

# Estudio de la deforestación en la Cuña Boscosa santafesina mediante teledetección espacial

*Studying deforestation in the forest wedge of Santa Fe using satellite remote sensing*

Carnevale N. J.<sup>1,2</sup>; C. Alzugaray<sup>1</sup> y N. Di Leo<sup>1</sup>

Recibido en julio de 2006; aceptado en octubre de 2007

## RESUMEN

En Argentina la deforestación ha hecho estragos sobre los bosques de varias provincias, desde la época de la colonia. La industria de la leña y el carbón, y especialmente la tánica, en la provincia de Santa Fe, han sido la causa principal de este proceso durante décadas pasadas. El empleo de la teledetección en el seguimiento de los procesos de deforestación es una herramienta muy valiosa, ya que proporciona rapidez y precisión en estudios ambientales, que permiten evaluar fácilmente el estado de áreas ecológicamente amenazadas. El objetivo de este trabajo fue determinar el índice de deforestación en la Cuña Boscosa santafesina, a lo largo de treinta años, a partir de 1976. Se utilizaron imágenes Landsat que se ajustaron geoméricamente y se clasificaron a partir de coordenadas conocidas; también se generaron índices de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para las distintas fechas. Finalmente se procedió al análisis multitemporal del conjunto de datos. Los índices de deforestación obtenidos a partir de los valores "q" y "r", muestran un cambio de la cobertura vegetal ( $q = -2,30$ ; y  $r = -2,32$ ); ambas tasas indican la devastación creciente del bosque nativo. Esta degradación resulta mayor que el promedio mundial. Del análisis visual de las clasificaciones se observa una manifiesta fragmentación del bosque, que se acentuó en los últimos cinco años, como consecuencia indirecta de la extensión de la frontera agrícola.

**Palabras clave:** Análisis multitemporal; Cuña Boscosa; Deforestación; Teledetección.

## ABSTRACT

Deforestation in several states of Argentina since times of colonization (1800) has made great damage. The firewood and charcoal industry and specially the extraction of tannin have been the principal causes of this process during the past decades. To follow the deforestation processes, remote sensing has been a very helpful tool, since it is a very fast and accurate method for environmental studies, and allows an easy evaluation over the threatened ecological areas. The goal of this work is to determine the deforestation index in the Cuña Boscosa santafesina, during the period 1976-2005. Landsat images were georeferenced, and classified with known coordinates. Normalized differences vegetation index (NDVI) were generated for the different dates. The following step was a multitemporal analysis. The obtained deforestation index ( $q = -2,30$  and  $r = -2,32$ ), confirm the increasing devastation of the native forest. This deforestation, much higher than world average, shows an intense fragmentation of the forest, illustrated in the images classification. In the last five years this deforestation increased as a consequence of the indirect expansion of the agricultural frontier.

**Keywords:** Multitemporal analysis; Cuña Boscosa; Deforestation; Remote sensing.

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Rosario (UNR).

<sup>2</sup> Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Rosario. E-mail: ncarneva@citynet.net.ar; calzugar@gmail.com; ndileo@unr.edu.ar

## 1. INTRODUCCION

El incremento de la densidad poblacional humana implica una mayor ocupación de la superficie, para permitir el desarrollo de las diferentes actividades; esto, sumado a la ampliación de las áreas urbanas, pone en peligro la existencia y conservación de las áreas naturales de nuestro planeta, ocasionando en la mayoría de los casos, problemas ambientales derivados de la destrucción de los bosques, lo cual implica la alteración de ecosistemas vitales que garantizan la permanencia de las especies sobre la faz de la tierra. (Rivero, 1994). Todas las sociedades dependen de los bosques y tienen responsabilidades inherentes a la conservación de la biodiversidad, la regulación del clima, el aire limpio, la conservación del suelo y el agua, la seguridad de los alimentos, los productos madereros, los servicios de energía, los medicamentos y los valores culturales (Congreso Forestal Mundial, 2004).

Se reconoce cada vez más la importancia que han tenido y tienen los bosques en la lucha contra la pobreza y la protección del medio ambiente (FAO, 2001); sin embargo, a nivel mundial, el ritmo del desmonte y la degradación forestal siguen siendo alarmantes (FAO, 2003). Los bosques pueden constituir redes de seguridad vitales al ayudar a la población rural a evitar, atenuar o escapar de la pobreza proporcionando bienes y servicios. Una estimación de la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable que se elaboró teniendo en cuenta el primer inventario nacional de bosques nativos de la Argentina, revela que el país perdió cerca del 70% de sus zonas boscosas desde 1914 en un proceso de deforestación que no se detiene (Montenegro et. al., 2004), como consecuencia de la demanda de materia prima a bajo costo por los países industrializados (Myers, 1987).

El Gran Chaco ocupa aproximadamente 1.000.000 km<sup>2</sup> y se extiende desde los 15° a los 35° de latitud sur, abarcando el centro-norte de Argentina, el oeste de Paraguay, sureste de Bolivia y una pequeña porción del sureste de Brasil. La gran unidad conocida como provincia fitogeográfica del Gran Chaco (Morello y Adámoli 1974, Prado 1993), denominada por algunos autores Parque Chaqueño (Parodi 1964, Ragonese y Castiglione 1970), está caracterizada por la dominancia neta de especies leñosas desde arbustos bajos hasta árboles muy altos. La limitante hídrica que se acentúa hacia el oeste, así como las características topográficas de la región condicionan y modifican la cobertura vegetal (Popolizio et al. 1970; Popolizio et al. 1978, a, b.).

Dentro de la región Chaqueña Argentina, en la porción más oriental de la Provincia de Santa Fe se encuentra la Cuña Boscosa, que como su nombre lo indica es una extensa área cubierta por masas arbóreas, las que alternan con abras gramíneas y esteros. Desde el punto de vista fisonómico, la región está dominada por bosques xerofíticos mixtos - monte fuerte -, llamados así por presentar una mayor diversidad de especies arbóreas de gran valor maderero en su composición florística, o aquellos dominados por *Schinopsis balansae* Engl. (quebracho colorado), con especies acompañantes como *Aspidosperma quebracho-blanco* Schlecht. (quebracho blanco), *Caesalpinia paraguariensis* (D. Parodi) Burkart, (guayacán) etc. en el estrato superior, y el inferior compuesto por *Prosopis* sp. (algarrobo), *Acacia praecox* Grisebach (garabato), *A. aroma* Gillies ex Hook Et Arn (aromo), *Geoffroea decorticans* (Gill. ex Hook. Et Arn.) Burkart (chañar), *Sideroxylon obtusifolium* (Roem & Schult.) T.D. Penn (saucillo), *Ziziphus mistol* Grisebach, (mistol) etc. La cobertura del estrato arbóreo dentro del quebrachal es variable, por lo tanto la luz no penetra de manera uniforme, además la topografía del suelo presenta irregularidades que generan microclimas internos; estos factores dan origen a un estrato herbáceo muy heterogéneo, tanto en su composición florística como en su cobertura (Lewis y Pire 1981; Lewis, 1991). Estos bosques suelen estar asociados con otras formaciones tales como palmares, sabanas, y distintas comunidades herbáceas entre las que se destacan los pajonales (Cabrera, 1976).

Durante el siglo XX la Cuña Boscosa santafesina sufrió una fuerte modificación debido a la intensa explotación forestal. El producto resultante es el alto grado de fragmentación y deterioro que presentan los bosques remanentes, habiendo quedado reducidos sin excepción, a bosques secundarios. (Alzugaray et al., 2006)

El avance tecnológico actual permite tener un conocimiento global de cualquier región de la superficie de la tierra a partir de imágenes provenientes de sensores a bordo de plataformas satelitales, que pueden ser accesibles a cualquier persona o institución. Estas tecnologías ofrecen una gran ayuda a los países en vías de desarrollo, ya que proporcionan rapidez y precisión en los estudios ambientales, además de facilitar el levantamiento, evaluación, análisis, toma de decisión y puesta en marcha de proyectos en espacios económicamente deprimidos o ecológicamente amenazados (Chuvieco et. al., 2002).

El empleo de la teledetección, realizado tanto con análisis visual como digital en el seguimiento de los procesos de deforestación, cuenta ya con abundantes antecedentes bibliográficos (Batista and Tucker, 1991; Green and Sussman, 1990; Malingreau et al., 1992). En este trabajo se usaron metodologías de teledetección, para analizar un problema medioambiental de gran trascendencia regional.

El objetivo del presente trabajo fue determinar la superficie cubierta por áreas boscosas y la tasa de deforestación a partir de 1976 hasta el año 2005, en la Cuña Boscosa santafesina.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio está en el nor-noreste de la provincia de Santa Fe, Argentina. Se extiende entre los 28° 03' 56'' y 29° 42' 58'' de latitud S y los 59° 15' 44'' y 60° 43' 57'' de longitud W, limitada tanto en su extremo norte como en el extremo sur por la extensión de la cobertura correspondiente al path y row de la imagen Landsat 227/80.

Esta región se halla limitada hidrológicamente por el valle del río Paraná hacia el este y por la cañada del arroyo Las Golondrinas hacia el oeste y entre los paralelos 28 y 30 ° latitud sur. La superficie total del área de estudio asciende a las 994.672 hectáreas, es decir algo menos de 10.000 km<sup>2</sup>. La zona seleccionada incluye algunos centros urbanos de importancia como Vera y Reconquista. El clima es continental cálido, con precipitaciones que van desde los 700 mm en el W hasta los 1.300 mm en el E y una época seca de aproximadamente 7 meses. La temperatura media anual varía entre 18 °C en el sur y 26 °C en el norte, con máximas absolutas de 48 °C en verano y heladas en invierno (Burgos, 1970). Los suelos son de origen fluvio-lacustre y están formados por sedimentos finos como arena fina, limos y arcillas, y con frecuencia presentan horizontes impermeables que determinan la formación de pantanos (Popolizio, 1970). El relieve es llano a levemente ondulado y las depresiones corresponden a vías de drenaje que sufren anegamientos estivales. Los suelos están asociados a la geomorfología del paisaje y pequeñas variaciones topográficas determinan cambios en sus propiedades físicas y químicas, como también en la frecuencia de los anegamientos. En las posiciones topográficas altas hay argiudoles típicos, en las intermedias argiudoles ácuicos y en las bajas alfisoles (Mussetti y Alconchel, 1986).

Para realizar el análisis de la evolución de la deforestación en el área en estudio, se procedió a la recopilación del material disponible. En ese sentido, la información de sensores remotos más antigua corresponde a una imagen Landsat 2, sensor MSS de fecha 27 de marzo de 1976. También se contó con una imagen Landsat 5, sensor TM de fecha 7 de marzo de 1986. Ambas imágenes fueron obtenidas desde el servidor Earth Science Data Interface (ESDI) en el "Global Land Cover Facility" de la Universidad de Maryland, USA.

De fechas de toma más recientes se utilizaron una imagen Landsat 7, sensor ETM+, de fecha 8 de diciembre de 2000 y una imagen Landsat 5, sensor TM, Bumper mode, de fecha 28 de abril de 2005. Estas últimas dos imágenes fueron provistas por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales de Argentina (CONAE).

Se ajustaron geoméricamente todas las imágenes que intervinieron en el proceso a partir de coordenadas conocidas. Se procuró que los puntos seleccionados estuvieran distribuidos homogéneamente en toda la extensión de las imágenes. Se tomaron unos 20 puntos para cada una de ellas, cantidad que se encuentra en los estándares recomendados para las características del área de estudio y de la escala de las imágenes utilizadas (Chuvienco, 2002). La transformación se basó en ecuaciones lineales simples. El RMS (error medio cuadrático) más elevado registrado en la corrección geométrica fue de 0,2 píxel. El método aplicado para el remuestreo de las imágenes fue el del vecino más próximo (nearest neighbor) para lograr la menor modificación en los números digitales de los píxeles de salida, con un píxel de salida de 30 x 30 metros. Las imágenes utilizadas en el análisis multitemporal se clasificaron previamente en categorías, de acuerdo a diferentes clases de cobertura, mediante la técnica de clasificación no supervisada, asistida por interpretación visual, por lo que el estudio no requirió de la homogeneización radiométrica (Chuvienco, 2002). Esta decisión fue tomada por no contar con los coeficientes de calibración de algunas de las imágenes analizadas. Además se trabajó con índices de vegetación, ya que esta técnica tiene como especial ventaja la reducción del efecto de iluminación y de calibración entre sensores.

Tras el ajuste geométrico de las imágenes se procedió al análisis multitemporal. Resulta útil, en un estudio de deforestación, utilizar transformaciones de imágenes que refuercen el componente vegetal. Por ello, se generaron índices de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para las distintas fechas. Este índice es un indicador de comprobada eficacia para realzar la señal de la vegetación frente a otras cubiertas (Deblonde and Cihlar, 1993; Gilabert et al., 1997). Se define como:

$$NDVI = (\mu_{i,IRC} - \mu_{i,R}) / (\mu_{i,IRC} + \mu_{i,R})$$

donde

$\mu_{i,IRC}$  y  $\mu_{i,R}$  indican las reflectividades del píxel  $i$  en la banda del infrarrojo cercano y del rojo, respectivamente.

Sobre la superficie a estudiar se realizaron un total de 68 muestras con el objetivo de refrendar la verdad de campo y de determinar la caracterización precisa del estado actual de las coberturas vegetales y tipos de uso de la tierra. Utilizando como base la imagen más actual (28 de abril de 2005) se identificaron los patrones espectrales y contextuales de las distintas coberturas y categorías tanto en las bandas reflectivas de la misma (bandas 1 a 5 y banda 7) como con el NDVI obtenido a partir de ésta, para ajustar la interpretación visual de las imágenes más antiguas. A efectos de reforzar aún más la separación de clases en cada una de las imágenes, también se calculó la primera componente principal a partir de las bandas reflectivas originales.

Posteriormente se procedió a la clasificación no supervisada, mediante el algoritmo Isodata, tanto de las bandas originales como de las sintéticas (NDVI y 1° componente principal) de manera conjunta, con un mínimo de 15 clases por imagen. Después de corroborar los datos sobre el terreno, se determinó la coherencia de las clases establecidas por el algoritmo, y a posteriori éstas fueron reasignadas para realizar la valoración de superficie cubierta con bosque versus superficie con otro tipo de cobertura, como cultivos, cursos y cuerpos de agua, pasturas, áreas urbanas, y otros.

A pesar de los esfuerzos que se han realizado para cuantificar el proceso de deforestación, las diferentes escalas de análisis, los distintos tiempos y superficies consideradas dificultan en parte la comparación de los datos obtenidos en las diferentes regiones del globo. Una de las maneras más comunes de expresar la deforestación es como una proporción de la superficie del bosque (%) al inicio del período. En este trabajo se aplicaron dos fórmulas matemáticas para el cálculo del cambio anual en la cobertura forestal. La primera fórmula corresponde al cálculo de

la tasa utilizada por la FAO, a través de la cual se mide el cambio en la cobertura de los bosques, y tiene un significado matemático y biológico (Montenegro et al. 2003):

$$q = \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^{1/(t_2 - t_1)} - 1$$

Y la segunda tasa, sugerida por Puyravaud (2003), que es equivalente a la usada para cálculos financieros de interés compuesto, no subestima la tasa anual de deforestación cuando los cambios son muy grandes y acelerados:

$$r = \frac{1}{(t_2 - t_1)} \times \ln \frac{A_2}{A_1}$$

Donde

$A_1$ : superficie de bosque al inicio del período

$A_2$ : superficie de bosque al final del período

$t_1$ : año de inicio del período

$t_2$ : año final del período

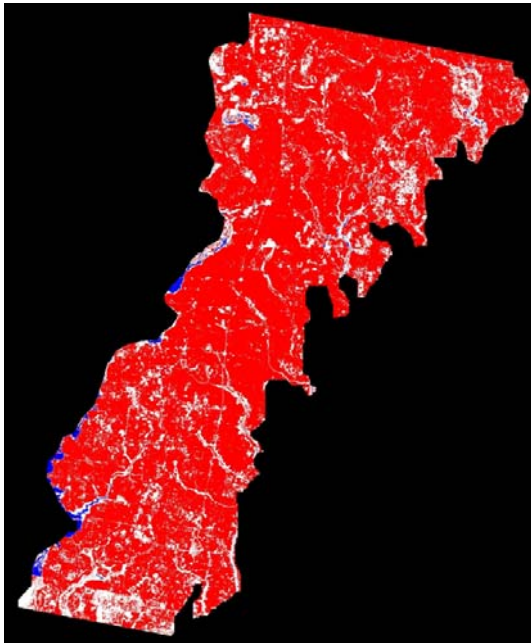
### 3. RESULTADOS

En las Figuras 1 y 2 se presentan los resultados de la clasificación de las imágenes correspondientes a las cuatro fechas analizadas, donde se evidencia la progresiva deforestación a lo largo del tiempo. Sobre la base del análisis de las imágenes satelitales se construyeron la Tabla 1 y la Figura 3, donde se presentan los datos (en hectáreas) de la superficie cubierta con vegetación de bosque natural en las distintas fechas. En 1976 la superficie cubierta con bosque natural ascendía a un 79,48 % del total del área en estudio. Para el año 2005, dicha superficie sólo alcanzaba al 46,58 % del total del área.

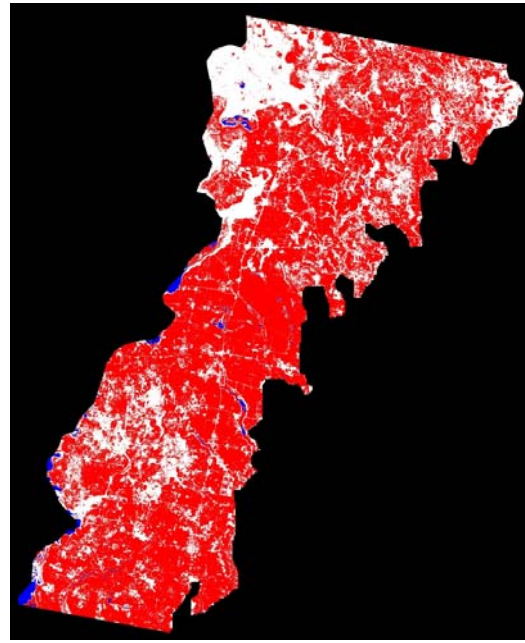
Los datos de deforestación total, deforestación anual y deforestación anual relativa porcentual, entre las distintas fechas de las imágenes analizadas, se muestran en la Tabla 2.

Mediante la aplicación de las fórmulas descriptas anteriormente se obtuvieron los índices  $q = -0,025$  y  $r = -0,026$  que indican la tasa de deforestación para la Cuña Boscosa santafesina en el período 1976 – 2005. La tasa  $r$  es siempre mayor que  $q$ , pero en la mayoría de los casos, las diferencias entre ambas cantidades es menor que el error de muestreo (Puyravaud, 2003). También se calcularon los valores parciales entre años, los que se presentan en la Tabla 3.

Se observa que la tasa de deforestación se ha incrementado alarmantemente en los últimos cinco años, pasando de valores de -1,98 en el periodo 1976-1986 a valores de -2,30 en el periodo 2000-2005.

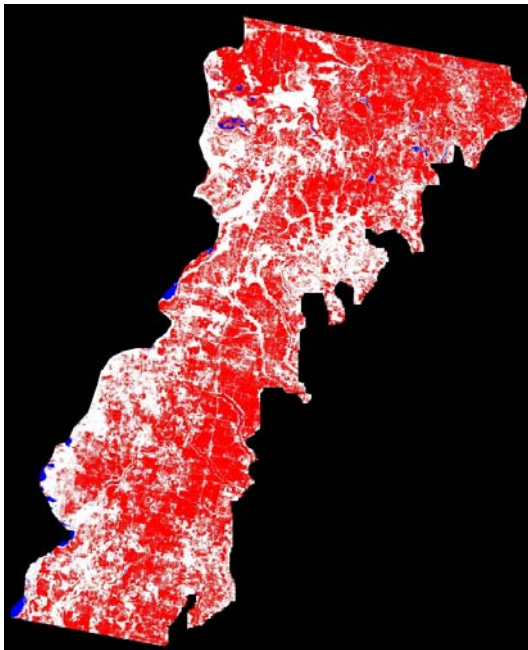


Año 1976

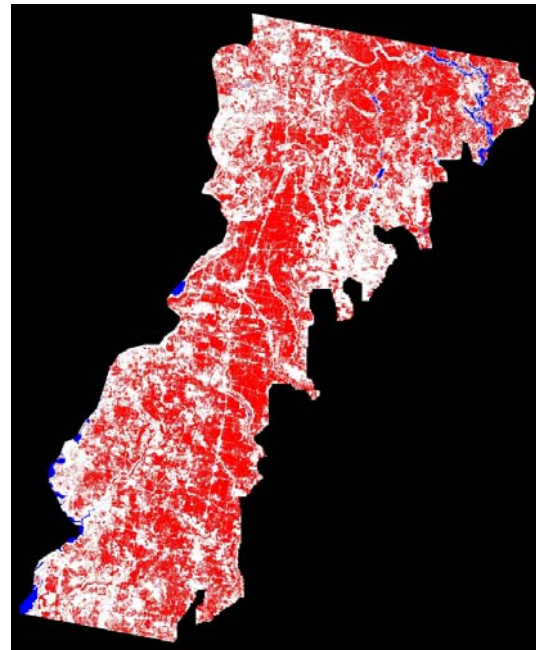


Año 1986

**Figura 1.** Mapa de la Cuña Boscosa santafesina, años 1976 y 1986. En rojo: superficie cubierta de bosques, en azul: agua y en blanco: otros.



Año 2000

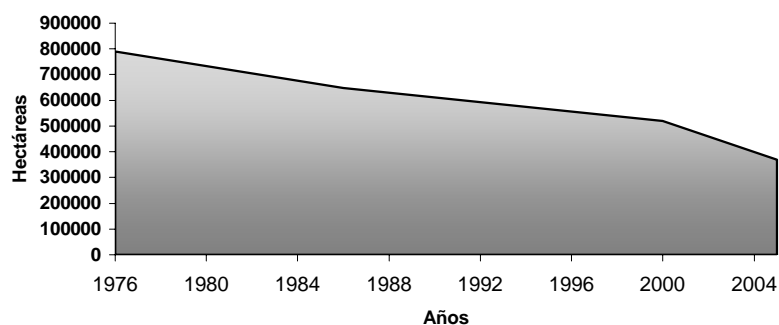


Año 2005

**Figura 2.** Mapa de la Cuña Boscosa santafesina, años 2000 y 2005. En rojo: superficie cubierta de bosques, en azul: agua y en blanco: otros.

**Tabla 1.** Superficie cubierta con bosques naturales en las distintas fechas, en la Cuña Boscosa santafesina.

Imagen	L2 MSS	L4 TM	L7 ETM+	L5 TM BM
Fecha de toma	27/03/1976	07/03/1986	18/12/2000	28/04/2005
Superficie de bosque (has)	790529,14	647523,51	520512,30	463394,07

**Figura 3:** Evolución de la superficie cubierta con bosque natural en la Cuña Boscosa santafesina.**Tabla 2.** Deforestación total, deforestación anual y deforestación anual relativa porcentual, entre las distintas fechas de las imágenes analizadas, en la Cuña Boscosa santafesina.

Período	Deforestación total (has)	Deforestación anual (has)	Superficie total del área (has)	Deforestación anual relativa (%)
1976–1986	143.006	14.301	994.672	1,438
1986–2000	127.011	9.072	994.672	0,912
2000–2005	151.059	30.212	994.672	3,037
Total 1976–2005	421.076	14.520	994.672	1,460

**Tabla 3:** Valores parciales de deforestación (q y r) entre años, en la Cuña Boscosa santafesina.

Período	q (% anual)	r (% anual)
1976-1986	-1,98	-2,00
1986-2000	-1,55	-1,56
2000-2005	-2,30	-2,32
1976-2005	-1,82	-2,62

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La metodología aplicada en este trabajo permitió medir en un lapso de 30 años el proceso de cambio en la superficie cubierta con bosque natural, pudiéndose precisar la localización de las áreas desmontadas. Esta metodología es de gran utilidad para el aprovechamiento, manejo, control y gestión de los recursos naturales en áreas como la Cuña Boscosa santafesina, ya que permite lograr actualizaciones cartográficas relativamente económicas que podrían ejecutarse con cierta regularidad, lo que abre un campo accesible, seguro y rápido al seguimiento de fenómenos como el aquí señalado. A partir de este estudio se pudo cuantificar la magnitud de la deforestación (58,62%) a lo largo de tres décadas, en esta zona de la provincia de Santa Fe, lo que muestra una reducción drástica de la superficie ocupada por el estrato arbóreo, que equivale en la actualidad a un área menor a la mitad de aquella que tenía en 1976.

Los índices de deforestación calculados en este trabajo (-2,30; -2,32) superan a los obtenidos por Puyravaud, (2003) como promedio mundial (-0,23). Si bien los valores utilizados en esta comparación se han calculado sobre diferentes superficies y tiempos, resultan orientativos a fin de considerar el proceso de deforestación en diferentes regiones. En nuestro país, aún para lo que se considera fitogeográficamente Chaco, se observan diferencias importantes. Por ejemplo para el Chaco salteño Gasparri y Parmuchi, (2003), obtuvieron valores muy inferiores a los presentados para el Chaco santafesino, ya que oscilaron entre  $q = -1,16$  y  $r = -1,17$ , en el período 1997-2001. El Chaco Húmedo santafesino en general, presenta mejores posibilidades para la producción pecuaria, sobre todo, amén de la extracción maderera que se realiza históricamente, lo que incide en una mayor explotación del recurso. Otros países presentan índices aún mas altos que los del Chaco Húmedo (Cuña Boscosa) como es el caso de Bolivia (-2,81, Steiningir et al. 2001) o Haití (-5,85, Puyravaud, 2003).

En los últimos cinco años, la tasa de deforestación en la Cuña Boscosa fue mayor que en el período 1996-2005; esto se relaciona con el aumento sostenido de las actividades agrícolas y la ampliación de sus fronteras, lo que ha aumentado el desplazamiento de la actividad ganadera hacia el área estudiada; esto ha sido notable en la etapa post-devaluación de la economía nacional (2000-2001), y está vinculado al alto nivel relativo de los precios de los productos agropecuarios, tanto local como internacionalmente. El cambio en la superficie inicial y el ritmo de tala (Tabla 2), permitiría inferir, de no mediar una firme determinación para detener el proceso, que la extinción de este bioma está garantizada a corto plazo.

En la última década, varios organismos internacionales y regionales han remarcado la importancia de los bosques secundarios y se están esforzando en mejorar y profundizar las prácticas de ordenamiento. Se pone de manifiesto no sólo los bienes y servicios que aportan los bosques al bienestar humano, sino también la necesidad de legislar sobre los requerimientos de los bosques secundarios. Y además, y fundamentalmente, la necesidad de determinar y aplicar opciones de ordenamiento que consideren las prioridades básicas de la gente que depende de estos recursos. Se remarca que “los bosques secundarios deberían ocupar un lugar destacado en la política internacional, en las nacionales y en los programas forestales nacionales. Su ordenamiento debería ser parte integrante del uso de la tierra y sus contribuciones deberían ser puestas de relieve en las estrategias de reducción de la pobreza” (FAO, 2005).

Por lo expuesto se concluye en la necesidad imperiosa de diseñar y ejecutar planes de manejo y conservación de estos recursos, para la Cuña Boscosa santafesina. A la luz de los resultados presentados, es impostergable la creación de áreas protegidas para esta región, que permitan asegurar la conservación de la biodiversidad florística y faunística de una zona que corresponde al segundo bioma mundial mas importante, después de la selva Amazónica.



## AGRADECIMIENTOS

A la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) de Argentina por haber cedido gentilmente la imagen satelital Landsat 5 TM del año 2005 para la realización de este trabajo.

A los productores de Villa Ana, especialmente al Sr. Oscar Villegas y Sra. Sr. José Zorzón y Sra y Sres Oscar Zorzón y Nelvar Rafín por su hospitalidad y apoyo logístico para la realización del trabajo. A los productores de Vera, especialmente al Médico Veterinario Jorge Granich y al Sr. Francisco Buyatti.

Al Ing. Luis Schaumburg y a los Sres. Rodolfo Comuzzi y Sergio Acosta de la Estación Experimental Dr. Tito Livio Coppa de Las Gamas (Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca de la Provincia de Santa Fe).

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- Adámoli, J.; E. Sennhauser, J. M. Acero y A. Rescia (1990) Stress and disturbance: vegetation dynamics in the dry Chaco region of Argentina. *J. Biogeogr.*: 17: 491-500.
- Alzugaray, C.; Barberis, I.; Carnevale, N. J.; Di Leo, N.; Lewis, J. P. y López, D. (2006) Estado actual de las comunidades vegetales de la Cuña Boscosa de Santa Fe. En: *La situación ambiental argentina 2005*. A. Brown, U. Martínez, M. Acerbi y J. Corcuera (Eds). Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires 2006. 587p.
- Batista, G. T. y C. J. Tucker (1991) Accuracy of digital classification versus visual interpretation of deforestation in Amazon, V Simposium Latinoamericano de Percepción Remota: 407-423.
- Bissio, J. C.; L. H. Luisoni y W. B. Battista (1990) Relaciones entre el agua superficial y los tres principales tipos de vegetación de los Bajos Submeridionales de la provincia de Santa Fe. *Inst. Nac. Tecnol. Agropecu., EEA Reconquista, Public. Téc. N° 5*. 13 pp.
- Burgos, J. J. (1970) El clima de la región noreste de la República Argentina. *Bol. Soc. Argent. Bot.*: 11 (Supl.): 37-102.
- Cabrera, A. L. (1976) Territorios fitogeográficos de la República Argentina, en J. M. Dimitri & L. R. Parodi (eds.), *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería*. Vol. 2, ACME. Buenos Aires. 85 pp.
- Congreso Forestal Mundial (2004) *Los Bosques, Fuente de Vida*. XII Congreso Forestal Mundial. Quebec, Canadá. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 144 pp.
- Chuvieco E. (2002) *Teledetección Ambiental: La observación de la Tierra desde el Espacio*. Barcelona. Ariel Ciencia. 584 pp.
- Deblonde, G. y J. Cihlar (1993) A multilayer analysis of the relationship between surface environmental variables and NDVI over the Canadian landmass. *Remote Sensing Reviews*: 7: 151-177.
- FAO (2001) El papel de la silvicultura en la mitigación de la pobreza. *Foro. Italia*. 4-6 de setiembre de 2001. <http://www.fao.org/noticias/2001/010906>
- FAO (2003) *Situación de los bosques del mundo 2003*. Roma. 468 pp.
- Gasparri, I. y G. Parmuchi (2003) Deforestación en la zona de transición entre Yungas y Chaco en la provincia de Salta. *Dirección de Bosques y Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable*. 15 pp.
- Gilabert, M. A.; J. González-Piqueras y J. García-Haro (1997) Acerca de los índices de vegetación. *Revista de Teledetección*: 8: 35-45.
- Green, G.; R. W. Sussman (1990) Deforestation History of the Eastern Rain Forests of Madagascar from Satellite Images. *Science*: 248: 212-215.
- Lewis, J. P. y Pire, E. F. (1981) *Serie fitogeográfica N° 18*. I.N.T.A., Buenos Aires. 42 pp.
- Lewis, J. P. (1991) Three levels of floristical variation in the forests of Chaco, Argentina. *J.Veg. Sci.* 2: 125-130.

- Malingreau, J. P.; M. M. Verstraete y F. Achard (1992) Monitoring global tropical deforestation: a challenge for remote sensing, en *TERRA-1: Understanding the Terrestrial Environment* (Mather, P. M., Ed.). London, Taylor & Francis: 121-131.
- Mendoza E. y R. Dirzo (1999) Deforestation in Lacandonia (Southeast Mexico): evidence for the declaration of the northern most tropical hot-spot. *Biodiversity and Conservation*: 8:1621-1641.
- Morello, J. y Adámoli, J. (1974) Las grandes unidades de vegetación y ambiente del Chaco argentino. Segunda parte: vegetación y ambiente de la provincia del Chaco. *Serie Fitogeográfica N° 13*. I.N.T.A., Bs. As. 130 pp.
- Montenegro, C.; M. Strada; M. G. Parmuchi; I. Gasparri; J. Bono (2003). Mapa forestal del Chaco. Actualización 2002. Unidad de Manejo del Sistema de Evaluación Forestal. Dirección de Bosques. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. 21 pp.
- Montenegro, C.; I. Gasparri; E. Manghi; M. Strada; J. Bono; M. G. Parmucchi (2004) Informe sobre deforestación en Argentina. Dirección de Bosques. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. 8 pp.
- Mussetti, M. y D. Alconchel (1986) Mapa de suelos del centro operativo Dr. Tito Livio Coppa, Las Gamas, Dpto. Vera, Santa Fe. Dirección General de Extensión e Investigaciones Agropecuarias, Santa Fe. 22 pp.
- Myers, N. y R. Tucker (1987). Deforestation in Central America: Spanish Legacy and North American Consumers. *Environm. Rev.*: 11 (1): 55-71
- Parodi, L. R. (1964) Las regiones fitogeográficas argentinas. *Enciclopedia de agricultura y jardinería*. Vol. 2, Primera parte: Cap. 1: 1- 14. ACME, Buenos Aires.
- Popolizio, E. (1970) Algunos rasgos de la geomorfología del nordeste argentino. *Bol. Soc. Argent. Bot.*: 11 (Supl.): 17-36.
- Popolizio, E.; P. Y. Serra y G. O. Hortt (1978 a) Grandes unidades taxonómicas de Santa Fe al norte del paralelo 30° S. In: Popolizio, E. (ed), *Bajos Submeridionales*. Centro de Geociencias Aplicadas, Serie C. 7, Resistencia, Chaco, Argentina. pp. 11-23.
- Popolizio, E.; P. Y. Serra y G. O. Hortt (1978 b) Planicie embutida submeridional con sabanas inundables y ambientes acuáticos. In: Popolizio, E. (ed), *Bajos Submeridionales*. Grandes unidades taxonómicas de Santa Fe. Centro de Geociencias Aplicadas, Serie C.7, Resistencia, Chaco, Argentina. pp. 91-127.
- Prado, D. E. (1993) What is the Gran Chaco Vegetation in South America?. II. A redefinition. Contribution to the study of flora and vegetation of the Chaco VII. *Candollea*: 48: 615- 629.
- Puyravaud, J. P. (2003) Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management*: 117: 593-596.
- Ragonese, A. E. y J. A. Castiglione (1970) La vegetación del Parque Chaqueño. *Bol. Soc. Arg. Bot.*: 11 (supl) 133-166.
- Rivero, A. (1994) La deforestación en la Reserva Forestal de Ticoporo, Estado Bárinas, Utilizando imágenes Landsat Mss y TM. Periodo: 1972-1988. Caracas, Universidad Central de Venezuela. 146 pp.
- Steininger, M. K.; C. J. Tucker; P. Ersts; T. J. Killen; Z. Villegas and S. B. Hecht (2001) Clearence and fragmentation of tropical deciduous forest in the Tierras Bajas, Santa Cruz, Bolivia. *Conservation Biology*: 15: 856-866.
- Villalba, R.; H. R. Grau; J. A. Boninsegna; G. J. Jacoby y A. Ripalta (1998) Tree-ring evidence for long-term precipitation changes in Subtropical South America. *International Journal of Climatology*: 18:1463-1478.

