

Monitoreo histórico de los desmontes en áreas de bosque nativo de la Provincia de Entre Ríos, Argentina

Francisco Darío Maldonado¹
Estela Elizabeth Rodriguez¹
Pablo Gilberto Aceñolaza^{1,3}
Walter Fabián Sione^{1,2}

¹ Universidad Autónoma de Entre Ríos – UADER/CEREGEO
CP E3100 - Oro Verde - Entre Ríos, Argentina
{francisco.dario.maldonado, estela.r82, acenolaza, wsione}@gmail.com

² Universidad Nacional de Luján – PRODITEL
CP E6700 - Luján - Buenos Aires, Argentina

³ Comisión Nacional de Investigaciones Científicas - CONICET/CICTTP
CP E3105 – Diamante - Entre Ríos, Argentina

Abstract. The objective of this study was the historical monitoring of forest clearance in the region of the "Espinal" (thorn forest) in northeastern of Entre Ríos Province. Monitoring changes in land use and cover is needed for government policies of conservation and management of natural resources. The study area was the northern of Entre Ríos province. The typical vegetation is Espinal thorn forest, subjected to selective logging for extensive livestock ranching and now subjected to agriculture too. The methodology use Landsat imagery and change detection technique to form a package with spectral bands and a band of intensity of changes. On this package we applied the technique "Image segmentation by region growing with manual seeding". Then, the thematic aggregation based on visual interpretation was made. Finally, the map of historical clearance was obtained by Boolean operations between annual thematic masks. The segmentation of images combined with successive masking achieved good results for historical monitoring of forest clearing.

Palabras-chave: remote sensing, image processing, sensoriamento remoto, monitoring, forest.

1. Introducción

En las últimas décadas, con el aumento de la intensidad de la actividad agropecuaria, se ha iniciado una acelerada actividad de desmontes sobre ambientes de vegetación nativa, ocupando esos espacios con cultivos o pasturas implantadas para la producción intensiva, según Conte (2010). Antiguamente, la modalidad de uso de la tierra asociada a la actividad agropecuaria en bosque nativo permitía la coexistencia de áreas de bosques naturales e uso pastoril sustentable. Actualmente, la forma de uso de las tierras trajo aparejada un incremento de las tasas de desmonte en todos los ambientes sin considerar su valor para la conservación de los recursos naturales, según Valenzuela (2001) y Salusso (2008).

En la Provincia de Entre Ríos el principal instrumento para la conservación de las áreas naturales y regulación de la expansión de la frontera agrícola es la Ley 26.331 de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos del Gobierno de la Nación argentina (2007). Para la aplicación de estos instrumentos legales y la adopción de política gubernamentales de manejo y conservación de los recursos, es necesario el monitoreo del territorio, actual e histórico, de los cambios de uso y cobertura de las tierras. Para apoyar la toma de decisiones, este sistema de monitoreo debe abarcar amplias áreas y espacios de tiempo para lo que las imágenes satelitales son adecuadas, según Coppin et al. (2004) y Roder et al. (2005).

El monitoreo histórico necesita utilizar información proveniente de fuentes que han evolucionado tecnológicamente con el tiempo. Para minimizar las dificultades que esto ocasiona, el monitoreo puede basarse en el cruzamientos entre mapas de uso y cobertura de

las tierras. Esta técnica es llamada de detección post-clasificación y puede obtener buenos resultados en grandes áreas, según Mas (1999) y Rogan et al (2002). Sin embargo, para el monitoreo de largos periodos de tiempo, las metodologías post-clasificación propagan los errores asociados con cada mapa. Esos errores pueden mantenerse con valores aceptables, mediante la generación de mapas específicos con pocas clases y en base a la creación de sucesivas máscaras, según Khorram (1999).

En el área de interés otra dificultad para el monitoreo es la irregularidad de la adquisición de imágenes útiles durante la época seca, trimestre julio, agosto y septiembre. En este trimestre la disponibilidad mensual de imágenes alcanza valores bajos del 25% y en algunos años no hay imágenes disponibles, según Maldonado (en prensa). Lo que muchas veces obliga a utilizar cualquier imagen disponible en el año, tomando las precauciones necesarias. Esta irregularidad en la disponibilidad de imágenes ópticas debe ser considerada en el diseño de un sistema operacional de monitoreo del bosque nativo.

En este contexto, el objetivo de este trabajo fue realizar el monitoreo interanual de los desmontes desde el año 1980 a la actualidad, utilizando una metodología resistente a los cambios tecnológicos y a la irregularidad de la adquisición de imágenes en la región.

2. Metodología del Trabajo

2.1 Área de estudio

El área de estudio se limita a una faja este oeste de 5000km², entre los Departamentos Federal, La Paz, Federación y Concordia, con centro aproximado a los 31° 00' de latitud Sur y 59° 00' de longitud Oeste, al norte de la Provincia de Entre Ríos en la Región Mesopotámica de la Argentina (Figura 1).

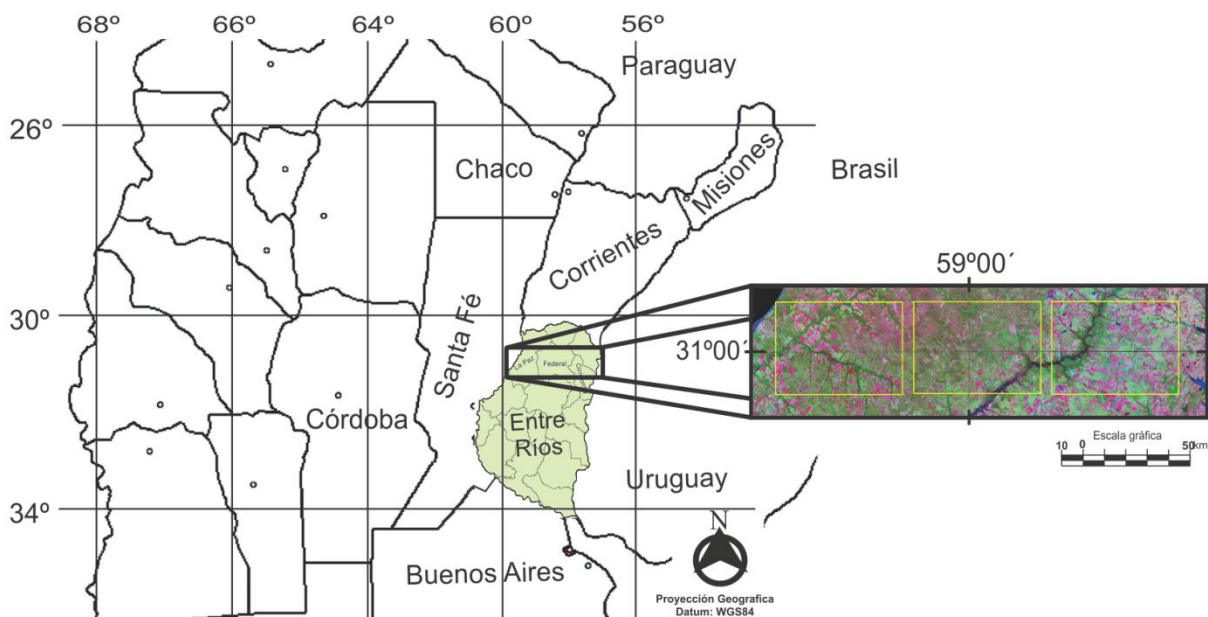


Figura 1. Localización del Área de estudio, Departamentos Federa, La Paz y Concordia, Provincia de Entre Ríos, Argentina.

La vegetación nativa en el área es la típica formación arbórea del Espinal entrerriano sometido a la actividad ganadera extensiva, este tipo fisonómico es también conocido como Bosque xerófito del Montiel, Provincia Fitogeográfica del Espinal, Cabrera (1971). El paisaje regional, en las últimas décadas, viene siendo transformado por desmontes para uso agropecuario y agroforestal. La precipitación media anual es de 1300 mm con temperaturas medias anuales de 19°C. Los suelos del Departamento son principalmente de los tipos Alfisoles, Vertisoles y Molisoles. El relieve es suave ondulado y las principales características

geomorfológicas de la región han sido formadas por el Arrollo Feliciano y Gualaguay, según Plan mapa de suelos de la Provincia de Entre Ríos (1984). La actividad económica es principalmente la ganadería de bovinos y en menor medida caprinos, llegando aproximadamente a 300000 cabezas de ganado en el norte provincial, según Ministerio de Economía, Hacienda y Finanzas (2012). En la Figura 2 se muestra el aspecto de algunos desmontes para implantación de pasturas y de cultivos.

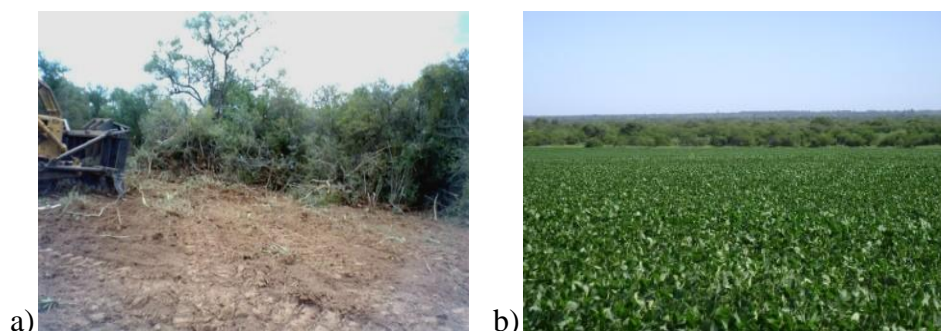


Figura 2. Desmonte y limpieza del terreno (a) y área desmontada cultivada con soja (b).

En la región estudiada es frecuente el uso del fuego para la limpieza de los lotes, lo que produce gran diferencia entre las áreas desmontadas con estas prácticas y con maquinaria, dejando indicadores de este uso. Estos incendios pueden propagarse a áreas naturales adyacentes aumentando la extensión de las alteraciones.

2.2 Metodología

En la metodología se utilizaron numerosas imágenes Landsat TM y Landsat MSS correspondientes a las orbitas 225 a 226 y puntos 081 a 082 de Landsat 5 correspondientes a 16 fechas disponibles en la base del Catálogo de Imágenes INPE. El software usado fue Quantum GIS 1.6 versión Copiapó y Matlab R12. A continuación en la Figura 3, se muestra el diagrama de flujo de la metodología.

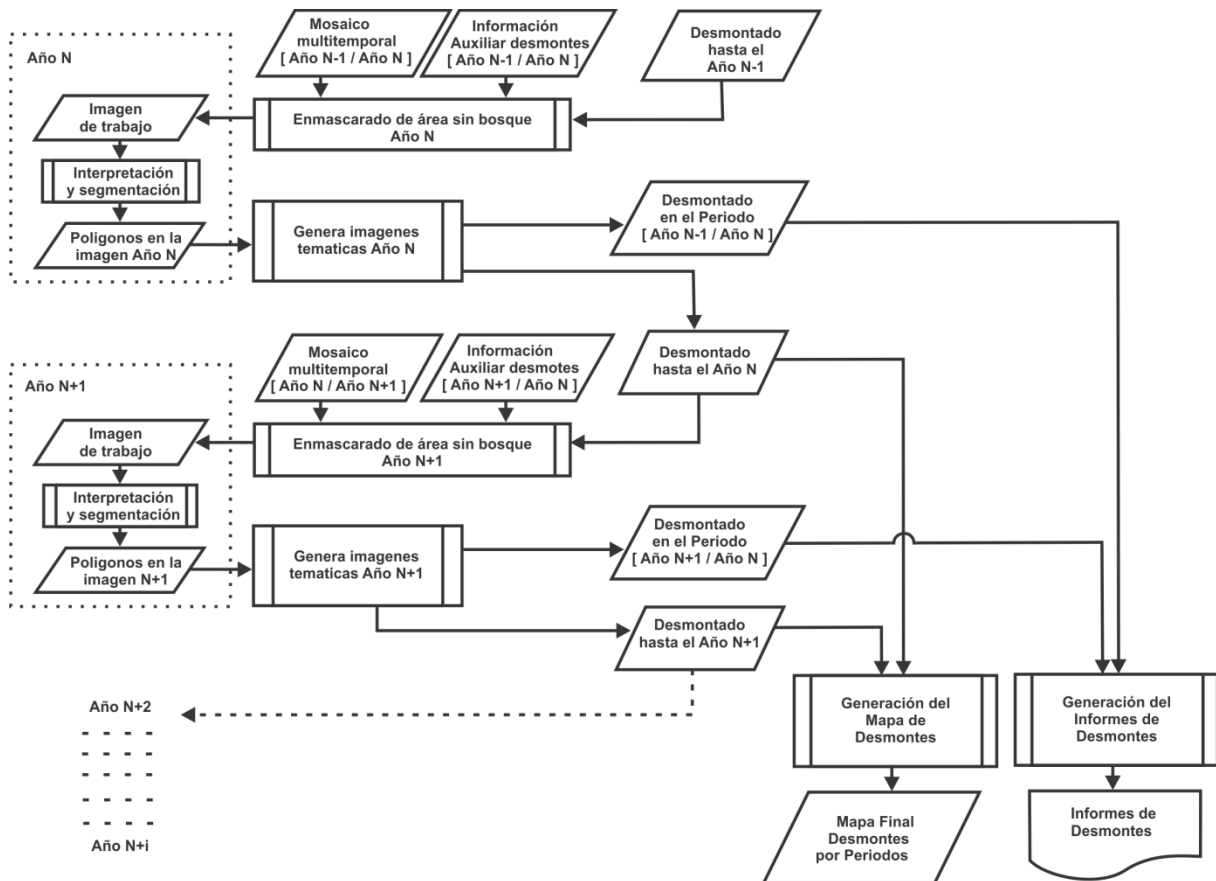


Figura 3. Diagrama de flujo de la metodología de monitoreo.

En la primera fase de la metodología se definió al área de trabajo en las imágenes, delimitando una faja de 160x50km para el procesamiento y detección de cambios. Dentro de esta faja fueron definidos tres rectángulos de igual superficie (1600km²), representativos de las regiones Este, Centro y Oeste, para el análisis. Las imágenes correspondientes fueron corregistradas con precisión menor a 1/3 de un píxel, mínima precisión necesaria para una adecuada aplicación de las técnicas de detección de cambios.

Los "Mosaicos multitemporales" usados para cada período son paquete de bandas espectrales (rojo, infrarrojo cercano y medio) y una banda intensidad del cambio entre las fechas considerada y la anterior disponible, obtenida según Maldonado et al. (2007) y Frau et al. (2010). La "Información Auxiliar" proviene de mapas de desmontes generados en años correspondientes al periodo considerado. Esta información, para ser incorporada al sistema, debe tener igual o mayor confiabilidad (espacial y temporal) que la obtenida por la interpretación de las imágenes usadas en el sistema y puede provenir de detecciones parciales en subáreas con imágenes de mayor resolución espacial o de informes georreferenciados de desmontes, entre otras.

El "Enmascarado de áreas sin bosque" se realizó posteriormente a la delimitación de polígonos de nuevas áreas desmontadas. Este generó una máscara de áreas de desmontes detectados en esa imagen, la cual fue agregada a máscaras de años anteriores generando así una máscara de áreas sin bosque o de desmontes hasta ese año.

La "Imagen de trabajo" fue formada por tres bandas espectrales, rojo, infrarrojo cercano y medio y una banda de intensidad del cambio, esta última obtenida según Maldonado et al. (2007), obteniendo así un paquete multispectral y multitemporal de bandas para la fecha considerada. A este paquete de bandas se le eliminó la información correspondiente a las

áreas sin bosque nativo mediante la máscara de los desmontes detectados hasta el período anterior.

El proceso "Interpretación y Segmentación" articuló las técnicas de Interpretación visual de los desmontes y Segmentación por crecimiento de regiones con semillado manual, según Adams e Bischof (1994), Chang e Li (1994), Feranec (1999), Valenzuela et al. (2008), Maldonado et al. (2012) y generó un mapa de polígonos desmontados en la imagen considerada.

La "Generación de Imágenes Temáticas para el año considerado" consistió en la generación de un mapa de desmontes y de una máscara, ambos realizados con operaciones booleanas entre polígonos de desmontes y enmascarado hasta el periodo anterior. Esta forma de generación del mapa permitió agrupar periodos y generar distintos tipos de mapas para el análisis.

La "Generación del Mapa de desmontes final" consistió en la obtención de un mapa de desmontes por periodo, mediante operaciones booleanas entre las mascararas de los desmontes de los periodos desde N-1 hasta N+i, realizando sucesivas cruzamientos entre mascararas de periodos consecutivos para obtener las clases consideradas.

La "Generación de Informes" para el área estudiada fue dividida en tres subáreas iguales de 1700km² cada una. Las áreas Este, próxima al Río Uruguay, y Oeste corresponden a regiones con mayor actividad agrícola, mientras que el área Centro corresponde a una de las regiones más despobladas de la Provincia y cuya principal actividad económica es la agropecuaria extensiva desarrolladas en áreas de bosque nativo. Los informes finales y análisis de los desmontes son referidos a estas tres áreas de la Provincia.

3. Resultado y discusión

En la Figura 4 se presentan los resultados de las tres áreas monitoreadas superpuestas a una subimágen del Mosaico CIRCA 2000.

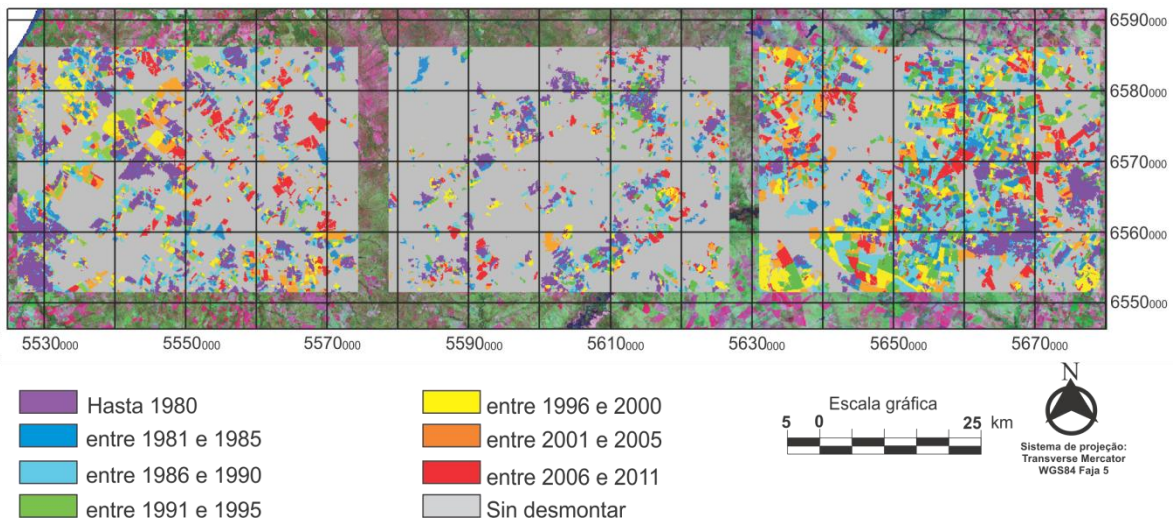


Figura 4. Mapa Final de desmontes por periodo, superpuesto a la imagen RGB. En colores rojo, naranja y amarillo, los desmontes más recientes.

En la imagen de la Figura 4 se observa que las áreas presentan diferentes patrones de ocupación. El área Oeste muestra mayor ocupación en los periodos recientes con polígonos regulares de gran tamaño asociados a las principales vías de comunicación. El área Centro presenta un patrón de ocupación agrupado, de pequeños polígonos sobre una matriz extensa de superficie sin desmontar. El área Este presenta un patrón de ocupación amplio y continuo

de polígonos regulares de tamaño medio en la década del 90 y grandes en la última década. Dentro de este patrón se observa una matriz continua de superficie sin desmontar asociada a la red de drenaje principal del Río Gualeguay. Comparativamente el área Este es la de mayor ocupación y en esta predominan los polígonos de finales de la década del 90.

Tabla 1. Detalle cuantitativo de las superficies desmontadas en el Mapa final de desmontes.

Periodo del monitoreo	Área [Ha]		
	Centro	Oeste	Este
Hasta 1980	104821	179419	164852
1981-1985	42499	74948	105628
1986-1990	42416	85828	228701
1991-1995	37138	52590	117174
1996-2000	26064	73342	125280
2001-2005	27413	75514	114728
2006-2011	33973	72379	118723
Sin desmontar	1355113	1055415	694352
Total	1669437	1669433	1669437

En Tabla 1 se muestra el detalle cuantitativo del diagrama de barras de los cambios en las superficies desmontadas durante los periodos monitoreados. Las superficies desmontadas en el área Centro son menores a las superficies desmontadas en el área Oeste y Norte. En la figura siguiente se muestra en forma gráfica la evolución de los desmontes en las tres áreas monitoreadas (Figura 5)

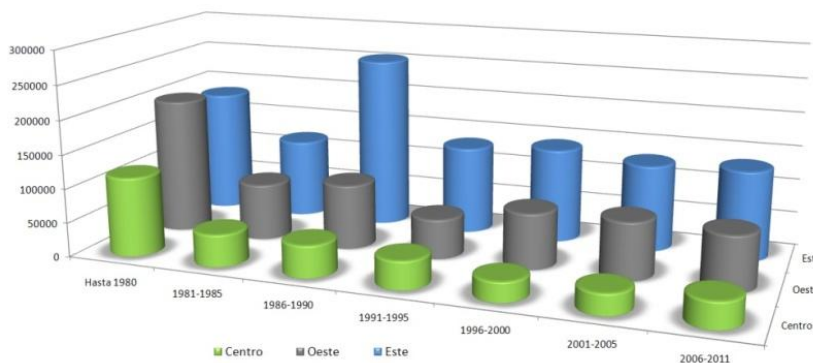


Figura 5. Diagrama comparativo de los resultados del monitoreo histórico. En el diagrama de barras, se muestra en azul la superficie desmontada en el área Este y en gris la desmontada en el área Oeste.

En la Figura 5 se muestra que en la subárea Este (barras celestes) la superficie desmontada para el mismo periodo es siempre mayor que en las otras áreas. Esta área experimentó, a finales de la década del 80 e inicio del 90, un gran incremento de la actividad agroforestal de cultivos desplazados de la región pampeana por el aumento de rentabilidad de la soja desde la década de los 80, según Reboratti (2010). En el área Centro la actividad de desmontes es ligeramente mayor para la década del 80, probablemente debido a que en la región pampeana la rentabilidad sojera superó en ese década a la rentabilidad ganadera, según Soriano (1992) y esto produjo un aumento de la carga animal en zonas ganaderas marginales como en este caso del norte provincial. En el área Oeste la actividad de desmontes se ha mantenido aproximadamente similar durante todo el periodo considerado.

4. Conclusiones y recomendaciones

Podemos concluir que a finales de la década del 80 e inicio del 90, se produjo un incremento de los desmontes en las tres áreas estudiadas, con valores muy altos en la región del este de la Provincia de Entre Ríos y costa del Río Uruguay. Posteriormente el incremento se mantuvo constante con valores medios en las tres áreas. Este incremento puede ser debido al aumento internacional de la rentabilidad del cultivo de la soja experimentado desde la década del 80.

Se puede concluir, también, que el monitoreo histórico de áreas de bosque nativo con imágenes adquiridas en diferentes condiciones tecnológicas, estacionales y de iluminación, puede ser realizado obteniendo resultados aceptables usando una metodología que articula enmascaramiento sucesivo y segmentación por crecimiento de regiones con semillado manual, como la presentada en este trabajo.

Se recomienda el diseño de un sistema de monitoreo con la capacidad de incorporar nuevas áreas considerando la dinámica de la vegetación y la restauración natural producida en campos abandonados. También, se recomienda estudiar la mejor forma de minimizar la propagación de errores en el sistema de monitoreo. Posiblemente sometiendo el sistema a una auditoria periódica de las máscaras, en base a criterios de cambios no representativos o residuales.

Agradecimientos

Proyectos PIDP/UADER, ACTIER. Proyecto BID2180/OC AR PICT-2008 Agencia. Dirección de Ambiente del Gobierno de la Provincia de Entre Ríos.

Referencias Bibliográficas

- Adams, R.; Bischof, L. Seeded Region Growing. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v.16, n.6, p.641-647, 1994.
- Cabrera, A. L. Fitogeografía de la República Argentina. **Boletín Sociedad Argentina de Botánica**, v.14, p.1-42, 1971.
- Chang, Y. L.; Li, X. Adaptive Image Region-Growing. **IEEE Transaction on Image Processing**, v.3, n.6, p.868-872, 1994.
- Conte, A.S.; Etchepareborda, M.; Marino, M.; Róvere, F.V. **Oleaginización de la agricultura argentina**. La Argentina en mapas. Evolución de la agricultura, 2010.
<http://www.laargentinaenmapas.com.ar/caste/docu/oleaginizacion_de_la_agricultura_argentina.pdf> Acceso en: 29 de Octubre 2012.
- Coppin, P. R.; Jonckheere, I.; Nackaerts, K.; Muys, B. ; Lamblin, E. Review Article: Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. **International Journal of Remote Sensing**, v.25, n.9, p.1565-1596, 2004.
- Feranec, J. Interpretation element association: analysis and definition. **JAG**, v. 1, n. 1, p. 64-67, 1999.
- Frau, C. M.; Santos, J. R.; Maldonado, F. D.; Valenzuela, J. G.; Valeriano, M. M.; Rojas, Y. O.; Hernandez, Y. M. Caracterización y monitoreo de paisaje semiárida en la Región del Maule mediante datos satelitales. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.6, p.660-668, 2010.
- Gobierno de la Nación Argentina. Ley N° 26331 de Presupuestos Mínimos de protección ambiental de los Bosques Nativos. **Boletín Oficial de la República Argentina**, n.31595, 2007.
- Korram, S.; Biging, G.S.; Chrisman, N.R.; Colby, D.R.; Congalton, R.G.; Dobson, J.E.; Ferguson, R.L.; Goodchild, M.E.; Jensen, J.R.; Mace, T.H. **Accuracy Assessment of Remote Sensing-Derived Change Detection**. Monograph Series. Maryland: Americam Society for Photogrammetry and Remote Sensing. 1999. 65p.
- Ministerio de Economía, Hacienda y Finanzas. **Informe Provincia de Entre Ríos**.
<<http://www.entrerios.gov.ar/minecon/InformeEconomicoProvinciadeEntreRios.pdf>> Acceso 9 de Agosto 2012.

- Maldonado, F. D.; Santos, J.R.; Graça, P.M.L. Change detection technique based on the radiometric rotation controlled by no-change axis, applied on a semi-arid landscape. **International Journal of Remote Sensing**, v.28, n.8, p.1789-1804, 2007.
- Maldonado, F. D.; Sione, W. F.; Aceñolaza, P.G. Mapeo de desmontes en la Provincia de Entre Ríos. **Ambiência**, v.8, Ed. Especial, p.523-532, 2012.
- Maldonado, F. D.; Quignard, N.; Aceñolaza, P.G.; Sione, W.F.; Aguirre, C. Disponibilidad espacio-temporal de imágenes satelitales libres de nubes para el centro y norte de la República Argentina. **Scientia Interfluvius** (En prensa).
- Mas, J. F. Monitorig land change: a comparison of change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, v.20, n.1, p.139-152, 1999.
- Plan Mapa de Suelos de la Provincia de Entre Ríos. **Suelos y erosión de la Provincia de Entre Ríos**. Serie Relevamiento de Recursos Naturales I. TOMO 1. Paraná: INTA. 109p. 1984.
- Reboratti, C. Un mar de soja: la nueva agricultura en argentina y sus consecuencias. **Revista de Geografía Norte Grande**, n.45, p.63-76, 2010.
- Roder, A.; Kuemmerle, T.; Hill, J. Extension of retrospective datasets using multiple sensors. An approach to radiometric intercalibration of Landsat TM and MSS data. **Remote Sensing of Environment**, v. 95, p. 195-210, 2005.
- Rogan, J.; Franklin, J.; Roberts, D.A. A comparison of methods for monitoring multitemporal vegetation change using Thematic Mapper imagery. **Remote Sensing of Environment**, n.80, n.2, p.143-156, 2002.
- Salusso, M. E. **Regulación Ambiental: Los bosques nativos una visión económica**. Buenos Aires: Universidad de Belgano, 2008. 92p.
- Soriano, A. La agricultura sustentable: su estrecha relación con los conocimientos ecológicos. **INTA Serie Agricultura Sostenible**, n.10, p.1-8, 1992.
- Valenzuela, C. O. La producción agropecuaria en el Nordeste subtropical argentino. Condicionantes y dinámica geográfica en la segunda mitad del Siglo XX. **Estudios Geográficos**, v. 62, n. 242, 2001.
- Valenzuela, J. G.; Frau, C. M.; Rojas, Y. O.; Hernández, Y.M. Detección y cuantificación de área quemada por incendios forestales utilizando geomática. **Ambiência**, v.4, Ed. Especial, p.107-122, 2008.