

RELACIÓN ENTRE LA LOCALIZACIÓN DE PLANTACIONES DE *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden Y LA APTITUD DE LOS SUELOS, EN COLÓN, PROVINCIA DE ENTRE RÍOS

Miriam Presutti¹
Marcelo Arturi¹
Juan F. Goya¹

¹Laboratorio de Investigación de Sistemas Ecológicos y Ambientales, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata. Diag.113 esq 61 N° 469 Piso 2 (1900) La Plata, Buenos Aires, Argentina. presutti@agro.unlp.edu.ar

SUMMARY

The land use capacity influences the historic processes of land use change. In a process of expansion of a given land use activity, more suitable sites are more likely to be affected. Changes in the forested areas due to the expansion of *E. Grandis* plantation was here studied from 1985 to 2008 in Colon, Entre Ríos Province, Argentina. The forested area for different classes of land use capacity was determined for 1985 and 2008 from satellite images. Proportions of planted area located in each land use capacity class were not the same for the two dates. Most of the planted area was on the more suitable soils in 1985. However, a greater increase (1985-2008) was observed for classes that were not optimum. Since rentability of *E. Grandis* plantation remained constant, optimal soils are probably being used for a more rentable activity.

Key words: Landsat, CBERS-2B, soils, productivity index

RESUMEN

La aptitud de uso de la tierra es uno de los factores que incide en los procesos históricos de cambio en el uso de la tierra. Frente a la expansión de una determinada forma de uso de la tierra, los sitios más aptos presentan mayores probabilidades de transformación. En este trabajo se analizan los cambios producidos en los últimos 23 años en la superficie forestal debidos a la expansión de las plantaciones de *E. grandis* en el departamento Colón a través del análisis de imágenes satelitales y su relación con la aptitud de los suelos. Los resultados alcanzados indican que la mayor expansión se produjo en suelos categorizados como “aptos” y “poco aptos” para la actividad forestal y, concomitantemente, un reducido aumento de plantaciones sobre suelos “muy aptos”. Probablemente, los suelos mas óptimos sean usados para actividades mas rentables, ya que la rentabilidad de las plantaciones de eucaliptos permaneció constante.

Palabras clave: Landsat, CBERS-2B, suelos, índice de productividad

INTRODUCCIÓN

El uso de la tierra produce cambios en la vegetación y en los suelos, puede afectar procesos como la circulación de agua y nutrientes así como modificar regímenes de disturbios (FORMAN Y GODRON, 1986, TURNER, 1989). La expresión espacial de esos cambios puede describirse mediante la estructura del paisaje. Los cambios de la estructura del paisaje,

además de condicionar procesos como los mencionados, inciden sobre los movimientos de fauna y la dispersión de especies vegetales (MURCIA, 1995). El análisis de esos cambios constituye un elemento importante en el desarrollo de estrategias de manejo y conservación (FORMAN Y GODRON, 1986, MURCIA, 1995).

Los procesos históricos de cambio de uso de la tierra determinan tendencias de transformación que dependen de diferentes factores. Entre ellos, la aptitud de uso de la tierra es uno de los que incide en la probabilidad de cambio de un sitio dado. Frente a la expansión de una determinada forma de uso de la tierra, los sitios más aptos presentan mayores probabilidades de transformación.

En el caso de las plantaciones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden en Entre Ríos, los suelos más aptos, ubicados en posiciones altas del paisaje, fueron los primeros en ser utilizados. En consecuencia las plantaciones se encuentran concentradas en los mejores suelos.

El precio del producto obtenido incide en la rentabilidad del sistema y puede determinar límites en el proceso de expansión de una actividad en aquellas áreas que no presenten la productividad requerida por los requerimientos financieros. De esta manera, los cambios de precio, suelen producir cambios en las áreas dedicadas a una determinada forma de uso de la tierra. Otras causas de los cambios en la expresión espacial de una actividad económica están relacionadas con cambios tecnológicos que pueden habilitar áreas que previamente resultaban inviables para la actividad. Ambos tipos de causas podrían haber determinado cambios en la estructura del paisaje debidos a las plantaciones con *E. grandis* en la zona de estudio.

Una de las técnicas que permiten cuantificar esos cambios son las basadas en datos satelitales multiespectrales, que han demostrado su potencial en la detección, identificación y mapeo de los mismos en regiones extensas. Actualmente, en el mercado mundial de imágenes satelitales existe una amplia gama de productos, con diferentes resoluciones espaciales, espectrales, temporales y radiométricas que permiten al usuario elegir el dato que mejor convenga a su aplicación, evaluando costos y beneficios, ventajas y desventajas.

Una de estas opciones es el CBERS-2B (*China-Brazil Earth Resources Satellite*) desarrollado entre INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) y CAST (Chinese Academy of Space Technology), que fue lanzado al espacio el 19 de Setiembre de 2007.

El CBERS-2B, igual que el CBERS-2, tiene tres conjuntos de sensores con propiedades individuales que los hacen adecuados para cada categoría de aplicación, ellos son: CCD (Charge Coupled Device High Resolution Imaging Camera), IRMSS (Infrared Multispectral Scanner) y WFI (Wide Field Imager).

Varios autores han analizado las ventajas de la mejor resolución espacial (20 m) del CBERS-2 para su aplicación en el monitoreo agrícola (BINGFANG et al, 2004), (CAMARIGO et al, 2004), en el mapeo de zonas citrícolas (PAYACAN CASTILLO y FORMAGGIO, 2005) y forestales (PRESUTTI Y ARTURI, 2007)

En este trabajo se analizan los cambios en la estructura del paisaje debidos a la expansión de las plantaciones de *E. grandis* en el departamento Colón, provincia de Entre Ríos a través del análisis de imágenes satelitales y su relación con la aptitud de los suelos, derivadas del índice de productividad forestal. Se analizó la proporción de áreas plantadas con *E. grandis* en las diferentes clases de aptitud del suelo para esa actividad en 1985 y 2008.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología aplicada en este trabajo consistió en el análisis cuantitativo de dos imágenes satelitales adquiridas por dos sensores diferentes separadas por 23 años entre una toma y otra. Una de las imágenes corresponde al sensor TM del Landsat 5 adquirida el 10 de

junio de 1985 (Path y Row 225-82) y la otra fue tomada por el sensor CCD del satélite CBERS 2B el día 8 de enero de 2008.

El análisis consistió en la digitalización en pantalla de los polígonos correspondientes a plantaciones adultas en pie de eucaliptos en cada imagen individualmente. La composición color usada para Landsat fue 4,5,3 (NIR, infrarrojo medio y rojo) mientras que para CBERS-2B fue de 4,2,3 (NIR, verde y rojo) ya que este sensor carece de la banda en el infrarrojo medio (SWIR). La cámara de alta resolución CCD del CBERS-2B, con una resolución espacial de 20m, tiene 3 bandas localizadas en la región del visible y del infrarrojo cercano, prácticamente en la misma región que el TM del Landsat. Las plantaciones fueron identificadas muy claramente, sobre todo en la imagen de invierno, utilizando para ello la textura que presentan y la sombra que proyectan hacia el oeste.

Por otra parte, fueron digitalizadas las unidades cartográficas de suelos correspondientes a la Carta de Suelos de la República Argentina, departamento Colón, elaboradas por el INTA, EEA Paraná. De este modo se generaron un total de 320 polígonos distribuidos en 24 unidades cartográficas de suelos mas otras unidades misceláneas (zonas urbanas, bañados e islas, arroyos, parque nacional). Una vez que se obtuvieron estos polígonos se les adjuntó una tabla con los atributos de cada unidad cartográfica. En este trabajo se eligió el atributo correspondiente al Índice de productividad forestal específica para eucaliptos, asignándose a cada unidad una de las siguientes categorías: *Muy Apto*, *Apto*, *Poco Apto*, *Marginalmente Apto* o *No Apto*.

Finalmente, en un entorno SIG, se procedió a integrar los datos satelitales y edáficos, calculándose la superficie ocupada por plantaciones adultas en cada aptitud de uso forestal en cada una de las fechas analizadas. Se evaluó mediante una prueba de Chi-Cuadrado si las proporciones de áreas plantadas en cada clase de aptitud forestal fueron las mismas en los dos momentos analizados o si, por el contrario, las condiciones de rentabilidad de la actividad en relación con otras actividades productivas provocó cambios en esas proporciones. El análisis se realizó para una tabla de contingencia con cuatro filas (clases de aptitud forestal) y dos columnas (años analizados). Se calcularon los residuos de la tabla como la diferencia entre las áreas observadas y las esperadas para una distribución en iguales proporciones entre años. Se identificaron para cada año las celdas en las cuales se produjeron los residuos positivos (mayor área que la esperada para iguales proporciones).

Descripción de los datos de suelos

Sobre el total de 320 polígonos, unos 45 son considerados **muy aptos** para el cultivo de eucaliptos, que corresponden a cuatro asociaciones de suelos: Mandisoví III, Los Charrúas, Mandisoví II y Puerto Yerúa II, con Índices de productividad para eucaliptos de 64, 62, 60 y 58 respectivamente. Las series de suelos que componen estas unidades son Mandisoví y Puerto Yerúa, clasificados taxonómicamente como Molisol e Inceptisol, ambos con texturas franco gruesa. Las limitantes encontradas en estos suelos son debido a la fertilidad reducida.

Los **suelos aptos**, están distribuidos en 58 polígonos correspondientes a 4 unidades cartográficas: Campo Nuevo, Hocker, Yuquerí Grande y Palmarito, cuyos Índices de productividad son 56, 55, 50 y 26 respectivamente. Clasificados taxonómicamente como Vertisol, Entisol y Molisoles, de textura fina. Las limitantes mas corrientes en estos suelos son presencia de un horizonte B2t, encharcamiento temporario y fertilidad reducida.

Los suelos **poco aptos**, que ocupan la mayor parte de la superficie del departamento, son 141 polígonos distribuidos en 8 unidades cartográficas (6 asociaciones y dos complejos) donde los suelos predominantes corresponden a Vertisoles y Molisoles de la familia fina y montmorillonítica. Los índices de productividad van desde 22 a 48, siendo las limitantes prin-

cipales un horizonte superficial arcilloso, drenaje, encharcamiento, inundaciones y heterogeneidad.

En cuanto a la superficie ocupada en relación a la superficie total del departamento (270.705 ha) el 45 % corresponde a suelos poco aptos, 25.1% a aptos y 17.5% del total a muy aptos, el restante 12.3% corresponde a áreas marginales o no aptas para el cultivo del eucalipto y áreas misceláneas (urbanas o bañados e islas). Estos datos se muestran en la Tabla 1 mientras que en la Figura 1 se observa su distribución en el departamento.

Tabla 1: Superficie de los suelos en el departamento Colón según aptitud de uso forestal específica para eucaliptos.

Table 1: Area of soils by suitability for forest use specifically eucalyptus in Colon department.

Productividad	Superficie (ha)	Número de polígonos
Áreas misceláneas	17.725,45	60
Muy Apto	47.240,45	45
Apto	67.944,99	58
Poco Apto	121.985,85	141
Marginalmente Apto	13.347,80	13
No Apto	2.460,94	3
Total	270.705,48	320

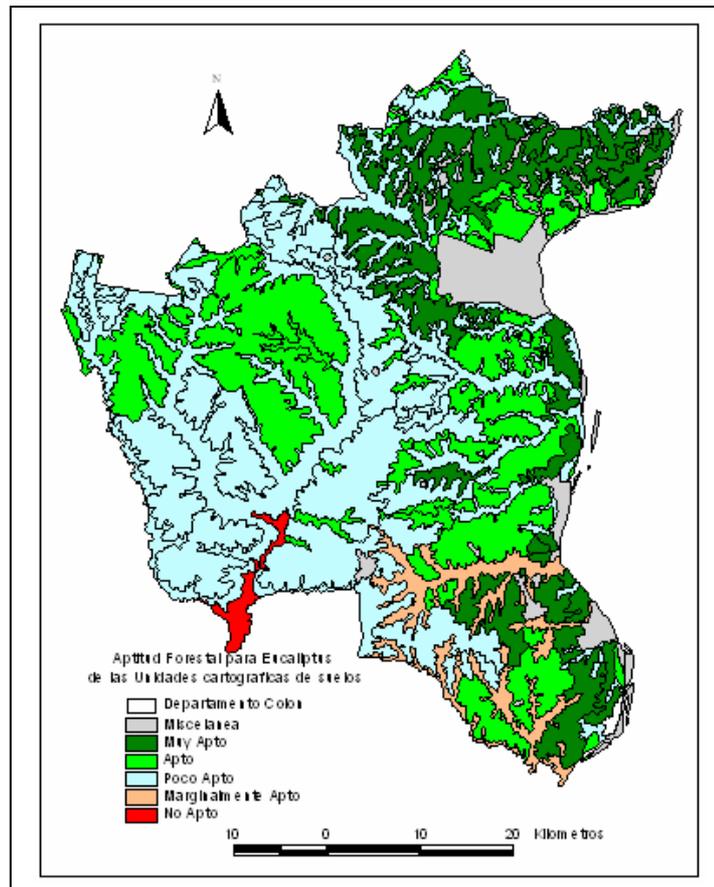


Figura 1: Unidades cartográficas del departamento Colón y su aptitud forestal específica para eucalipto, en función de sus índices de productividad.

Figure 1: Cartographic units and its suitability for eucalyptus, according to its productivity indexes.

RESULTADOS Y DISCUSION

Al considerar la totalidad de plantaciones adultas en pie relevadas en cada fecha por separado se obtuvo una extensión de 10.486 ha en junio de 1985 mientras que en enero de 2008 la superficie total es de 19.087 ha. Estos datos arrojan un 82% de aumento general de la superficie plantada en el lapso de los 23 años estudiados. El mayor porcentaje de incremento se observó en los suelos categorizados como “aptos”, con 114% de incremento en la superficie actual respecto de la plantada en 1985, en segundo término se ubicaron los suelos “poco aptos” con un 93% mientras que los suelos “muy aptos”, si bien hubo aumento, este fue menor a los dos anteriores. (Tabla 2). Otros estudios llevados a cabo en la región arrojan otros resultados respecto de la superficie forestada en el departamento Colón, por ejemplo, DÍAZ Y TESÓN (2002) reportan 26.379 ha distribuidas en 178 unidades de manejo forestal, donde se incluyen *Eucalyptus spp.* y *Pinus spp.*; GLADE (2001) 22.321 ha de *Eucalyptus grandis* y BRIZUELA (2004) registra 26.963 ha de plantaciones en pie para el Verano 2003, de las cuales 24.440 ha son de *E. grandis* y 2.523 ha de *E. globulus*. Las diferencias observadas con estos estudios pueden deberse a que en este caso el énfasis fue puesto solamente en las plantaciones adultas en pie y no en aquellas superficies que han sido cosechadas aunque el manejo de los rebrotes sí gan sumando superficie forestal.

Tabla 2: Superficie en ha ocupada por plantaciones adultas según aptitud de suelos para cada fecha estudiada.

Table 2: Area in ha of adult plantations according to soil aptitude, in each studied date

Aptitud de suelos/ Fechas	1985	2008	% de diferencia
Misceláneas	397,71	820,53	106,31
Muy Apto	5462,01	8751,24	60,22
Apto	2997	6434,73	114,71
Poco Apto	1509,03	2917,71	93,35
Marginalmente Apto	122,94	155,43	26,43
	10488,69	19079,64	81,91

Con el fin de determinar donde fueron localizadas las nuevas plantaciones, se analizaron en conjunto los polígonos correspondientes a las plantaciones existentes en ambas fechas, resultando que 6.138 ha son comunes en ambas, es decir, estaban plantadas tanto en el 1985 como en el 2008, 4.325 ha fueron cortadas entre ambas fechas (consideradas actualmente como rebrotes), mientras que 12.940 ha son plantaciones que aparecen solo en la última fecha. La localización general de estos tres estados de las plantaciones se muestra en el mapa de la Figura 2 y las superficies que ocupan distribuidas según aptitud de los suelos en la Tabla 3.

En cuanto a las plantaciones en pie que aparecen en ambas fechas en el mismo sitio, se discriminó si se trataba de la misma plantación o del rebrote de cortas anteriores haya crecido lo suficiente como para que en el año 2008 sea otra vez una plantación adulta. Por otra parte, las plantaciones presentes en al año 1985 y no en el 2008, serían aquellos lotes donde actualmente se están manejando los rebrotes pero no se detectan como plantaciones adultas y finalmente las plantaciones nuevas son las que no estaban en el 1985 y si en la última fecha.

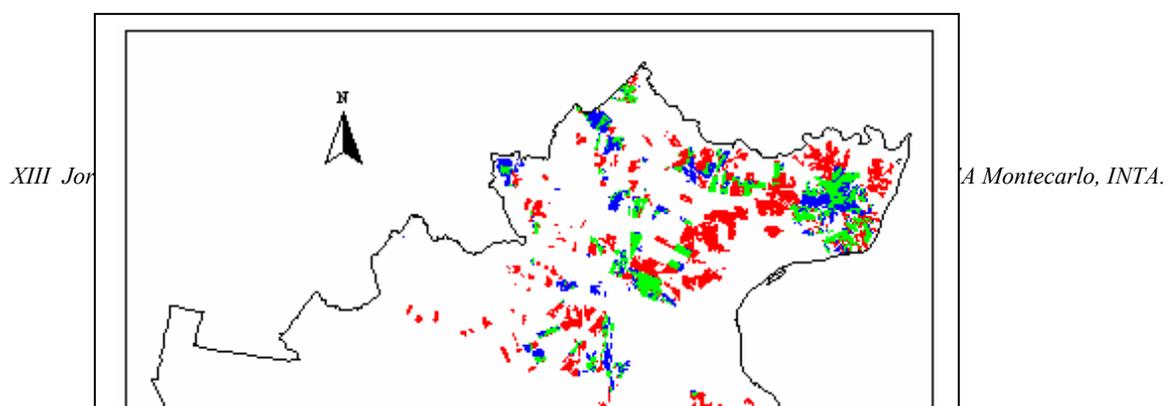


Figura 2: Localización general de las plantaciones adultas de eucaliptos en el departamento Colón para las dos fechas relevadas.

Figure 2 : General location of adult plantation of eucalyptus in both studied dates

Tabla 3: Superficies en ha ocupadas por las plantaciones según aptitud de uso
Table 3: Area in ha occupied by plantations by land use capacity

PLANTACION	Misceláneas	Muy Apto	Apto	Poco Apto	Marg. Apto	Total
Presente en ambas fechas	246,96	3146,13	1905,21	778,50	61,38	6138,18
Presentes solo en 2008 (Nuevas)	581,40	5591,61	4527,81	2143,80	95,40	12940,02
Presentes solo en 1985 (Rebrotes)	150,75	2315,16	1081,17	718,38	61,56	4327,02
Total						23405,22

La superficie total con plantaciones de eucaliptos es de 23.405 ha, de las cuales 12.940 ha son efectivamente nuevas plantaciones realizadas a partir de 1985 (Tabla 3). Ahora bien, considerando solamente estas nuevas plantaciones el 43% de ellas se realizaron en los mejores suelos (“muy aptos”), el 35% en “aptos” y 16% en suelos “porco aptos”. Pero teniendo en cuenta la superficie plantada en 1985, los incrementos fueron de 102% en suelos “muy aptos”, 150% en “aptos”, 143% en “poco aptos” y 77% en suelos considerados “marginalmente

aptos”. El cambio de área plantada analizado por clases de aptitud indicó que si bien hubo un aumento en todas las clases, la proporción representada por cada clase no fue igual en ambas fechas (Tabla 4). En 1985 se observó una mayor proporción que la esperada en las tierras muy aptas y en menor medida en las tierras marginalmente aptas. En 2008 los residuos positivos se observaron en las tierras aptas y poco aptas. Estos resultados indicaron que aumentó la proporción representada por las plantaciones en tierras aptas y poco aptas.

Tabla 4: Diferencia entre el área plantada en cada año y la esperada para una situación de igual proporción de área entre años. Se resaltan los residuos positivos. $\chi^2=121.86$ $df=3$ $p=0.0000$.

Table 4: Difference between planted area in each date and that expected in a situation of equal proportion of areas between years. The positive residues are accentuated. $\chi^2=121.86$ $df=3$ $p=0.0000$.

Clase de aptitud	1985	2008
Muy Apto	399.4	-399.4
Apto	-358.9	358.9
Poco Apto	-64.7	64.7
Marginalmente Apto	24.2	-24.2

Estos resultados indican que si bien las plantaciones forestales se han realizado en sitios donde los índices de productividad forestal para eucaliptos son altos, el incremento en el área es aun mayor en suelos menos productivos. Si consideramos que la superficie total de suelos muy productivos es de 47.240 ha y la superficie actualmente plantada en esos suelos es de 8.750 ha, quedarían suelos “muy aptos” sin ser ocupados por plantaciones forestales, esto se debe a que son dedicados a otras actividades probablemente mas rentables.

CONCLUSIÓN

El análisis cuantitativo de imágenes satelitales mediante interpretación visual puede realizarse en forma rápida y confiable con el fin de realizar actualización de los recursos forestales implantados en una región determinada.

Del análisis realizado surge que en el departamento Colón, provincia de Entre Ríos, existen en 2008 tierras muy aptas que no están ocupadas por plantaciones de *E. grandis* y dado que la rentabilidad de la actividad no disminuyó se concluye que la disminución de la proporción de esas tierras ocupadas por plantaciones se debe a que están siendo dedicadas a actividades productivas más rentables.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) por la provisión de las imágenes satelitales utilizadas a través de su sitio en Internet (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>).

BIBLIOGRAFIA

- BINGFANG Wu, Wenbo Xu, Yong Zhang, Yichen Tian, Jianxi Huang. 2004. Evaluation of CBERS-2 CCD Data for Agricultural Monitoring. 0-7803-8742-2/04 IEEE. 4025-4027.
- BRIZUELA, A.B., Milera S. y Mestres, J. 2004. Plantaciones de Eucaliptos y Pinos en los departamentos del este de Entre Ríos INSUGEO 12: 153 – 160.

- CAMARGO ARCE, E., Rudorff, B., Sugawara Berka L., Carrasco Pereira P. 2005. Imágenes Landsat y CBERS en la identificación del uso del suelo con cultivos agrícolas. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, INPE, p. 41-48.
- DIAZ, D.E. y Tesón, N. 2002. Unidades de Manejo Forestal en los Departamentos Federación, Concordia y Colón, del Nordeste de Entre Ríos. INTA E.E.A. Concordia Centro Regional Entre Ríos
- FORMAN, R.T. T. y Godron, M.. 1986. Landscape Ecology. John Wiley New York. 619 pp.
- GLADE, J. 2001. Proyección de la Oferta y Demanda de Madera rolliza en el Nordeste de Entre Ríos y Sudeste de Corrientes 2001-2020. SAGPyA. Proyecto Forestal de Desarrollo. Buenos Aires.
- MURCIA, C. 1995. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. Trends in Ecology & Evolution. 10 (2) : 58 – 62
- PAYACAN CASTILLO, S. , Formaggio A. 2005. Evaluación de datos del satélite CBERS para mapeamiento de áreas cítricas a nivel municipal. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, INPE, p. 865-872.
- PRESUTTI, M. y Arturi M. 2007. Integración de Datos Multisensor y Aplicación de la Técnica de Rotación Radiométrica en el Monitoreo de Plantaciones Forestales. XII Congreso de la Asociación Española de Teledetección. Mar del Plata, Argentina. Actas CD 21 – 24
- TURNER, M.G. 1989. Landscape Ecology: The Effect of Pattern on Process. Annual Review of Ecology and Systematics 20 : 171 – 197