

## **CARTOGRAFÍA DE CAMBIOS DE COBERTURA DEL SUELO (1987-1998) PARA EL PARQUE NACIONAL PREDELTA (ENTRE RÍOS, ARGENTINA)**

### **LAND COVER CHANGE MAP (1987-1998) TO PREDELTA NATIONAL PARK (ENTRE RÍOS, ARGENTINA)**

*Lisandra Pamela Zamboni*<sup>1</sup>

*Walter F. Sione*<sup>2</sup>

*Fernando Tentor*<sup>3</sup>

*Pablo G. Aceñolaza*<sup>4</sup>

#### **RESUMEN**

Los estudios territoriales requieren de cartografía sobre el estado y dinámica de sus ecosistemas. El mapeo de la cobertura del suelo ha sido motivo de numerosas iniciativas globales (Land Cover, Globe cover) y continentales, no así para escalas regionales y locales asociadas al Parque Nacional Predelta. El objetivo del presente trabajo fue desarrollar una metodología para la cartografía de cobertura y su cambio para el Parque Nacional Predelta a partir de información espacial (datos

- 
- 1 Magister. Universidad Autónoma de Entre Ríos. Facultad de Ciencia y Tecnología. Centro Regional de Geomática. Materi y España SN. CP3105. Diamante. Entre Ríos. Argentina. Correo electrónico: pamela-zamboni@gmail.com
  - 2 Doctor. Universidad Autónoma de Entre Ríos. Facultad de Ciencia y Tecnología y Universidad Nacional de Luján-UNLU. Luján. Buenos Aires. Argentina. Correo Electrónico: wsione@gmail.com
  - 3 Ingeniero. Universidad Autónoma de Entre Ríos. Facultad de Ciencia y Tecnología, Centro Regional de Geomática. Materi y España SN. CP3105. Diamante. Entre Ríos. Argentina. Correo electrónico: fernando-tentor@gmail.com
  - 4 Doctor. Universidad Autónoma de Entre Ríos. Facultad de Ciencia y Tecnología y Centro de Investigaciones Científicas y de Transferencias de Tecnologías a la Producción – CIC y TTP-CONICET. Diamante. Entre Ríos. Argentina. Correo electrónico: acenolaza@gmail.com

Fecha de recepción: 11 diciembre de 2013

Fecha de aceptación: 20 enero de 2014

Landsat TM) y de terreno. Se ha obtenido un mapa de cambios de cobertura de suelo para el área de estudio, entre 1987 y 1998. Igualmente se identificaron coberturas del suelo, clases de bosque, pastizales altos, praderas, suelo desnud/infraestructuras. La confianza global fue mayor al 80%, siendo las “clases de cambio” las de menor confianza. Se generó información para la gestión territorial.

**Palabras clave:** Teledetección, Río Paraná, Imágenes Landsat TM, Clasificación y segmentación de imágenes y Análisis de precisión.

#### **ABSTRACT**

Most of the territorial studies require maps of the state and dynamics of ecosystems. Land cover mapping has been subject of numerous global (Land Cover, Globe cover) and continental initiatives, but not for regional or local scales in areas associated with the Predelta National Park. The objectives of this contribution was to develop a methodology for mapping land cover and change for the PN Predelta using spatial (Landsat TM data) and terrain data. As result, was obtained a map of land cover changes (forest, shrub, herbaceous, bare soil/infrastructure class) for the study area between 1987 and 1998. The overall confidence was higher than 80% in class assignment. The “change classes” had the lowest confidence. Information relevant to land management was generated.

**Keywords:** Remote sensing. Paraná river. Landsat TM images. Clasification and segmentation images, Acuracy analysis.

### **Introducción**

El estudio de la cobertura del suelo y sus cambios espacio-temporales forman parte de la mayoría de las herramientas de gestión ambiental, dentro de la gama de información espacial actualmente disponible para la generación de cartografía y cambio de cobertura del suelo, y de otros cambios ambientales, las imágenes Landsat han sido ampliamente empleadas (Woodcock *et al.*, 2001). Descripciones más detalladas pueden encontrarse en el sitio web de Earth Resource Observation (EROS) Center.

El tratamiento de imágenes incluye habitualmente tres pasos: el pre-procesamiento, el procesamiento y el post-procesamiento. En estos procedimientos se aplican conceptos teóricos para la mejora de la calidad de los productos resultantes. En el pre-procesamiento se aplican técnicas de calibración y corrección atmosférica. La corrección consiste en la disminución de los “efectos atmosféricos” (Song *et al.*, 2001). La función “Fmask” realiza la corrección, pudiéndose identificar y enmascarar nubes, sombras de nubes y nieve para datos Landsat TM/ETM+. Fmask ha sido desarrollada por el Centro de Sensores Remotos del Departamento de Geografía y Ambiente de la Universidad de Boston (Zhu y Woodcock, 2012) con el fin de aumentar la calidad de los datos espaciales (Song *et al.*, 2001).

Un procedimiento frecuentemente empleado es la estandarización de las magnitudes en las que se expresa cada imagen (Brizuela *et al.*, 2007), mediante la conversión de los valores originales en los que se descargan las imágenes (Números Digitales: DN) a radiancia y a reflectividad. La herramienta LEDAPS (Masek *et al.*, 2006) realiza la calibración de las imágenes calculando la reflectancia, disminuyendo el efecto de nubes y corrigiendo efectos atmosféricos mediante la función MODIS/6S (Masek *et al.*, 2006).

Una de las técnicas de procesamiento de imágenes más conocidas es la clasificación. Esta herramienta es la base para aplicaciones como el modelado del carbono, cambio en el uso de la tierra, manejo de bosques y estimaciones en cultivos (Song *et al.*, 2001; Zhu *et al.*, 2012). El proceso de clasificación consiste en asignar píxeles dentro de un número finito de clases, basados en los valores de los mismos. Si el píxel satisface ciertos criterios, es asignado a la clase correspondiente (Chuvieco, 2002). Dentro de las técnicas de clasificación se destaca la de tipo “supervisada”. La segunda consta de dos fases, una de entrenamiento y una de asignación. En la fase de entrenamiento se identifica un conjunto de firmas espectrales que definen una región de interés. Estas regiones deben ser seleccionadas exhaustivamente para cada clase, a fin de reflejar la naturaleza de las coberturas de suelo de la imagen. La fase de asignación consiste en la aplicación de reglas de decisión mediante el uso de un algoritmo matemático que usa los datos contenidos en las firmas espectrales (Strahler, 1980; Seto *et al.*, 2002; Zhu *et al.*, 2012).

Otra forma de mejorar los mapas resultantes es realizar una “transformación de los datos”, debido en parte, a la riqueza de información contenida en los datos multiespectrales (Zhu *et al.*, 2012). Una de las transformaciones, es la obtención del “componente principal” (PC), que permite seleccionar aquellas bandas que explican la mayor parte de la variabilidad de los datos. Otras consisten en la aplicación de filtros (ej: filtro de textura), el “Tasseled Cap”, la construcción de índices (ej: índice de vegetación normal diferenciado: NDVI), entre otras. Estas transformaciones pueden realizarse para compuestos multitemporales, y ser incorporadas en las clasificaciones (Seto *et al.*, 2002).

Como parte del post-procesamiento, se suele emplear la “segmentación”. Unos de los software desarrollados para esta técnica es el “segment”

(“mysegment”) y la librería IPW (Woodcock & Harward, 1992). Como resultado se obtiene un mapa de regiones basado en la clasificación de las imágenes y un archivo de texto con los parámetros de la segmentación. Para evaluar los procedimientos previos se efectúa habitualmente un análisis de la confianza de los datos mediante una matriz de contingencia que permite evaluar los errores de omisión y comisión (Chuvieco, 2002).

El área actualmente correspondiente al PNPredelta presentó hasta su declaración como espacio protegido, un uso de la tierra asociado a la actividad antrópica (fundamentalmente ganadería, caza, pesca y uso del fuego) sin regulaciones fuertes por parte del estado. Al declararse su conversión a Parque Nacional en el año 1993, estas actividades fueron excluidas en el área cambiando de esta forma el uso y cobertura del suelo.

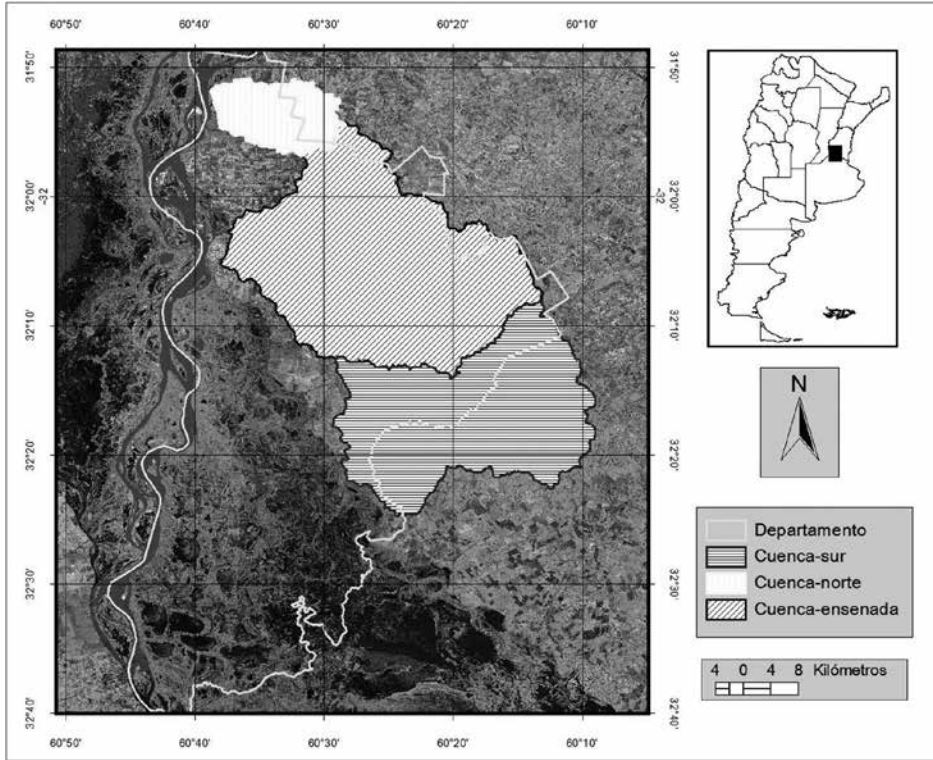
Estos cambios han sido identificados a nivel del paisaje del Parque Nacional, pero no han sido cuantificados ni mapeados, por lo que su estudio cobra importancia para la incorporación de información acerca de los efectos de la gestión ambiental y la declaración de espacios protegidos. En este contexto, los objetivos del trabajo fueron desarrollar, adaptar y aplicar una metodología para la obtención de un mapa de cambio de la cobertura de suelo para el PNPD para los años 1987 y 1998; usando datos LANDSAT TM y de terreno.

## **Métodos**

### *Características del área de estudio*

El área estudiada (figura 1) incluye en su sector oriental superior al PNPredelta (PNPD) (Aceñolaza *et al.*, 2008).

**Figura 1.** Área de estudio



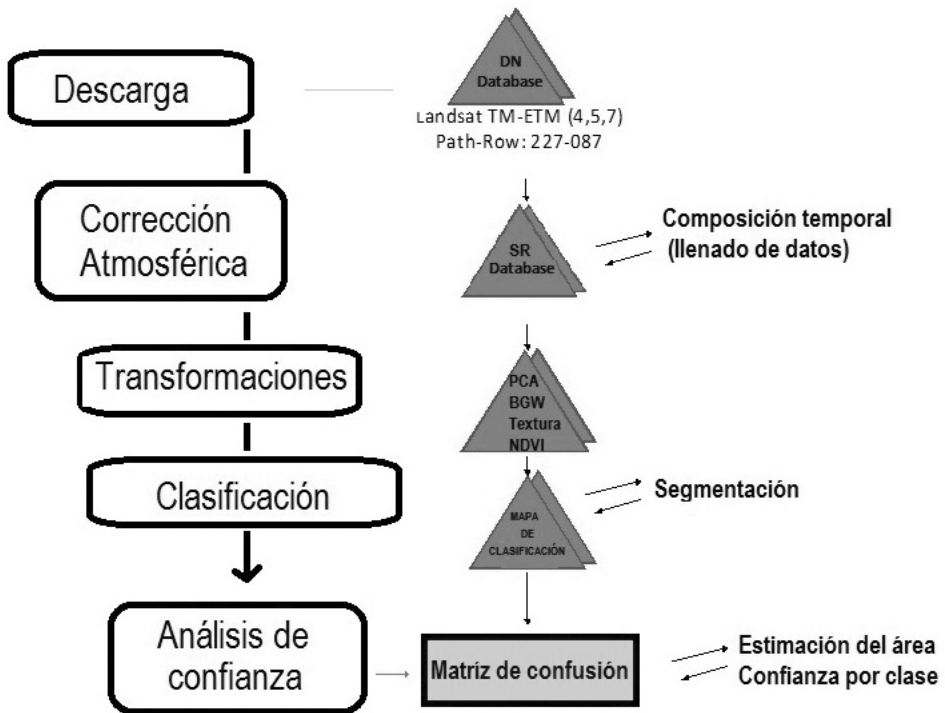
**Fuente:** elaboración propia. Recorte espacial de una imagen Landsat TM (Path-Row 227-082).

Rodeando el paisaje fluvial, se encuentra una matriz agrícola, con parches de vegetación natural (pastizales naturales y relictos de bosque del espinal entrerriano y de los bosques de barranca que acompañan la costa del río) (Aceñolaza *et al.*, 2008) a la que se suman parches de urbanizaciones e infraestructura. La zona correspondiente a la franja del complejo litoral del Río Paraná, presenta períodos de inundación y sequía, conformando un paisaje regional con mosaicos de humedales con dominancia de fisonomías arbóreas hacia el norte y fisonomías herbáceas hacia el sur. Descripciones del área pueden encontrarse en contribuciones previas (Malvárez (1999), Kandus *et al.*, (2003), Iriondo (2004), Zamboni y Aceñolaza (2004, 2005), C. Bó (2006), Pratolongo *et al.*, (2008), Vicari *et al.*, (2006), Iriondo *et al.*, (2007), Drago (2007), Aceñolaza *et al.* (2004, 2005, 2006, 2007, 2008a,b), Rodríguez *et al.*, (2007) , y Franceschi *et al.*, (2010)).

## Metodología

Se han desarrollado y adaptado técnicas para generar cambios de cobertura de suelo. Se ha explorado el uso de umbrales, algoritmos y criterios a adoptar de acuerdo con las características del área de estudio y disponibilidad de la información. El marco metodológico responde al siguiente esquema (figura 2):

Figura 2. Esquema metodológico empleado en el presente trabajo<sup>5</sup>



Fuente: elaboración propia.

### *Descarga de imágenes*

Se emplearon las herramientas de visualización de datos espaciales desarrolladas por el Servicio Geológico de los Estados Unidos, “Earth Explorer” y “GLOVIS”.

Seguidamente se seleccionaron imágenes correspondientes a las bases de datos Landsat (Landsat LT M4-5), existentes en el archivo Landsat

5 Se han detallado a la izquierda los procesos realizados y a la derecha las bases de datos resultantes.

del USGS, path y row (path 227, row 082 para la colección LTM 4,5). Como criterios de descarga se escogieron: porcentaje de nubes (sin filtro), período del año o estación (todas), tipo de datos (nivel-1), día/noche (día).

Otro nivel de decisión tiene que ver con la selección temporal de imágenes. Dadas las características del área y la disponibilidad de imágenes, se consideró la altura del río como variable de interés. Se realizó un test de diferencia de varianzas (Kruskal Wallis) que permitió identificar períodos de alto y bajo nivel hidrométrico. Se seleccionaron aquellas fechas correspondientes a los meses de menor altura del río. Para un período desde 1970 al 2012, se analizaron los valores mensuales, para el puerto Diamante (Entre Ríos) (datos aportados por la Prefectura Naval Argentina).

#### *Corrección de imágenes*

Se corrigieron las imágenes descargadas empleando la función LE-DAPS y se obtuvieron imágenes en valores de reflectancia, corregidos radiométricamente mediante el algoritmo MODIS/6S. Las imágenes con nubes se enmascararon mediante la función FMASK. Finalmente se generó una base de datos con las bandas originales, en SR.

#### *Transformación de imágenes*

Tomando como base las imágenes Landsat expresadas en valores de SR se realizaron las siguientes transformaciones:

- SR a NDVI: Se realizó un álgebra de bandas entre las bandas del Rojo (B3) e infrarrojo cercano (B4). La ecuación empleada es:  $NDVI = (B3 - B4) / (B3 + B4)$ .
- Se obtuvo una base de datos uni-banda (NDVI) para cada una de las imágenes (fecha 1 y fecha 2).
- SR a PC: se realizó, a partir de las bandas 1-5 y 7 de las imágenes de SR (para fechas 1 y 2), un Análisis de Componentes Principales multitemporal (parámetro Foward PC rotation). Se obtuvo una imagen de 12 bandas. De esta imagen se seleccionaron aquellas bandas que expresaron la mayor tasa de cambio; es decir, los componentes principales que explican la variabilidad de los datos, conocidos con el nombre de vectores. Se obtuvo una imagen con 3 componentes para ambas fechas.

- SR a Textura: se aplicó un filtro de Textura. Se generó una imagen de la media y varianza para cada una de las 12 bandas.
- SR a Tasseled Cap: se realizó la transformación de datos de SR, obteniendo como resultado 3 bandas, Brighness (B) Greenness (G) y Wetness (W).

### *Clasificación de imágenes*

Con los resultados de los puntos anteriores, se construyó un compuesto con todas las bandas e imágenes de las fechas 1 y 2, más los productos multitemporales. Se realizó una clasificación supervisada, usando el clasificador Maximum Likelihood. Se emplearon como regiones de interés, puntos de GPS previamente obtenidos para la región estudiada. Se identificaron 11 tipos de cobertura, incluyendo clases estáticas y clases de cambio, comparando las imágenes de las fechas 1 y 2 respectivamente. Se han empleado 20 áreas de interés por cada una de las clases de cobertura y de cambio identificadas. Se obtuvo un mapa de clasificación multitemporal de cobertura del suelo. Este mapa mostró las principales clases de cobertura del suelo presentes en el área de estudio y permitió conocer los cambios en el período estudiado.

### *Segmentación de imágenes*

Se utilizó el software IPW (Woodcock and Harward, 1992) para realizar la segmentación de la clasificación. Como criterios se establecieron; la segmentación de la tolerancia (10), el coeficiente de unión (merge coefficient; 1) y las restricciones de tamaño de los agrupamientos (tamaño mínimo y máximo de superficie los cluster; mínimo 22 y como máximo 1000).

### *Análisis de precisión de la clasificación*

Con el mapa segmentado como input, se construyó la matriz de contingencia. Se analizaron las estadísticas resultantes y los errores de comisión y omisión por clase, así como la superficie ocupada por cada una en el mapa. Se definieron muestras al azar y se generaron 500 puntos, para el mapa de clasificación segmentado, distribuidos equitativamente en las 11 clases de cobertura. Con el uso de herramientas auxiliares (google earth, imágenes de alta resolución, datos de campo) se ejecutó la validación.



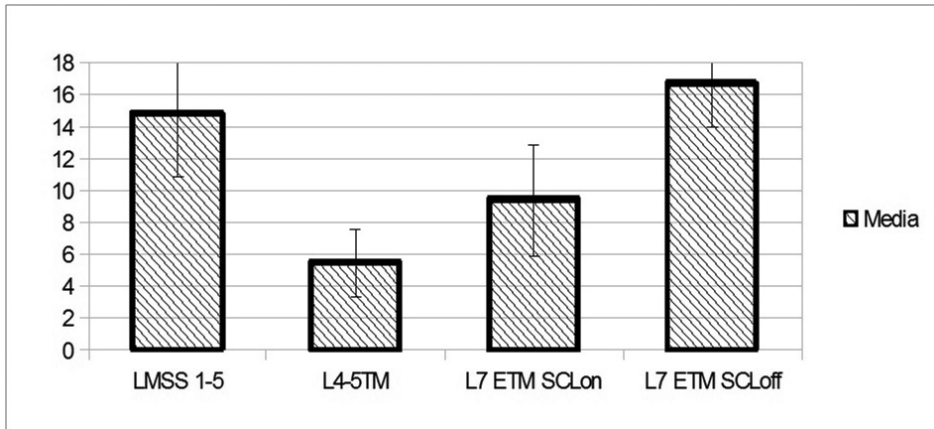
## Resultados y Discusión

### Descarga de escenas Landsat TM y ETM

A fin de seleccionar los datos espaciales con los que se realizó el presente trabajo, se analizó la información disponible. El archivo LANDSAT (USGS-EROS Center), cuenta con aproximadamente 100 escenas para la colección L TM 4-5, path 227, row 082. La cantidad media de imágenes es cercana a 6 para la mencionada colección, mientras que es cercana y superior a 10 para la colección ETM (figura 3), por lo que se ha incrementado la disponibilidad de imágenes para el área de estudio. Se aprecia que la serie L7 ETM Scl off presenta más imágenes que las restantes series, mejorando la posibilidad de adquisición de dichas imágenes. Actualmente con la puesta a disposición de imágenes del sensor Landsat 8 OLI, se espera asimismo aumentar la cantidad de imágenes utilizables.

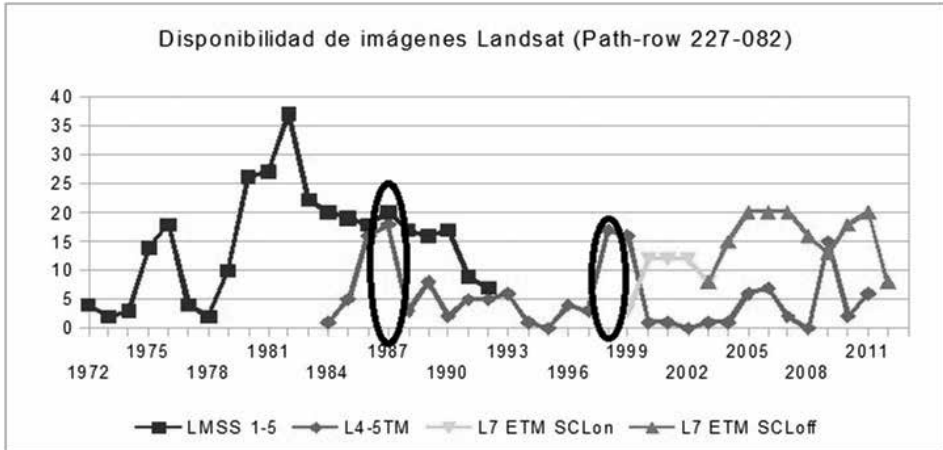
La figura 4 permite apreciar la cantidad de imágenes en las ventanas temporales del presente estudio.

**Figura 3.** Cantidad media de imágenes de la Serie Landsat path 227, row 082. Las barras de error representan los intervalos de confianza ( $\alpha=0,05$ )



Fuente: elaboración propia.

**Figura 4.** Disponibilidad de imágenes de la serie Landsat (Path-row 227-082) a lo largo del tiempo. Se ha considerado el período desde 1972, hasta inicios de 2012



Fuente: elaboración propia.

#### *Crterios de seleccin de imgenes*

Se escogi el path-row 227-82 por ser el que incluye al PNP, por disponerse (figuras 3 y 4) de un nmero considerable de imgenes y por ser un rea donde se ha sistematizado (clasificacin).

Temporalmente, se eligi como fecha 1 el ao 1987 (perodo previo a la creacin del PNP), como fecha 2 se escogi el ao 1998 (5 aos posteriores a la creacin del Parque).

Como perodos intra-anales, se consideraron las fases de inundacin y sequia. Se realiz un test de diferencia de varianzas (prueba de Kruskal Wallis). Los resultados indicaron ( $n=43$ ,  $H= 53,97$  y  $p < 0,0001$ ) que existen diferencias en las alturas del ro para distintos meses del ao (tabla 1). Los meses de menor altura del ro son los correspondientes a invierno-primavera (Agosto a Noviembre). Este resultado permiti orientar la seleccin de las ventanas temporales de las imgenes.

**Tabla 1.** Matriz de diferencias significativas de alturas hidrométricas entre meses (x) y entre meses de diferentes estaciones (X) para el período 1970 al 2012 (520 registros)

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Enero								X	X	X		x
Febrero			x	x	x	x			X			
Marzo								X	X	X	X	x
Abril							x	X	x	X	x	x
Mayo								X	X	X		x
Junio									X	X		
Julio									X			
Agosto												
Septiembre										X	X	
Octubre												
Noviembre												
Diciembre												

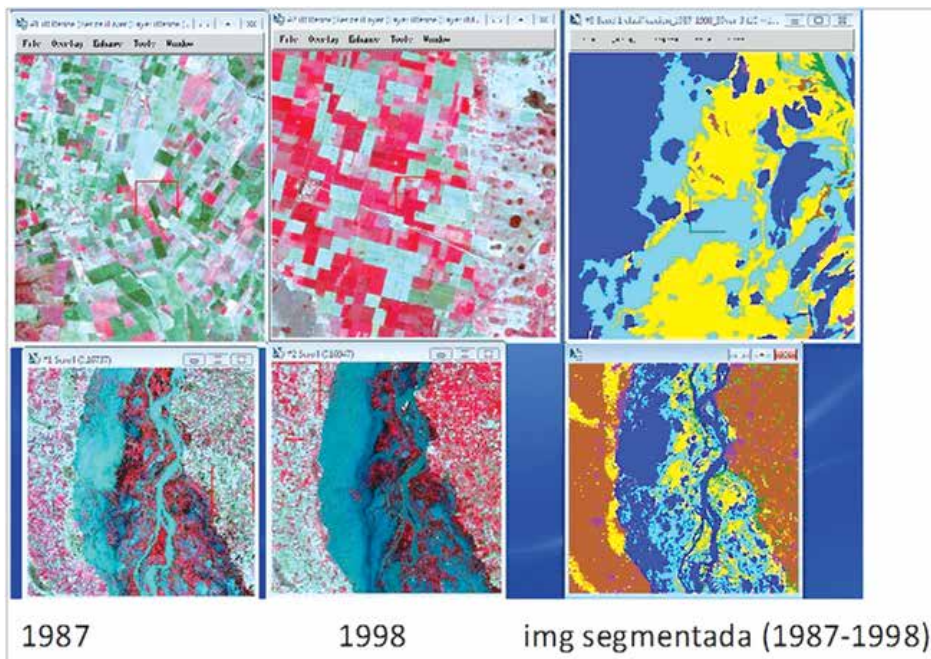
Fuente: elaboración propia.

Se seleccionaron imágenes correspondientes a los meses de agosto a noviembre para cada uno de los años (1987, 1998).

### *Clasificación y segmentación*

Los resultados de la clasificación supervisada y posterior segmentación pueden apreciarse en la figura 5. Se observa en la imagen segmentada la asignación de píxeles clasificados a grupos de píxeles que han sido identificados inicialmente en la etapa de clasificación como parte de cada clase de cobertura de suelo. El resultado de este proceso es una imagen menos pixelada, dando lugar a la visualización de parches o grupos de coberturas de suelo con mayor representatividad en superficie (al menos 22 píxeles por parche) y a la eliminación de áreas escasamente representadas espacialmente.

**Figura 5.** Mapa resultante de la clasificación y segmentación multitemporal



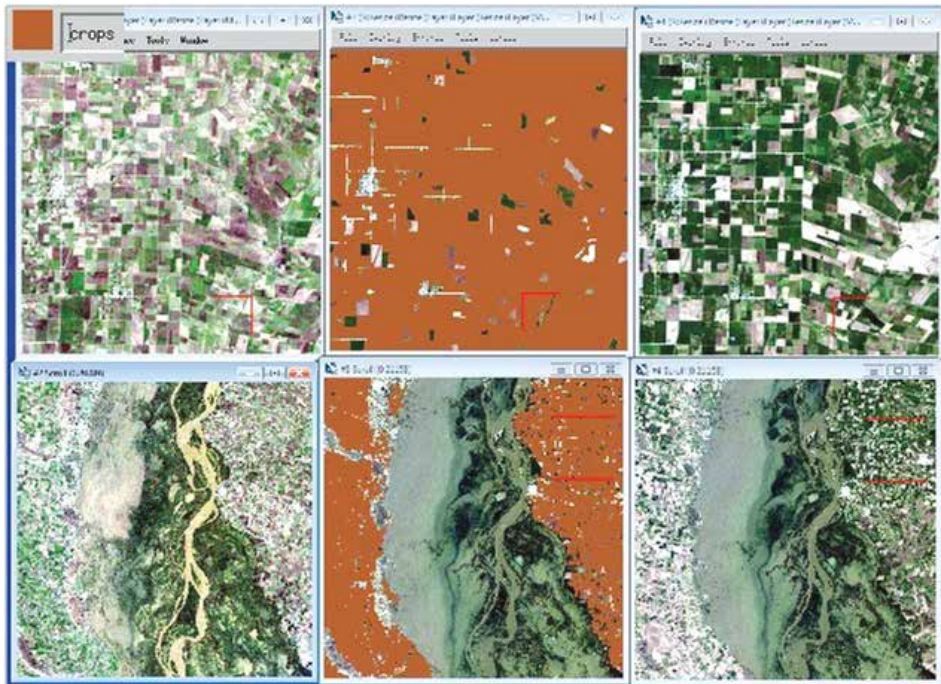
**Fuente:** elaboración propia. . A la izquierda, composición RGB 432 de imagen Fecha 1, al centro la misma composición para la fecha 2, y en la derecha el resultado de la clasificación segmentada.

Se describen a continuación algunos de los resultados

*Clases estables*

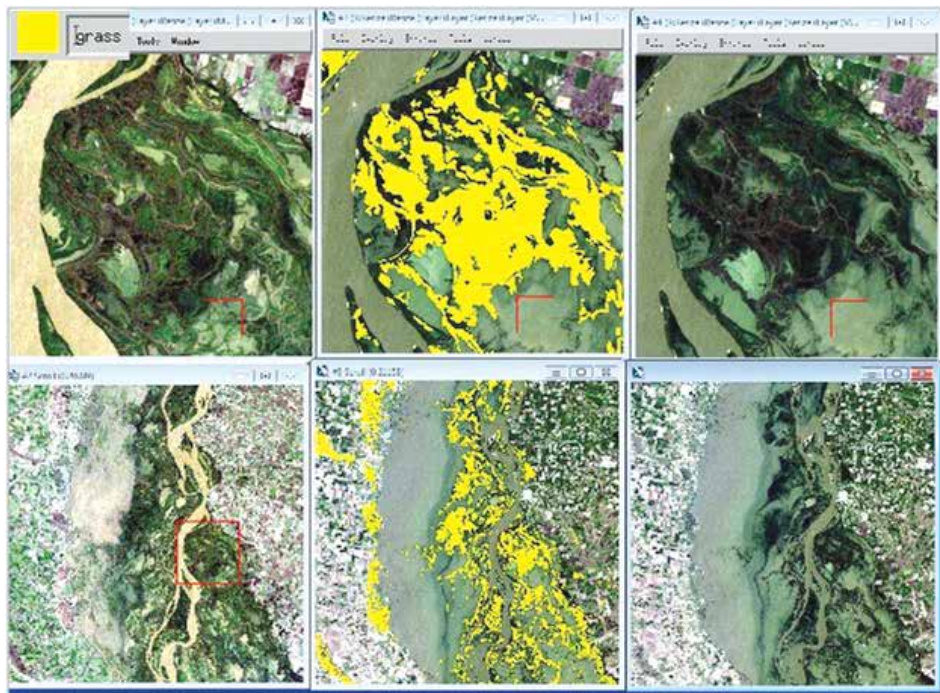
- Cultivos: representan las áreas cultivadas de los sistemas agrícolas que rodean la faja fluvial del río Paraná y afluentes. Se trata de áreas bajo sistemas de siembra, pudiendo ser maíz, sorgo, soja, trigo, colza u otros (clase 1) (figura 6).
- Pastizales naturales: conformados principalmente por la dominancia de cataizales, verdolagales, camalotales, carrizales, canutillares, pajonales, y otras gramíneas asociadas al sistema Coronda (clase 4) (figura 7). Se observan en zonas bajas del gradiente topográfico.
- Bosques: se identificaron de acuerdo con su localización, bosques de islas (albardones), de barrancay de tierras altas (clase 8) (figura 8).
- Agua: se discriminaron netamente cursos y cuerpos de agua (clase 10).
- Infraestructura: suelo desnudo (clase 9): se delimitaron zonas urbanas, sin cobertura, o esta es escasa (ej: bancos de sedimentación, suelos arados, canteras) (figura 10).

**Figura 6.** Mapa de clasificación de clase de cultivos



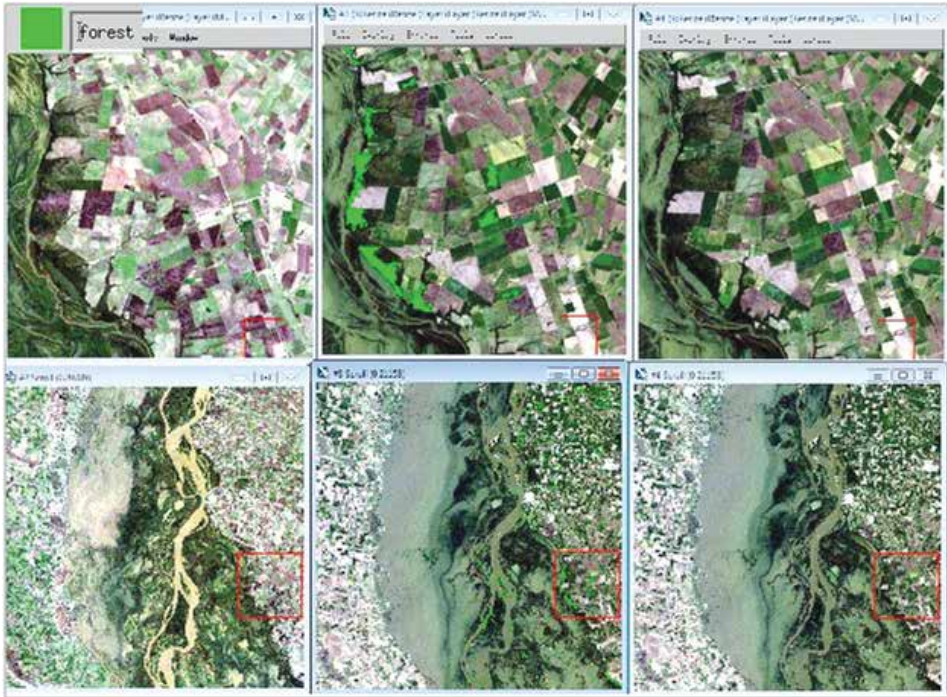
Fuente: elaboración propia. Izq: Fecha 1. Centro: Clasificación. Der: Fecha 2.

**Figura 7.** Mapa de clasificación de pastizales naturales



**Fuente:** elaboración propia. Izq: Fecha 1. Centro: Clasificación. Der: Fecha 2.

**Figura 8.** Mapa de clasificación de clase bosques



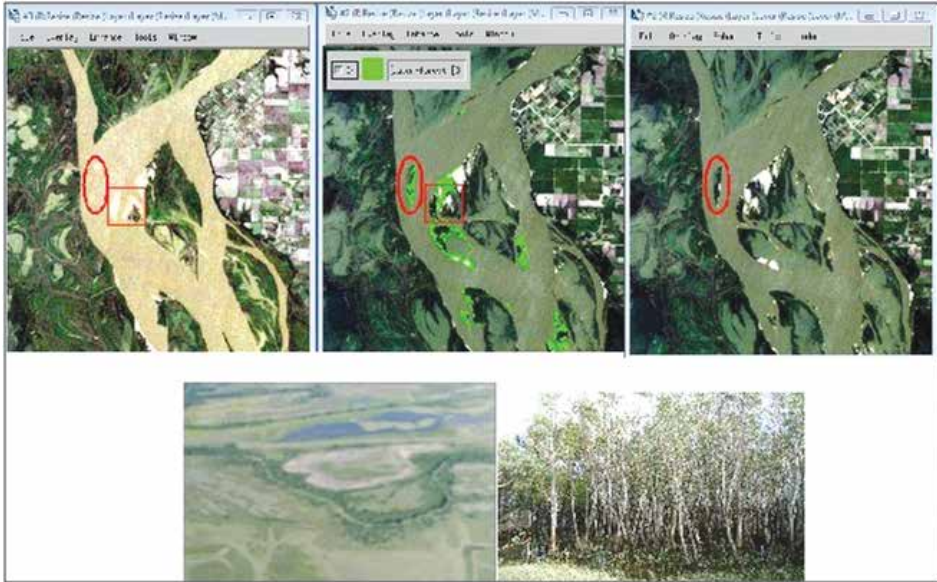
Fuente: elaboración propia. Izq: Fecha 1. Centro: Clasificación. Der: Fecha 2.

*Clases de cambio:* estas incluyen aquellos píxeles que fueron asignados a diferentes tipos de clase como resultado de la clasificación multi-temporal para la fecha 1 y la fecha 2. A continuación se describen:

- Bosques a cultivos (clase 6): representa los cambios que se han registrado entre 1987 y 1998 correspondientes a bosques nativos que se han transformado en cultivos. Esta clase se ha asociado al proceso de expansión de la frontera agrícola. Esto significa que se está evidenciando la transformación de tierras cubiertas por bosques nativos a tierras destinadas a cultivos agrícolas. Este cambio en la cobertura y uso del suelo tendrá importantes consecuencias en el paisaje regional.
- Agua a pastizales: (clase 3), y Agua-Bosques (clase 2, figura 9) representan los cambios que se han dado entre 1987 y 1998 correspondientes a la formación de islas, y a la posterior conformación de pastizales y bosques.



**Figura 9.** Mapa de clasificación de la clase de cambio “agua a bosque”, que representa aquellos sitios en los que no se identificó suelo en 1987 y se registraron bosques en 1998



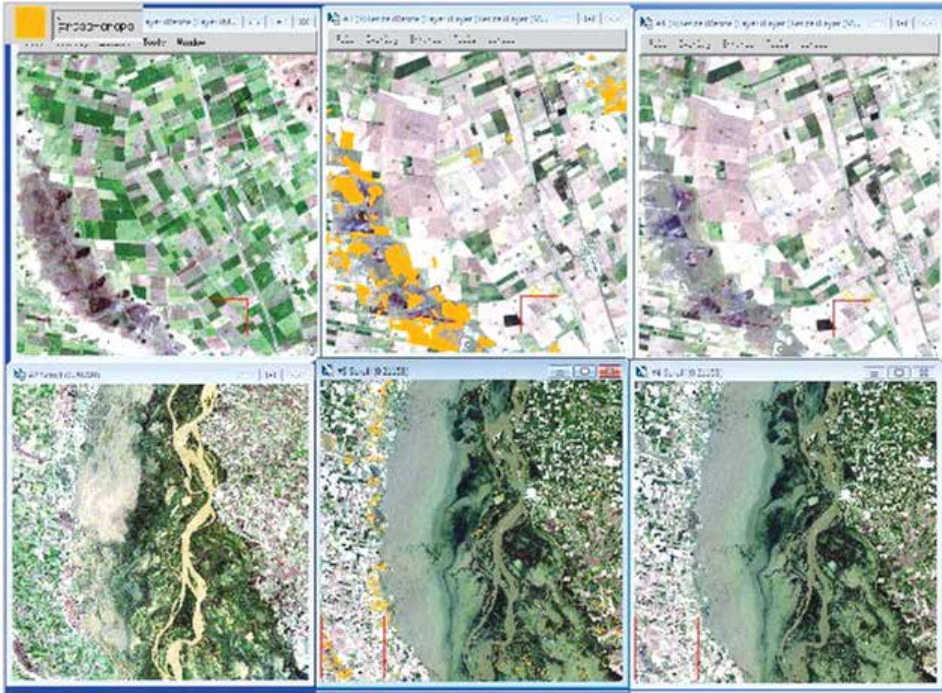
Fuente: elaboración propia.

Esta clase representa el proceso de formación de islas, y de colonización por parte de especies arbóreas (principalmente alisales dominados por *Tessaria integrifolia* y *Salix humboldtiana*, tal como se aprecia en las fotografías de la parte inferior de la figura). Se ha identificado así, por medio de las técnicas empleadas y de información de terreno, un proceso que refleja la dinámica del territorio y de la variabilidad del sistema de humedales en un período de 10 años.

- Pastizales a cultivos: se observa esta clase en pastizales naturales de las tierras altas, que han sido empleadas posteriormente para la agricultura (clase 11, figura 10). Esta clase se ha asociado al proceso de expansión de la frontera agrícola, uno de los más importantes factores de cambio en la parte alta del área de estudio. No se han registrado cultivos en las áreas asociadas al Río Paraná para el período estudiado.

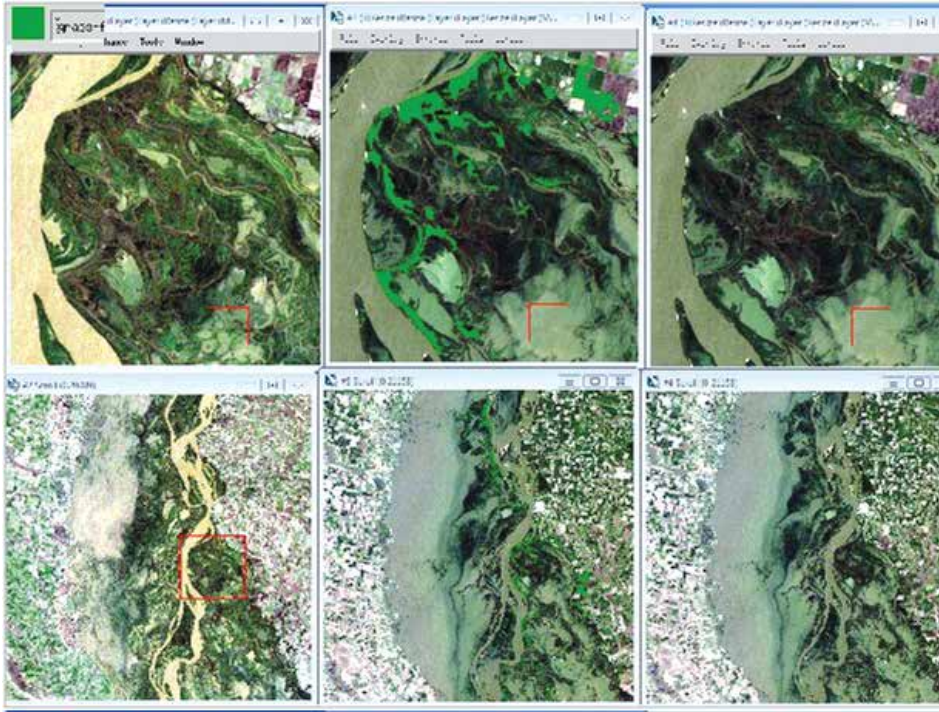
- Pastizales a agua: esta clase (clase 7) representa el proceso de inundación que se observó en el año 1998, inclusive en la época de menor altura del río. Este proceso es parte del sistema de humedales estudiado y es uno de los formadores del paisaje, siendo importante su identificación y seguimiento.
- Pastizales a bosques (clase 5, figura 11) representa la sucesión vegetal de pastizales a bosques, desde 1987 a 1998. Los bosques se ubican en zonas altas tanto de la parte de islas como en las barrancas y tierras altas. Difieren en su composición florística y características estructurales (altura, densidad, diámetro, cobertura, entre otros).

**Figura 10.** Mapa de clasificación de la clase de cambio “pastizales a cultivos”, registrados principalmente en la Pcia. de Santa Fe



Fuente: elaboración propia.

**Figura 11.** Mapa de clasificación de clase de cambio de pastizales a bosques, identificados en el paisaje fluvial del área de estudio



**Fuente:** elaboración propia.

### *Análisis de la confianza*

La confianza global estimada de la clasificación fue de 0,827 (83%) (tabla 2).

**Tabla 2. Matriz de contingencia**

	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5	Clase 6	Clase 7	Clase 8	Clase 9	Clase 10	Clase 11	TOTAL	Am
Clase 1	51	0	0	0	0	3	0	0	4	0	2	60	13804860
Clase 2	0	7	10	0	0	0	0	0	0	13	0	30	3600
Clase 3	0	5	33	0	0	0	0	0	0	12	0	50	2857
Clase 4	0	0	6	35	0	0	4	1	1	2	1	50	460276
Clase 5	12	1	1	23	7	0	0	6	0	0	0	50	63596
Clase 6	27	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	40	25927
Clase 7	0	0	0	8	0	0	28	0	0	14	0	50	542486
Clase 8	9	0	0	11	0	1	4	12	0	2	0	39	35493
Clase 9	8	0	2	10	0	0	2	5	8	5	0	40	154371
Clase 10	0	0	2	1	0	0	0	0	0	47	0	50	881367
Clase 11	6	0	3	27	0	0	1	0	1	0	2	40	59541
TOTAL	113	13	57	115	7	17	39	24	14	95	5	499	16034374

Fuente: elaboración propia.

En el sentido de las columnas se expresan los valores de terreno, y en el de las filas, los valores resultantes en el mapa. En la diagonal: asignaciones correctas. Por encima de la diagonal, se aprecian los números de clases asignadas erróneamente. La columna Am indica el área que representa cada una de las clases.

Estos resultados han permitido conocer la cobertura de suelo presente en el PNPD y su área de influencia, y sus cambios en el período 1987-1998, a fin de reflejar las variaciones en una etapa previa y posteriormente a la declaración del PNPD como área protegida. Se ha demostrado que la utilidad del uso de técnicas de teledetección para la obtención de información sobre la cobertura del suelo. Se ha obtenido cartografía mediante el empleo y adaptación de dichas técnicas y se han propuesto umbrales y criterios propios de trabajo para la región.

Si bien en el período señalado se estima que cerca del 90% del área no presenta cambios de cobertura, los cambios identificados responden a las dinámicas de modificación del paisaje regional, tales como las fases de inundación-sequía, sucesión vegetal, deforestación para manejo agrícola, principalmente.

Las técnicas de obtención, procesamiento y transformación de datos espaciales ha permitido desarrollar un esquema de trabajo adaptado a la región, y generar cartografía con un grado aceptable de error que muestre y cuantifique las coberturas de suelo presentes en el área de estudio, así como sus variaciones en un período de tiempo dado.

### **Conclusiones**

A modo de conclusión puede afirmarse que se identificaron cinco clases de cobertura de suelo (bosques, pastizales, cultivos, infraestructura-suelo desnudo, y agua) y seis clases de cambio (agua a bosque y a pastizales; bosque a cultivos, pastizales a agua, a bosques y a cultivos).

En cuanto a las coberturas que no han presentado cambios entre 1987 y 1998, el 74 % del área estudiada corresponde a cultivos (clase 1), el 6% a agua (clase 10), el 6% a infraestructuras y suelo desnudo (clase 9), el 3 % a pastizales (clase 4) y menos del 1% a bosques (clase 8). Esto suma cerca de un 90% del área que no ha cambiado. En cuanto al 10% restante, menos del 1% del área ha cambiado de agua a bosques (clase 2), de agua a pastizales (clase 3), y de pastizales a bosques (clase 5). El 4% del área ha

cambiado de bosques a cultivos (clase 6), el 2% de pastizales a agua (clase 7), y el 3% de pastizales a cultivos (clase 11).

A los datos anteriores deben sumarse los valores de errores en la determinación de cada una de las clases. En términos generales se aprecia que las clases estables de cultivos, pastizales, agua (clases 1, 4, 10) y la clase de cambio de agua a pastizales y de pastizales a agua (clases 3 y 7), presentaron alta precisión, mientras que las restantes deberán ser revisadas.

Con base en los resultados obtenidos y a lo discutido previamente, la metodología desarrollada en el presente trabajo puede ser revisada, adaptada, corregida y empleada para futuros trabajos de mapeo de cambios de cobertura en la región, ya que ha demostrado su utilidad para la generación de cartografía temática. Los mapas obtenidos dan cuenta de los principales procesos que modelan el paisaje regional.

La disponibilidad de imágenes para la región es baja y ha variado de acuerdo con los diferentes sensores y misiones de Landsat. Aún así, se puede acceder de forma eficiente y gratuita a la serie de datos históricos, y efectuar las correcciones necesarias para el uso de las imágenes.

La serie de datos Landsat es recomendable para el estudio de la cobertura del suelo y el análisis de cambios temporales en la región.

La clasificación supervisada y la segmentación resultaron ser técnicas robustas para identificar, delimitar y cuantificar los tipos de cobertura de suelo y sus cambios en el área de estudio.

### **Agradecimientos**

GOFC-GOLD START por proveer los medios para la ejecución del presente trabajo (Software, imágenes). A los docentes del Workshop GOFC-GOLD por la colaboración prestada. A las instituciones de pertenencia de los autores. A la Universidad Autónoma de Entre Ríos y a la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCYT-Proyecto PICT-Código: PICT-2008-0691) por el financiamiento parcial. A la Dr.a Anya Hartpence por la revisión del trabajo. Especialmente se agradece a los Dres Thomas Loveland y Curtis Woodcook por su desinteresada colaboración. A los revisores del trabajo por contribuir con su mejora.

## Referencias Bibliográficas

- Aceñolaza, P. G., Povedano, H. E., Manzano, A. S., Muñoz, J. De D., Areta, J. I. y Ronchi, A. L. (2004). Biodiversidad del Parque Nacional Pre-Delta. *Revista Temas de la Biodiversidad del Litoral Fluvial Argentino. Serie Misc. INSUGEO 12.* (pp.169-184).
- Aceñolaza, P.; W. Sione, F. Kalesnik y M. C. Serafini. (2005). Determinación de unidades homogéneas de vegetación en el Parque Nacional Pre-Delta (Argentina). *Revista Temas de la Biodiversidad del Litoral Fluvial Argentino. Serie Misc. INSUGEO 14.* (pp. 81-90).
- Aceñolaza, P. G., Zamboni, L. P. y Gallardo, J. F. (2006). "Ciclos biogeoquímicos de bosques de la llanura de inundación del río Paraná (Argentina): Aporte de hojarasca. Medioambiente en Iberoamérica. Visión desde la Física y la Química en los albores del SXXI. J. F. Gallardo Lancho (EDITOR). Sociedad Iberoamericana de Física y Química Ambiental. Tomo II de III. (pp 529-536).
- Aceñolaza, P. G., Zamboni, L. P. y Gallardo, J. F. (2007). *Estimación de Carbono en tres bosques de la llanura aluvial del Bajo Paraná (R. Argentina)*. En: La Captura de Carbono en Ecosistemas Terrestres Iberoamericanos. RED POCAIBA. Red Iberoamericana de Física y Química Ambiental. (J. F. Gallardo Lancho Ed.). Salamanca, España. 39-45 pp. ISBN: 978-84-611-9622-7. (pp 255).
- Aceñolaza, P. G., Povedano, H. E., Manzano, A.S., Rodriguez, E., Sanchez, L., Ronchi, A.L., Jimenez, E., Demonte, D. y Marchetti, Z. (2008a). Biodiversidad de la región superior del Complejo Deltaico del Río Paraná. *Revista Temas de la Biodiversidad del Litoral III. INSUGEO, Miscelánea, 17.* (pp. 127-152).
- Aceñolaza, P. G., Zamboni, L. P., Sione, W. F. y Kalesnik, F. (2008b). Caracterización de la región superior del Complejo Litoral del Río Paraná: grandes unidades de ambiente. *Revista Temas de la Biodiversidad del Litoral Fluvial Argentino III. INSUGEO- CONICET. 17(2).* (pp 293-308).
- Aceñolaza, P.G., Zamboni, L. P. y Gallardo, J. F. (2009). Ciclos biogeoquímicos de bosques de la llanura de inundación del Río Paraná (Argentina): aporte de hojarasca. *Revista Bosque 30(3)*, 135-145
- Bó, R. F. (2006). *Ecorregión Delta e islas del Paraná*. En: La situación ambiental de la Argentina 2005. Brown A., U. Martínez Ortiz, M.

- Acerbi y J. Corcuera (Eds). Fundación Vida Silvestre Argentina. Buenos Aires. . (pp.130-143).
- Brizuela, A. B., Aguirre, C. A. y Velasco, I. (2007). *Aplicación de métodos de corrección atmosférica de datos Landsat 5 para análisis multitemporal. Teledetección - Hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional*. Ed. Martin. (pp. 207-214).
- Chuvieco, E. (2002). *Teledetección ambiental*. Editorial Ariel. España. (pp. 568).
- Drago, E. C. (2007). The Physical Dynamics of the River - Lake Floodplain System. En: M. H. Iriondo, J. C. Paggi y M. J. Parma (Eds). *The Middle Paraná River: Limnology of Subtropical Wetland*. Springer.-Verlag. Berlin. Heidelberg. (pp. 83-122).
- Franceschi, E. A., Torres, P. S. y Lewis, J. P. (2010). Diversidad de la vegetación durante su recuperación tras una creciente extraordinaria del Río Paraná Medio (Argentina). *Revista International Journal of Tropical Biology*, 58(2). (pp. 707-716).
- Iriondo, M. (2004). The Littoral complex at the Paraná mouth. *Revista Quaternary International*, 114. (pp. 143-154).
- Iriondo, M. H. Geomorphology. En: Iriondo, M. H., Paggi, J. C. y Parma, M. J. (Eds). (2007). *The Middle Paraná River: Limnology of a Subtropical Wetland*. Springer.-Verlag. Berlin. Heidelberg. (pp. 33-51).
- Kandus P., Malvárez, A. I. y Madanes, N. (2003). Estudio de las Comunidades de plantas herbáceas de las Islas Bonaerenses del Bajo Delta del Río Paraná (Argentina). *Darwiniana*, 41(1-4). (pp. 1:16).
- Malvárez, A. I. (1999). *El Delta del Río Paraná como mosaico de humedales*. En: Malvárez, A. I. (ed.). *Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica*, Montevideo, Oficina Regional de Ciencia y Técnica para América Latina y el Caribe (ORCyT) MAB/ UNESCO. (pp. 35-53).
- Masek, J. G., Vermote, E.F., Saleous, N., Wolfe, R. Hall, F.G., Huemmrich, F., Gao, F., Kutler, J. and Lim, T.K. (2006). "A Landsat surface reflectance data set for North America", 1990-2000. *Revista Geoscience and Remote Sensing Letters*, 3. (pp. 68-72).
- Pratolongo, P., Kandus, P. y Brinson, M.M. (2008). Net aboveground primary production and biomass dynamics of *Schoenoplectus*



- californicus (Cyperaceae) marshes growing under different hydrological conditions. *Revista Darwiniana*, 46(2). (pp. 258-269).
- Rodriguez, E., Aceñolaza, P., Muñoz, J.D.D y Marchetti, Z. (2007). Actualización de la lista florística del Parque Nacional Pre-Delta. *Revista Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 42 (s) (pp. 97).
- Seto, C.K. Woodcock, C. E., Song, C., Huang, X., Lu, J. and Kaufmann, R.K. (2002). Monitoring land-use change in the Pearl River Delta using Landsat TM. *Revista International Journal of Remote Sensing*, 23(10) (pp. 1985-2004).
- Song C., Woodcock, C. E., Seto, K. C., Lenney, M. P. \* and Macomber, S.A. (2001). Classification and Change Detection Using Landsat TM Data: When and How to Correct Atmospheric Effects?. *Revista Remote Sensing of Environment*, 75 (pp. 230–244).
- Strahler, A. (1980). The Use of Prior Probabilities in Maximum Likelihood Classification of Remotely Sensed Data. *Revista Remote Sensing Of Environment*, 10 (pp. 135-16).
- Vicari R., Kandus, P. Pratolongo, P. y Burghi, M. (2006). *Alteración en el almacenaje de carbono por la intervención humana de los sistemas naturales en el Bajo delta del Río Paraná. Su importancia en el balance emisión-sumidero de CO2 atmosférico*. En: Brown et al. (eds.) *La Situación Ambiental de la Argentina*. Editorial Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires (pp. 161-163).
- Woodcock, C and Harward, V.J. (1992). Nested-hierarchical scene models and image segmentation. *Revista International Journal of Remote Sensing* 13. (pp 3167-3187).
- Woodcock, C. E., Macomber, S. A., Pax-Lenney, M., and Cohen, W. B. (2001). Large area monitoring of temperate forest change using Landsat data: Generalization across sensors, time and space. *Revista Remote Sensing of Environment*, 78(1–2) (pp. 194–203).
- Zamboni, P. y Aceñolaza, P. (2004). Aporte al conocimiento de ciclos de materia orgánica (MO) en formaciones boscosas de la llanura de inundación del río Paraná. *Revista Temas de la Biodiversidad del Litoral Fluvial Argentino*. INSUGEO-CONICET.12. (pp. 161-168).
- Zamboni, P. y Aceñolaza, P. (2005). *Aporte al conocimiento de la dinámica de materia orgánica en bosques de la porción baja de la Cuenca*

*del Plata. Humedales Fluviales de América del Sur. Hacia un Manejo Sustentable*. PROTEGER Ediciones (pp. 535-541).

- Zhu, Z., Woodcock, C. E., Rogan, J. and Kellndorfer, J. (2012). Assessment of spectral, polarimetric, temporal, and spatial dimensions for urban and peri-urban land cover classification using Landsat and SAR data. *Revista Remote Sensing of Environment* 117 (pp. 72–82).
- Zhu, Z. and Woodcock, C. E. (2012). Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery. *Revista Remote Sensing of Environment*, 118, 83-94.