

## Separación automática de áreas de bosque nativo por aproximación temática a través de la acumulación multitemporal de clases con Índice SAVI bajo.

Francisco Dario Maldonado <sup>1</sup>  
Walter Fabian Sione <sup>1,2</sup>  
Fernando Raúl Tentor <sup>1</sup>  
Pablo Gilberto Aceñolaza <sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de Entre Ríos – UADER/CEREGEO  
Ruta 11 - km 10,5 - Oro Verde - ER, Argentina  
{francisco.dario.maldonado, wsione, ftentor, acenolaza}@uader.edu.ar

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Luján - UNLU/PRODITEL  
Ruta 5 - Lujan - BA , Argentina

<sup>3</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas - CONICET/CICyTTP  
Dr. Matteri s/n - Diamante - ER , Argentina

**Abstract.** The objective of this work was develop an automatic system for discrimination of areas of native forest, agricultural and cattle use without forest. This objective is aimed at the automatic generation of forest mask for input data to an automatic system for change detection and monitoring of native forest, trough successive masking of annual masks of clear cuts. In this work was used a methodological approach based on the separately process of small spatial subsets (administrative districts), that can be processed by simple techniques increasing de accuracy with each methodological interaction. The first simple technique was "Kmean" classification, the second is the SAVI vegetation index, and then, the apply of thematic label to the classes based on the average of SAVI values for the pixels in class and accumulation of occurrences of "SAVI low" in a frequency map. As a result, the class "zero frequency" was labeles as "native forest" for compose the "Map of native forest" and "no forest". The results show two classes with low fragmentation, and the "no forest class" with well defined geometric forms. The "forest class" show little fragmentation, despite the frequency map was the result of one serie of independent thematic transformations.

**Palavras-chave:** remote sensing, change detection, SAVI, sensoriamento remoto, detección de cambios, SAVI.

### 1. Introducción

La discriminación automática de áreas de bosque nativo para el monitoreo continuo de tierras de alto valor agropecuario es actualmente un desarrollo necesario para el uso sustentable de esas tierras. En este paisaje la heterogeneidad ambiental, suelos y cobertura vegetal, presenta un desafío a la automatización, tanto para las técnicas de detección como para las de clasificación y de aplicación de una leyenda temática.

En el grupo de monitoreo del CEREGEO (Centro Regional de Geomática) se desarrolló un sistema manual de detección y monitoreo anual de cambios y un sistema automático de generación de Regiones de Interés (ROI) del territorio provincial, Departamentos, Distritos administrativos y predios. El presente estudio fue precedido por uno de monitoreo histórico manual, el cual en sus recomendaciones remarcó la necesidad de la articulación de varias técnicas para resolver el problema de la heterogeneidad del paisaje y recomendó la disminución del tamaño del *subset* para el buen funcionamiento de las técnicas aplicadas, Maldonado et al. (2013).

Sin embargo, la articulación de técnicas aunque permite resolver situaciones diferentes tipos de monte, coberturas, respuestas espectrales o morfologías, aumenta la complejidad del método y dificulta una posible automatización. En la practica, un sistema operacional automático de detección necesita una fuente de información simple de operar con mínima intervención, algo que actualmente se puede alcanzar mediante el uso de productos de los

sensores OLI (Operative Land Imager) que permiten la automatización de parte del proceso, con la información adjunta en el archivo acompañante Metadata, USGS (2016).

En desarrollos anteriores del CEREGEO para el monitoreo del bosque nativo, fue utilizado un sistema manual con un abordaje simple para la transformación temática, el de “enmascaramiento sucesivo”, generando mascararas periódicas de “no bosque”, Maldonado et al. (2013). De esta forma se obtuvo un sistema operacional simple con buenas posibilidades de automatización, tratando sucesivamente detecciones entre fechas consecutivas, en el que la inicial ya esta enmascarada. Ese sistema todavía presenta el desafío de la propagación de errores y aun no logra resolver adecuadamente el principal problema de la transformación temática, que es la definición de limites entre clases cuando estas son transiciones.

Algunos Índices como el SAVI se han mostrado capaces de acompañar las transiciones en áreas de bosques, Huete e Glenn (2011), mas aun persisten algunas dificultades al definir la radiometría del momento del cambio temático de “bosque” a “no bosque”. Aunque en el caso del desmonte es determinado por una salto abrupto de los valores de los índices de vegetación, Richardson e Wiegand (1977), mas, cuando este ocurre paulatinamente (raleados y entresacas) para establecer pasturas, el momento de cambio temático no es definido claramente y se necesita una combinación de técnicas que lo revelen, Maldonado et al. (2012).

Una aproximación metodológica que articule varias técnicas, aunque mejore la precisión del mapeo, aumenta la complejidad y dificulta la automatización. Sin embargo esta articulación puede hacerse con técnicas simples que aumentan su precisión en cada aplicación multitemporal, como ocurre si consideramos las variaciones de los índices de vegetación donde los bajos valores caracterizan áreas que no son de bosque, como en la Figura 1b.

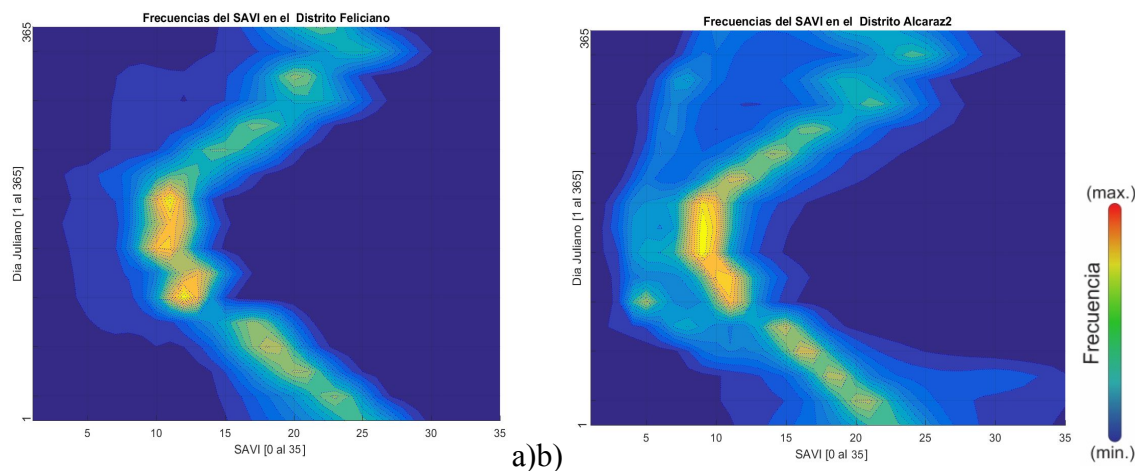


Figura 1. Ciclos estacionales de áreas donde predomina la vegetación natural del Bosque nativo (a) y de áreas donde predomina una mezcla de bosque, agricultura y ganadería (b) en la que se observan periodos con valores abajo de “7” de “no bosque”. Fuentes: Maldonado et al. (2015) y Maldonado et al. (2016).

Como se observa en la Figura 7(a), el ciclo estacional del bosque tiene valores bajos del SAVI, en época invernal, estos valores no son menores de “7”. En la Figura 1(b) se observa un conjunto de pixeles del “Distrito Alcaraz 2”, predominantemente agrícola, que mantiene valores menores de “7”, durante un largo periodo de practicas agrícolas, lo que puede usarse para una definición multitemporal de “no bosque” articulando técnicas simples en una metodología. En el presente trabajo se aborda una aproximación automatizada basada en el tratamiento de *subsets* espaciales pequeños, procesados en iteraciones multitemporales de una clasificación no supervisada “Kmean”, cuya precisión inicialmente es baja, mas, esta mejora a cada iteración en base a la definición multitemporal simple de bosque.

El objetivo de este trabajo es el desarrollo de un sistema de discriminación automática de áreas de bosque nativo de áreas de uso agrícola o agropecuario sin bosque. Este objetivo está orientado a la generación automática continua de máscaras de “bosque nativo” y “no bosque” para alimentar un sistema automático de detección y monitoreo de los desmontes por enmascaramiento sucesivo.

## 2. Metodología de Trabajo

El área de estudio se limita a tres Departamentos de la Provincia de Entre Ríos, los cuales abarcan 15.000 km<sup>2</sup>, entre las latitudes 30° y 31,5° Sur, limitando al oeste con el Río Paraná y al norte con la Provincia de Corrientes (Figura 2).

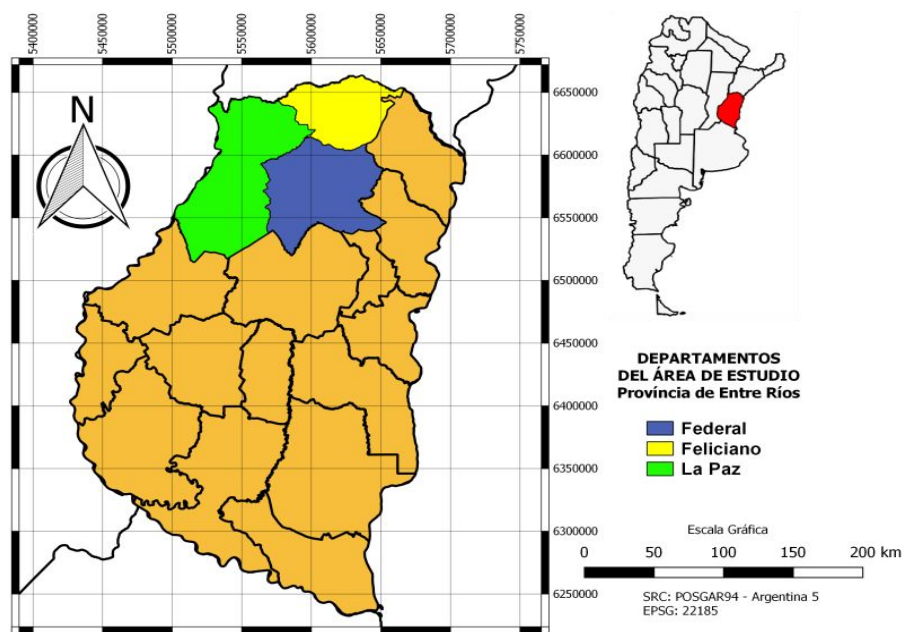


Figura 2. Localización del Área de estudio. Departamentos La Paz, Feliciano y Federal, en la Provincia de Entre Ríos, Argentina.

El Departamento La Paz es el tercero más poblado de la provincia y Feliciano al norte el segundo menos poblado. El área tiene clima subtropical sin estación seca. La temperatura media del mes más cálido es de 26°C y la del mes más frío es de 12°C. En esta faja las precipitaciones disminuyen en forma gradual de NE a SO, la parte norte de la provincia es la que recibe las precipitaciones más abundantes superando los 1100 mm anuales, presentándose las mayores entre octubre y abril.

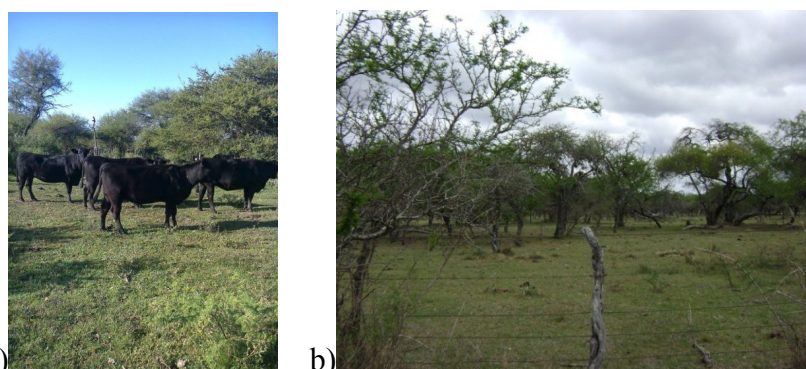


Figura 3. Ganadería bovina en bosque nativo del Espinal (a). Aspecto típico del bosque abierto utilizado como campos de pastoreo (b).

El paisaje general está determinado por la morfología resultante de la acción de los ríos principales: Paraná, Gualeguay, Feliciano y Guayquiraró, Aceñolaza (2008). En este paisaje se encuentran variados tipos de suelos que sustentan diferentes actividades económicas. En el centro y suroeste, del área, predomina la actividad agrícola-ganadera, donde en verano el cultivo de soja y maíz son los principales cultivos, la actividad agropecuaria en áreas arbóreo-arbustivas es predominante al centro-oeste y pecuaria de cría al norte del área del estudio (Figura 3).

La vegetación natural corresponde a fisonomías arbóreo-arbustivas, siendo característicos de la Provincia Fitogeográfica del Espinal los bosques nativos del Distrito del Ñandubay, Keinerman e Pérez (1997). También se encuentran algunos bañados con monte selva y monte selva de la Provincia Fitogeográfica Paranaense en las adyacencias de ríos y arroyos, Rodríguez (2013). Otras áreas que caracterizan al norte del área son las sabanas, consideradas como zonas de ecotono entre el pastizal y el bosque, además presenta un mosaico de áreas con monte bajo abierto, Sabattini (2009). El área es muy heterogénea posee 30% de su superficie de Vertisoles, 24% , Molisoles, 11% , Alfisoles, 8% Entisoles y 5% de Inceptisoles, INTA-GobER (2005).

Se utilizaron 36 imágenes Landsat 8 sensor OLI adquiridas entre los años 2013 (comienzo de la operación de Landsat 8) y el año 2016. Las fechas día Juliano 117 del 2013 al 174 del 2016. Estas imágenes fueron preprocesadas para extracción de nubes y sombras con la rutina de Zhu e Woodcock (2015) y posterior extracción de *subsets* (polígonos menores) de imágenes correspondientes a los Distritos político/administrativos. El software utilizado fue Matlab 2015b y QGIS 2.16.

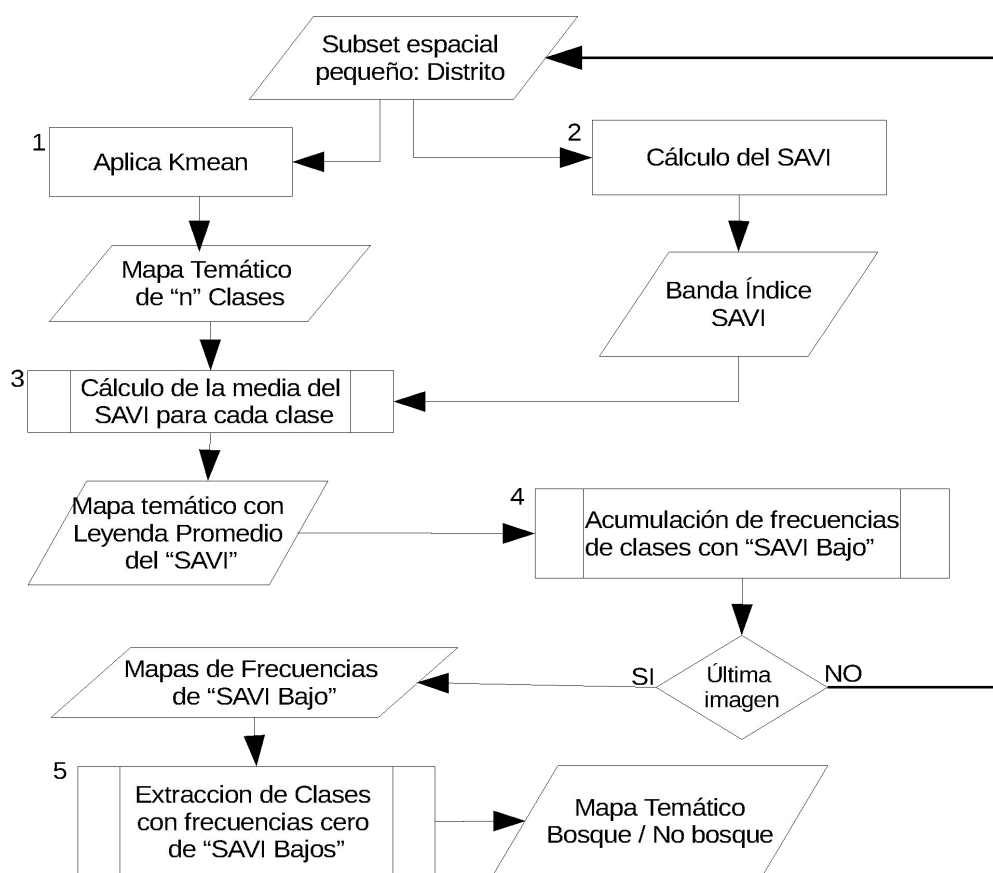


Figura 4. Diagrama de flujo de la metodología de obtención automatizada de las mascararas anuales de "Bosque / No bosque".



La Metodología aplicada se presenta en la Figura 4, en esta se articula una técnica no supervisada de clasificación “Kmean”, una de cálculo del Índice SAVI y una de aplicación de la Leyenda del Mapa con el “Promedio del SAVI” para cada fecha :

1. La metodología se inició con la Aplicación del Kmean con doce clases, el resultado de la aplicación de este índice puede producir imagenes tematicas con diferente numero de clases según sea la heterogeneidad de la imagen en cada fecha.

2. Cálculo del SAVI para generación de una banda índice. El SAVI fue calculado en base a un valor de L extraído de la imagen de un área de suelo desnudo según Huete e Glenn (2011). En este sistema se usa un valor de “L” predefinido idéntico para todas las imagenes del set de datos. Esta es un prerequisite para la detección de cambios con un índice no normalizado, cuyos valores varian en relación a este parametro, en este caso de 0 a 35.

3. Seguidamente, es calculado el promedio de los valores del SAVI de todos los pixeles correspondiente a cada clase temática del mapa clasificado en la fecha de la iteración. Así, es aplicada la Leyenda temática “Media del SAVI” a cada una de las clases del Mapa.

4. Extracción de las clases con valores bajos del SAVI (menores de 7). Los pixeles de estas clases tendrán valor 1 en una imagen para cada fecha. Esta clases son acumuladas por simple suma a cada iteracion en un mapa final de frecuencias. En este mapa de frecuencias acumuladas “Mapa de frecuencias del SAVI bajo”, los “ceros” corresponden a pixeles que nunca en el periodo del monitoreo han tenido baja cobertura vegetal o suelo expuesto.

5. Extracción de la clase “Frecuencia 0” de “SAVI Bajo” para generar un mapa tematico de dos clases una de “Bosque Nativo” en la que nunca fue registrado un valor de SAVI bajo y una clase “No bosque” para cuyos pixeles fue registrada en alguna fecha un valor indice bajo menor de “7”. Esta separación simple se basa en que las áreas de bosque nativo del Espinal poseen un tipo de cobertura vegetal que se caracterizan por no tener en ninguna época del año valores del índice de vegetación bajos, ni valores asociados a suelo desnudo. Finalmente el mapa es revisado con Google Earth para estimar los errores.

### 3. Resultados y Discusión

Los resultados se presentan en forma cartográfica en la Figura 5, en la cual los *subset* categorizados en base a la acumulación temática de áreas de supuesto "no monte" poseen valores distintos de cero (colores distintos de gris). En la figura se puede observar que los valores intermedios reflejan unidades vegetación con fisonomías intermedias correspondientes a etapas seriales o superficies con agua.

En la Figura también se puede observar diferencias entre los distritos administrativos, los del sureste predominantemente agrícolas presentan altas frecuencias de fechas con “SAVI bajo”(amarillos y rojos) y Distritos del centro este con predominancia de frecuencias Cero (grises) y en base a esto podemos distinguir Distritos agrícolas, Distritos mixtos y Distritos donde predomina la ganadería.

En la Figura 5 se puede observar que los mayores valores acumulados de frecuencias de “SAVI bajos”, valores mayores de 12 (rojos y amarillos) presentan formas regulares y ademas no hay clases muy fragmentadas como se espera del cruzamiento de una serie de transformaciones temáticas independientes. Este resultado es relevante para este tipo de monte, ya que el Espinal posee variabilidad estructural en su distribución, generando tanto montes altos y cerrados (como los que siguen cauces de arroyos internos), como montes cerrados de espinal o abiertos de fisonomía tipo sabana. Esa variabilidad estructural y de cobertura para una misma formación fitogeográfica hace que el límite de detección sea complejo y esta metodología la estaría resolviendo.

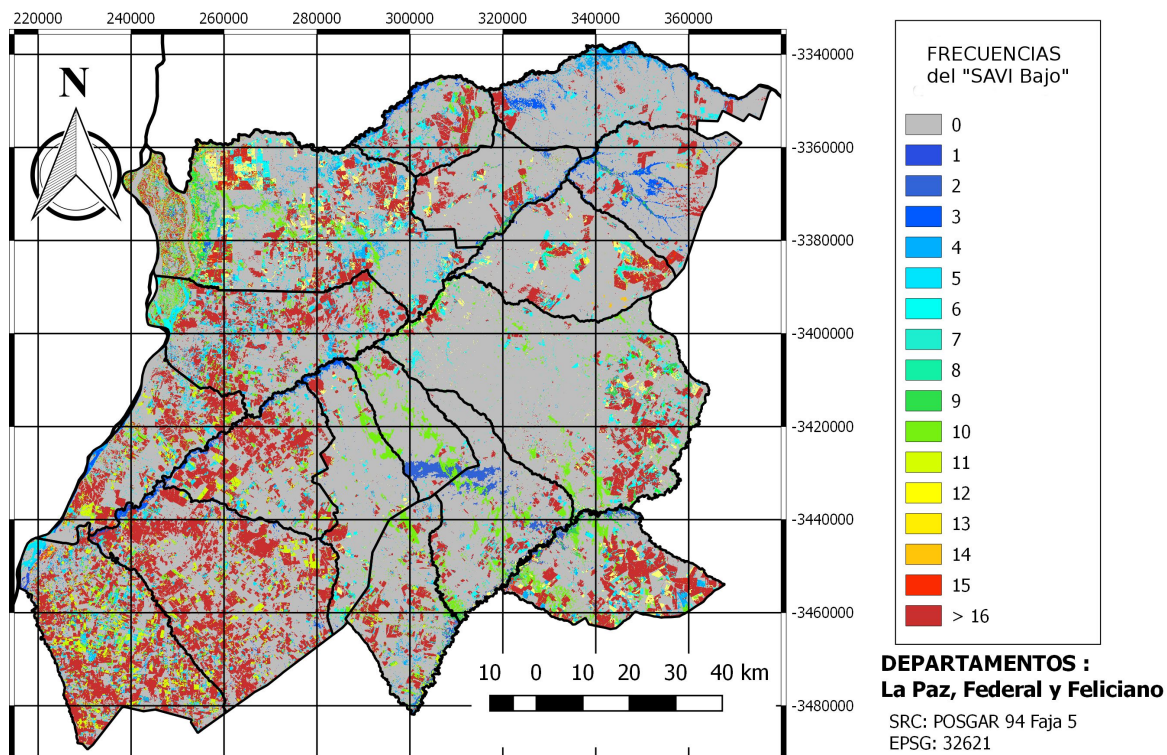


Figura 5. Mosaico de mapas de frecuencias de “SAVI Bajos” en el periodo Abril de 2013 a Junio de 2016, de diez y siete Distritos administrativos, obtenido automaticamente a partir de imágenes OLI/Landsat 8.

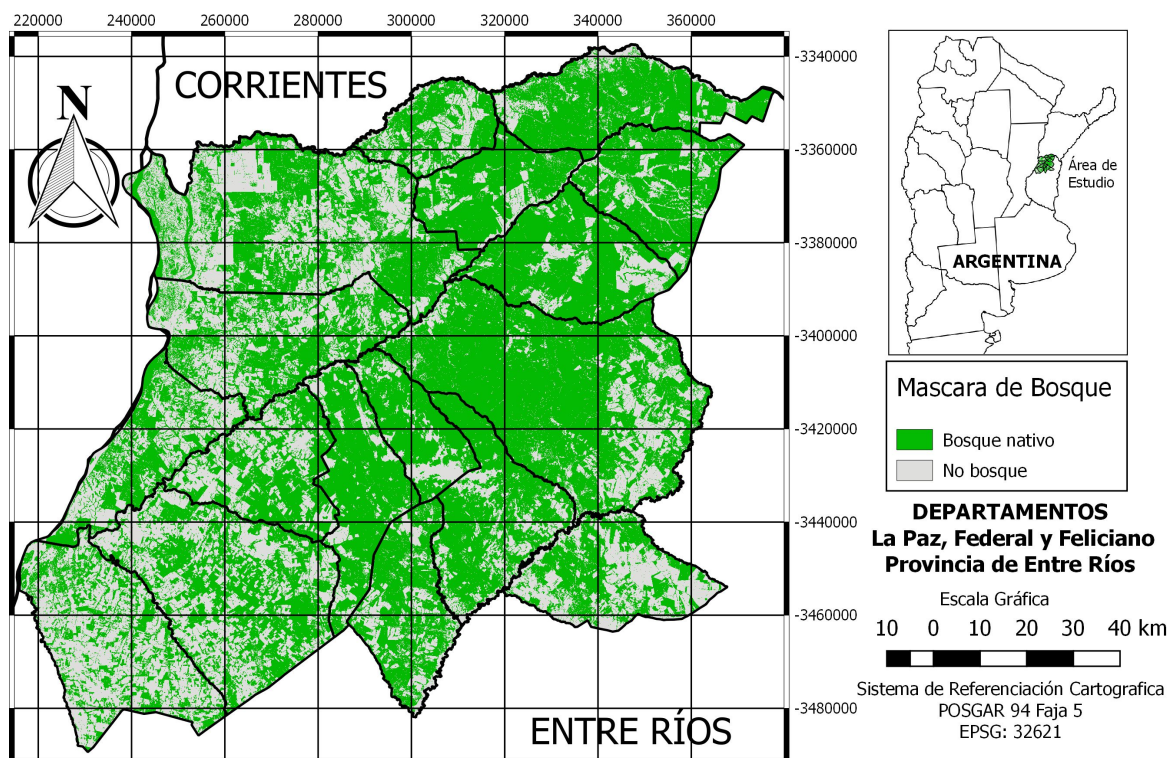


Figura 6. Mosaico de mascarar de Bosque Nativo de Junio 2016, obtenido automaticamente a partir de imágenes OLI/Landsat 8. Las líneas corresponden a las divisorias de los Distritos administrativos, los que fueron procesados independientemente.

En la Figura 6 se observa el mosaico de mascararas de los 17 Distritos, los del oeste corresponde al área con la mayos actividad agrícola y el Este a preferencialmente de pecuaria. Esta mascara ha sido contrastada a traves de casos puntuales con Google Earth y se han encontrado muy buena concordancia, siempre considerando las dificultades para la interpretacion visual del bosque nativo y que las imagenes de alta resolucio espacial de Google Earth son anteriores a la de la última fecha.

#### 4. Conclusiones

Podemos concluir que transformación de datos continuos en temáticos fue mejorada notablemente al reducir el tamaño del “subset” de datos, disminuyendo así la continuidad de los datos en el espacio radiométrico. Esto se observa porque no hay clases muy fragmentadas como se esperaría del cruzamiento de una serie de transformaciones temáticas independientes.

Por lo que tambien podemos concluir que el Kmean no supervisado tuvo buen desempeño, considerando que una de las característica de estas áreas es la heterogeneidad de sus ambientes, por lo que la reducción del tamaño de “subset”, por consiguiente de la heterogeneidad, mejoró la determinación de los grupos temáticos, centros y limites en el espacio radiométrico. Esto permitiría articular un clasificador “Kmean” en un sistema automatizado.

Podemos indicar que la alternancia intranual de índices altos y bajos caracterizan las áreas de agricultura, y que en el diseño metodológico propuesto la agricultura puede tener conteos bajos o medios, porque solo los indices “SAVI Bajos” se acumulan en el conteo y según sean las fechas de las imágenes coincidan con periodos intersiembras.

Podemos concluir que el sistema es resistente a la falta de imágenes en algunas fechas, y cuando aumenta el número de imágenes incorporadas al mismo, hace que la acumulación con el tiempo de índices “SAVI Bajos”, aumente la confiabilidad del cambio temático del área de “bosque” a “no bosque”.

Se recomienda el análisis retrospectivo de la serie de imágenes para la detección del momento del desmonte, ya que este puede basarse en la revisión de las primeras ocurrencias de “SAVI Bajos” en áreas anteriormente de bosque natural, para determinar aproximadamente el momento del desmonte. Siendo que una vez definida un área como desmontada, la fecha de la imagen con “SAVI Bajo” puede corresponder a una fecha próxima con posterioridad a la del desmonte.

#### Agradecimientos

Al Becario de iniciación German Matias Germano, por la ayuda con las escenas OLI. Este trabajo está enmarcado en los Proyectos UADER PIDP-1737-12 y PIDA-307-15.

#### Referencias Bibliográficas

Aceñolaza, F.G. **Geología y Recursos Geológicos de la Mesopotamia Argentina**. Serie de Correlación Geológica N.º 22. San Miguel de Tucuman: INSUGE, 2007. 160 pp.

Huete, A. R.; Glenn, E. P. Remote Sensing of Ecosystem and Function. En: Weng, Q. **Advances in Environmental Remote Sensing**. London: CRC Press. cap.12, p.291-320, 2011. 600p.

INTA-GobER. **Mapa Básico de suelos de la Provincia de Entre Ríos**. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Gobierno de Entre Ríos. Paraná: INTA, 2005, 1p. (INTA-Mapa)

Kleinerman, R.; Perez, J. **Estimación del área cubierta por monte nativo en la Provincia de Entre Ríos**. Subsecretaría de desarrollo agropecuario, economías regionales y recursos naturales. Gobierno de Entre Ríos. Paraná: SAGERN. 1997, 15p. (SAGERN-IT-1997)

Maldonado, F. D.; Sione, W. F.; Aceñolaza, P. G. "Mapeo de desmontes en áreas de bosque nativo de la provincia de Entre Ríos, Argentina". **Ambiência**, v.8, p.523-532. 2012.

Maldonado, F.D.; Rodriguez, E. E.; Aceñolaza, P.G.; Sione, W.F. Monitoreo histórico de los desmontes en áreas de bosque nativo de la Provincia de Entre Ríos, Argentina. XVI Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15 a 18 de Abril 2013, Foz do Iguazú, Paraná- Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 16., 2013, Foz do Iguazú. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 3175-3182. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00066-9 . Disponível em: <<http://urlib.net/rep/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.28.22.25>>. Acesso em: 20 out. 2016.

Maldonado, Martinelli, M.; Demaria, M. R. Representación Gráfica Sintética de la Dinámica estacional de la respuesta espectral del paisaje, Caso OLI de Landsat 8. In: Jornadas Argentinas de Geotecnologías, 1., 2015, San Luis. **Anais...** San Luis: UNSL, 2015. Artigos, p. 175-181. CD-ROM.

Maldonado, F. M.; Sione, W. F.; Tentor, F. R.; Viva, F. M. Evaluación multitemporal de variables derivadas de Datos OLI para la caracterización de la actividad económica en distritos del norte de Entre Ríos. In: XVII Simposio Internacional en Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica, 2016, Puerto Iguazú, Anais. On line. Disponível em: <[http://159.203.122.145/index.php/selper16/trabajos\\_completos](http://159.203.122.145/index.php/selper16/trabajos_completos)> Ultimo acceso noviembre 2016

Richardson, A. J.; Wiegand, C. L. Distinguishing vegetation from soil background information. **Photogram Eng. Remote Sensing**, v.43, p.1541-1552. 1977.

Rodriguez, E. **Heterogeneidad de la vegetación en una porción del Espinal Mesopotámico**. 2013. 217p. (editorial.unsa.edu.ar-13386). Tesis ( Doctorado en Biología ) - Universidad Nacional de Salta. Salta, 2013.

Sabattini, R. A. **Zonificación de los bosques nativos en el Departamento Feliciano (Entre Ríos) según las categorías de conservación**. Informe 3. FCA UNER y Dirección General de Recursos Naturales, Sec. Producción Gob.de Entre Ríos. FCA UNER: Oro Verde, 30p. 2009.

USGS. Earth Explorer US Geological Service. 2016. Disponível em: <[https://landsat.usgs.gov/Landsat8\\_UsingProduct.php](https://landsat.usgs.gov/Landsat8_UsingProduct.php)> Ultimo acceso agosto 2016

Zhu, Z.; Wang, S.; Woodcock, C. E. Improvement and expansion of the Fmask algorithm: cloud, cloud shadow, and snow detection for Landsats 4-7, 8, and Sentinel 2 images. **Remote Sensing of Environment**, v.144, p.152-171. 2015.