcelas, cada una de ellas con una medida rectangular de 20m x 25m trazadas según la metodología propuesta por Vallejo, *et al.* (2005); de estas se tomó la información correspondiente a biomasa aérea forestal por hectárea calculada mediante ecuaciones alométricas para bosque seco tropical bs-T (Cárdenas, 2015).

Descripción del método de análisis

La Figura 5 muestra el diagrama de flujo metodológico que permite obtener el mapa de biomasa aérea forestal (AGB) en el Parque Natural Bataclán, Cali, a partir de datos de parcelas permanentes. Este comprende cuatro fases: corrección del terreno, calibración a sección cruzada radar, filtro speckle gamma map y el modelo de regresión.

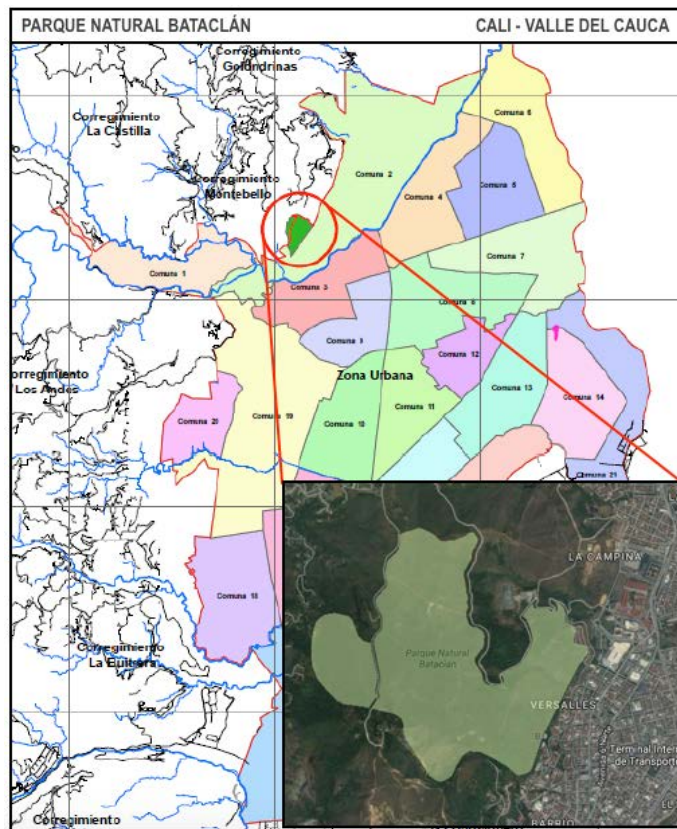


Figura 3. Plano de ubicación Parque Natural Bataclán

Fuente: Archivo DAGMA.

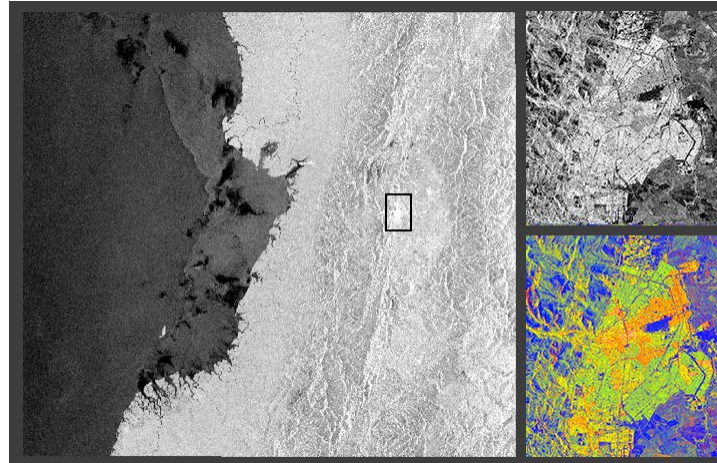


Figura 4. Producto ALOS PALSAR banda L

Fuente: Vertex Data Portal.

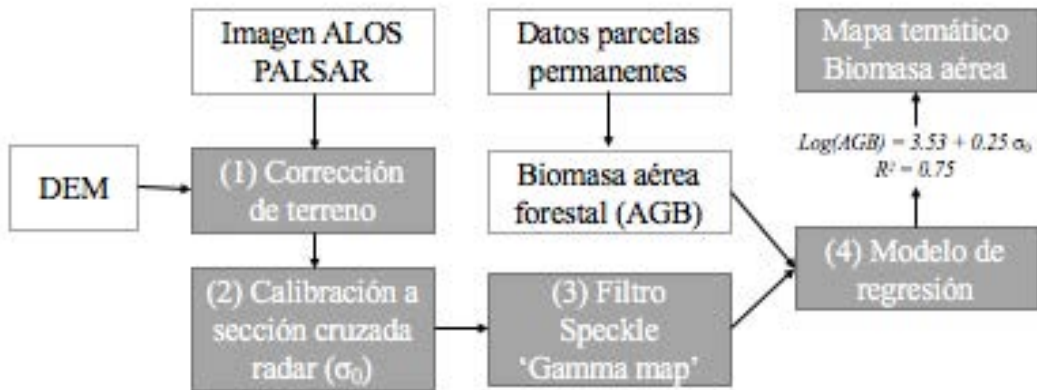


Figura 5. Flujo metodológico del proceso para obtener el mapa de biomasa aérea forestal

La fase de corrección de terreno permite corregir los efectos asociados a la geometría de la imagen de radar dado que el sistema ilumina con un ángulo de inclinación y la respuesta de esta dependerá de la rugosidad y la topografía, un modelo digital de elevación (DEM) permite obtener una imagen rectificadas. La fase de calibración a sección cruzada radar normalizada (σ_0) permite convertir el nivel de respuesta de la señal radar en una cantidad física que se pueda analizar, esta se da en decibelios y se obtiene mediante la ecuación:

$$\sigma_{0(dB)} = 10 \log \sigma_{ij}^2 (m^2 m^{-2})$$

La fase de filtro speckle permite reducir mediante un método estadístico el efecto sal pimienta en la imagen SAR, además de corregir efectos de rugosidad en la

imagen. En este caso se realizó con un filtro gamma map que dio buenos resultados y es recomendado para análisis de vegetación.

Por último, en la fase del modelo de regresión, se toman los datos de parcelas permanente y se modela junto con la respuesta de las imágenes radar, para esto se contaba con información de la ubicación de la parcela para encontrar el pixel correspondiente en la imagen, posterior a esto se realizó un modelo que resultó de la forma.

$$\text{Log(AGB)} = B_0 + B_1 * \sigma_0$$

Al calcular el modelo se procede a calcular el mapa de biomasa para el área que comprende el Parque Natural Bataclán, Cali.

Resultados

La Tabla 2 muestra el resultado del modelo de regresión que se obtuvo al modelar la biomasa aérea como función de la sección cruzada radar normalizada (σ_0).

El modelo y mapa resultante se dan a continuación:
 $\text{Log}(\text{AGB}) = 3.5381 + 0.2526 \cdot \sigma_0$

En la Figura 6 se presenta el mapa resultante de biomasa aérea forestal para el Parque Natural Bataclán, este se calculó a partir del modelo de regresión ajustado con un R^2 de 0,76.

Discusión de resultados

La Tabla 2 muestra el resultado del modelo de regresión ajustado, se obtiene un ajuste global significativo y un

R^2 de 0,76 indicando que el 76% de la variabilidad del logaritmo de la biomasa se explica a partir de la variabilidad de la sección cruzada normalizada radar (σ_0). La banda L del sistema ALOS PALSAR muestra una fuerte correlación con los datos de biomasa aérea de parcelas permanentes en el parque Bataclán y se perfila como una alternativa rápida para la evaluación de biomasa en los bosques tropicales, el cual es uno de los parámetros más importantes para el entendimiento del ciclo de carbono. Se obtiene como resultado una relación empírica que permite el mapeo de la biomasa aérea forestal en la superficie del Parque Natural Bataclán (Figura 6) y no solo un estimado puntual en las parcelas permanentes disponibles; esto indica que los sistemas de radar son una herramienta importante para este tipo de mediciones y para derivar datos de que permitan un correcto monitoreo y gestión de nuestros bosques. La información generada se puede utilizar como una guía para el diseño de la evaluación de la biomasa a nivel nacional.

Tabla 2. Coeficientes de regresión

	Estimado	Error std.	T valor	P(> t)
Intercepto	3,53811	0,61283	5,773	0,000418
Sigma_0	0,25269	0,05078	4,976	0,001085
R2	0,7558			
R2 ajustado	0,7253			
Estadístico F	24,76		P-valor	0,001085

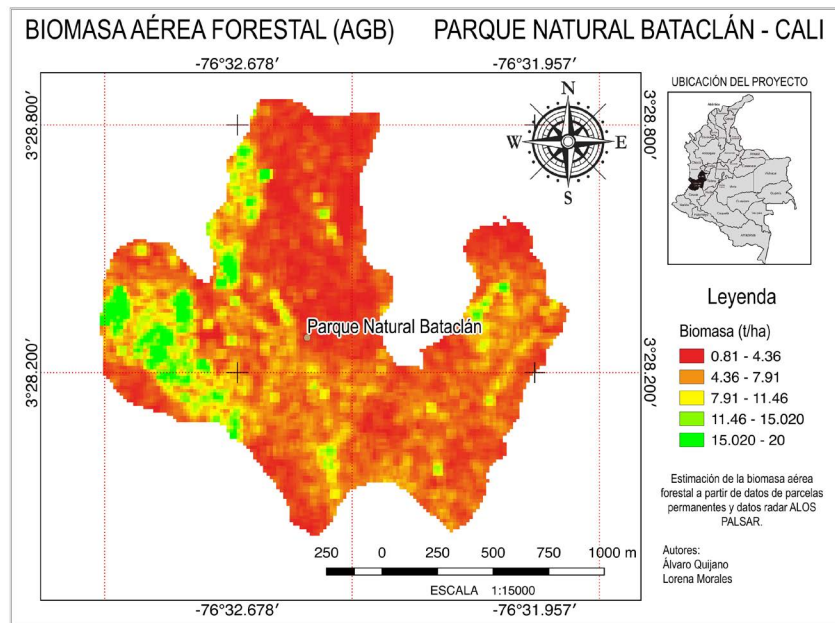


Figura 6. Mapa de biomasa aérea forestal AGB.

Conclusiones

La principal contribución del presente artículo es que demuestra que la respuesta de los sistemas de radar se correlaciona de buena manera con los datos de biomasa aérea forestal de parcelas permanentes en el área de estudio, y se perfila como una herramienta rápida y eficaz para obtener información de las masas forestales mediante sensores remotos. El método propuesto evidencia que es acertado establecer la relación entre los sistemas radar de banda L con los parámetros biofísicos de los bosques tropicales como la biomasa aérea forestal.

Referencias

- Beaudoin, A., Le Toan, T., Goze, S., Nezry, E., Lopes, A., Mougin, E., and Shin, R. (1994). Retrieval of forest biomass from SAR data. *International Journal of Remote Sensing*, 15(14), 2777-2796.
- Cárdenas, L. (2015). Biomasa y depósitos de carbono en bosques en regeneración del ecoparque Bataclán (Cali, Colombia). Tesis doctoral. Recuperado de
- Champion, I., Da Costa, J., Godineau, A., Villard, L., Dubois Fernández, P., and Le Toan, T. (2013). Canopy structure effect on SAR image texture versus forest biomass relationships. *EARSel eProceedings*, 12(1).
- Chauhan, N. S., Lang, R. H., and Ranson, K. J. (1991). Radar modeling of a boreal forest. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 29(4), 627-638.
- Deans, J. D., J. Mora., and J. Grace. (1996). Biomass relationships for tree species in regenerating semi-deciduous tropical moist forest in Cameroon. *For. Ecol. Manag.* 88, 215-225.
- Dobson, M., Ulaby, F., LeToan, T., Beaudoin, A., Kasischke, E. and Christensen, N. (1992). Dependence of radar backscatter on coniferous forest biomass. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30(2), 412-415.
- Dlugokencky E., and Tans P. (2016). Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. NOAA/ESRL. Recuperado de www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/
- Hamdan, O., Aziz, H., and Rahman, K. (2011). Remotely sensed L-Band SAR data for tropical forest biomass estimation. *Journal of Tropical Forest. Science*, 318-327.
- Henderson, F., and Lewis, A. (1998). Principles and applications of imaging radar. *Manual of remote sensing*, volume 2. John Wiley and sons.
- Holdridge, L. (1947). Determination of world plant formations from simple climatic data. *Science*, 105 (2727): 367-368.
- Imhoff, M. (1995). Radar backscatter and biomass saturation: ramifications for global biomass inventory. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33, 511-518.
- Lacis, A., Schmidt, G., Rind, D., and Ruedy, R. (2010). Atmospheric CO₂: Principal control knob governing Earth's temperature. *Science*, 330(6002), 356-359.
- Le Toan, T., Beaudoin, A., and Guyon, D. (1992). Relating forest biomass to SAR data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30(2), 403-411.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA] (2002). Estado del medio ambiente y medidas normativas: 1972-2002: Bosques. En *Perspectivas del Medio Ambiente Mundial 2002 GEO-3*, Madrid, España: Ediciones Mundi Prensa. Recuperado de: web.unep.org/geo/sites/unep.org.geo/files/documents/chapter2-3_forests2.pdf.
- Pullianen, J., Kurvonen, L., and Hallikainen, M. T. (1999). Multitemporal behavior of L-and C-band SAR observations of boreal forests. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37(2), 927-937.
- Sader, S. A. (1987). Forest biomass, canopy structure, and species composition relationships with multipolarization L-band synthetic aperture radar data.

