

Estrategia metodológica expeditiva para el monitoreo satelital de coberturas forestales del Chaco Seco en la República Argentina

Hugo Raúl Zerda¹

(1) *Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica SIGL@b, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero.*
hzerda@unse.edu.ar

RESUMEN: Se describe una propuesta para la actualización de cartografía de coberturas forestales en la región del Chaco Seco en la República Argentina, mediante el uso de imágenes satelitales de baja resolución espacial, aplicando metodologías de análisis de información multitemporal por medio de la percepción remota y los sistemas de información geográfica (SIG). Se realizó un análisis de componentes principales y clasificación por agrupamientos, a partir de composiciones multitemporales de 16 días de MODIS-NDVI de 250 metros de resolución. Se detectaron y obtuvieron las superficies, patrones espaciales y ubicación de la deforestación debida a la conversión de tierras forestales a agropecuarias, incluyendo la quema de vegetación para pastoreo. Los resultados se componen de mapas multitemporales y estadísticas de superficies. Los mapas de cambios proveen una solución expeditiva, de fuerte impacto visual y clara interpretación, facilitado la integración en los SIG, la divulgación y el uso en diversas organizaciones. Este producto es de potencial uso en el control de áreas estratégicas o de especial interés, o que muestran grandes cambios. Esta base cartográfica permitiría investigar zonas en mayor detalle, mediante imágenes satelitales de mayor resolución espacial, lo cual proveería una solución en cortos períodos de tiempo cuando sea necesario contar con información actualizada.

1 INTRODUCCIÓN

El monitoreo de los bosques es una actividad de gran importancia en las ciencias forestales actuales, no solamente para el conocimiento de las existencias forestales y desde una moderna perspectiva de los inventarios (Franklin 2001, Köhl et al. 2006), hasta investigaciones relacionadas al amplio espectro de otras ciencias del ambiente (Zerda 2007).

Las características únicas de la percepción remota, una metodología que permite la observación simultánea y repetitiva de grandes espacios territoriales, hacen de las diversas bases de datos satelitales disponibles, una fuente de enorme valor para la comunidad científica de diversas disciplinas (Jensen 2007).

En Sudamérica, la deforestación de grandes superficies sucede desde la década de los 70 en el Amazonas brasileiro, por lo cual desde esa época existe un programa de monitoreo de bosques basados en imágenes satelitales. El actual programa, DETER, implementado por el Instituto de Investigaciones de Brasil INPE, utiliza datos MODIS para generar alarmas de deforestación (Shimabukuro 2005). En las últimas dos décadas y especialmente a partir de los años 2000, el Gran

Chaco Sudamericano está siendo deforestado con gran intensidad, en un proceso inédito de transformaciones de usos de la tierra. Por ello existen iniciativas que realizan el monitoreo de la deforestación, utilizando datos satelitales de resolución espacial media y basado en métodos visuales (AVINA 2012). En la República Argentina se realizó el 1er. Inventario Forestal Nacional de Bosques Nativos – IFNBN (Argentina 2005), y al igual que en otros países latinoamericanos como México (Mas et al. 2002), la ejecución de las tareas de cartografía se ha realizado con una metodología que requiere gran intervención humana. La continuidad del IFNBN, requiere la actualización de la cartografía de los bosques nativos argentinos, en la escala inicial de 1:250.000, siguiendo el método de interpretación visual y digitalización en pantalla. Esto insume una importante cantidad de tiempo, y a posteriori requieren otras intervenciones humanas para las correcciones de los errores derivados del método.

El presente trabajo presenta una metodología alternativa, compatible con la escala de trabajo, para apoyar el denominado Nivel I del IFNBN de los bosques de la Región Chaqueña de Argentina; el cual ha sido utilizado por diversas provincias argentinas para la elaboración del Ordenamiento

Territorial de Bosques Nativos (OTBN) determinado por la Ley 26.331 de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos. En este Nivel I se producen las capas iniciales del Inventario Forestal Nacional, las categorías “Bosque y No Bosque”, que posteriormente se reclasifican en otras subcategorías (Argentina 2005). El Chaco, la mayor formación forestal en Argentina, se encuentra sometido a una enorme presión por la expansión de las áreas dedicadas a cultivos extensivos, verificándose grandes pérdidas de superficies de bosques (Argentina, 2007).

Técnicas más expeditivas a las actuales permitirían mejorar y facilitar la vigilancia del recurso forestal, disponiendo de esta información estratégica en plazos menores a los actuales. El objetivo de esta investigación es proponer una metodología expeditiva para la actualización de estadísticas de deforestación en las provincias chaqueñas. Se seleccionó como área demostrativa el sector centro-noreste de la provincia de Santiago del Estero.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se ubica en el centro-este de la Provincia de Santiago del Estero, en el del Chaco Semiárido de Argentina. En esta región, existe un proceso de deforestación con similares características a otras regiones de la Provincia (Zerda y Moreira 2006). La región está cubierta por bosques xerofíticos, con varios estratos de especies arbóreas y arbustivas, sabanas edáficas o inducidas por fuego sobre antiguos cauces de ríos y estepas en bajos salinos (Cabrera, 1976). Existe déficit hídrico todo el año, con precipitaciones concentradas en el verano y marcada sequedad en el invierno, con temperaturas inferiores a los 0°C. Según la clasificación climática de Köepen, pertenece al tipo climático semiárido BShw (Torres Bruchmann 1981). Brown et al. (2004) destacaron la importancia del uso de la relación entre bandas del espectro correspondientes al rojo y al infrarrojo para la percepción remota, debido a que de esta forma se captan las características de la vegetación, a través de los índices de vegetación (IV) y según las bases conceptuales desarrolladas en los años 70 (Colwell 1974, Deering 1978, Tucker 1979). Debido a la robustez demostrada por estas transformaciones, tiene una gran importancia la disponibilidad de series temporales de IV para estudios de cambios en coberturas, en diversas escalas espaciales, desde locales (Morton et al. 2007) hasta en estudios globales (Jensen 2007).

Se utilizaron composiciones de 16 días de NDVI MODIS Terra Collection 5, pertenecientes a la base de datos de datos satelitales MODIS-NDVI 250-metros del Global Agriculture Monitoring Project (GLAM) del Departamento de Agricultura de los EEUU (USDA). Los datos NDVI de MODIS han sido estudiados tanto para controlar su calidad (Brown et al. 2006), y en otras aplicaciones. Los datos del GLAM permiten minimizar los problemas derivados de la nubosidad (NASA 2004), o la geometría de iluminación-visión, geometría sol-sensor, para el caso específico de imágenes de satélite, al ser procesados generando una composición con el máximo valor dentro del período de 16 días en estos datos. Organizados por países y fechas, se facilita su selección y posterior uso.

La metodología se basó en dos grupos de análisis: componentes principales y posterior clasificación cluster. Los datos NDVI utilizados corresponden al período anual indicado por GLAM como 273 (29-Septiembre al 14-October) de los años 2000 y 2008 (NDVI2000 y NDVI 2008), el período total estudiado. Este intervalo anual 273, se ubica al final de la larga estación seca chaqueña, cuando se manifiesta una gran diferencia en los valores de NDVI entre las formaciones leñosas y herbáceas (Zerda y Tiedemann 2010). Tal situación se manifiesta a fines del invierno con gran contrastante, y es característico de la deforestación en esta región, con el cambio de bosque a pastizales y áreas de cultivos, y eventualmente a campos semi-abandonados con pastizales invadidos por especies arbustivas en diferentes proporciones.

La Figura 1 muestra los productos NDVI2000 y NDVI2008, en escala de 8 bits, a partir de los cuales se generaron dos componentes principales, con el objetivo de captar el cambio producido por la deforestación, como en la Figura 2. Otros autores (Maldonado y Santos 2005), utilizaron variantes controladas del análisis de componentes principales, para la detección de cambios en regiones semiáridas del nordeste brasilero, un ambiente con vegetación de características fenológicas similares al Chaco Seco.

Se generó una imagen multitemporal utilizando la primera y segunda componente principal del período 2000-2008 (PC1 2000/2008 y PC2 2000/2008), mediante la combinación de las imágenes en los tres planos de color: NDVI2000 (Rojo)/PC12000/2008 (Verde)/PC22000/2008 (Azul), al efecto de visualizar el cambio debido al

contraste entre las componentes principales y el período inicial, en la Figura 3.

Las áreas definidas como deforestación fueron controladas visualmente mediante imágenes de mayor resolución, TM LANDSAT 5 para los años 2000 y 2008, y también mediante HRC CBERS-2B para el 2008, datos del banco de imágenes del INPE.

3 RESULTADOS Y DISCUSIONES

La transformación de componentes principales del conjunto multitemporal de datos, NDVI2000-NDVI2008, permitió captar un 14,7% de la variabilidad del conjunto mediante la segunda componente, como se muestra en la Tabla 1. De esta manera se identificó así a la componente cambio, correspondiendo a áreas deforestadas de la Figura 3.

La correlación entre NDVI2000 y NDVI2008, del 71% indicada en la Tabla 1, y la variabilidad del 14,3% de la PC2 del conjunto numérico multitemporal, indica la información diferente, cambio, contenida entre las fechas analizadas. La Tabla 2, muestra un cambio del 24% en porcentaje del área total investigada.

El producto final permite detectar los grandes cambios debidos a la deforestación, aprovechando del contraste entre los tipos de vegetación que caracterizan al problema estudiado; cambiando de bosque a otras formas de vida menores, pastizales y arbustales, como también áreas de cultivos.

Tabla 1. Resultados de la transformación de componentes principales del período 2000-2008.

Correlación	NDVI2008	NDVI2000
NDVI2008	1,00	0,71
NDVI2000	0,71	1,00
Componente	C 1	C 2
Variabilidad %	85,7	14,3

Tabla 2. Magnitud del cambio debido a la deforestación.

Categoría	Superficie (ha)	Proporción (%)
1: Sin cambios	2.014.162	76
2: Con cambios	612.837	24
Totales	2.626.999	100

El sector sudoeste del área investigada muestra celdas (píxeles) categorizados como áreas de

cambios. Controladas posteriormente mediante imágenes de alta resolución HRC-CBERS2B correspondieron a humedales del Río Salado, que cambiaron sus condiciones de coberturas en las fechas estudiadas. Estas áreas menores pueden ser rápidamente editadas y eliminadas de la base de datos, a posterior de la clasificación digital; incorporando luego estos resultados como actualización cartográfica. Del análisis visual del mapa resultante, los cambios correspondieron a: i) grandes superficies de formas regulares, ii) cicatrices de fuego en grandes extensiones, en patrones orientados norte-sur/sur-norte, iii) crecimientos en bloques o colaterales de campos bajo uso agropecuario, iv) disminución de superficies de grandes fragmentos de bosque.

4 CONCLUSIONES

El aprovechamiento de las bases de datos multitemporales, como los utilizados, pueden permitir su uso en muy diversos programas operativos de monitoreo de bosques. Específicamente, en el caso del IFNBN de Argentina, permitiría actualizar sus bases de datos en cortos períodos de tiempo, en referencia a un tema tan importante como la deforestación, en virtud de la actual dinámica del proceso en Gran Chaco argentino.

Las transformaciones utilizadas y el procedimiento de clasificación y control con imágenes satelitales de mayor resolución espacial, pueden utilizarse como un procedimiento de base para obtener estadísticas de actualización del estrato bosque del primer nivel del IFNBN de Argentina, y de las provincias comprometidas con la aplicación de controles forestales en el marco de la Ley 26.331. También estos productos pueden utilizarse en las escalas 1:250.000, comúnmente utilizada por los organismos oficiales.

No solamente podrían utilizarse procedimientos cuyo producto final deriven de clasificaciones digitales, sino también los mapas NDVI multitemporales, como insumo para la digitalización en pantalla, en caso de utilizar métodos visuales. El uso de imágenes de resolución moderada y amplia cobertura como MODIS, reducirá el tiempo de procesamiento de datos en comparación al uso de imágenes OLI LANDSAT8 y otros productos actuales de mayor resolución espacial.

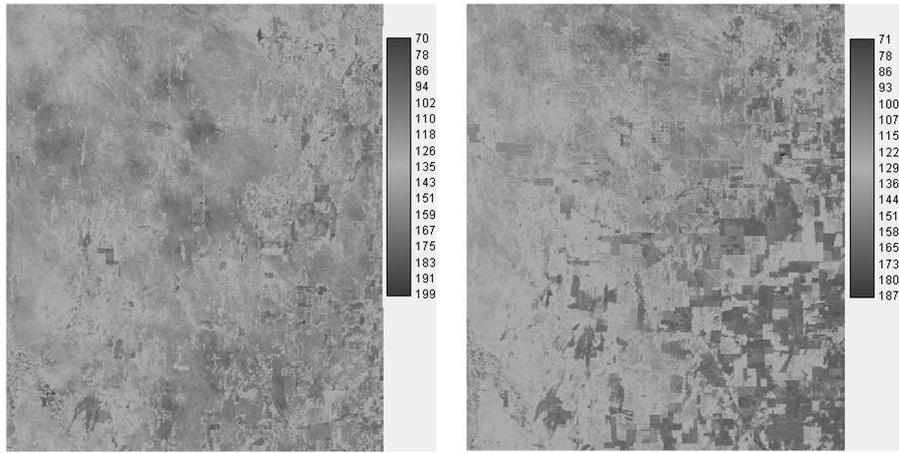


Figura 1. Composiciones de 16 días de índices de vegetación NDVI de MODIS Terra del período anual 29-Septiembre al 14-October, NDVI2000 (izq.) y NDVI2008 (der.).

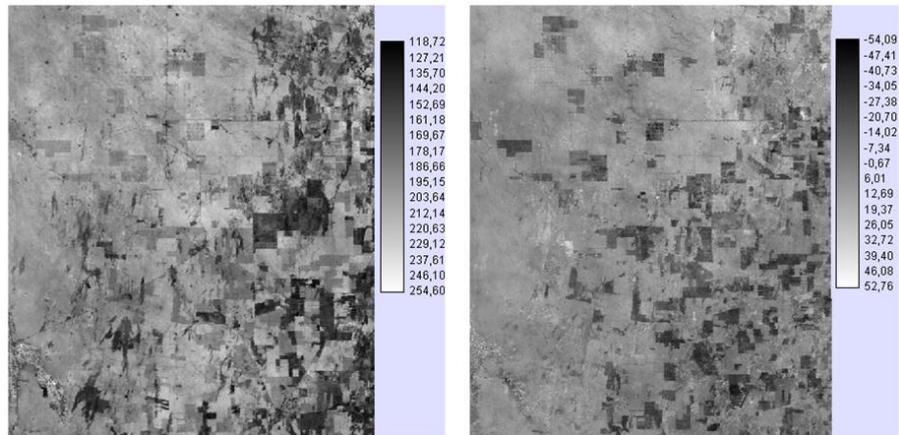


Figura 2. Primera componente principal (izq.) y segunda componente principal (der.) del conjunto de datos de la Figura 1.

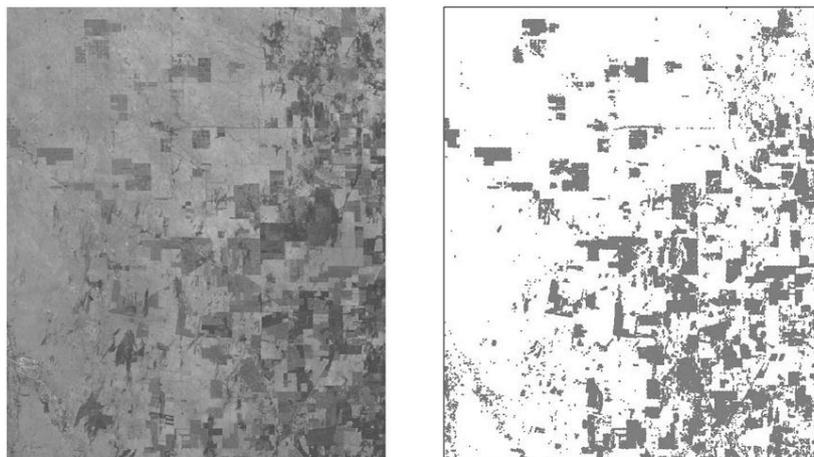


Figura 3. Composición multitemporal RVA (NDVI2000, PC12000/2008, PC22000/2008) del período investigado (izq.), y mapa de áreas correspondientes a deforestación entre 2000 y 2008 (der.).

5 REFERENCIAS

- Argentina. Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos. Proyecto Bosques Nativos y Áreas Protegidas, BIRF 4085-AR. Informe Nacional. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2005. 126 p.
- Argentina. Informe sobre deforestación en Argentina. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Unidad de Manejo del Sistema de Evaluación Forestal (UMSEF), 2007. 10 p.
- AVINA. Monitoreo de los cambios de uso de la tierra, incendios e inundaciones del Gran Chaco. Fundación AVINA. Informe técnico final 2010-2011. Abril 2012. <http://www.guyra.org.py/informe-final-deforestacion-chaco-paraguay-2010-2011/category/10-informe-deforestacion-ano-2011?download=79%3AInforme-final-2010-2011>
- Brown, M. E., J. E. Pinzón, D. Kamel, J. T. Morisette & C. J. Tucker. Evaluation of the Consistency of Long-Term NDVI Time Series Derived From AVHRR, SPOT-Vegetation, SeaWiFS, MODIS, and LandsAT ETM+ Sensors. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2006.
- Colwell, J. E. Vegetation canopy reflectance. *Sensing of Environment*, vol. 3, pp. 175–183, 1974.
- Deering, D. W. Rangeland Reflectance Characteristics Measured by Aircraft and Spacecraft Sensors. College Station, TX: Texas A&M Univ., 1978, p. 338.
- Eastman, J. R. *Idrisi Andes Guide to GIS and Image Processing*. Clark Labs, Clark University, Worcester, MA, USA. 2006. 327 p.
- Franklin, S. E. *Remote Sensing for Sustainable Forest Management*. CRC Pub. 1. ed. 424 p. 2001.
- Jensen, J. R. *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*. 2nd Ed., Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 592 p. 2007.
- Köhl, M., S. Steen & M. Marchetti. Sampling Methods, Remote Sensing and GIS Multiresource Forest Inventory Series: Tropical Forestry. Springer. XIX, 373 p. 2006.
- Maldonado, F. D. & J. R. Santos. Metodología de detección de cambios utilizando técnicas de rotación radiométrica. In: *Anais XXI Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Goiania, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE; p. 601-608.
- Mas, J. F., A. Velázquez, J. L. Palacio-Prieto, & G. Bocco. Elaboración de una base de datos geográfica sobre recursos forestales: El Inventario Forestal Nacional 2001 de México. *Revista de Ciencias Forestales Quebracho*, 9: 151-156, 2002.
- Morton, D. C., Y. E. Shimabukuro, R. M. Freitas, E. Arai & R. S. DeFries. Secondary forest dynamics and Cerradão loss in Mato Grosso during 2001-2005 from MODIS phenology time series. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)*, Florianópolis, Brasil, 21-26.04.2007, INPE, p. 6859-6866. 2007.
- NASA. MODIS Documentation and Data Source. Greenbelt, MD: NASA GSFC, 2004.
- Shimabukuro, Y. E. et al. Detección de áreas deforestadas en tiempo real: conceptos básicos, desarrollo y aplicación del proyecto DETER. INPE-12288-RPE/796.2005. http://www.dsr.inpe.br/panamazon/Panamazoni/esp/Metodologia_DETER.pdf
- Torres Bruchmann, E. *Climatología General y Agrícola de la Provincia de Santiago del Estero*. Ed. Universidad Nacional de Tucumán-FAZ, Tucumán, Argentina, 1981.
- Tucker, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, vol. 8, pp. 127–150, 1979.
- Zerda, H. R. & M. L. Moreira. Monitoreo del avance de la frontera agropecuaria en el Chaco Argentino. In: *VII Seminario de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Aplicados à Engenharia Florestal*. Anais. FUPEF, Curitiba, PR, Brasil. oct. 2006. CD.
- Zerda, H. R. Inventarios Forestales, SIG y Percepción Remota: consideraciones sobre Santiago del Estero. In: *Actas de III Jornadas Forestales de Santiago del Estero*. 28-29.06.07, FCF-UNSE, Santiago del Estero, Argentina. 2007.
- Zerda, H.R. & J. L. Tiedemann, J. L. Dinámica temporal del NDVI del bosque y pastizal natural en el Chaco seco de la Provincia de Santiago del Estero, Argentina. *Revista Ambiencia, Guarapuava (PR)* v. 6 n. 1 p.13-24 Jan./Abr. 2010. UNICENTRO, Brasil. 2010.