

APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN EN EL SEGUIMIENTO DE LOS RECURSOS FORESTALES DE LA CUENCA AMAZÓNICA BRASILEÑA.

J. R. dos Santos¹, A. F. Manso², L. S. Araujo¹, Y. E. Shimabukuro¹, M. S. Pardi Lacruz¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

Av. dos Astronautas, 1758 São José dos Campos, SP – Brasil {jroberto@ltd.inpe.br}

² Universidad de León - Escuela Superior y Técnica de Ingeniería Agraria
Av. Astorga S/N 24400 Ponferrada España {diaafh@unileon.es}

Resumen

Para la aplicación de mecanismos de desarrollo sostenido en Amazonia es fundamental tener informaciones básicas sobre los recursos naturales renovables y sobre la dinámica de las transformaciones de uso de la tierra. Una forma de adquirir informaciones esenciales para realizar el inventario y seguimiento de los recursos naturales es a través de la utilización de imágenes de satélite. En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo mostrar las metodologías y los resultados obtenidos en el tratamiento de imágenes ópticas y/o de radar de la Amazonia, utilizadas para estimar la tasa anual de deforestación, acompañar la dinámica de la explotación maderera, detectar focos de calor y estimar áreas quemadas, además de realizar la cartografía de la biomasa forestal de esta vasta región. Este control de la Amazonia con imágenes de satélite está siendo realizado como subsidio a los planes de fiscalización y organización del espacio territorial, visando la preservación de la biodiversidad e inclusive, el modelaje de las emisiones/reabsorciones de carbono en estudios de cambios globales.

P.C.: deforestación, explotación maderera, incendios forestales, biomasa, Amazonia, percepción remota.

Abstract

In order to apply a policy of sustainable development in Amazon region, it is fundamental to have basic information on the renewable natural resources and the dynamics of the transformations of land use. For such a huge and complex region, only satellite data allow inventory and monitoring of the different landscapes. In this frame, the actual study shows methodological procedures and results, to processing optical and/or radar images used in the Amazon, to estimate the annual rate of deforestation, to analyze yearly the dynamics of timber exploitation, to detect heat foci and to estimate burned areas, and also to map the forest biomass. The observation of the Brazilian Amazon with satellite images has been much used to perform effectively the deforestation control. It also allows to verify on how land occupation is occurring, taking into account the preservation of the biodiversity and to provide data for the modeling the amount of emission/reabsorption of carbon for the global changes issues.

K.W.: deforestation, timber exploitation, forest fire, biomass, Amazonia, remote sensing

INTRODUCCIÓN

Diversos abordajes para realizar el inventario y seguimiento de los procesos de degradación ambiental de la Amazonia brasilera son discutidos frecuentemente por los diferentes segmentos de la sociedad ambientalista. Las imágenes de satélite, por contener diferentes informaciones radiométricas, temporales, espaciales y por tener un costo accesible, han demostrado ser una herramienta operacional de control de este ambiente tropical. Las ventajas y limitaciones inherentes a los sistemas sensores, respetando la complejidad del albedo que se desea estudiar, residen en las características de los diferentes sensores orbitales. Los satélites de la serie NOAA/AVHRR constituyen una contribución satisfactoria para la detección y mapeo de focos de calor, asociados al proceso de quema, como práctica agrícola y/o expansión de nuevas áreas con la destrucción del bosque primario. Satélites que operan en la región del microondas (RADARSAT, JERS, ERS), con

sus diferentes frecuencias y polarizaciones, son útiles en el mapeo del uso y cobertura del suelo, sobre todo en regiones con intensa cobertura de nubes. Productos de sensores ópticos, como el caso del Landsat/TM, han sido ampliamente empleados en el acompañamiento de la dinámica de la ocupación de la tierra, sirviendo inclusive, como planos de información para las zonificaciones ecológica-económicas que han sido realizadas para la Amazonia. Este trabajo, enfocando solamente imágenes de satélite en estudios forestales en la Amazonia, tiene como objetivos específicos: a) demostrar la capacidad de las imágenes TM/Landsat en la caracterización de la deforestación y de los locales de extracción de madera y presentar las tasas anuales y la extensión de ese proceso de antropización; b) demostrar la utilidad de la integración de datos AVHRR con datos TM, datos climatológicos y cartográficos para la realización de un programa práctico de cartografía diaria de los focos de calor y la elaboración de mapas de riesgos de incendios forestales, además del cálculo del área quemada por tipología vegetal afectada por el fuego; c) demostrar las experiencias metodológicas utilizando imágenes de radar (en este caso, imágenes JERS-1) para la cartografía de la biomasa. La síntesis de estos proyectos con los objetivos específicos anteriormente mencionados, forman parte de la filosofía de trabajo gubernamental del Ministerio de Ciencia y Tecnología (MCT), dentro del Programa de Ciencia y Tecnología para la Gestión de Ecosistemas (PPA 2000-2003), como apoyo al Ministerio del Medio Ambiente (MMA) en su tarea principal de fiscalizar y crear mecanismos de legislación y ordenamiento forestal, para la protección y uso racional de los recursos naturales del país.

EL SEGUIMIENTO DE LA DEFORESTACIÓN Y DE LA EXPLOTACIÓN MADERERA

La Amazonia brasilera tiene una tasa anual de deforestación (corte raso) de aproximadamente 17.000 Km² totalizando actualmente una extensión de 600.000 Km² de bosques totalmente derribados, siendo que 75% de esta antropización se encuentra concentrada en el denominado "Arco de la Deforestación". En este arco existe una red viaria satisfactoria, con planes gubernamentales de mejora, lo que permite prever en diferentes escalas, la continuidad de los ciclos de empobrecimiento ambiental.

Periódicamente ha sido realizado el seguimiento del intenso uso agrícola y pecuario (1° ciclo del empobrecimiento) debido al reducido costo de la tierra, así como las actividades de explotación maderera (2° ciclo) y el aumento de la incidencia de quemadas, utilizando para ello datos del sensor TM/Landsat. A lo largo de esta última década, procedimientos metodológicos para el tratamiento de los productos de este sensor, se muestran eficaces para el seguimiento de la tasa anual y de la extensión de la deforestación, realizados dentro del Proyecto PRODES (INPE, 2000). El abordaje de este trabajo está basado en: la interpretabilidad visual de las imágenes TM/Landsat (en una combinación de bandas espectrales del rojo, infrarrojo próximo e infrarrojo medio) para identificar los polígonos anuales correspondientes a las nuevas áreas deforestadas; en la cartografía digital de dichos polígonos y posteriormente, en la integración de informaciones (mapas de vegetación, mapas político-administrativos, entre otros) en un banco de datos georreferenciado para su análisis final. De esta forma, se obtiene la distribución anual de la deforestación bruta por fisonomía forestal afectada y la estratificación, por intervalos de clase, de la dimensión de los incrementos anuales, los cuales permiten realizar un análisis integrada con otras informaciones, que conduzcan al panorama de la expansión del uso de la tierra por pequeños o medios colonos y grandes propietarios de tierra. Un considerable avance metodológico está siendo desarrollado con el objetivo de efectuar los cálculos anuales de deforestación bruta con datos digitales TM/Landsat. La base de este nuevo abordaje está fundamentada en el uso del "modelo lineal de mezcla espectral", como principio de análisis de componentes puras de sombra, vegetación y suelo extraídas de las imágenes, para la discriminación entre áreas de bosques, deforestación y no-bosque (Shimabukuro, et al., 1999).

Conceptualmente, las estimaciones de deforestación en la Amazonia están directamente relacionadas al cómputo de aquellas áreas de corte raso del bosque tropical. Otro tipo de alteración en la cobertura forestal es la explotación maderera, con la retirada selectiva de especies de alto valor comercial. Actualmente se está llevando a cabo un proyecto en el INPE, que tiene como objetivo la identificación de actividades de explotación selectiva en áreas de bosque de tierra firme. A través de un banco de imágenes TM con un total de 229 escenas anuales que cubren toda la Amazonia, fueron seleccionadas 26 imágenes en un reconocimiento exploratorio, que presentaban aspectos texturales y

patrones característicos de esta antropización en bosques de tierra firme (**Figura 1**).

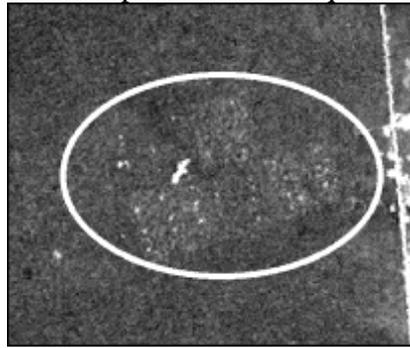


Figura 1. Imagen TM/Landsat ilustrando un área de explotación maderera en la región de Tapajós, con manejo forestal iniciado en 1999.

La explotación maderera se presenta en la imagen fracción suelo (derivada de la aplicación del modelo lineal de mezcla espectral), como un conjunto de puntos claros aislados (indicativo de los patios de maniobra y/o áreas abiertas para la retirada de los troncos), a diferencia del patrón oscuro del bosque primario y de las tonalidades medias y claras de gris más homogéneas, características del corte raso para pastos o cultivos agrícolas.

A partir de la interpretación de las 26 imágenes TM, en una serie temporal de 11 años consecutivos (1988-1998) fueron delineados, rotulados y georreferenciados todos los polígonos que presentaban características espectro-texturales de explotación maderera. Se realizó un seguimiento anual de cada polígono en términos de conversión temática en el tiempo, para corte raso o proceso de regeneración forestal. Cada área de tala selectiva recibió un rótulo para permitir el análisis de posibles cambios, conformando un banco de datos. El cruzamiento de los diferentes planos de información permitió, una vez analizados en forma tabular y gráfica, una adecuada discusión de la tasa anual, de la extensión, del tiempo medio y porcentaje de conversión y también, de la cartografía de esa actividad causante del empobrecimiento ambiental. En este período de estudio fueron identificados 17.146 Km² de patrones de extracción selectiva, representando 4.139 polígonos de diferentes dimensiones y grados de degradación forestal (Santos et al., 2001). El incremento medio anual de la explotación maderera en bosque de tierra firme se presenta en la **Figura 2**, así como la tasa anual de deforestación bruta (corte raso). Se verifica que, en media, cerca de 1.580 Km²/año de áreas de bosque primario son afectados por la práctica de retirada de madera comercial. La actividad de explotación de madera representa 9,65% del área afectada anualmente por la destrucción total del bosque. Las fluctuaciones en el porcentaje de extracción selectiva son resultantes de la intensificación de la acción de los madereros en ciertos sectores de la Amazonia o de la intensificación de la fiscalización y/o control por parte de los órganos gubernamentales.

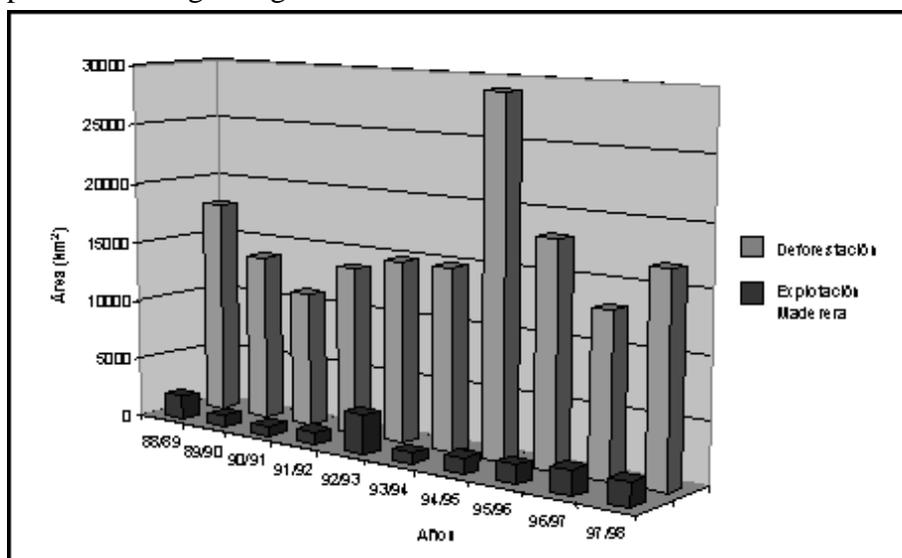


Figura 2. Incremento medio anual de la actividad de explotación maderera y de áreas deforestadas en la Amazonia en el período 1988-1998. Fuente: Santos et al. (2001).

Del total mencionado anteriormente de 17.146 Km² con explotación maderera, el 40,9% está en fase de **regeneración** forestal, mientras que 15,6% del área donde ocurrió la tala selectiva fue transformada, después de un determinado tiempo, en **corte raso** para actividades de agricultura o pecuaria (Santos et al., 2001). Los 43,5% restantes fueron definidos en la categoría de explotación selectiva, ya que dichos polígonos mantenían los parámetros fotointerpretativos que caracterizan esta clase en las imágenes TM., lo cual puede ser explicado debido a la gran intensidad/daño de la extracción maderera. En síntesis, la deforestación y el corte selectivo ilegal, en tasas elevadas, han causado preocupación a los órganos ambientalistas gubernamentales por el gran volumen de degradación ambiental y principalmente por no significar una mejoría socio-económica en los locales donde estas acciones son llevadas a cabo.

EL SEGUIMIENTO DE LOS FOCOS DE CALOR Y LA ESTRATIFICACIÓN DE LOS INCENDIOS

Una tarea operacional insertada en el programa PREVFOGO del Ministerio del Ambiente brasileiro realizada anualmente en el momento que se inicia el período de estiaje en la Amazonia, es la identificación diaria de los focos de calor, debidamente georreferenciados y monitorados con datos AVHRR/NOAA. Estas informaciones son enviadas vía Internet al Instituto Brasileiro de Medio Ambiente y Recursos Renovables (IBAMA/MMA), responsable por emitir y fiscalizar los certificados de las quemadas legales en proyectos agropecuarios. Otra tarea también muy importante es el cruzamiento, a través de la utilización de un SIG, de los focos diarios de calor identificados por el sensor AVHRR, con datos climatológicos (precipitación diaria, stress hídrico, humedad relativa) y datos cartográficos (vialidad, tipos de vegetación), de manera de elaborar, con soporte de imágenes TM/Landsat, los mapas de riesgos de incendios forestales, lo que facilita la distribución de las brigadas de combate al fuego para estas regiones de riesgo. El aumento del índice de incendios en la Amazonia dió origen a una serie de artículos en diferentes medios de comunicación, que decían que el bosque tropical está siendo destruído por el fuego. Para desmentir estas noticias y dar una connotación científica a las discusiones entre el gobierno y las entidades ambientalistas, fue creado otro proyecto cuyo objetivo era caracterizar las incendios tanto en áreas forestales (incendios forestales), como en sabanas y pastos, cuando el fuego es utilizado como forma de manejo. Así, imágenes TM cubriendo parte de los ecosistemas amazónicos y de sabanas de Brasil central (muestreo de 156 escenas del año 1999), fueron utilizadas para estudiar las áreas quemadas por categoría temática (**Figura 3**). El contorno de cada polígono identificado por tipo de cobertura del suelo, debidamente georreferenciado, integrado en un banco de datos, que contiene los límites administrativos, permite medir y facilitar la visualización municipal y/o regional de dicho problema y adoptar las medidas de fiscalización adecuadas. Este trabajo (Proyecto PNUD-BRA/95/G31) titulado “Cálculo de áreas quemadas en ambientes forestales y de sabana de Brasil, para el año 1999”, está siendo utilizado para apoyar las discusiones técnico-políticas internacionales sobre el papel de Brasil en las cuestiones de emisiones de carbono y sus efectos en los cambios globales.

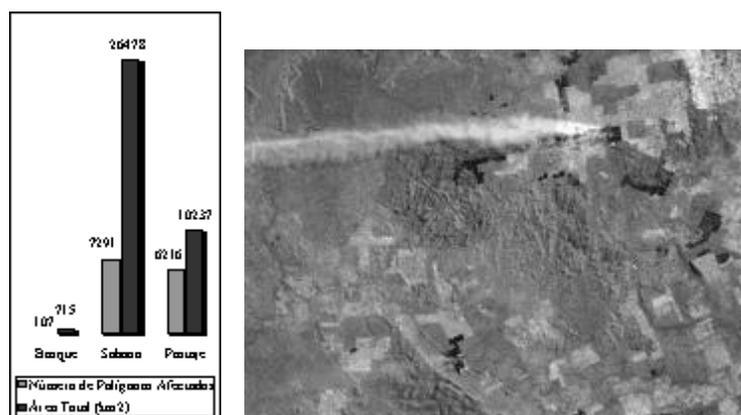


Figura 3. Diagrama ilustrando el número de polígonos y el área de quema por tipo de vegetación en ecosistemas de bosque y sabana (base de estudio: 156 escenas TM/Landsat del año 1999).

LA CARTOGRAFÍA DE LA BIOMASA FORESTAL EN LA AMAZONIA

Rápidas transformaciones ocurren en el paisaje forestal amazónico, provocadas por la acción humana en la constante búsqueda para ampliar la frontera agrícola o pecuaria. Algunos esfuerzos han sido realizados por la comunidad científica para entender y estimar las modificaciones de la biomasa forestal, sobre todo para tornar significativos los modelos predictivos en los estudios de cambios globales. La tecnología espacial, también está presente, con datos ópticos y de microondas (banda L), en el análisis de las relaciones de valores espectrales (imágenes ópticas) o valores de retrodispersión (imágenes de radar) con ciertos parámetros biofísicos de la cobertura vegetal. A partir del mejor modelo de regresión, combinando variables obtenidas de datos procedentes de satélites y de aquellos obtenidos en campo, han sido aplicados intervalos en la imagen tratada, estratificándola en intervalos de clases de biomasa (**Figura 4**) basados en la respuesta del píxel o de regiones homogéneas definidas por umbrales de área y de similaridad. Diversos algoritmos, basados en medidas espectrales o texturales, dependiendo del tipo de sensor, han sido paulatinamente probadas en las clasificaciones, utilizando el método supervisado de máxima verosimilitud o el de regiones, los cuales constituyen la fuente más utilizada para la generación de la cartografía de la vegetación. Diversas áreas piloto dispersas en la Amazonia, con presencia de bosques tanto primarios como secundarios y diferentes tipos de sabanas, han sido investigadas Luckman et al.(1995); Santos et al.(1999); Araujo et al. (1999); Santos et al.(2000).

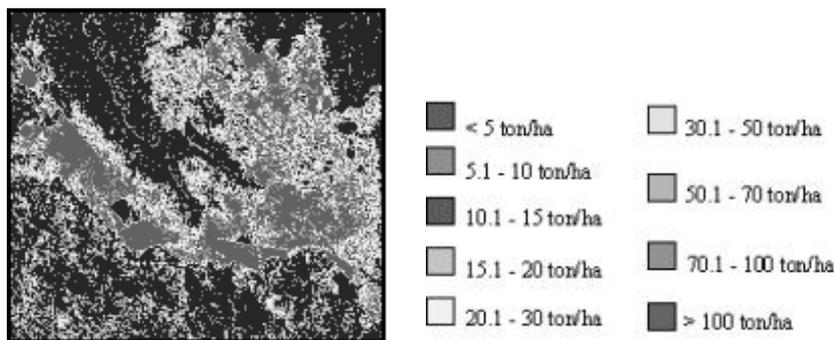


Figura 4. Distribución espacial de la biomasa en la región de Comodoro (MT) a partir de imágenes de radar.

CONCLUSIONES

Las imágenes de satélite han contribuido satisfactoriamente en los proyectos de inventario y seguimiento de la Amazonia. Tal afirmación es una etapa fundamental en la comprensión de la interacción del hombre con el medio ambiente, a través de la disponibilidad de informaciones para el seguimiento de los recursos forestales de esta vasta región tropical. Es posible alcanzar el modelo de régimen sustentable en esta región amazónica desde que exista un programa político y una orientación técnica adecuada del trabajador de la tierra, ya que existen mecanismos de control de la degradación, donde las técnicas de percepción remota muestran ser herramientas básicas para el conocimiento ambiental.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido realizado en la Coordinación de Observación de la Tierra del INPE, con soporte financiero del MCT y complementado por el MMA/IBAMA; los autores agradecen a CNPq (procesos 300677/91, 300808/94-1, 381246/97-3, 380597/99-3) y a la FAPESP (proceso 1997/0943-8).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araujo, L.S.; Santos, J.R.; Freitas, C.C.; Xaud, H.A.M. 1999. *The use of microwave and optical data for estimating aerial biomass of the savanna and forest formations at Roraima State, Brazil*. In: International Geoscience and Remote Sensing Symposium - IGARSS'99. Hamburg, Germany. [CD-ROM].
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. 2000. *Monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite: 1998-1999*. 22p.
- Luckman, A.J., Barker, J., Lucas, R., Kuplich, T.M. 1995. *Retrieval of the biomass of regenerating tropical forest in Amazonia using spaceborne SAR data*. In: International Symposium on Retrieval of Bio - and Geophysical Parameters from SAR Data for Land Applications. Toulouse, France. ESA, Noordwijk, The Netherlands, ESA SP-441, pp.107-118.
- Santos, J.R.; Araujo, L.S.; Pardi Lacruz, M.S. 2000. *Potentials use of JERS-1 data for biomass estimation of tropical forest environments in Brazilian Amazonia*. In: International Geoscience and Remote Sensing Symposium- IGARSS'2000. Honolulu, Hawaii. [CDROM].
- Santos, J.R.; Pardi Lacruz, M.S.; Keil, M.; Kramer, J.C.M. 1999. *A linear spectral mixture model to estimate forest and savanna biomass at transition areas in Amazonia*. In: International Geoscience and Remote Sensing Symposium - IGARSS'99. Hamburg, Germany. [CD-ROM].
- Santos, J.R.; Krug, T.; Araujo, L.S.; Meira Filho, G.; Almeida, C.A. *Dados multitemporais TM/Landsat aplicados ao estudo da dinâmica de exploração madeireira na Amazônia*. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10. Foz de Iguaçu, Paraná. 21-26 abr., 2001. CDROM.
- Shimabukuro, Y.E.; Duarte, V.; Santos, J.R.; Mello, E.K.; Moreira, J.C. 1999. *Levantamento de áreas desflorestadas na Amazônia através de processamento digital de imagens orbitais*. Floresta e Ambiente. 6(1): 38-44. ISSN 1415.0980.