



ESTIMACIÓN DE LA SUPERFICIE FORESTADA EN LOS DEPARTAMENTOS DE COLÓN, CONCORDIA Y FEDERACIÓN, ENTRE RÍOS EN EL PERIODO 1985 – 2015 CON IMÁGENES LANDSAT 5 Y 8.

Martín SANDOVAL¹, María Paz JOHNSTON¹, Andrea DROZD¹, María Rosa DERGUY¹

RESUMEN

La expansión de plantaciones implica cambios importantes en los procesos ecológicos a escala local y del paisaje que pueden ser analizados a través de técnicas de teledetección. El objetivo de este trabajo fue cuantificar los cambios de cobertura de las clases 'Plantación' y 'No plantación' y por especie definidas por las clases '*Eucalyptus* spp.' y '*Pinus* spp.' en el área de estudio. Se realizaron clasificaciones supervisadas de imágenes de otoño de LANDSAT 5 TM y 8 OLI de 1985, 1995, 2005 y 2015 con el complemento SCP en QGIS 2.14 y se analizaron matrices de error, tasas de incremento/disminución de superficie por departamento y especie. Se observa un nivel elevado de concordancia entre los datos clasificados y la clasificación de referencia ($k > 0,77$), aumento progresivo de la superficie cubierta por la clase 'Plantación' con casi 90.000 ha en 2015, disminución significativa de la tasa de forestación de la clase '*Pinus* spp.' en todos los períodos y un incremento del 23,1% para el período 2005-2015 de nuevas plantaciones de la clase '*Eucalyptus* spp.' para los Departamentos de Colón, Concordia y Federación.

Palabras clave: *cambios de cobertura, tasas de cambio, Semi-Automatic Classification Plugin*

1. INTRODUCCIÓN

La superficie ocupada por plantaciones forestales a nivel mundial se incrementó notablemente durante las últimas décadas (Kanowski y Murray, 2002). Esa expansión representa un proceso de gran impacto como cambio en el uso de la tierra y en la estructura del paisaje. Entre otros efectos influyen sobre la dinámica hídrica, los ciclos de nutrientes y la biodiversidad (Judd, 1996; Turner y Lambert, 1996; Lourneto y Bernhard-Reversat, 2001; Noretto *et al.*, 2005). En la provincia de Entre Ríos, los cambios productivos están siendo registrados por organismos estatales, sin embargo, no se posee aún una cuantificación detallada de las superficies afectadas por las dinámicas de cambio del uso del suelo. A fin de caracterizar la magnitud de los cambios en torno a las actividades forestales a una escala regional, se aplicaron metodologías de teledetección por presentar la capacidad de registrar una visión sinóptica instantánea de porciones territoriales extensas durante una serie de tiempo regular y larga (Donoghue, 2002).

El objetivo de este trabajo fue analizar los cambios de cobertura en torno las plantaciones de *Eucalyptus* spp. y *Pinus* spp. entre 1985 - 2015 en la costa del Río Uruguay, Entre Ríos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio está comprendida por los Departamentos de Colón, Concordia y Federación de la provincia de Entre Ríos, los cuales albergan casi el 90% de las forestaciones, en marcada asociación con los suelos arenosos característicos de esa región (Brizuela *et al.*, 2004). En esta zona, los cambios de uso del suelo en la zona de estudio son en general direccionados al reemplazo de pastizales por cultivos agrícolas o plantaciones forestales.

Selección del área de estudio

¹ Laboratorio de Investigación de Sistemas Ecológicos y Ambientales (LISEA) – Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales – Universidad Nacional de La Plata. Correo electrónico: msandoval@agro.unlp.edu.ar



El análisis de coberturas forestales se realizó a través de imágenes Landsat TM y OLI con *path* 225 y *row* 81 y 82, con fechas de adquisición 07/04/1985, 03/04/1995, 30/04/2005 y 10/04/2015 seleccionadas por disponibilidad, estacionalidad (otoño) y mínima cobertura de nubes. Fueron descargadas de la página web del USGS Earth Resources Observation and Science (EROS) en valores de reflectancia en superficie (*surface reflectance*). Con cada una de ellas, se realizó un mosaico y recorte del área considerando los departamentos de estudio y se aplicó una máscara sobre coberturas que no resultaron de interés: ejidos urbanos, coberturas de suelo de la clase “Bosque en Galería” y cuerpos de agua obtenidas de la cartografía oficial del Instituto Geográfico Nacional (IGN, 2016) y el límite administrativo del Parque Nacional El Palmar (APN, 2016). La superficie remanente se recortó con los Órdenes de suelo: Entisoles, Molisoles y Vertisoles.

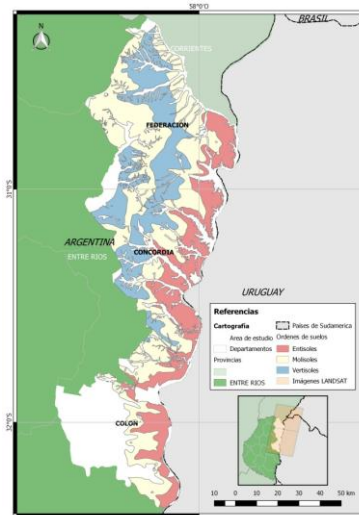


Gráfico 1. Ubicación de los Departamentos de estudio en la provincia de Entre Ríos.

Discriminación de coberturas: plantación si / no y plantaciones de *Eucalyptus* spp. / *Pinus* spp.

Durante el año 2015 se identificaron a campo y con imágenes satelitales coberturas correspondientes a las clases ‘Plantación’ y ‘No plantación’ (n=15 y n=10, respectivamente). Se obtuvieron los patrones de firmas espectrales para las bandas de LANDSAT 8 y se estimó el índice de similitud de Bray y Curtis (Bray y Curtis, 1957). A partir del patrón de firmas hallado, se muestrearon las imágenes para las restantes fechas. Para aumentar la precisión de la interpretación visual se identificaron las coberturas en imágenes de alta resolución Quick Bird, SPOT HRVIR e Ikonos del Google Earth.

Luego se efectuaron clasificaciones supervisadas por máxima verosimilitud, en las que se agruparon las zonas con respuestas espectrales equivalentes obteniendo una única cobertura que discrimine la clase ‘Plantación’ de ‘No plantación’ para cada fecha. La cobertura correspondiente a la clase ‘Plantación’ se utilizó como máscara para diferenciar con el mismo procedimiento las plantaciones de *Eucalyptus* spp. de plantaciones de *Pinus* spp. (n=15 y n=10, respectivamente) para cada año.

Ambos procesamientos se llevaron a cabo mediante el software QGIS 2.14.0 Essen, con el complemento *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP) Versión 4.9.2 – Frascati (Congedo *et al.*, 2013; Quantum GIS Development Team, 2015). Para cada clasificación se aplicó un filtro de paso bajo “majority” de 5x5 píxeles a través del programa GRASS con el fin de integrar la información contextual de las clases y aumentar la precisión de las clasificaciones (Stuckens *et al.*, 2000).

La precisión de los mapas obtenidos involucró la identificación de puntos de verificación de imagen independientes de los usados en la clasificación (n=20 para cada cobertura y año) complementados con identificación visual de imágenes de alta resolución en Google Earth. Posteriormente, se comparó la cobertura hallada en el campo con la mapeada en la imagen satelital a través de matrices de confusión donde se estimó la precisión global y los coeficientes de concordancia Kappa (KIA) (Lu *et al.*, 2004; Guofan y Wu, 2008).



Una vez obtenidas las coberturas para cada fecha se evaluó el cambio de cobertura/uso a través de un procedimiento de postclasificación donde se determinaron las matrices de dirección de cambio de las coberturas entre pares de fechas consecutivas (Lu *et al.*, 2004). Así se obtuvo una serie de tiempo de tres pares de fechas. A su vez se estimó la tasa de cambio para las clases '*Eucalyptus spp.*' y '*Pinus spp.*', mediante la siguiente ecuación:

$$r = \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \right) * \ln \left(\frac{A_2}{A_1} \right)$$

Donde r es la tasa de cambio, A_2 y A_1 son las superficies de las clases en el año final e inicial, respectivamente, y t es el número de años entre las fechas.

3. RESULTADOS

El coeficiente de concordancia Kappa para la determinación de las clases 'Plantación' y 'No plantación', tiene un promedio para todos los años de 0,96, con un mínimo de 0,87 en el año 1985. Para de las clases '*Eucalyptus spp.*' y '*Pinus spp.*' el promedio es de 0,83, con un mínimo de 0,77 para el año 2005. En ambos casos, estos valores indican un nivel elevado de concordancia entre los datos clasificados y la clasificación de referencia.

En el área estudiada se observa un aumento progresivo de la superficie cubierta por la clase 'Plantación' en el período analizado (Gráfico 2.a), registrando un total de casi 90.000 ha en 2015. Esta aproximación se asume como razonablemente cercana a las casi 127.000 ha reportadas por el Ministerio de Agroindustria para todos los departamentos de Entre Ríos en el sector continental en el año 2014.

La tasa de expansión en términos de superficie de estas plantaciones ha sido creciente en todo el área de estudio, pero ha tenido oscilaciones en cada Departamento registrando un máximo de casi un 25% en Federación para el período 1995-2005 (Gráfico 2.b) y una disminución de casi un 4% en Concordia de 1985 a 1995.

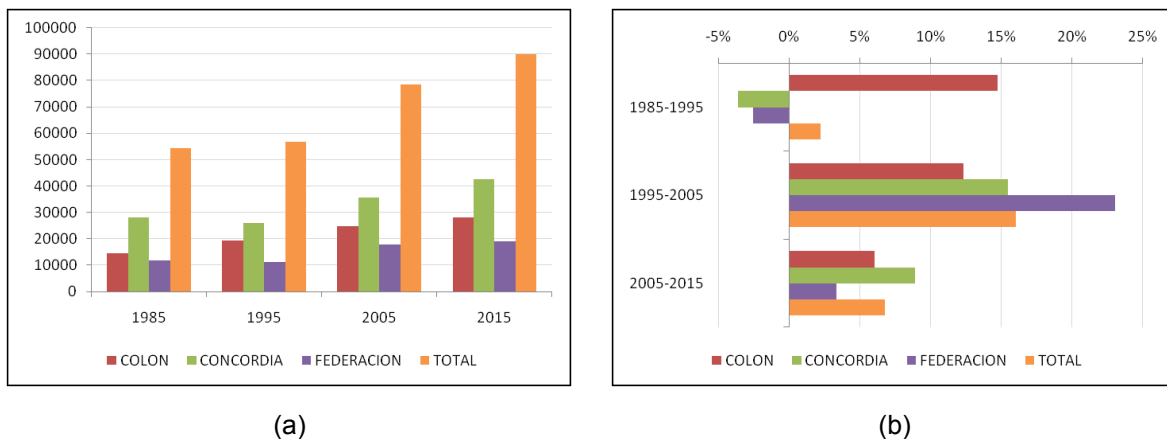


Gráfico 2. (a) Superficie en hectáreas por cada año y (b) tasa de incremento por período, de la clase identificada como 'Plantación' total y discriminada por Departamento.

En general, se observa una proporción constante de la superficie ocupada por las clases '*Eucalyptus spp.*' y '*Pinus spp.*' de un 65% y 25% respectivamente desde 1995 hasta 2015, salvo en el año 1985 donde se advierte un 81% de superficie clasificada como eucalipto y un 13% como pino (Gráfico 3). La diferencia porcentual entre estas clases, corresponde a coberturas identificadas como plantación pero que no corresponden a macizos de estas especies o bien son formaciones arbóreas de bosque ribereño.

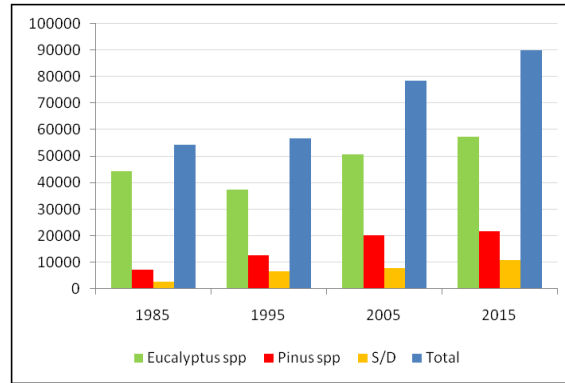


Gráfico 3. Superficie ocupada por las clases '*Eucalyptus spp.*' y '*Pinus spp.*' para cada año en el área de estudio. S/D: sin determinar.

Las tasas de incremento y disminución de la superficie forestada para cada especie es variable, registrando una disminución significativa de la tasa de forestación de la clase '*Pinus spp.*'. Se observa una tasa creciente de superficie identificada como '*Eucalyptus spp.*' con un incremento relativamente alto (23,1%) en el período 2005-2015 para la suma de los tres Departamentos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tasas de cambio para las clases '*Eucalyptus spp.*' y '*Pinus spp.*'

Período	Sin cambios	Nuevas plantaciones de <i>Eucalyptus spp.</i>	Nuevas plantaciones de <i>Pinus spp.</i>
1985-1995	26,9%	14,5%	13,3%
1995-2005	36,0%	25,6%	14,9%
2005-2015	32,1%	23,1%	10,3%

La distribución espacial de estos cambios se puede ver el Gráfico 4, principalmente concentrada en el Departamento Concordia en el período 1995-2005 y Colón en 2005-2015.

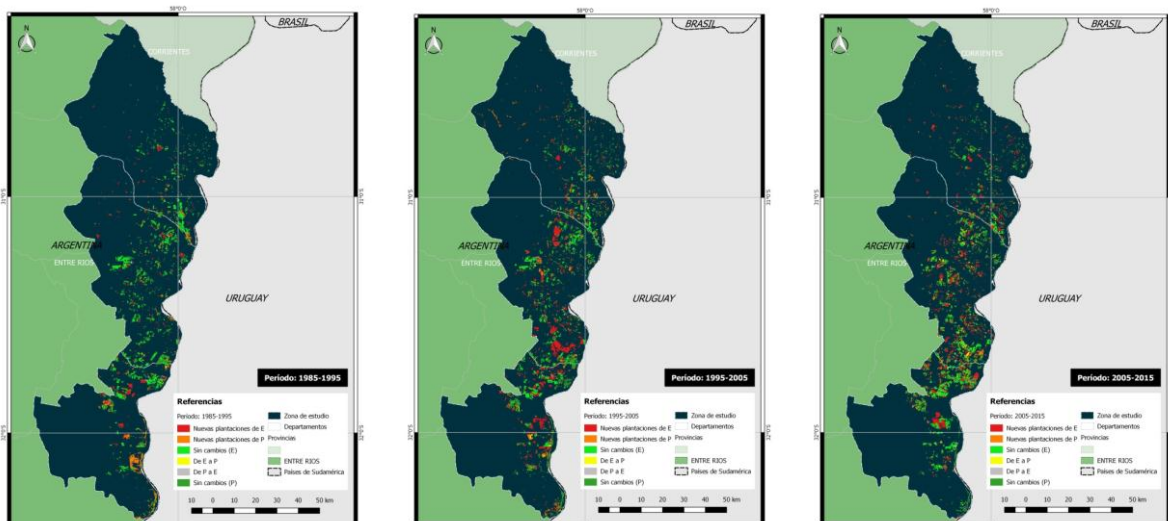


Gráfico 4. Distribución espacial de los cambios de cobertura y del establecimiento de nuevas plantaciones de las clases '*Eucalyptus spp.*' (E) y '*Pinus spp.*' (P) en cada período.



4. BIBLIOGRAFÍA

- ADMINISTRACIÓN DE PARQUES NACIONALES (APN). Sistema de Información de Biodiversidad (SIB). [en línea]: [Última consulta:31 de mayo de 2016]. Disponible en: www.sib.gov.ar
- BRAY J.R., CURTIS J.T. 1957. An Ordination of the Upland Forest Communities of Southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, pp. 325-349.
- BRIZUELA A.B., MILERA S., MESTRES J. 2004. Plantaciones de eucaliptos y pinos en los Departamentos del Este de Entre Ríos. *Temas de la Biodiversidad del Litoral Fluvial Argentino I – Instituto Superior de Correlación Geológica (INSUGEO)*, Miscelánea Nro. 12: 153-160.
- CONGEDO L., MUNAFÓ M., MACCHI S. 2013. Investigating the relationship between land cover and vulnerability to climate change in Dar es Salaam. Rome: Sapienza University. 56 p.
- DONOGHUE D.N. 2002. Remote sensing: environmental change. *Progress in Physical Geography* 26(1): 144-151.
- GUOFAN S., WU J. 2008. On the Accuracy of Landscape Pattern Analysis using Remote Sensing Data. *Landscape Ecology*: 505-511.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL (IGN). Base de datos geográfica. [en línea]: [Última consulta:31 de mayo de 2016]. Disponible en: <http://www.ign.gob.ar/sig>
- JUDD T. S. 1996. Simulated nutrient losses due to timber harvesting in highly productive eucalypt forests and plantations. En P. M. Attiwill, & M. A. Adams, *Nutrition of Eucalyptus* (pág. 64). Australia: CSIRO.
- KANOWSKI P., MURRAY H. 2002. Intensively Managed Planted Forests Toward best practice. *The Forests Dialogue*, 64 p.
- LOURNETO J.J., BERNHARD-REVERSAT F. 2001. Effect of Exotic Tree Plantation on Plant Diversity and Biological Soil Fertility in the Congo Savanna: with special reference to Eucalypts. En: F. Bernhard-Reversat (ed), *Center for International Forestry Research*, pp. 31-38. Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research.
- LU D., MAUSEL P., BRONDIZIOS E., MORAN, E. 2004. Change detection techniques. *Int. J. Remote Sensing*: 2365-2407.
- MINISTERIO DE AGROINDUSTRIA. Superficies forestadas en la República Argentina por Provincia y Grupo de Especies. [en línea]: [Última consulta: 1 de julio de 2016] Disponible en: <http://forestindustria.magyp.gob.ar/backup2/index.php?seccion=informacion>
- NOSETTO M.D., JOBBÁGY E.G., PARUELO J.M. 2005. Land use change and water losses. The case of grassland afforestation across a soil textural gradient in Central Argentina. *Global Change Biology*: 1101-1117.
- QUANTUM GIS DEVELOPMENT TEAM. 2015. Quantum GIS Geographic Information System. Quantum GIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project.
- TURNER J., LAMBERT M. 1996. Nutrient Cycling of Forest Management. En: Attiwill P.M., Adams M. A. (eds). *Nutrition of Eucalyptus*. pp. 229-248. Australia: CSIRO.
- USGS Earth Resources Observation and Science (EROS) Center Science Processing Architecture (ESPA) On Demand Interface. [en línea]: [Última consulta: 21 de marzo de 2016] Disponible en: <http://espa.cr.usgs.gov/>