

## 22. Sensoramiento Remoto y Meteorología Aplicada

### **Determinación de la pérdida de masa arbórea desde 1996 a 2016 en la provincia de Santa Fe mediante teledetección**

Calvet, María Ayelén; Conti, Nicolás; Di Leo, Néstor;

mariaayelencalvet@gmail.com; nico.conti@hotmail.com; nestordileo@yahoo.com.ar

Facultad de Ciencias Agrarias

Universidad Nacional de Rosario

---

#### **Resumen**

La deforestación y la degradación de los bosques son causantes de la pérdida de servicios ambientales como refugio de biodiversidad, retención de suelos, retención de carbono, ciclado de nutrientes y asimilación de contaminantes. En las últimas décadas, tanto la deforestación como la degradación de los bosques se deben sobre todo a la expansión de la frontera agropecuaria. Los objetivos del presente trabajo fueron medir la pérdida de superficie ocupada por masa arbórea en los años 1996, 2004, 2008, 2013 y 2016 y la tasa de extracción de masa arbórea anual (promedio por período) y así obtener los períodos de mayor pérdida y mayor tasa. La tarea se efectuó en su totalidad en gabinete procesando imágenes satelitales Landsat 5 y Landsat 8 con el software QGIS 2.14.8 Essen. Con las imágenes satelitales se generaron mosaicos según sendos path, los cuales fueron clasificados de forma supervisada a partir de reconocimiento visual. Las clases correspondientes a masas arbóreas fueron agrupadas y vectorizadas, tales vectores fueron editados posteriormente para corregir los errores de la clasificación. A partir de estos se calcularon las áreas que ocupaban año a año y por departamento. Los resultados arrojaron que en todo el período total analizado se perdieron 357.332 has de masa arbórea de la provincia de Santa Fe. De lo existente en 1996, se perdió el 27%. Los períodos de mayor tasa de extracción fueron el 2004-2008 con 46.160 has/año y el período 2013-2016 con 32.430 has/año.

**Palabras clave:** imágenes Landsat, QGIS, clasificación supervisada, masa arbórea.

#### **Introducción**

La deforestación y la degradación de los bosques son causantes de la pérdida de diversos servicios ambientales como refugio de biodiversidad, retención de suelos, belleza escénica, retención de

carbono, ciclado de agua y nutrientes y asimilación de contaminantes (PNUMA, 2010; IPCC, 2007). En las últimas décadas, la deforestación y degradación de los bosques se debe sobre todo a la

ocupación de estos territorios con agricultura de altos insumos y ganadería con pasturas implantadas (Morello, 2006).

La región norte de la provincia de Santa Fe (Argentina) todavía conserva una masa arbórea importante. En el área de estudio conviven dos ecorregiones: el Chaco Húmedo y el Espinal. La primera contempla diversas comunidades vegetales siendo predominante el monte fuerte o quebrachal, cuya especie dominante es el quebracho colorado chaqueño (*Schinopsis balansae*). En menor cantidad se encuentra el quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*), ambas especies caducifolias situados en las posiciones altas del terreno. A los sectores más bajos los caracterizan las sabanas y los palmares. Las primeras están cubiertas por herbáceas con leñosas espaciadas entre sí, generalmente ñandubay (*Prosopis affinis*) y palo piedra (*Diplokeleba floribunda*). Los palmares, de palma blanca o caranday (*Copernicia alba*), son caracterizados por tener un dosel abierto. En los albardones de los ríos alóctonos se encuentran las selvas en galería con el timbó colorado (*Enterolobium contortisiliquum*), el lapacho rosado (*Handroanthus heptaphyllus*) el guayaibí (*Cordia americana*), entre otros. En los terrenos más bajos, inundables, se encuentran cañadas, esteros y lagunas

con vegetación predominantemente herbácea (Guinzburg y Adámoli, 2006).

Los montes del Espinal en el centro de Santa Fe son abiertos o muy abiertos con un estrato arbóreo alto de hasta 6 m o más de altura, caracterizado por albergar especies del género *Prosopis* (algarrobos, ñandubay, caldén), alternando con sabanas y pastizales, algunos de ellos con características halo-hidromórficas como los espartillares (*Spartina argentinensis*) (Lewis et al. 2006).

Estas regiones han hospedado diversas actividades socio-económicas que afectaron su estructura y funcionalidad. El Chaco Húmedo históricamente ha sido degradado por diversos motivos entre los que se encuentra la extracción de madera para el sistema ferroviario y de alambrado, la extracción de taninos de los quebrachos colorados y extractos para aceites esenciales de palosanto y el desmonte para instalación de cultivos de algodón y explotación petrolera. El fenómeno más actual que afecta a esta región es el de la *pampeanización* del chaco que implica la práctica de actividades agropecuarias con un paquete tecnológico similar o incluso igual que en la Pampa Húmeda. En este proceso los altos rindes permiten costear desmontes masivos y acelerar la ocupación (Morello, et al, 2006).

En el caso del Espinal, la pérdida de ejemplares leñosos se dio por la gran

diferencia de rentabilidad inmediata entre mantener tierras forestales con ganadería extensiva y convertirlas a la agricultura en general, lo que empujó a los propietarios hacia esta última opción, proceso que eliminó una alta proporción de bosques de algarrobo.

La necesidad de relevar la dinámica de estas comunidades vegetales es muy grande, a fin de conocer el estado multitemporal de los recursos naturales que poseemos y la forma en que las actividades antrópicas los afectan para poder generar políticas para su manejo y conservación.

Para eso, se deben establecer los criterios que determinen qué tipo de comunidades vegetales o coberturas se estudiarán, y los bosques han sido el primero objetivo. Según la FAO un bosque es tierra que se extiende por más de 0,5 hectáreas dotada de árboles de una altura superior a 5 metros una cubierta de dosel superior al 10 por ciento, o de árboles capaces de alcanzar esta altura in situ.

## Objetivos

Los objetivos fueron calcular la pérdida de superficie cubierta por masa arbórea en la provincia de Santa Fe y la tasa de extracción anual promedio por período y así determinar cuáles fueron los períodos con mayor pérdida y mayor tasa.

## Materiales y métodos

En el caso de las ecorregiones involucradas en el estudio, como se ha descrito en párrafos anteriores, poseen bosques heterogéneos, e incluso otras comunidades, como sabanas y palmares, que pueden tener cobertura similar a la de un bosque degradado o incluso a fragmentos de bosque con dosel abierto, situación común en la Cuña Boscosa Santafesina. Es por esto que medir la superficie ocupada por bosque está afuera del alcance (si nos atenemos a la definición estricta de bosque, y tenemos en cuenta que el límite a partir del cual no es más bosque, por degradación o por ser otro bioma, es difuso) de quienes trabajamos con teledetección con una resolución de 30 metros y en esta región.

Estos aspectos hicieron que el objeto a contabilizar en superficie sea la *masa arbórea*, sin contemplar si se trata de bosque. Tampoco se tuvo en cuenta la altura de los árboles, pero sí se eliminaron los polígonos menores a 0,5 has.

La región de estudio incluyó la porción de la provincia de Santa Fe (norte) que está provista de bosques nativos (Figura 1). La misma está comprendida por los límites políticos oeste y norte de la provincia, la ruta nacional n° 19 al sur, y al este por un límite construido a través de la observación de las imágenes satelitales teniendo en cuenta el tipo de bosque que

se visualizaba, siendo apartados los pertenecientes al área de macrosistemas de humedales de origen fluvial por la

compleja dinámica que sus flujos de energía y materiales sufren debido a los pulsos de inundación y sequía (Bó, 2006).

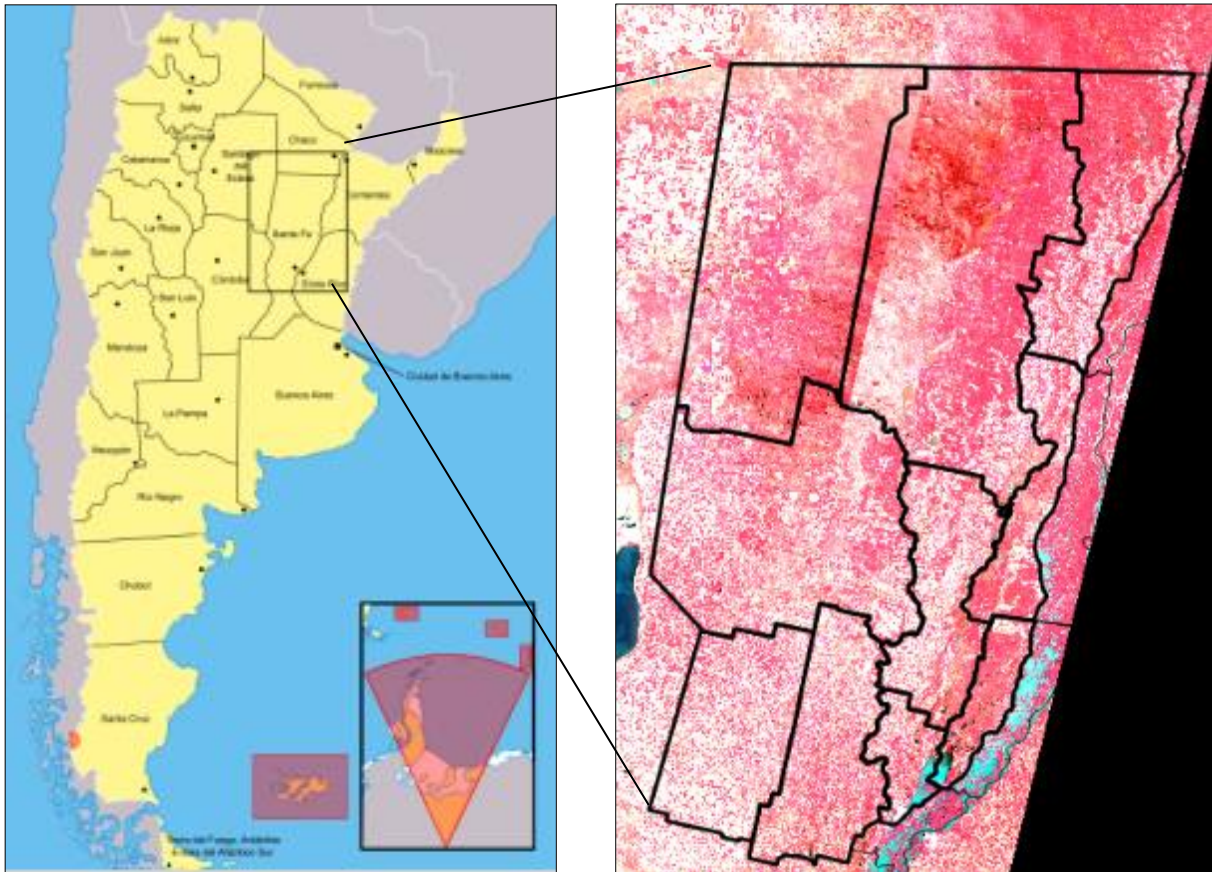


Figura 1. Región de estudio (derecha) delimitada por línea negra, con las divisiones departamentales que contempla, y su ubicación en Argentina (derecha).

Se comenzó con una búsqueda de imágenes satelitales en el servidor del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS por sus siglas en inglés) Earth Explorer. Los criterios de búsqueda sintetizaban el lugar y la fecha de la imagen que se quería buscar. Los *path* (o “caminos”) 227 y 228 y los *row* (o “filas”) 082, 081, 080 y 079 constituyeron 8

imágenes que cubrieron todo el territorio en estudio (tabla 1). Las fechas entre las que se eligieron estaban contempladas en los meses estivales (de octubre a marzo) ya que la detección de masa arbórea desprovista de follaje es más engorrosa y hasta imposible por la similitud a la respuesta espectral de otras coberturas.



Tabla 1. Fechas de las imágenes con las que se trabajó con su respectivo año, satélite, sensor y ubicación geográfica (*path* y *row*).

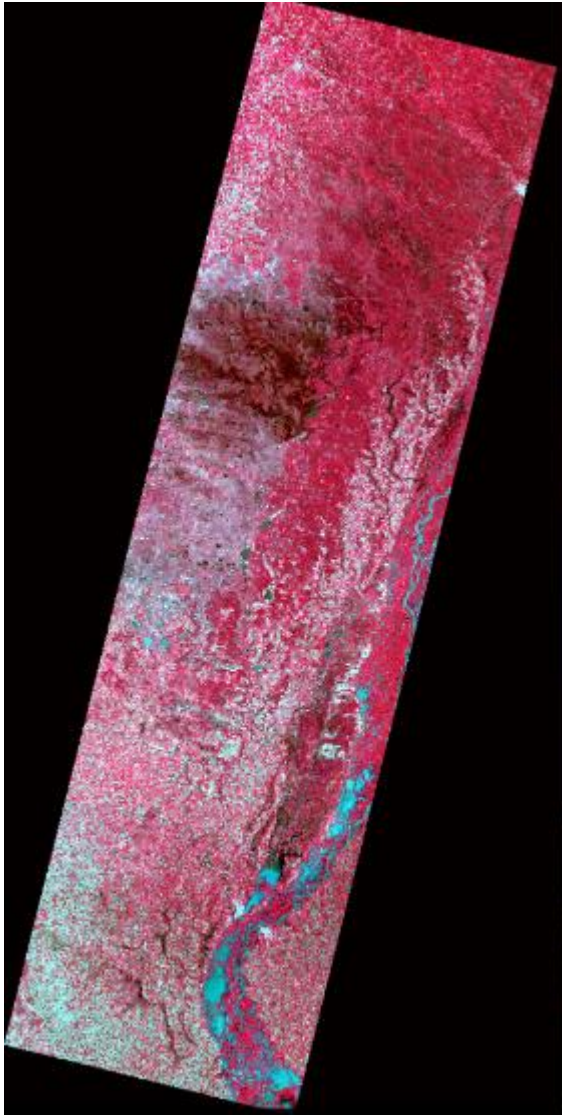
Path	Row	Satélite y sensor				
		Landsat 5 (TM)		Landsat 8 (OLI)		
		Fechas				
		1996	2004	2008	2013	2016
227	79	13/11	21/02	16/12	12/11	04/11
227	80	13/11	21/02	16/12	12/11	04/11
227	81	18/03	21/02	16/12	12/11	04/11
227	82	13/11	21/02	16/12	12/11	04/11
228	79	20/11	27/01	21/11	03/11	29/02
228	80	20/11	27/01	21/11	03/11	29/02
228	81	20/11	27/01	21/11	03/11	29/02
228	82	20/11	27/01	21/11	03/11	29/02

Todas las utilizadas pertenecen a la serie Landsat y se tomaron en los años 1996, 2004, 2008 (Landsat 5, sensor Thematic Mapper - TM) 2013 y 2016 (Landsat 8-Operational Land Imager - OLI). Ambos sensores poseen una resolución espacial de 30 m., con una resolución espectral de 6 bandas reflectivas abarcando desde el azul en el visible hasta el infrarrojo medio. En la totalidad del trabajo se utilizó el software QGIS 2.14.8 Essen.

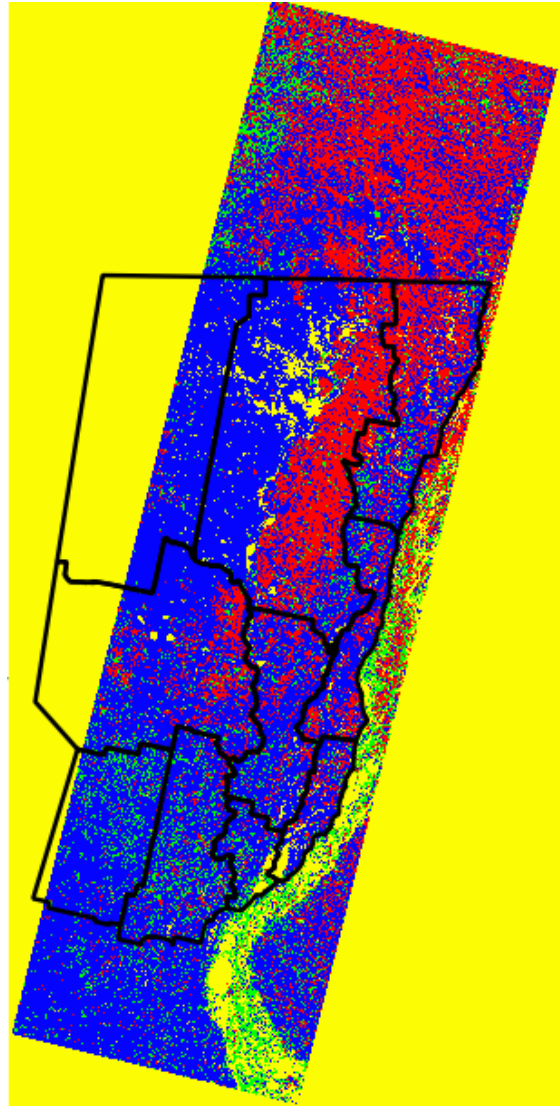
En primer término, se procedió a la realización de ajustes geométricos en algunas de las imágenes de 1996 que lo requerían. Posteriormente se trabajó en la delimitación del límite oriental del área de estudio, con la finalidad de no incluir en la misma a los sectores correspondientes al valle de inundación del río Paraná.

Las imágenes correspondientes a un mismo *path* y a una misma fecha de captura fueron ensambladas mediante la realización de mosaicos con la mayor cantidad de imágenes de una misma fecha (figura 2, izquierda). De esta manera, posteriormente el procesamiento se le haría a menor cantidad de archivos.

Luego de esto se realizaron clasificaciones supervisadas (figura 2, derecha). Mediante interpretación visual, al software se le indicaron diversas coberturas como agua, suelo desnudo, suelo cultivado, áreas urbanas y masa arbórea. A pesar de que únicamente la última cubierta era la que interesaba obtener, esta metodología permitió conocer la exactitud de la clasificación, verificando si las demás coberturas coincidían con el resultado de la misma.



(a)



(b)

Figura 2. Mosaico de imágenes Landsat 5 (TM) del año 2004 *path* 227, *row* 082, 081, 080, 079 (a) y clasificación supervisada del mosaico (b) con la masa arbórea en rojo.

Las clases que se interpretaban visualmente como correspondientes con masas arbóreas fueron fusionadas entre sí y a posteriori se vectorizaron, creando una capa vectorial (en formato *shapefile*) de masa arbórea para cada año que incluía a todos los polígonos georreferenciados con masa arbórea de la provincia en el área de estudio. Sobre cada capa vectorial se hicieron

corroboraciones visuales complementarias, verificando sus límites con la imagen correspondiente al año que pertenecía la clasificación. En caso de no serlo, se editaron los vectores, ya sea borrando polígonos enteros o corrigiendo su tamaño. Esta etapa fue minuciosa, hasta lograr una interpretación visual a escala de 1:80.000.



A medida que se iba avanzando sobre el territorio, se observaba el contraste del vector con la imagen del año

correspondiente para verificar que representara fehacientemente un sector con árboles (figura 3).

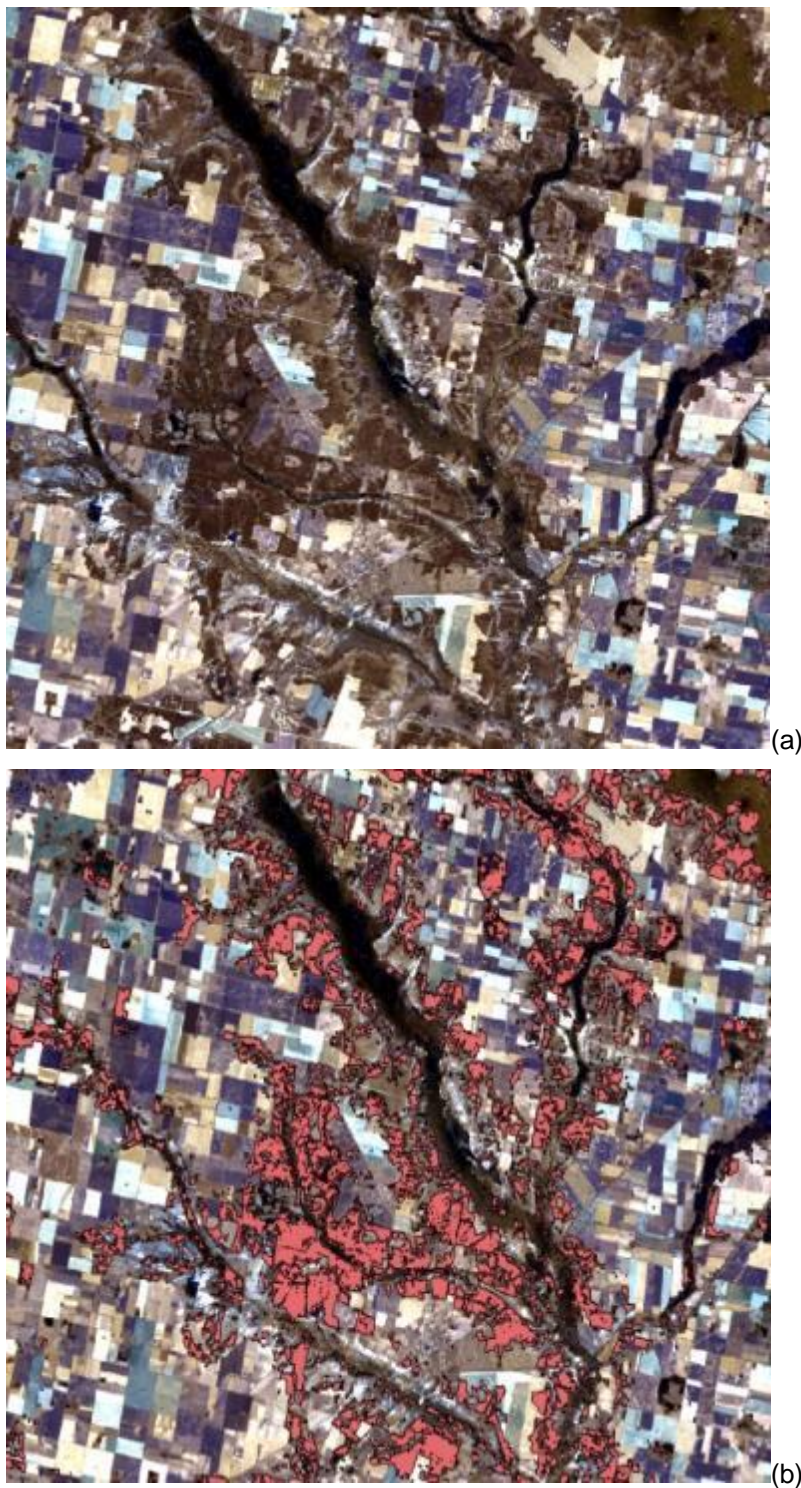


Figura 3. Imagen satelital (abajo) y con el vector de masa arbórea correspondiente (arriba) en la etapa de verificación y edición.

Se recurría a diferentes composiciones de color RGB de las imágenes para su distinción, siendo las más comunes la 432 o la 321. En caso de no poder notarlo con claridad se recurría a Google Earth, en su herramienta de imágenes históricas hasta una escala aproximada de 1:20.000 (figura 4).

Luego se recortaron los vectores con el polígono correspondiente a los departamentos de la provincia. Finalmente, se calcularon las superficies ocupadas por los vectores por departamento para cada año comprendido en el análisis.



Figura 4. Herramienta de imágenes históricas de Google Earth. Sector en donde se ejemplifica la situación en diciembre de 1996 (a), y en diciembre de 2016 (b)



## Resultados y discusión

La superficie de masa arbórea por fue disminuyendo marcadamente de año a año en todos los departamentos (Tabla 2 y Gráfico 1), acumulando 357.332 has en

el 2016, que constituye el 27 % del total (Tabla 3). En la Figura 5 se puede notar, aún a una escala muy pequeña que permita ver la totalidad del territorio, la diferencia de cobertura entre los años 1996 y 2016.

Tabla 2. Superficie (en ha) de cobertura arbórea por departamento y por año.

	1996	2004	2008	2013	2016
<b>Castellanos</b>	7,145.9	7,079.0	411.7	392.2	387.2
<b>Garay</b>	24,487.9	22,771.6	20,128.4	16,192.4	14,198.7
<b>Gra. Obligado</b>	245,872.5	242,611.6	221,696.7	214,119.6	188,129.1
<b>La Capital</b>	115,87.4	104,71.4	6,917.8	6,428.9	3,318.9
<b>Las Colonias</b>	20,571.1	18,390.0	11,206.9	10,824.7	9,943.5
<b>9 de Julio</b>	193,629.7	192,484.7	156,747.9	149,549.9	107,458.3
<b>San Cristobal</b>	155,990.4	154,351.5	127,485.0	127,447.0	125,218.0
<b>San Javier</b>	98,672.2	81,815.7	63,857.5	59,038.4	54,412.7
<b>San Justo</b>	78,845.2	76,214.8	58,314.0	57,612.8	53,048.4
<b>Vera</b>	482,156.6	464,200.9	418,987.3	417,313.7	405,512.0
<b>Totales</b>	<b>1,318,959.0</b>	<b>1,270,391.3</b>	<b>1,085,753.4</b>	<b>1,058,919.6</b>	<b>961,626.9</b>

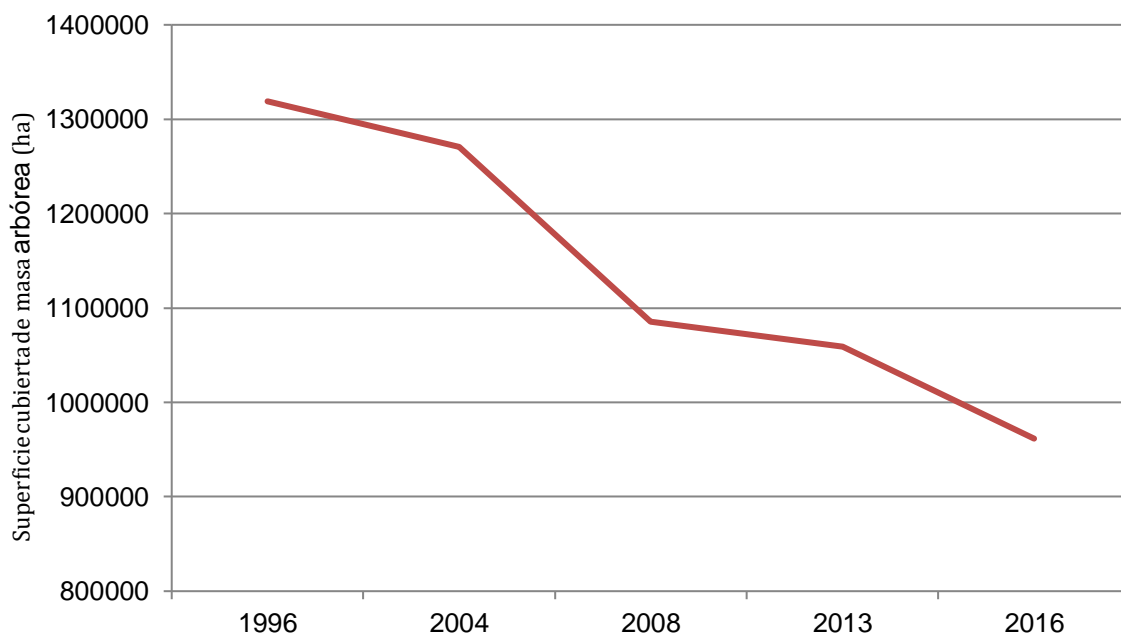


Gráfico 1. Superficie en hectáreas de masa arbórea en los años de estudio

Hay departamentos que han perdido gran parte y hasta casi la totalidad de su cobertura vegetal arbórea. Entre los que mayor proporción perdieron se encuentran Castellanos, La Capital y Las Colonias, con 94,6, 71,4 y 51,7% respectivamente en los 20 años que comprende el período de estudio (tabla 2).

Los períodos que más perdieron masa arbórea fueron el 2004-2008 y el 2008-2013 con 14% y 7,43% respectivamente (Tabla 4). A su vez, la tasa de extracción anual promedio, calculada como el total de superficie perdida por período sobre la cantidad de años que contempla dicho período, fue de 46.160 has/año en el 2004-2008, de 32.430 has/año en el 2013-2016, de 6071 has/año en el 1996-2004,

alcanzando su menor valor en el período 2008-2013 con 5366 has/año.

Los datos de pérdida de masa arbórea se obtuvieron, como ya se mencionó, empleando imágenes de resolución espacial de 30 metros, por lo que su precisión queda limitada por la escala máxima de trabajo posible de lograr. Por otra parte, estos son datos preliminares ya que no se ha realizado todavía, un estudio a campo para corroborar dichos datos en el terreno y generar las medidas del error cometido en la clasificación que son de rigor. Tal aporte será realizado a la brevedad, por lo que se les otorgará más exactitud a los resultados.

Tabla 3. Porcentaje acumulado de pérdida de masa arbórea con respecto al año de referencia (1996) por departamento

	2004	2008	2013	2016
Castellanos	0.9%	94.2%	94.5%	94.6%
Garay	7.0%	17.8%	33.9%	42.0%
Gra. Obligado	1.3%	9.8%	12.9%	23.5%
La Capital	9.6%	40.3%	44.5%	71.4%
Las Colonias	10.6%	45.5%	47.4%	51.7%
9 de Julio	0.6%	19.0%	22.8%	44.5%
San Cristobal	1.1%	18.3%	18.3%	19.7%
San Javier	17.1%	35.3%	40.2%	44.9%
San Justo	3.3%	26.0%	26.9%	32.7%
Vera	3.7%	13.1%	13.4%	15.9%

Tabla 4. Superficie total perdida por período y el porcentaje del total que representa

	1996- 2004	2004- 2008	2008-2013	2013-2016
Superficie perdida por período (ha)	48,567.3	184,638.3	26,833.8	97,292.7
Porcentaje	3.68%	14.0%	2.03%	7.43%

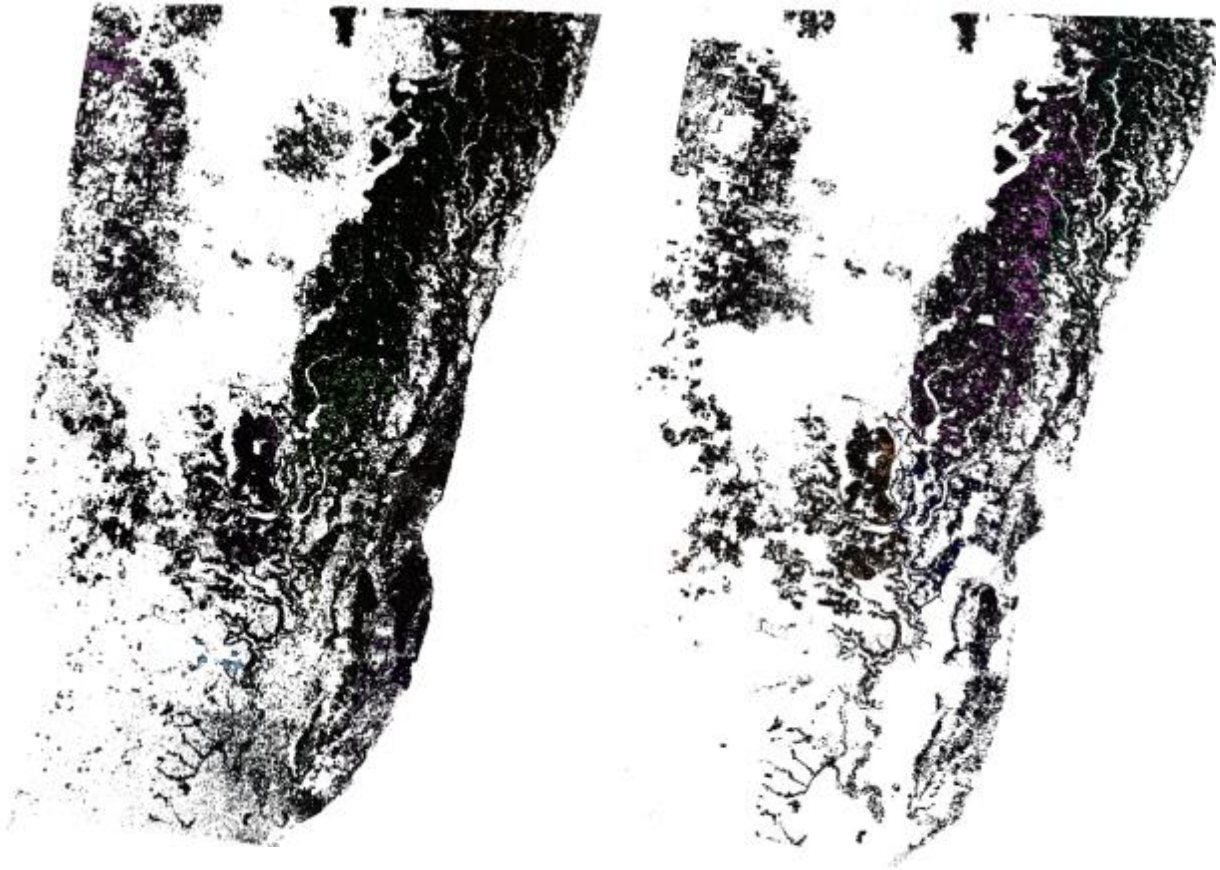


Figura 5. Masa arbórea en 1996 (izq.) y en 2016 (der.)

## Conclusiones

La Ley Nacional de Bosques Nativos (Nº 26.331), sancionada en el año 2008, tiene como objetivos “promover la conservación mediante el Ordenamiento Territorial de los Bosques Nativos y la regulación de la expansión de la frontera agropecuaria y de cualquier otro cambio de uso del suelo, implementar las medidas necesarias para regular y controlar la disminución de la superficie de bosques nativos existentes, tendiendo a lograr una superficie perdurable en el tiempo, mejorar y mantener los procesos ecológicos y

culturales en los bosques nativos que beneficien a la sociedad”, entre otros.

Si bien en el presente estudio se ha cuantificado la superficie ocupada por masas arbóreas, y no la correspondiente a áreas boscosas en el sentido ecológico de su definición, los resultados estarían mostrando que tales objetivos no están siendo eficazmente cumplidos en la actualidad.

Las cifras muestran una reducción en la superficie ocupada por masa arbórea del 27%, que implica más de 350.000 has en tan solo 20 años, pérdidas que pueden ser consideradas como preocupantes. Esto



muestra, además de una alteración de los ecosistemas santafesinos, una gran ausencia de controles estatales.

Estos datos podrían actualizarse e incluso precisarse dado que el manejo de herramientas de teledetección y sistemas de información geográfica permiten lograr la generación de cartografías de áreas extensas, multitemporales y de manera relativamente económica. De esta forma el monitoreo del estrato arbóreo se vuelve posible y accesible, a fin de controlar su uso y aprovechamiento.

Por eso concluimos que, con la implementación de esta metodología, y con políticas de control a lo largo y a lo ancho del territorio santafesino se podría cumplir los objetivos que la ley N° 26.331 prevé.

## Bibliografía

Bó R. 2006. Situación ambiental en la ecorregión Delta e Islas del Paraná. En: Brown A, U Martínez Ortiz, M Acerbi, J Corcuera. *La situación ambiental argentina 2005* (págs. 2-3). Buenos Aires: Fundación Vida Silvestre Argentina.

Food and Agriculture Organization (FAO). (2010). *Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales*. Roma: FAO.

Food and Agriculture Organization. (11 de Mayo de 2015). *Los bosques y suelos forestales contribuyen de manera esencial*

*a la producción agrícola y la seguridad alimentaria mundial*. Obtenido de <http://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/285875/>

Guinzburg, R., & Adámoli, J. (2006). Situación ambiental en el Chaco Húmedo. En A. Brown, U. Martínez Ortiz, J. Acerbí, & J. Corcuera, *La situación ambiental argentina 2005* (págs. 103-112). Buenos Aires: Fundación Vida Silvestre Argentina.

Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC). (2007). *Implicaciones de las opciones de mitigación para las trayectorias de desarrollo sostenible*. ONU.

Lewis JP, EF Pire, IM Barberis y De Prado. (2006). Los bosques del Espinal periestépico en las proximidades de la localidad de Coronda, provincia de Santa Fe (Argentina). *Revista de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias UNR* 6. 13–26

Ley Nacional n° 26.331. 2008. "Ley de ordenamiento territorial de bosques nativos. INFOLEG

Morello J, W Pengue y A Rodríguez. 2006. Etapas del uso de los recursos y desmantelamiento de la biota del Chaco. En: Brown A, U Martínez Ortiz, M Acerbi, J Corcuera. *La situación ambiental argentina 2005* (págs 83-90). Fundación Vida Silvestre Argentina.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2010). *Perspectivas del medio ambiente: América Latina y el Caribe*. Panamá: PNUMA.

## **Financiamiento**

Se dio un estipendio por parte de la Red Agro-forestal Chaco Argentina a los autores del trabajo.

## **Agradecimientos**

El presente trabajo fue realizado bajo la supervisión y coordinación de Néstor di Leo, a quien agradezco su tiempo para la capacitación sobre aspectos técnicos y de manejo de software, sin el que no habría sido posible la realización del estudio.

A la Red Agro-Forestal, que entendió que era un trabajo que requería gran cantidad de tiempo y formación para llevar a cabo esta investigación y por ello otorgó los recursos a los autores.