

“Argentina Rural Strategy”, World Bank

*“Patrones espaciales y temporales de la expansión de Soja
en Argentina. Relación con factores socio-económicos y
ambientales”*

Informe final LART / FAUBA

Dirección:

Ing. Agr. (PhD) José María Paruelo
Ing. Agr. (PhD) Martín Oesterheld

Coordinación:

Ing. Agr. Federico del Pino

Desarrollo Metodológico:

Ing. Agr. Juan Pablo Guerschman
Ing. Agr. Santiago R. Verón
Ing. Agr. Gervasio Piñeiro Guerra
Lic. José Volante
Lic. Germán Baldi

Procesamiento de datos e imágenes, trabajo de campo:

Ing. Agr. Constanza Caride
Ing. Agr. María Dolores Arocena
María Mercedes Vassallo
Luciana Porfirio
Martín Durante

*Laboratorio de Análisis Regional y Teledetección
Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires*



Noviembre 2004

INDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. METODOLOGÍA.....	7
2.1 Área de estudio.....	7
2.2 Recopilación, sistematización y procesamiento de información.....	9
2.2.1 Bases de datos.....	9
2.2.2 Procesamiento de la información.....	13
2.3 Generación de mapas de uso de la tierra, a partir de imágenes de satélite.....	17
2.4 Análisis de la información satelital.....	24
3. RESULTADOS.....	26
3.1 Patrones de distribución espacial y temporal a nivel departamental.....	26
Tenencia de la tierra.....	31
Factores Ambientales.....	34
3.2 Relación entre la superficie implantada con soja y variables ambientales, demográficas y de uso de la tierra e infraestructura.....	43
Área sembrada con soja en 1988.....	43
Área sembrada con soja en 2002.....	45
Cambios en el período 1988 - 2003.....	47
3.3 Patrones espaciales y temporales del uso de la tierra a nivel de parcela.....	51
3.3.1 Campaña 1988/9.....	52
3.3.2 Campaña 2002/3.....	54
3.3.3 Cambios en el uso de la tierra 1989-2003:.....	56
3.3.4 Cambios en la estructura del paisaje.....	64
3.4 Consecuencias ambientales de la agriculturización: el caso de las ganancias de C.....	70
4. DISCUSIÓN.....	72
Hipótesis.....	83
5. BIBLIOGRAFÍA.....	84

1. INTRODUCCIÓN

La soja se ha convertido, en los últimos años, en el principal cultivo de la Argentina, tanto en superficie cultivada como en producción total. En la campaña agrícola 1988/89 se sembraron 4,6 millones de hectáreas y la producción alcanzó los 6,5 millones de toneladas. Sólo quince años después, en la campaña 2003/2004, la superficie sembrada con esta oleaginosa ascendió a 14,2 millones de hectáreas y la producción fue 7 veces mayor (34.8 millones de toneladas) que lo cosechado en 1989 (SAGPyA). En términos de participación en las exportaciones agroalimentarias, el complejo sojero exportó en el 2003 más del 45 % del total de los productos agrícolas nacionales (INDEC).

El proceso de “agriculturización”

Este hecho forma parte de un fenómeno más amplio, y preexistente: la “agriculturización” de los sistemas productivos extensivos de nuestro país. En efecto, en los últimos 25 años se ha reducido la superficie destinada a ganadería, actividad desplazada de la mayor parte de las zonas denominadas “mixtas”. La expansión de la frontera agrícola es un proceso dinámico, condicionado básicamente por coyunturas de precios y por la disponibilidad de tierras aptas y baratas (Adelman, 1994; Adámoli y Fernández, 1980). En la región pampeana, este aumento de la agricultura probablemente se explique por una disminución de la participación ganadera en las rotaciones. En cambio, en el noreste (NEA) y noroeste (NOA), se ha producido una expansión agraria en diversos frentes, localizados principalmente en los bordes del Chaco Semiárido, donde se observa una fuerte tendencia al monocultivo de soja (Grau et al. en prensa). Este fenómeno genera diferentes opiniones: por una parte, el sector “productivo” celebra y fomenta la incorporación de nuevas áreas productivas al mapa agrícola del país y la generación de ingresos que ello implica. Por otra parte, la comunidad científica y las ONGs alertan sobre los riesgos que implica el modelo adoptado, en relación a la sustentabilidad de los ecosistemas y de los sistemas sociales. La agricultura industrial genera problemas en el medio social, particularmente la concentración de renta y la disminución del trabajo rural (Barsky y Gelman, 2001). Por otra parte la expansión agrícola afecta la capacidad de los ecosistemas de proveer bienes y servicios esenciales (regulación de la concentración de gases atmosféricos, regulación climática e hídrica, servicios de polinización, ciclado de nutrientes, mantenimiento de la biodiversidad, control de la erosión, etc.) (Daily 1997). Estos servicios carecen en general de valor de mercado y son de apropiación pública. La reducción en la capacidad de los ecosistemas de proveer estos servicios es claramente una externalidad generada por el productor individual cuyas consecuencias son padecidas por la sociedad toda. Las estimaciones disponibles acerca del valor económico de estos servicios indica que su merma (y la consecuente necesidad de reemplazo tendría un impacto enorme sobre las economías regionales y nacionales (Costanza et al. 1997). Pocos trabajos han evaluado las consecuencias ambientales del proceso de agriculturización en Argentina. En la región pampeana Guerschman et al. (2003) y Guerschman y

Paruelo (en prensa) muestran que el cambio de cobertura del suelo altera significativamente la dinámica estacional de las ganancias de carbono. Esto tendría consecuencias importantes, por ejemplo sobre el clima local (Foley et al. 2003). Las pérdidas de C orgánico asociada a la agricultura han sido documentadas en diversos sistemas (Andriulo et al., 1999, Burke et al., 1989, Fabrizzi et al., 2003) incluyendo la región Chaqueña. Cabido et al. (en prensa) muestra que en el extremo sur del Chaco, en el norte de la provincia de Córdoba, los bosques serranos, occidental y oriental han sido reemplazados casi en su totalidad durante las últimas tres décadas y que el cultivo de soja constituye el principal tipo de cobertura de reemplazo. La evaluación de la caída en la capacidad del sistema de proveer servicios ecosistémicos y su cuantificación económica es sin duda una tarea pendiente.

El fenómeno de agriculturización no se limita sólo al territorio argentino, sino que se manifiesta también en otros países de Sudamérica como Bolivia, Brasil, Paraguay y Uruguay. En el estado de Mato Grosso en Brasil, por ejemplo, el cultivo de soja se está expandiendo a una tasa anual de 1.7 millones de hectáreas. Estos cambios en el uso de la tierra estuvieron acompañados por cambios importantes en la tenencia de la tierra: disminución en el número de pequeñas explotaciones agrícolas, y aumento del número de grandes productores (Forest Conversion News, 2004) por ejemplo.

La cuantificación del proceso de expansión agraria

La estimación de la superficie agrícola en países cuyas economías dependen fuertemente de la producción primaria adquiere una gran relevancia estratégica. La superficie agrícola resulta por lo pronto el principal control de los volúmenes totales producidos en años climáticamente normales. Numerosos actores económicos, sociales y políticos requieren de dicha información para planificar acciones, reducir la incertidumbre o mejorar la asignación de recursos. Estos actores incluyen a entes gubernamentales, organizaciones de productores, exportadores, empresas proveedoras de insumos para el sector, agencias de seguros o impositivas, ONG's vinculadas a la producción agropecuaria y/o a la conservación, etc.

La descripción de los cambios en los tipos de cobertura del suelo en Argentina se basa fundamentalmente en dos fuentes: Los Censos y las Encuestas Agropecuarias. Los censos implican un relevamiento exhaustivo y completo de todo el universo de productores agropecuarios. El protocolo de recolección de datos es explícito y bien documentado. Constituyen, pues una fuente de información altamente confiable. La cobertura temporal de todas maneras es relativamente baja, los últimos censos están separados por 14 años.

En Argentina existe desde hace varios años una superposición de tareas en lo que respecta a las encuestas agropecuarias. Por una parte el INDEC realiza la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA), enfocada principalmente a la producción ganadera, pero en la que también se recopila información concerniente a los cultivos anuales. La ENA se realiza mediante un método objetivo de muestreo de productores y su resolución es la de regiones agroecológicas (subdivisiones provinciales que

agrupan a varios departamentos). Por otro lado la SAGPyA realiza las "Estadísticas Agrícolas". Estas no derivan de encuestas individuales a productores sino de la información provista por informantes calificados. Estos integran espacialmente su evaluación cualitativa para su zona de influencia. La resolución espacial de las Estadísticas Agrícolas es la de departamento provincial, aunque la metodología por la cual los informantes calificados determinan las superficies sembradas y cosechadas de los departamentos bajo su órbita no está debidamente documentada. De todas formas esta información ha sido muy valiosa en análisis de tendencias y en la descripción de patrones regionales relacionados con el uso agrícola (véase por ej, Veron et al., 2002, Guerschman et al., 2003a, Viglizzo et al., 2001). Además, constituye la principal fuente de información en lo que respecta a los volúmenes cosechados anualmente, lo que se refleja periódicamente en los principales medios de comunicación.

Más allá de la utilidad de la información, la manera de generar la información incorpora diversas fuentes de incertidumbre que podrían afectar seriamente las estimaciones. Estas incluyen las dificultades para referir las estimaciones a un área, las posibilidades de los informantes de integrar la información local, la ausencia de protocolos únicos y las diferencias asociadas a la heterogeneidad de formación, motivación y compromiso de los informantes en el espacio y el tiempo.

Paruelo et al. (2004) evaluaron estas dos fuentes de información. La comparación de los resultados de la encuesta de la SAGPyA para la campaña 1987-1988 con los datos del Censo Agropecuario de ese mismo año, sugiere algunos problemas y pone de relieve la magnitud de la incertidumbre. Para los 20 departamentos con mayor área sembrada con trigo (1.8×10^6 ha) la diferencia relativa en la superficie sembrada según las dos fuentes varía entre un 74% y un -29%. Para el conjunto de esos departamentos las estimaciones de la SAGPyA fueron para esa campaña un 21% superiores a las estimaciones del censo. Este patrón se verifica para los principales cultivos. Uno de los problemas de este tipo de comparaciones es definir cuál de las dos estimaciones es la correcta. Si bien eso es imposible, puede no obstante calificarse las estimaciones de acuerdo a su rigurosidad y consistencia interna. En tal sentido la aplicación de un protocolo claramente establecido para la totalidad del área le asigna una mayor confiabilidad a las estimaciones del INDEC. De todas maneras el último Censo Agropecuario publicado corresponde a 1988 y nos resulta imposible analizar los cambios en el sector agropecuario durante la última década usando esta herramienta. ¿Cuánto podemos confiar en las tendencias de cambio en la superficie agrícola derivada de las estimaciones de la SAGPYA? La magnitud promedio del cambio entre años de la superficie sembrada para los principales departamentos trigueros fue 12%.

A pesar de la importancia que reviste para Argentina, las instituciones oficiales no cuentan (ni promueven) la descripción de los patrones de uso del suelo a una escala de mayor detalle que el departamento o partido, la integración de la información en base de datos geográficas, el uso de metodologías basadas en protocolos documentados. Contar con información objetiva sobre el uso de la tierra, su cambio y la relación de ésta con variables socioeconómicas y ambientales es la

base para el análisis y la posterior toma de decisiones políticas de manejo de los recursos. Cuando esta información es espacialmente explícita, el conocimiento derivado de su análisis puede ser considerablemente mayor. Recopilar información de diferentes fuentes e integrarla en bases de datos y sistemas de información geográficos pasa a ser un objetivo central si se pretende entender las características del proceso de agriculturización en el país.

Este trabajo tiene como objetivo general caracterizar los patrones de distribución en el espacio y los cambios en el uso de la tierra ocurridos en el norte argentino, particularmente en la región chaqueña, durante los últimos 15 años, y evaluar su relación con variables socioeconómicas y ambientales de esta región. Se decidió abordar este análisis a dos niveles de resolución espacial, el de departamento y otro de mayor detalle. Para el primer caso se generaron bases de datos de variables poblacionales, de uso y tenencia de la tierra, de infraestructura y ambientales (edáficas y climáticas) a escala departamental, para dos momentos diferentes (fines de la década del 80 y el presente). Para los estudios de mayor detalle se generaron mapas de uso de la tierra actual, mediante imágenes del satélite MODIS-TERRA para toda la zona de estudio, y de fines de la década del 80, mediante imágenes LANDSAT 5 TM para dos áreas donde los cambios fueron particularmente importantes.

2. METODOLOGÍA

2.1 Área de estudio

El área de estudio abarca 96 departamentos de 6 provincias del Norte Argentino: Formosa, Chaco, Santiago del Estero, Salta, Santa Fe y Corrientes. Este área comprende gran parte de la Región Chaqueña de República Argentina, con excepción de una porción de la provincia de Corrientes que se encuentra fuera de la región *sensu stricto* (Figura 1). La superficie del área de estudio es de 568.664 km², lo que representa aproximadamente un 15 % de la superficie nacional.



Figura 1. Área de estudio (fondo blanco) definida para el análisis de la información a nivel departamental.

La Región Chaqueña se encuentra entre los 31° y 22° Sur y los 56° y 65° Oeste. Es una extensa planicie relativamente uniforme formada por la acumulación irregular de sedimentos loésicos sobre materiales aluviales finos (INTA-SAGYP 1990) e incluye a las sierras subandinas de poca elevación. Los principales ríos, que llevan agua todo el año, cruzan la región sin formar valles, desarrollando una enorme llanura de meandros (Morello y Adamoli 1974).

El clima es continental cálido, con precipitaciones predominantemente estivales que varían entre 1300 mm en el este (márgenes de los ríos Paraguay y Paraná) y 300 mm en el oeste (Salinas Grandes); las precipitaciones vuelven a crecer en las serranías occidentales (Ragonese y Castiglione 1970, Morello y Adamoli 1974, FAO 1985). La temperatura media anual es alta, entre 16.8° C en el sudeste y 23.2° C en el noroeste (Burgos 1970, Ragonese y Castiglione 1970, FAO 1985). Vale destacar que en la Provincia de Salta se encuentra el polo de calor de Sudamérica, con temperaturas máximas extremas de 48.9° C en el departamento de Rivadavia (24° Sur, 63° Oeste) (INTA-SAGYP 1990, FAO 1985).

El tipo de vegetación predominante es el bosque xerófilo caducifolio. Existen asimismo áreas de palmares, sabanas y estepas halófilas (Cabrera 1971). El estrato leñoso de la región, arbóreo o arbustivo, se caracteriza por sus quebrachos (*Schinopsis spp.*, *Aspidosperma quebracho blanco*) y algarrobos (*Prosopis spp.*). Existen, en función del gradiente regional de precipitaciones (y en menor medida de temperaturas), diferentes fisonomías de la vegetación, que han sido resumidas en tres grandes zonas (Ragonese y Castiglione 1970). La primera, llamada Parque Chaqueño Occidental, se caracteriza por su aridez, con precipitaciones anuales menores a 750 mm. Es posible encontrar en este sector un bosque caducifolio casi sin solución de continuidad, con algunos palmares y estepas gramíneas en áreas restringidas (Cabrera 1971). Las especies características presentan un marcado xerofitismo, y son muy frecuentes las Cactáceas (Ragonese y Castiglione 1970). Hacia el este (a medida que aumentan las precipitaciones), y de forma gradual, el bosque xerófilo va dejando lugar a un intrincado mosaico de bosques densos, palmares, selvas de ribera, cañadas y esteros, que forman la segunda de las grandes zonas: el Parque Chaqueño Oriental (Morello y Adamoli 1967, Ragonese y Castiglione 1970). La tercera de las grandes zonas distinguidas por Ragonese y Castiglione es el Parque Chaqueño Serrano. Cuenta con especies de origen chaqueño y yungueño (selvas de montaña), que forman un complejo diseño en función de la exposición solar y la altitud. Además de esta zonificación de Ragonese y Castigliano, Cabrera (1971) distingue el distrito "de las Sabanas", ubicado al Norte de la Provincia de Santa Fe, donde hay extensas sabanas de espartillo (*Elyonorus muticus*).

En la Provincia de Corrientes confluyen las Provincias Fitogeográficas del Chaco, del Espinal (distrito del Ñandubay) y Paranaense (distrito de los Campos) (Cabrera 1971, Leon, 1991), conformando amplias áreas de encuentro o ecotonos (Carnevali 1994). En el párrafo anterior se han descrito las características de la Provincia Fitogeográfica Chaqueña, que en Corrientes ocupa la mitad del territorio. La región del Espinal se encuentra en el centro Sur de la provincia, cubriendo

aproximadamente un tercio del territorio. En tanto, el distrito del Ñandubay (Espinal) presenta un clima cálido (temperatura media anual 20° C) y húmedo (entre 1000 mm. y 1400 mm.), con abundantes lluvias en primavera y verano (FAO 1985, Carnevali 1994). La vegetación se caracteriza por la presencia de bosques semixerófilos bajos de leguminosas (*Prosopis spp.*) (Carnevali 1994). El distrito de los Campos se extiende por el este de la Provincia. La temperatura media anual es de aproximadamente 20° C y las precipitaciones son abundantes (aproximadamente 1600 mm.) (FAO 1985). Dominan sabanas de gramíneas mesófilas e higrófilas, isletas de bosques de especies chaqueñas, lagunas y esteros (Carnevali 1994, Fontana 1996). La sabana se caracteriza por espartillares de *Elyonorus muticus* y flechillares de *Aristida jubata*.

2.2 Recopilación, sistematización y procesamiento de información.

Como primer paso para describir los cambios en el uso de la tierra ocurridos en el norte argentino se procedió a recopilar toda la información disponible e integrarla en una base de datos. Con esta información se generaron mapas que describen la región y los patrones espaciales y temporales del área sembrada con soja. Se construyeron modelos estadísticos que cuantificaron la asociación entre la expansión de la soja y variables ambientales y socioeconómicas.

2.2.1 Bases de datos

A partir de las fuentes de información disponibles Tabla 1 fue posible recopilar información que permite caracterizar aspectos de la población, uso de la tierra, clima, suelos e infraestructura disponible en la región. La unidad de análisis común a todas las bases de datos es la de "Departamento". Se incluyeron en total 96 departamentos de 6 provincias del norte argentino (Tabla 2).

Fuente	Tipo de Información
INDEC Censo Nacional de Población y Vivienda (CNPv), 1991 y 2001	Población
INDEC Censo Nacional Agropecuario (CNA), (1988 y 2002)	Uso de la Tierra
SAGPyA Estimaciones Agrícolas (1987-2003)	Uso de la Tierra
FAO Datos agroclimatológicos (1930-1960),	Clima
Servicio Meteorológico Nacional (FAA) Estadísticas climatológicas, (1961-1970; 1971-1980; 1981-1990 y 1991-2000).	Clima
INTA Instituto de Suelos. Atlas de Suelos de la República Argentina, (1995)	Suelos
Automóvil Club Argentino, (anterior a 1988 y 2003)	Infraestructura
Comisión Nacional de Regulación del Transporte (2004)	Infraestructura

Tabla 1. Fuentes y tipo de información obtenida

De la provincia de Salta se seleccionaron sólo los departamentos que pertenecen a la Región Chaqueña, en los que hay cultivos de grano. De la provincia de Santa Fe se seleccionaron sólo los departamentos del norte (ver área de estudio).

Los departamentos 12 de octubre, Fray Santa María Justo de Oro y 2 de Abril de la provincia de Chaco fueron unidos para poder hacer análisis comparativos en el tiempo, ya que en el momento de realizarse el primero de los dos Censos Nacionales de Población y Vivienda utilizados en este estudio (1991) eran sólo dos departamentos, y entre este año y el segundo de los censos considerados (2001) fueron divididos en tres departamentos.

Provincia	Nº de departamentos/total
Chaco	23/23
Corrientes	25/25
Formosa	09/09
Salta	06/23
Santiago del Estero	27/27
Santa Fe	06/19

Tabla 2. Cantidad de departamentos utilizados para este análisis sobre el total de departamentos de las 6 provincias consideradas.

Excepto casos particulares (i.e. Base de datos de Suelos, ver mas abajo), y sujeto a la disponibilidad de información, cada base presenta datos correspondientes a dos momentos distintos de la serie de años considerada (1988 – 2003).

Como criterio general se restringieron las fuentes de información para disminuir el error asociado a diferentes metodologías de medición. Las variables utilizadas en cada base se presentan en las tablas del ANEXO. En él se detallan a su vez las decisiones que se tomaron para agrupar algunas variables a fin de que éstas pudieran ser incluidas en los análisis temporales.

Para facilitar su uso, y permitir “cruces” de información se utilizó el mismo formato para todas las bases. Cada columna corresponde a una variable mientras que los departamentos se dispusieron en filas. Las primeras 4 columnas contienen variables comunes a todas las bases de datos¹:

- Número de identificación,
- Clave de GIS,
- Número de Provincia, y
- Número de Departamento.

¹ El ingeniero Juan José Zurita (EEA – INTA Saénz Peña) criticó en la sesión de discusión de los trabajos el uso de los datos provistos por el Atlas de Suelos para un análisis a escala departamental, debido a que la resolución con que fue generado el Atlas de Suelo no sería apropiada para tal fin. Nosotros coincidimos en que sería deseable contar con una versión del Atlas de mayor resolución como para sortear estas dificultades, pero consideramos, sin embargo, que es posible hacer uso del Atlas para caracterizar las condiciones edáficas de un departamento provincial.

Las bases fueron confeccionadas en MS Excel y cuentan con un anexo asociado a través de “hipervínculos”, donde se describen las variables presentes en cada base, sus acrónimos y la fuente de información. Los datos se presentan como valores absolutos y relativos al período inicial de este trabajo (1988) y a la superficie de cada unidad de estudio (departamento).

La información de uso de la tierra se presenta en dos bases de datos, en archivos independientes, según la fuente de información:

- 1- Datos de superficie ocupada por cultivos anuales y otros, durante los años 1988 y 2001 (CNA-INDEC),
- 2- Datos de superficie ocupada por los principales cultivos anuales para todas las campañas agrícolas entre 1988 y 2003 (Estimaciones Agrícolas, SAGPyA).

En el caso de la información climática, también se cuenta con dos bases de datos, presentadas en archivos independientes:

1. Datos de precipitación y temperatura (media mensual), provenientes de la FAO que corresponden a estaciones meteorológicas distribuidas en toda Sudamérica, para el período 1930-1960.
2. Datos de precipitación (media mensual), provenientes del SMN y del LIEY (Laboratorio de Investigaciones Ecológicas de las Yungas)- de estaciones meteorológicas ubicadas en el norte de Argentina para los períodos 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990 y 1991-2000.

Por último, la información correspondiente a características de los suelos y de la infraestructura se presenta en sendos archivos independientes.

La información disponible en las bases de datos de Uso de la Tierra y Población corresponde a los datos originales de las fuentes. En el caso de las bases climática, edáfica y de infraestructura los datos originales fueron modificados para aumentar su consistencia o para facilitar su interpretación. Los cambios realizados se detallan a continuación.

La primera base de datos climática incluye información de precipitación para 658 estaciones meteorológicas (FAO 1985, Barros et al. 1983, Bianchi y Yáñez 1982) y de temperatura para 238 (FAO 1985). En todos los casos se proveen las respectivas coordenadas geográficas. Esta base de datos proporciona información de muchos sitios, pero no es muy representativa de la situación actual. La otra base de datos pluviométricos, provenientes del Servicio Meteorológico Nacional y del LIEY, contiene información de solo 21 estaciones meteorológicas pero cubre un período más reciente lo que permite realizar análisis de tendencia para los períodos descriptos. Debido a que no se dispone de información para cada uno de los departamentos, se interpolaron los datos de cada estación de manera de generar una descripción continua. Para ello se utilizó el software Arc View 3.2 y el método de interpolación fue el de la Ponderación Inversa de la Distancia (IDW), que asume que la influencia de un punto tiene un efecto local que disminuye con la distancia. El valor

de precipitación asignado a cada departamento surgió del promedio ponderado de todas las estimaciones generadas para ese departamento.

El Atlas de Suelos del INTA incluye un gran número de variables edáficas cuali y cuantitativas. A fin de facilitar su interpretación los datos de suelo fueron sintetizados en unas pocas variables integradoras de la aptitud de uso del suelo. Para ello se definieron clases y se presentó la información como proporción de cada departamento ocupada por suelos pertenecientes a una dada categoría. De esta manera se evitó promediar espacialmente datos extremos.

La base de datos de Infraestructura se generó a partir de los mapas de rutas (Automóvil Club Argentino, anterior a 1988 y 2003) y ferrovías (Comisión Nacional de Regulación del Transporte). Los mapas de vías de tránsito automotor se elaboraron a partir de los mapas de rutas en versión papel, que estaban disponibles en el Departamento de Cartografía Vial y Turística del Automóvil Club Argentino (ACA). Como no se encontraron mapas para fines de los años 1980 para todas las provincias en análisis, se decidió utilizar los mapas disponibles, más representativos de los dos momentos en análisis (Tabla 3).

Provincia	Anterior a 1988	Posterior a 2002
Chaco	1977	2003
Corrientes	1980	2003
Formosa	1977	2003
Salta	1974	2003
Santiago del Estero	1976	2003
Santa Fe	1978	2003

Tabla 3. Fechas de los mapas utilizados para extraer la información de rutas para la generación de las bases de datos de infraestructura.

La información de rutas fue vectorizada teniendo en cuenta los límites departamentales, y luego se calculó la cantidad de kilómetros de rutas nacionales, provinciales y municipales, relativas a la superficie de cada departamento. Por lo tanto, la información disponible en las bases de datos está expresada en km/ha para cada departamento.

La información de red ferroviaria se derivó de la información disponible en la página web de la Comisión Nacional de Regulación del Transporte (CNRT) y del Atlas de Suelos de la República Argentina (INTA), donde se pudo obtener la información más detallada. No se dispone de información sobre el estado y funcionamiento de los ferrocarriles para los dos momentos de interés para este trabajo (1988 y 2002).

La información disponible en las bases de datos en formato de planillas de cálculo (Excel) fue integrada en un Sistema de Información Geográfico (SIG), utilizando el programa Arc View GIS 3.2. Esto permitió analizar los patrones espaciales de las variables disponibles en las bases.

2.2.2 Procesamiento de la información

Para describir la asociación entre el área sembrada con soja y el resto de las variables se realizó, en primera instancia, una transformación de todas las variables de la base de datos para evitar el efecto del tamaño de cada departamento. Las variables se expresaron como proporción de la superficie de cada departamento, exceptuando las variables ambientales (edáficas y climáticas).

Para el primer momento del análisis (1988) se contó con 262 variables, para el segundo (2001) con 211 y para la diferencia entre ambos con 224. Hubo una gran cantidad de variables con datos faltantes.

Dado el número de variables y datos faltantes, para la generación de modelos de regresión se trabajó con un sub-conjunto representativo de variables según los criterios que se indican más abajo. La “variable dependiente” utilizada fue la proporción de la superficie del departamento sembrada con soja. Las variables independientes se seleccionaron de acuerdo a la conjunción de tres criterios:

- ✍ La cantidad de departamentos que tenían datos para cada variable (n). En este caso, sólo en las variables de cultivos se consideró que la ausencia de datos significan que en ese departamento la superficie implantada con determinado cultivo es “0”. Los datos faltantes del resto de las variables no fueron modificados. La importancia del “n” radica en que además de una mayor consistencia en los resultados obtenidos, en la generación de los modelos, el programa estadístico utilizado (Statistical Analysis System –SAS-, SAS Institute 1996), elimina los departamentos que tienen aunque sea un dato faltante en por lo menos una de las variables, y como consecuencia de ello, es muy elevado el número de departamentos eliminados por lo que el modelo resultante puede no ser representativo de la región.
- ✍ La correlación entre la variable dependiente y cada una de las independientes y la correlación entre todas las variables independientes. En este último caso, al encontrarse gran cantidad de variables independientes relacionadas, se seleccionó la variable más representativa del grupo correlacionado y, a su vez, la que estuviera más correlacionada con la variable dependiente.
- ✍ Finalmente se eliminaron del análisis variables que *a priori* se consideraron irrelevantes (superficie implantada de cultivos marginales, propiedades edáficas sin variación espacial, etc.)

La aplicación de estos criterios disminuyó sensiblemente la cantidad de variables a utilizar en la generación de los modelos de regresión: 20 variables para el primer y segundo período y 29 variables para la diferencia entre períodos (Tabla 4). En este último caso se utilizaron las mismas 20 variables y se agregaron 9 variables correspondientes a la diferencia en la proporción de la superficie implantada con otros cultivos y a los cambios en la proporción de la superficie agrícola. En la Caja 1 se brindan algunos detalles adicionales sobre el análisis estadístico realizado.

1988 y 2001	Cambio (2001-1988)
Proporción de la superficie del departamento ocupada por empresas agropecuarias de menos de 100 has	Diferencia en la proporción del departamento ocupada por tierras agrícolas.
Proporción de la superficie del departamento ocupada por empresas agropecuarias de entre 100 y 1000 has	Diferencia en la proporción del departamento ocupada por especies forrajeras anuales
Proporción de la superficie del departamento ocupada por empresas agropecuarias de mas de 1000 has	Diferencia en la proporción del departamento ocupada por especies forrajeras perennes
Proporción de la superficie del departamento como persona jurídica	Diferencia en la proporción del departamento ocupada por Arroz
Proporción de la superficie del departamento en propiedad personal	Diferencia en la proporción del departamento ocupada por Maíz
Proporción de la superficie del departamento bajo arrendamiento	Diferencia en la proporción del departamento ocupada por Sorgo
Proporción de la superficie del departamento regada	Diferencia en la proporción del departamento ocupada por Girasol
Densidad de varones y mujeres	Diferencia en la proporción del departamento ocupada por Algodón
Porcentaje de la población con Necesidades Básicas Insatisfechas	Diferencia en la proporción del departamento ocupada por Poroto
Índice de Drenaje	Diferencia en la proporción de la superficie del departamento ocupada por empresas agropecuarias de menos de 100 has
Índice de Alcalinidad	Diferencia en la proporción de la superficie del departamento ocupada por empresas agropecuarias de entre 100 y 1000 has
Índice de Salinidad	Diferencia en la proporción de la superficie del departamento ocupada por empresas agropecuarias

	de mas de 1000 has
Profundidad del suelo	Diferencia en la proporción de la superficie del departamento como persona jurídica (SPers)
Índice de arcilla	Diferencia en la proporción de la superficie del departamento en propiedad personal
Índice de Productividad Cartográfica	Diferencia en la proporción de la superficie del departamento bajo arrendamiento
Temperatura Media Anual (81-90)	Diferencia en la proporción de la superficie del departamento regada
Precipitación Media Anual (81-90)	Diferencia en la densidad de varones y mujeres
Densidad de caminos	Diferencia en el porcentaje de la población con Necesidades Básicas Insatisfechas
Densidad de vías férreas	Índice de Drenaje
	Índice de Alcalinidad
	Índice de Salinidad
	Profundidad del suelo
	Índice de arcilla
	Índice de Productividad Cartográfica
	Temperatura Media Anual
	Precipitación Media Anual
	Densidad de caminos
	Densidad de vías férreas

Tabla 4: Lista de variables independientes utilizadas para generar los modelos de regresión para la variable dependiente porcentaje de la superficie del departamento ocupada por Soja en 1988 2001 y los cambios ocurridos entre esos años.

CAJA 1: Generación de modelos de regresión

La obtención del mejor modelo de regresión depende tanto de la identidad como del número de las variables incluidas en el modelo. Cuando se trabaja a partir de datos no planeados (i.e. datos que no provienen de un diseño experimental), como ocurre en el presente caso, existe la posibilidad de que la inclusión de una variable en el modelo sea producto de una asociación entre esa variable y otra/s variables independientes no incluidas. Este problema se denomina "multicolineraridad". En estos casos no se puede estar seguro si la variable incluida en el modelo efectivamente esta asociada a la variable dependiente o a otras variables independientes. Para evitar este problema se realizó un análisis de multicolineraridad de las variables independientes. Mediante este análisis se obtiene el Factor de Inflación de la Varianza (i.e. $VIF = 1/(1-r^2)$ donde r^2 es el coeficiente de determinación de la regresión entre la variable en cuestión y el resto de las variables independientes) para cada una de las variables. En general se considera que el VIF no debe exceder a 10. Por lo tanto, de los pares de variables cuyo VIF fue mayor a 10 se eliminó aquella variable con el VIF más alto.

A su vez, para evaluar la consistencia de las variables incluidas en el modelo de regresión a partir del subconjunto de variables independientes con $VIF < 10$, se utilizaron dos métodos de selección distintos el *Rsquare* y el *Stepwise*

El método *Rsquare* calcula todos los modelos de regresión de n variables posibles y los ordena según la varianza explicada (r^2). Este método permite identificar el modelo de mayor r^2 para cada número de variables considerado. Por su parte, el método *Stepwise* incorpora, en primer lugar, a la variable independiente que mas contribuye a explicar la variación asociada a la variable dependiente, luego incorpora la variable más asociada a la variación no asociada a la primer variable incorporada y así sucesivamente. Además, una vez incorporada una nueva variable al modelo el método *Stepwise* recalcula la contribución de cada variable ya incluida y si alguna desciende por debajo de un umbral dado se la elimina del modelo.

Por último el número de variables incluidas en cada modelo se controló de dos maneras distintas. En el modelo generado por el método *Stepwise* el nivel de significación requerido por cada variable para permanecer en el modelo se fijó en 0.05. En el método *Rsquare* se utilizó el criterio del estadístico C_p de Mallows. El estadístico C_p provee una medida de la distorsión generada por 1) asumir como error la proporción de la varianza explicada por variables no incluidas en el modelo (modelo sub especificado) y 2) el aumento en el error de estimación de los coeficientes de regresión debido a la inclusión de muchas variables (modelo sobre especificado). En general se recomienda elegir el modelo cuyo C_p sea más parecido al número de parámetros del modelo.

2.3 Generación de mapas de uso de la tierra, a partir de imágenes de satélite

2.3.1 Generalidades

Para el área indicada en la figura 2, prácticamente la misma definida para la generación de bases de datos, se generó un mapa del uso de la tierra para la campaña 2002/2003. Dentro del área estudiada se seleccionaron dos sub-áreas en las que se analizaron los patrones de distribución de los cultivos a fines de la década del 80 (1988-1989) y los cambios en el uso de la tierra entre ese momento y la actualidad (2003). Esto se realizó a partir de la generación de mapas de uso y cobertura del suelo para el año 1988 y 1989, que se compararon con el mapa de 2003.

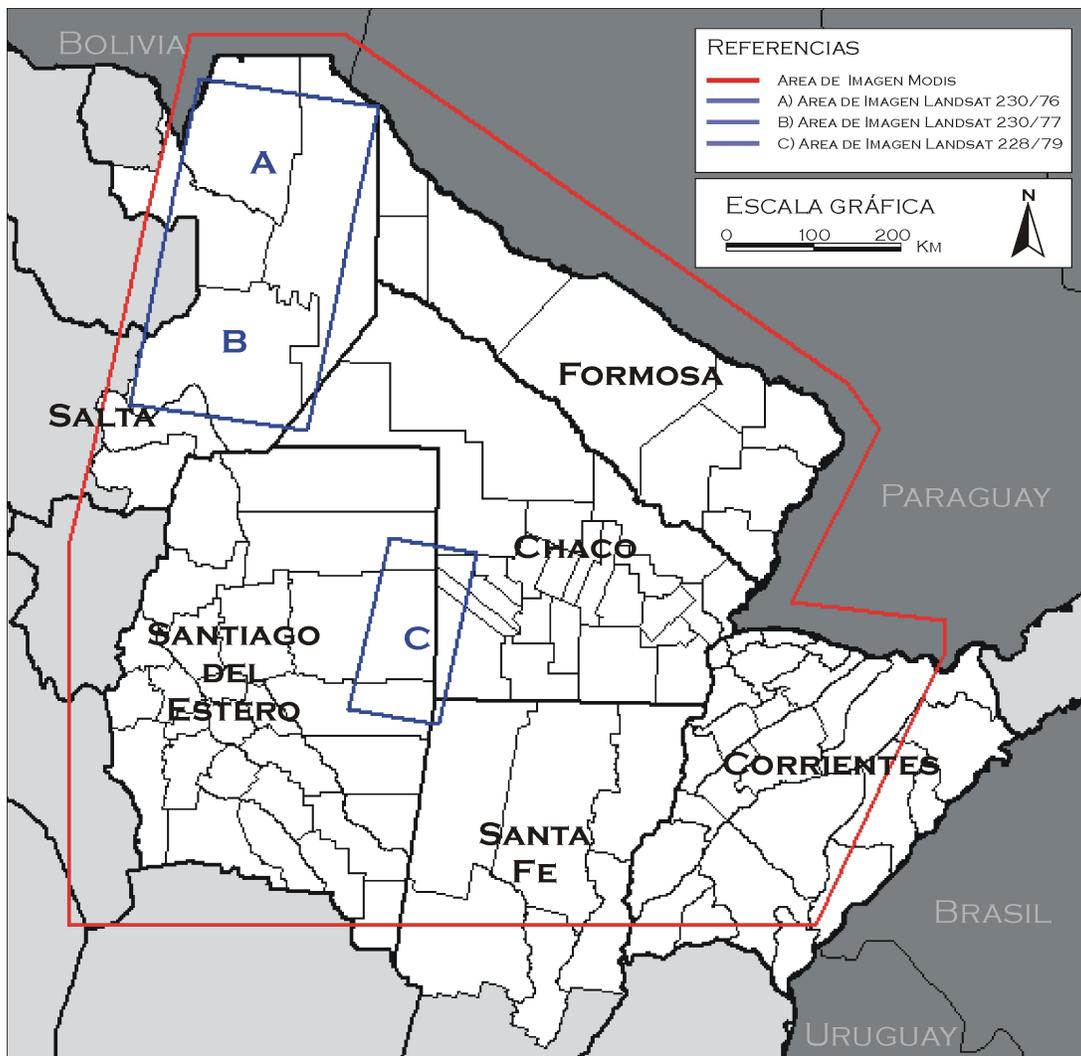


Figura 2. Áreas de estudio para la generación de mapas de uso de la tierra. En rojo la zona definida para la generación de mapa de uso de la tierra para la campaña agrícola 2002/2003, y en azul las áreas seleccionadas para generar mapas de uso de la tierra durante fines de los 80 con imágenes LANDSAT 5 TM.

2.3.2 Mapas de uso de la tierra en 1988-1989

Para realizar la descripción del patrón de distribución espacial del uso de la tierra a fines de la década del 80 se seleccionaron dos áreas clave, en las que se conocía (sobre la base de datos de los CNA/INDEC y de la SAGPyA) que habían ocurrido importantes cambios en el uso de la tierra: la zona noreste de Salta, desde la localidad de Joaquin V. Gonzalez hasta la localidad de Tartagal, y la zona este de Santiago del Estero y oeste de Chaco (Figura 2). Para describir la distribución y superficie ocupada por los diferentes tipos de cobertura de suelo se utilizaron imágenes LANDSAT 5 TM del año 1988 y 1989, con las cuales se realizaron clasificaciones de los tipos de cobertura. Las imágenes fueron provistas por el Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Brasil (INPE), y por el Laboratorio de Investigaciones Ecológicas de las Yungas (LIEY). Esta etapa del trabajo fue realizada en conjunto con el equipo del Proyecto de Relevamiento de Cultivos en el NOA (ProReNoa) del INTA Cerrillos (Salta), coordinado por el Lic. José Volante. El equipo técnico del LIEY (Dr. R. Grau) también colaboró con el aporte de información y experiencia en la zona de estudio.

La selección de imágenes tuvo una fuerte restricción debido a la disponibilidad de las mismas en los diferentes organismos que las proveen (CONAE, INPE). Tal restricción hizo que el estudio se realizara a partir de las únicas escenas disponibles en la fecha de estudio, a pesar de que para la detección de cultivos lo más apropiado hubiese sido disponer de al menos 2 imágenes de diferentes fechas, de manera tal de percibir la variabilidad fenológica de los cultivos de interés. En la tabla 5 se describen las imágenes utilizadas.

Zona	Orbita (Path)	Punto (Row)	Fecha	Superficie analizada (km2)
Noreste de Salta	230	76/77	20/03/1989	72000
Oeste de Sgo. del Estero	228	79	19/03/1988	18000

Tabla 5. Orbita, punto y fecha de las imágenes LANDSAT 5 TM utilizadas para caracterizar el uso de la tierra en el período 1988 - 1989.

En términos generales, se abordó el problema por aproximaciones sucesivas. En una primera instancia se separó el ambiente en dos grandes clases (natural y agrícola). Seguidamente, a cada una ellas se les realizaron clasificaciones no supervisadas a fin de poder describir la heterogeneidad en 25 clases. Estas clases espectrales se asignaron a clases temáticas de acuerdo a una leyenda previamente definida. La clasificación realizada ayudó a realizar la última etapa de fotointerpretación o análisis visual. En el Anexo II se describe la metodología empleada para la generación de los mapas de uso de la tierra para las dos regiones, durante el período estival de 1988.

La separación del paisaje natural del paisaje agrícola, se realizó siguiendo la rutina descrita en la figura 3. La clasificación no supervisada (algoritmo ISODATA),

se realizó con los siguientes parámetros: 25 clases y coeficiente de convergencia de 0.95.

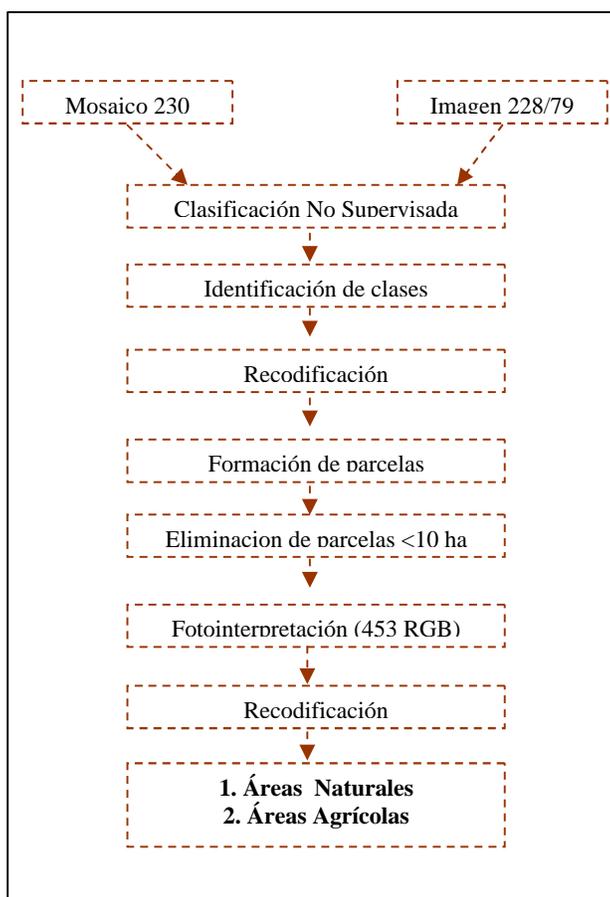


Figura 3. Separación de Ambientes Naturales y Agrícolas.

Con el mapa de áreas agrícolas y naturales se creó una máscara sobre las imágenes de trabajo con la finalidad de “cortarlas” para reducir la variabilidad ambiental. De esta manera se evitó la confusión de clases entre cultivos y vegetación natural. Las imágenes cortadas se procesaron de acuerdo la secuencia descrita en la Figura 4. Esta secuencia se realizó de manera independiente para cada una de escenas (mosaico 230 e imagen 228/79) y para cada una de las áreas (agrícola y natural). De esta forma se originaron 4 secuencias de trabajo paralelas.

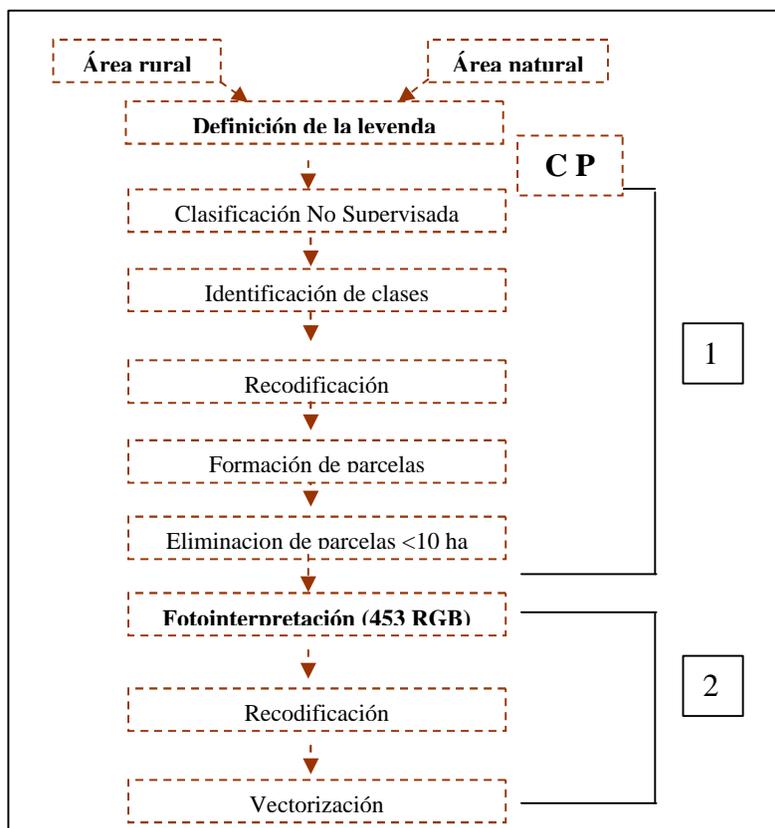


Figura 4 Fase de análisis de las imágenes satelitales.

Para la clasificación de la vegetación natural en las zonas noreste de Salta (escenas Landsat 230/77 y 230/76) se tomó como referencia la clasificación de unidades fisonómicas establecido por Zapater del Castillo (1985). Para la interpretación de la vegetación natural de la zona este de Santiago del Estero (escena 228/79) se utilizó la descripción de las Grandes Unidades de Vegetación y Ambientes del Chaco de Morello y Adámoli (1974). La fase de análisis tuvo dos etapas sucesivas indicadas con números, en la figura 3. La etapa 1 fue la de análisis digital de las imágenes por Clasificación No Supervisada (ISODATA; 25 clases; bandas 3, 4 y 5; coeficiente de convergencia 0,95), y la etapa 2 fue la de fotointerpretación.

2.3.3 Mapa de uso de la tierra en el 2003

Se generó un mapa del uso de la tierra para la campaña agrícola 2002/2003 del norte de Argentina, usando imágenes MODIS-TERRA. Estas imágenes tienen una resolución espacial de 230 m, lo que implica que cada "píxel" tiene una superficie de 5.3 ha. Más información sobre las imágenes utilizadas se muestra en la caja 2.

La línea metodológica general empleada para obtener los mapas parciales de uso de la tierra está basada en el trabajo de (Guerschman et al. 2003) y (Guerschman 2004) y se basa en la discriminación de los tipos de uso de la tierra a

partir de los patrones temporales de la dinámica de la intercepción de la radiación o área foliar.

Se obtuvieron las imágenes del Índice de Vegetación Realzado (IVR, del inglés “Enhanced Vegetation Index”) para el período de octubre de 2002 hasta septiembre de 2003. EL IVR es un resumen del estado de la vegetación en un período de 16 días (ver caja 1). Con las 18 imágenes obtenidas se construyó una nueva imagen sintética de 18 bandas, que caracteriza la marcha estacional del IVR en el período. A partir de la imagen sintética de IVR de la estación de crecimiento 2003-2004 se realizó una clasificación no supervisada con el algoritmo k-means (Tou y Gonzalez 1974) utilizando el programa ENVI 4.0 (RSI 2003). En la clasificación se generaron 50 clases, definidas por los valores del IVR de las 18 bandas incluidas en la imagen. Luego se obtuvieron los valores medios de IVR para cada clase en cada una de las 18 bandas. Con esta información se construyó un gráfico con las “firmas fenológicas” para cada clase (figura 5). La firma fenológica corresponde a la marcha anual promedio del IVR, que puede ser fácilmente asociada a la dinámica de la interceptación de radiación por parte del canopy (fenología) de cada clase. Luego se examinaron cada una de las 50 curvas anuales de IVR y se las asociaron a cada una de las clases de uso de la tierra, de acuerdo a una serie de reglas de decisión, descritas más abajo. Las clases de uso de la tierra fueron:

- Cultivos de soja o maíz,
- Cultivos de poroto,
- Otros cultivos (sin discriminar),
- Vegetación natural y
- Misceláneos (que incluyen agua y suelo desnudo).

Se clasificó como cultivos a todas aquellas clases cuyas curvas promedio de IVR mostraron uno o dos períodos de activo crecimiento (IVR mayor a 0.4), seguido por otro período de bajos valores de IVR (menores a 0.2). Las clases que no tuvieron una curva promedio claramente uni o bimodal fueron asignadas a vegetación natural (que incluye a los recursos forrajeros) o misceláneas. Dentro de los cultivos, se clasificaron como de maíz o soja a las clases que tuvieron un patrón unimodal, con un valor máximo en los meses de diciembre a marzo. Una clase tuvo un patrón estacional similar a la fenología del cultivo de poroto, y por otra parte estuvo localizada en las áreas en las que *a priori* se sabía que estaban ocupadas con esta clase de cultivo. Dos clases resultantes de la clasificación no supervisada tuvieron un patrón que satisfizo las condiciones antes mencionadas para ser asignadas a un cultivo, pero no pudieron ser claramente asociadas a un cultivo en particular. Se llamó a estas clases “otros cultivos”. Finalmente, las clases con valores promedio menores a 0.2 fueron clasificadas como misceláneas. Estas incluyen a los cuerpos de agua, áreas urbanas y áreas con suelo desnudo permanente. Como el objetivo de esta parte del trabajo estaba concentrado en discriminar las áreas agrícolas, no se asignaron las clases restantes a tipos particulares de vegetación natural. El producto final de esta etapa fue un mapa de uso de la tierra que discrimina las áreas dedicadas a los cultivos anuales en el ciclo agrícola 2002/2003 de las áreas ocupadas con otros tipos de uso de la tierra.

Se realizaron 2 viajes a campo para relevar y describir los distintos tipos de cobertura de suelo existentes en las regiones en estudio. Con los datos obtenidos en estos viajes se evaluó de manera cualitativa el resultado de las clasificaciones del uso de la tierra generadas, descritas más arriba. En líneas generales se puede afirmar que los productos generados reproducen de manera aceptable la distribución espacial de la distribución de los principales tipos de vegetación y de agricultura en las áreas estudiadas. Sin embargo, es necesario destacar que no se ha realizado aquí una evaluación “formal” de la precisión obtenida en las clasificaciones dado los tiempos asociados a la realización del informe. En el caso de las clasificaciones del año 1989, es imposible hacer tal evaluación debido a que no se puede obtener información de campo de la situación existente 15 años atrás. En el caso de la clasificación generada con MODIS-TERRA, existió un compromiso entre resolución y cobertura espacial. Al pretender generar un mapa para todo el norte del país se eligió trabajar con imágenes de mediana resolución espacial (píxeles grandes). Esto generó que en algunos casos la existencia de píxeles “impuros” (ocupados por dos o más clases de uso) fuera importante, lo que posiblemente produciría un error en la asignación de los píxeles en cuestión a una determinada clase de uso (Guerschman 2004) (Moody y Woodcock 1995)².

² El Ingeniero (PhD) Carlos Di Bella (Depto. Clima y Agua INTA Castelar) planteó en la sesión de discusión de los trabajos la necesidad de validar los resultados de la clasificación del uso de la tierra generada con MODIS con otro tipo de información satelital como por ejemplo las imágenes LANDSAT. Nosotros coincidimos en esta apreciación. Si bien es algo que no fue realizado en este informe, la comparación de los resultados obtenidos en la clasificación del uso de la tierra usando diferentes tipos de información satelital es un trabajo que se está llevando a cabo en el Laboratorio de Análisis Regional y Teledetección. Un análisis de este tipo (para una zona de la región Pampeana) fue realizado por Guerschman (2004).

CAJA 2: Características de las imágenes:

Se utilizaron las imágenes correspondientes al producto “Índice de Vegetación Realzado” (IVR) (del inglés “Enhanced Vegetation Index”) construido a partir de las imágenes del sensor MODIS-TERRA (Huete et al. 2002). El IVR se calcula según,

$$IVR = G \cdot \frac{\rho_{IRC} - \rho_{rojo}}{\rho_{IRC} + C_1 \cdot \rho_{rojo} - C_2 \cdot \rho_{azul} + L}$$

donde ρ son las reflectancias en el infrarrojo cercano (IRC), rojo y azul, corregidas atmosféricamente y G , L , C_1 y C_2 son constantes que corrigen efectos de aerosoles y canopeo. El IVR consigue mejorar varios aspectos del más tradicional Índice Verde Normalizado, como la saturación que este el IVN muestra ante en canopeos con valores altos de área foliar o los problemas asociados con los diferentes tipos de suelos, en áreas de baja cobertura vegetal (Huete et al. 2002). El producto elaborado IVR es una composición generada a partir de valores de 16 días corridos, de manera de minimizar la contaminación con nubes. De esta forma, se cuenta con 23 imágenes por año, que están disponibles desde febrero de 2000. El IVR se genera a tres resoluciones: 250, 500 y 1000 metros. En este trabajo se utilizaron las imágenes de 250 metros de resolución. El sensor MODIS-TERRA tiene 3 ventajas fundamentales con respecto a su predecesor, el NOAA-AVHRR. En primer lugar, cuenta con 36 bandas entre 400 y 14000 nm, lo que permite derivar información acerca del estado atmosférico en cada píxel y de esta forma realizar una corrección atmosférica muy precisa (Vermote y Justice 2002). Segundo, tiene un sistema de navegación incorporado en el satélite que permite generar de manera automática una georreferenciación de alta calidad (Wolfe et al. 2002). La tercera ventaja es que tiene mayor resolución espacial (250 o 500 metros, según las bandas) comparadas con los 1000 metros de NOAA-AVHRR. Estas ventajas hacen que los productos elaborados, como los índices de vegetación prácticamente eliminen los problemas asociados a las imágenes NOAA-AVHRR, como la deficiente georreferenciación y la contaminación con nubosidad que impedían en muchos casos alcanzar resultados aceptables al trabajar con estas imágenes (Lovell y Graetz 2001), (Cihlar et al. 2004).

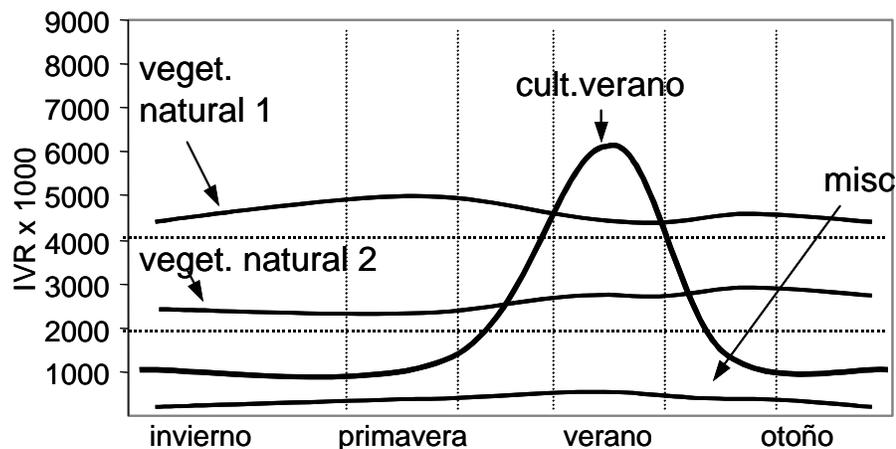


Figura 5: Diagrama esquemático de las reglas de decisión tomadas para asignar las clases de uso de la tierra a partir de las firmas fenológicas obtenidas en el proceso de clasificación con imágenes MODIS.

2.4 Análisis de la información satelital

A partir de la información generada en la base de datos a escala departamental, y de los mapas de uso de la tierra a escala detallada, para los dos momentos, y para el período analizado se realizaron los siguientes análisis:

2.4.1 Caracterización de los patrones espaciales del uso de la tierra a escala detallada, sus cambios temporales y su relación con el suelo y la vegetación.

Se analizó el patrón de distribución de la vegetación natural y de los cultivos anuales en los dos momentos (1988 y 2002). Se analizaron los cambios producidos en el uso de la tierra en las dos regiones estudiadas en detalle. Para ello se superpusieron los mapas generados en el punto 2.2.2 (uso de la tierra en 1989) con los generados en el punto 2.2.3 (uso de la tierra en 2002-2003) y se analizaron los patrones de cambio. En particular se buscó cuantificar las posibles transiciones entre los dos períodos, especialmente la conversión de vegetación natural a agricultura y el abandono de agricultura hacia vegetación natural. Como la clasificación del uso de la tierra del año 1988 y 1989 incluyó tanto a las áreas agrícolas como a la vegetación natural, fue posible analizar sobre qué tipos de ambientes avanzó la agricultura en los últimos 15 años. Se analizó también la relación entre el uso de la tierra y el tipo de suelos. Para ello se vinculó la información generada en las clasificaciones del uso de la tierra con información sobre el tipo de suelos, obtenida del Atlas de Suelos de la República Argentina (INTA-SAGYP 1990). Con este procedimiento se buscó contestar a las preguntas: ¿sobre qué tipos de suelos se ubican las áreas cultivadas en las 2 regiones analizadas? ¿sobre qué tipos de suelo se produjeron cambios en el uso de la tierra entre 1988 y 2003? La respuesta a estas preguntas permitirá plantear hipótesis acerca de los ambientes en los que es más probable que sigan ocurriendo cambios en el uso de la tierra en el futuro.

2.4.2 Consecuencias ambientales de la "agriculturización": el caso de las ganancias de Carbono.

Se analizó también la distribución espacial de los cambios en los valores del Índice Verde Normalizado (IVN)(Paruelo et al., 2004) para la región de estudio durante el período 1981-2000, comparándola con los cambios en el uso de la tierra. Para esto se utilizaron imágenes NOAA/AVHRR (8 x 8 km) decádicas, a partir de las cuales se generó el mapa de tendencias de este indicador del funcionamiento de la vegetación. El IVN es un estimador de la fracción de radiación fotosintéticamente activa absorbida por el canopy. A partir de este índice es posible estimar la productividad vegetal o "producción primaria neta" (PPN).

2.4.3 Análisis del Paisaje

Para caracterizar y cuantificar los cambios ocurridos en el paisaje de las dos subregiones analizadas, se calcularon diferentes índices o indicadores que describen las características de los mismos. Los índices utilizados que caracterizan la estructura de los parches agrícolas fueron:

- Área agrícola,
- Número de parches agrícolas,
- Área promedio de los parches,
- Coeficiente de variación del área de los parches,
- Densidad de bordes.

Los parches agrícolas no hacen referencia a los lotes agrícolas sino a las superficies espacialmente continuas bajo agricultura. Todos estos indicadores caracterizan a los paisajes compuestos por las superficies agrícolas. Para analizar la distribución espacial de los índices de paisaje, se realizó una grilla hexagonal para la cual se calculó el valor de los índices dentro de cada hexágono. Esto permitió conocer la distribución espacial de los indicadores en cada subregión.

3. RESULTADOS

3.1 Patrones de distribución espacial y temporal a nivel departamental

La comparación de los datos del Censo Nacional Agropecuario (CNA) de 1988 y del 2002 surge que en el área de estudio la superficie agrícola aumentó un 70%, de 2.5 millones de ha a 4.3 millones de ha. Esto representa una tasa anual de 120.000 ha, es decir un crecimiento del 0.2% anual de la superficie del área de estudio. Este aumento representa aproximadamente el 14% del crecimiento de la superficie destinada a agricultura en Argentina durante este período. A continuación se describen los patrones de distribución espacial de algunas de las variables de uso y tenencia de la tierra, ambientales y socioeconómicas, y de sus cambios durante el período analizado. Cabe aclarar, sin embargo, que hay muchos otros potencialmente valiosos análisis que se pueden hacer a partir de las bases de datos generadas y que dado los objetivos específicos del trabajo fueron obviados.

Uso de la tierra

En 1988, las zonas con mayor proporción de la superficie destinada a agricultura se encontraban al sudoeste de la provincia de Chaco (departamentos de Chacabuco, Comandante Fernandez y O'Higgins)(Figura 6 A). Este patrón de distribución se repite en el año 2002, aunque se observan algunas nuevas zonas donde la proporción de agricultura es también alta: este de Santiago del Estero (departamentos de Belgrano y Gral. Taboada), norte de Santa Fe (departamentos de San Justo y San Cristóbal)(Figura 7 B).

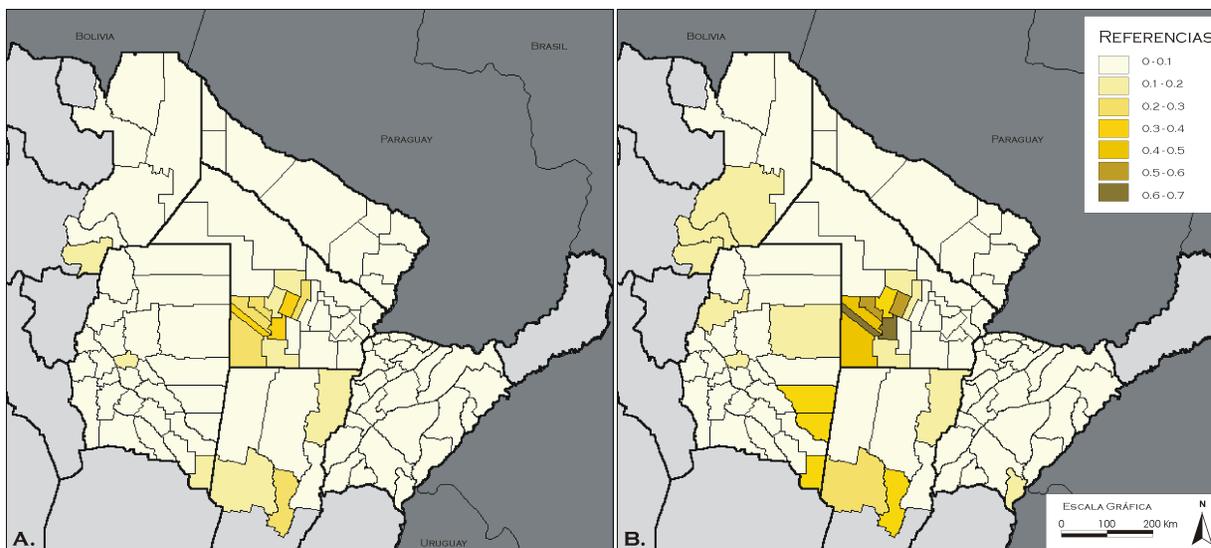


Figura 6. Proporción del área total de cada departamento ocupada por agricultura en 1988 (A) y 2002 (B). Fuente: Elaboración propia a partir de CNA- INDEC 1988 y 2002.

En las mismas áreas también se observaron los mayores incrementos en la proporción de área sembrada durante el período analizado (Figura 7).

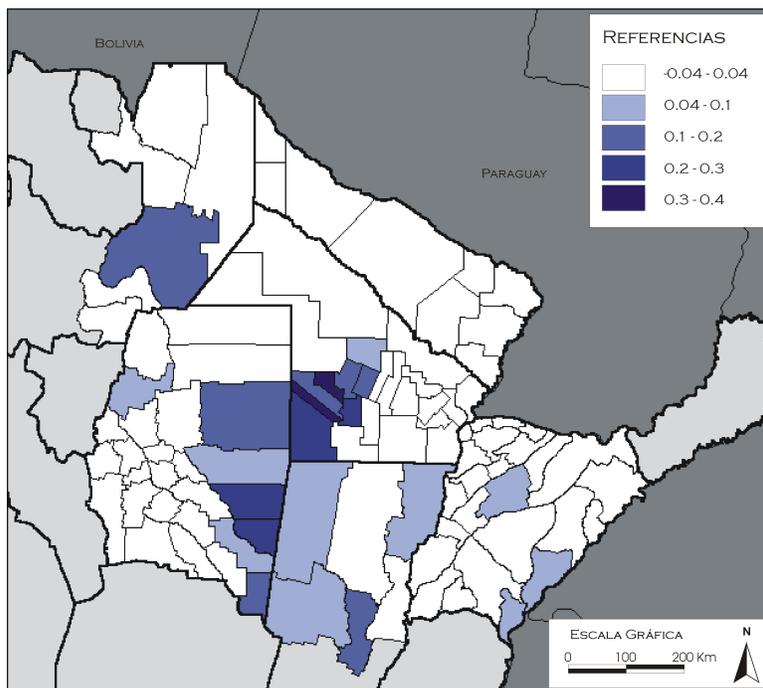


Figura 7. Cambios en la proporción del área de cada departamento destinada a agricultura entre 1988 y 2002. El cambio en la proporción se calculó como la variación de la superficie agrícola en relación a la superficie total del departamento. Fuente: Elaboración propia a partir de CNA- INDEC 1988 y 2002.

Las provincias en las que más creció el área agrícola en la región de estudio fueron Santiago del Estero, en donde se produjo el 36% de los cambios totales, Chaco (25%), y los departamentos analizados de las provincias de Santa Fe (17%) y de Salta (15%). La única provincia en la que se redujo la superficie agrícola fue Corrientes (-7%). En términos relativos a la superficie agrícola en 1988, el aumento más importante se observó en la provincia de Santiago del Estero, donde la superficie agrícola aumentó un 177% y en segundo lugar los departamentos del norte de Santa Fe, donde el área agrícola aumentó un 88%.

Más del 45% de los departamentos analizados incrementó su área agrícola en menos del 5% entre 1988 y 2002, mientras que sólo el 5% aumentó su superficie agrícola en más de un 25%. Cerca del 35% de los departamentos no tuvieron cambios en el área sembrada (Figura 8).

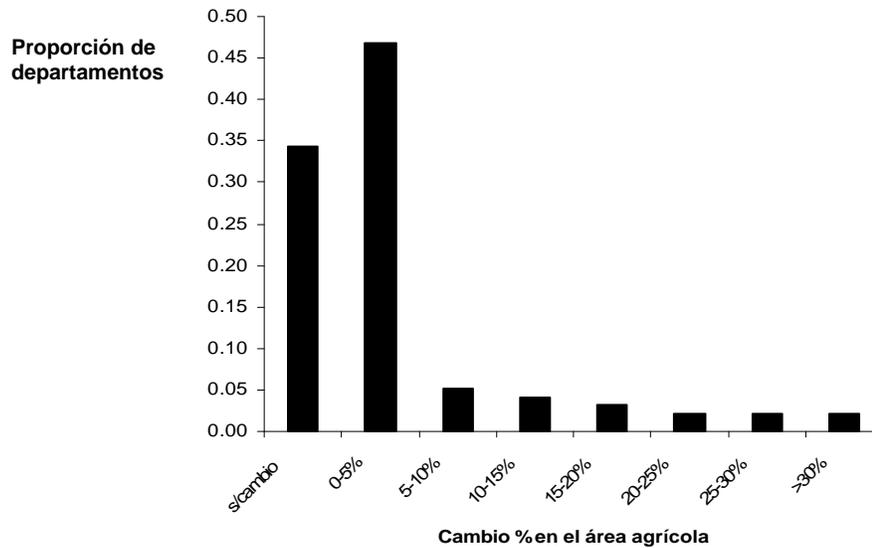


Figura 8. Proporción de departamentos con diferentes niveles de crecimiento de la superficie agrícola durante el período 1988-2003. Fuente: Elaboración propia a partir de CNA- INDEC 1988 y 2002.

Un 66% del aumento del área agrícola en la región de estudio en este período se explicó principalmente por el aumento en la superficie destinada a los cultivos de soja, un 24% por el aumento de trigo, y un 7.2% por el de maíz. Hubo otros cultivos, como el poroto, algodón, sorgo y girasol, para los cuales la superficie implantada se redujo durante este período.

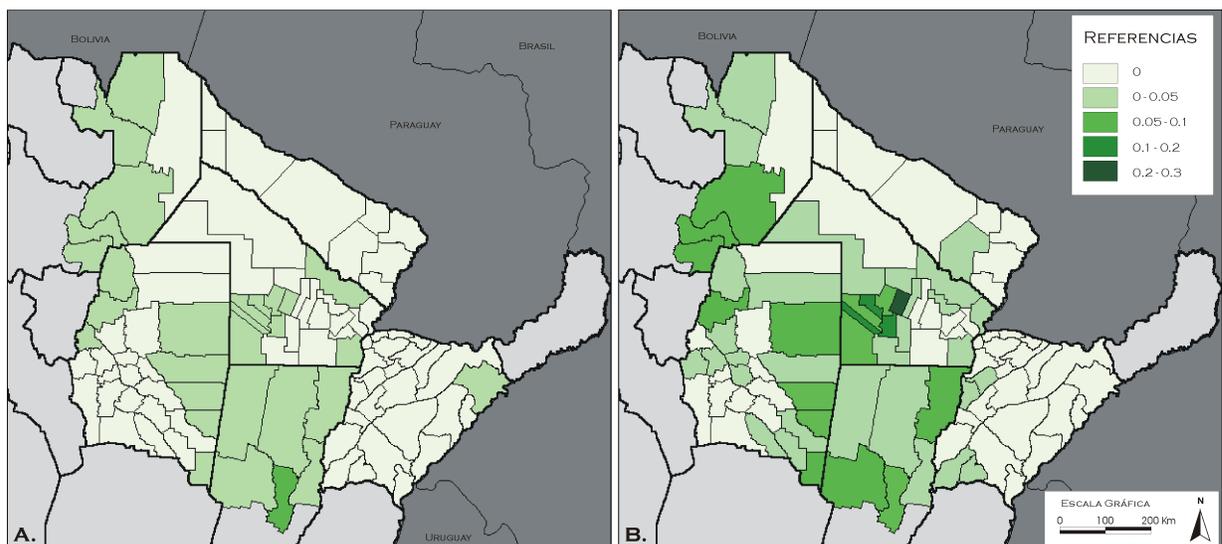


Figura 9. Proporción del área de cada departamento ocupada con cultivo de soja, en 1988 (A) y 2002 (B). Fuente: Elaboración propia a partir de CNA- INDEC 1988 y 2002.

La mayor proporción de superficie sembrada con soja en 1988 se observó básicamente en 5 departamentos de diferentes provincias: Jimenez (Santiago del Estero), Anta (Salta), San Justo, Gral. Obligado y San Javier (Santa Fe)(Figura 9 A).

De éstos, en el año 2002, sólo el departamento de San Justo estuvo entre los que tuvieron las mayores proporciones de este cultivo (Figura 9 B).

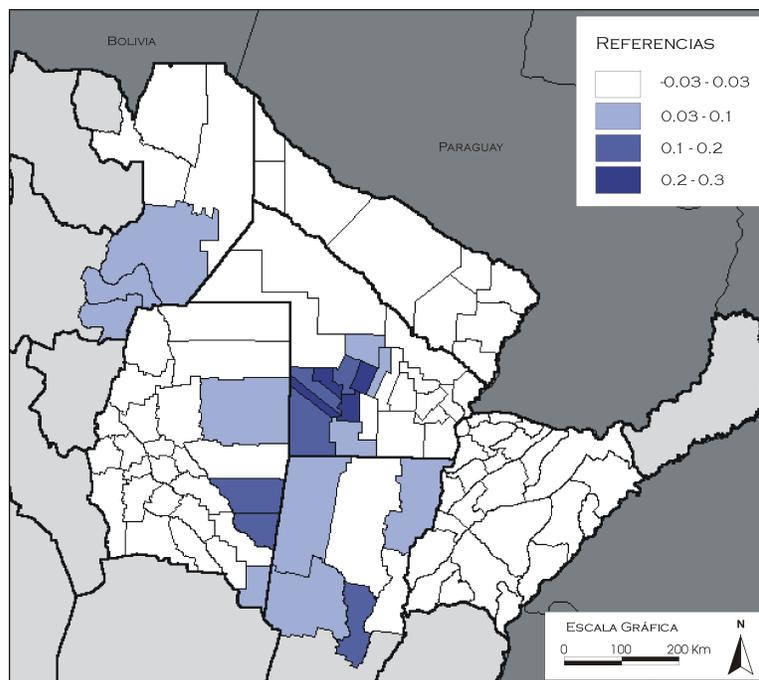


Figura 10. Cambios en la proporción de la superficie de cada departamento que es implantada con soja, entre 1988 y 2002 en cada departamento. Fuente: Elaboración propia a partir de CNA- INDEC 1988 y 2002.

Hubo un cambio importante en el patrón de distribución de la concentración de este cultivo. Las mayores proporciones de esta oleaginosa en el 2002 se observaron en los departamentos de Chacabuco, Comandante Fernandez, Gral. Belgrano y O'Higgins (Chaco), Belgrano y Gral. Taboada (Santiago del Estero), departamentos que no presentaban los mayores valores de proporción de soja (Figura 9 B). Obviamente en éstos fue donde se observó el mayor aumento en la proporción del área sembrada con soja (Figura 10).

Las regiones donde hubo mayor proporción de ganado bovino (principal actividad ganadera en la región de estudio) en relación a la superficie departamental, en 1988 fueron el sur de Corrientes y los departamentos de San Cristóbal y San Justo de la provincia de Santa Fe, mientras que en el norte de Corrientes y de Santa Fe, este de Chaco y Formosa, se observaba una concentración de cabezas alta y bastante homogénea (Figura 11 A). En el 2002 la distribución del ganado bovino se observó más concentrada en algunos departamentos que en otros, determinando un patrón más heterogéneo (Figura 11 B).

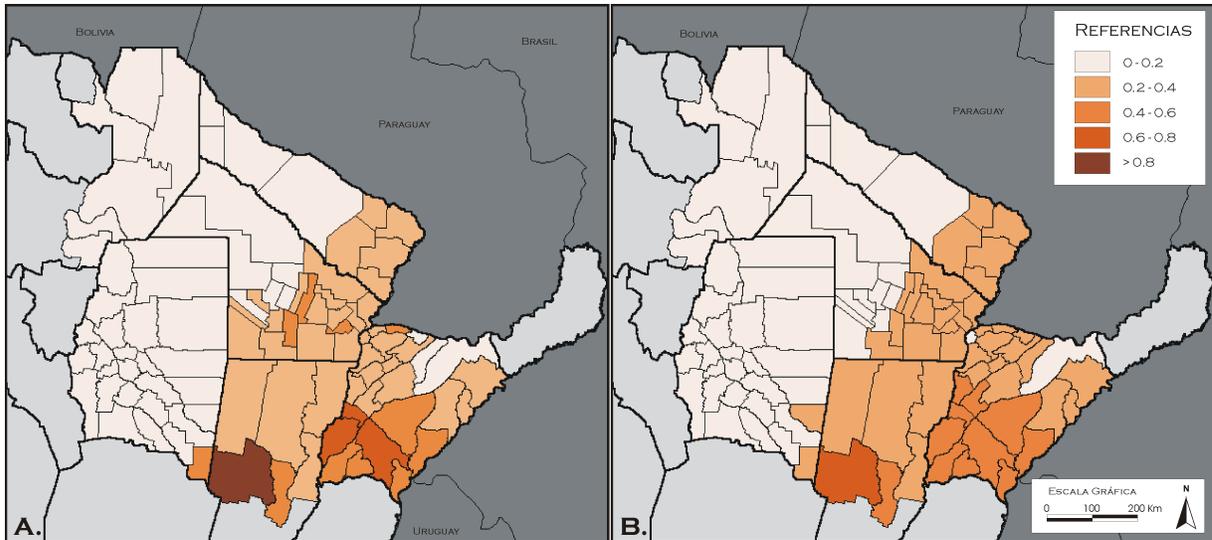


Figura 11. Número de cabezas de bovinos por unidad de superficie de cada departamento, en 1988 (A) y 2002 (B). Fuente: Elaboración propia a partir de CNA- INDEC 1988 y 2002.

Durante el período analizado, se produjeron cambios importantes en el número de cabezas de ganado en la región de estudio. Si bien hubo un aumento de cabezas de bovinos (19%) en toda el área de estudio, se observaron aumentos marcados en algunos departamentos (San Cristóbal en Santa Fe, 25 de mayo en Chaco y Lavalle en Corrientes), y reducciones en otros. Estas últimas se observaron en el norte y este de Corrientes, oeste de Formosa y en algunos departamentos de Santiago del Estero, Chaco, Salta y Santa Fe en forma aislada (Figura 12).

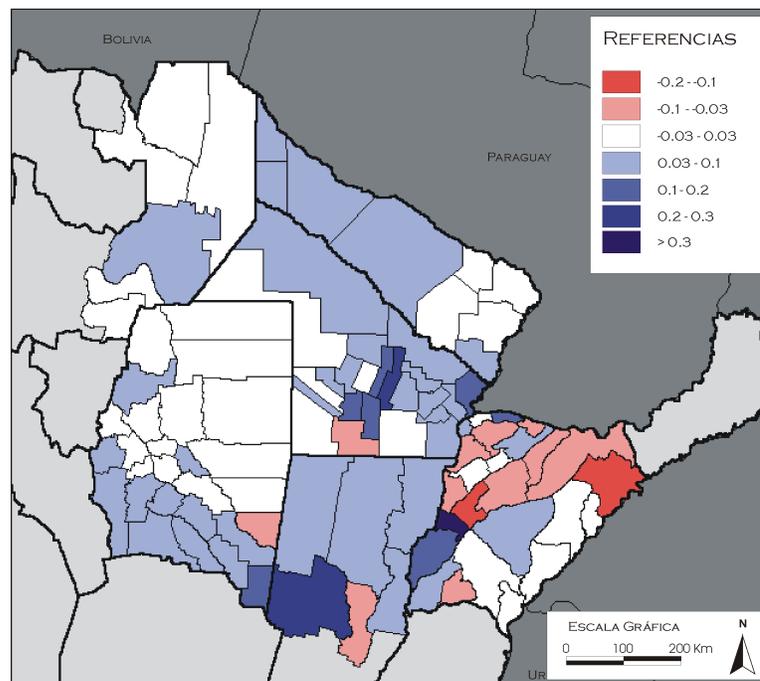


Figura 12. Diferencia en el número de cabezas de ganado bovino por hectárea para cada departamento entre 1988 y 2002. Fuente: Elaboración propia a partir de CNA- INDEC 1988 y 2002.

Hubo también un aumento en el número cabezas de porcinos (74%) y caprinos (274%), mientras que el número de cabezas de ovinos se redujo de manera considerable (-34%). En términos de equivalente vaca, el aumento de la carga en el área de estudio fue del 10%. Los departamentos donde se observaron los mayores aumentos en carga fueron Mataros, Ramón Lista, en el noroeste de Formosa y Sarmiento en el centro de Santiago del Estero. Los departamentos con mayores disminuciones fueron Mercedes, Sauce y Monte Caseros en la provincia de Corrientes.

En general, en los departamentos donde aumentó el área agrícola no hubo aumentos en el número de cabezas (excepto en uno), aunque tampoco reducciones importantes. Sólo hubo aumentos importantes en el número de cabezas de bovinos en departamentos donde el aumento en el área agrícola fue bajo o donde hubo disminuciones en el área sembrada (Figura 13).

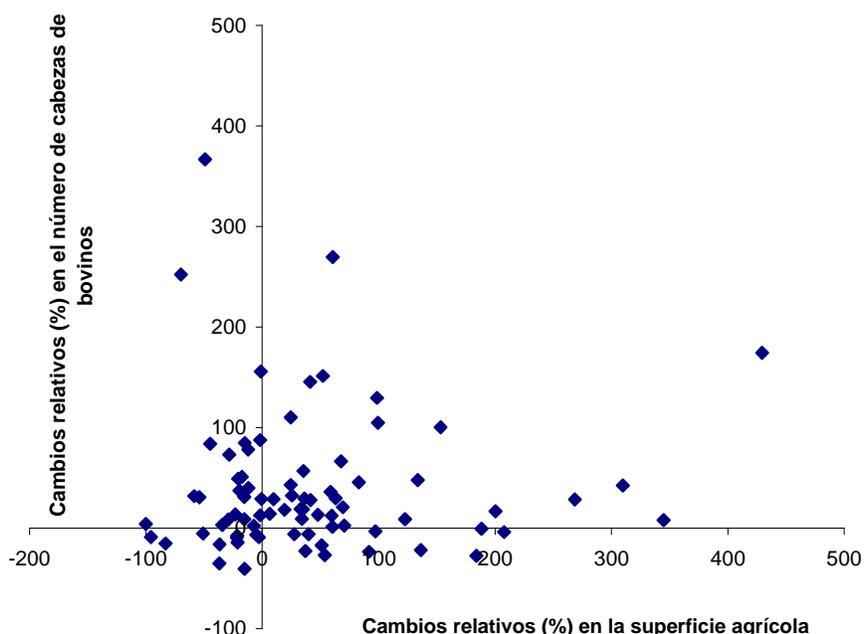


Figura 13. Relación entre los cambios relativos de cabezas de bovinos y los cambios relativos en la superficie agrícola para cada un de los departamentos analizados. Fuente Elaboración propia a partir de: CNA- INDEC 1988 y 2002.

Tenencia de la tierra

El tamaño medio de las EAPs en la zona de estudio era de 708 ha en 1988, con un máximo de 9000 y un mínimo de 40 ha. La distribución de la concentración de la tierra no presentaba un patrón muy claro. En esta época los departamentos que tenían las EAPs de mayor tamaño promedio eran Rivadavia y Anta en Salta, Bermejo

en Formosa, Alberdi y Moreno en Santiago del Estero, y Tapenag en Chaco (Figura 14 A). En 2002, se redujo el tamaño medio de las EAPs a 482 ha, pero se mantuvo un patrón de distribución similar al de 1988. Los departamentos con las EAPs de mayor tamaño promedio eran Anta en Salta, Maticos en Formosa, Moreno en Santiago del Estero y Tapenag en Chaco (Figura 14 B).

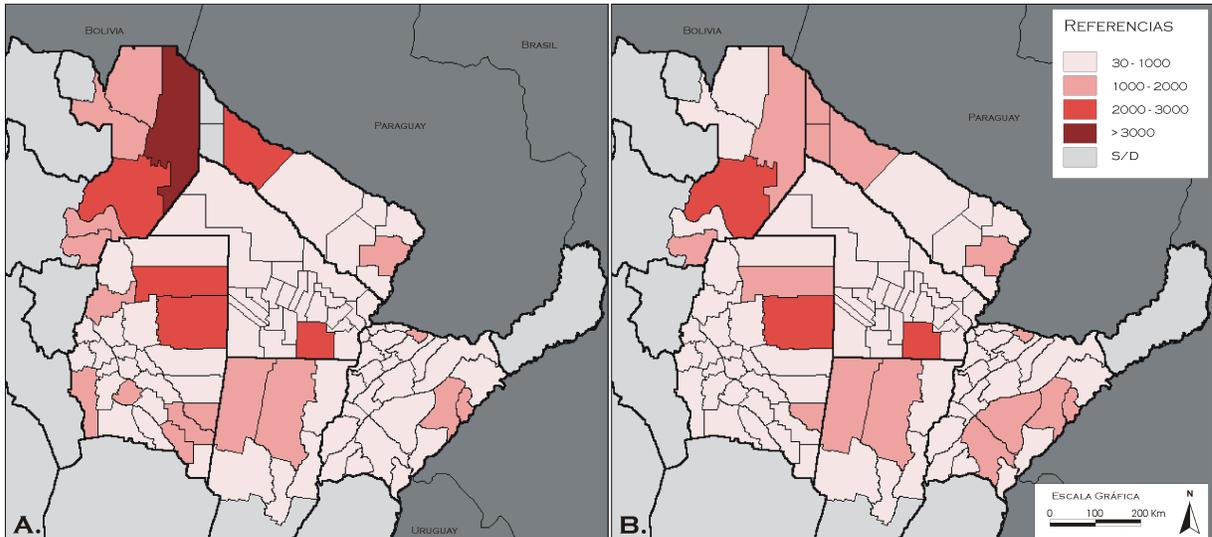


Figura 14. Tamaño medio de EAPs (ha) por departamento en 1988 (A) y 2002 (B). Fuente: Elaboración propia a partir de CNA- INDEC 1988 y 2002.

Si bien la superficie promedio de las EAPs en el área de estudio disminuyó un 32% en el período analizado, los departamentos tuvieron comportamientos muy diferentes. En algunos, se produjeron importantes aumentos, mientras que en otros hubo reducciones (Figura 15).

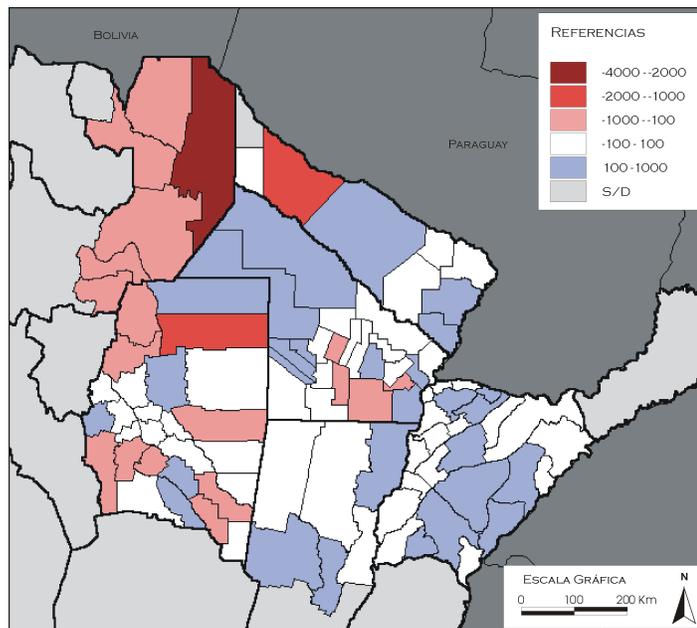


Figura 15. Cambios en el tamaño promedio de las EAPs (ha) en el área de estudio en el período analizado (1988 – 2002). Fuente: Elaboración propia a partir de CNA- INDEC 1988 y 2002.

La proporción de superficie de EAPs en arrendamiento en 1988 fue mayor hacia la periferia del área de estudio y en el centro-sur de la provincia del Chaco (Figura 16 A). Los partidos con mayor proporción del área agropecuaria en situación de arrendamiento eran en 1988 Mayor L. Fonta en Chaco, Rivadavia en Salta y San Cristóbal, San Justo y San Javier en Santa Fe. En 2002, los departamentos con mayor proporción de área arrendada fueron San Cristóbal, San Justo y Gral. Obligado en Santa Fe (Figura 16 B).

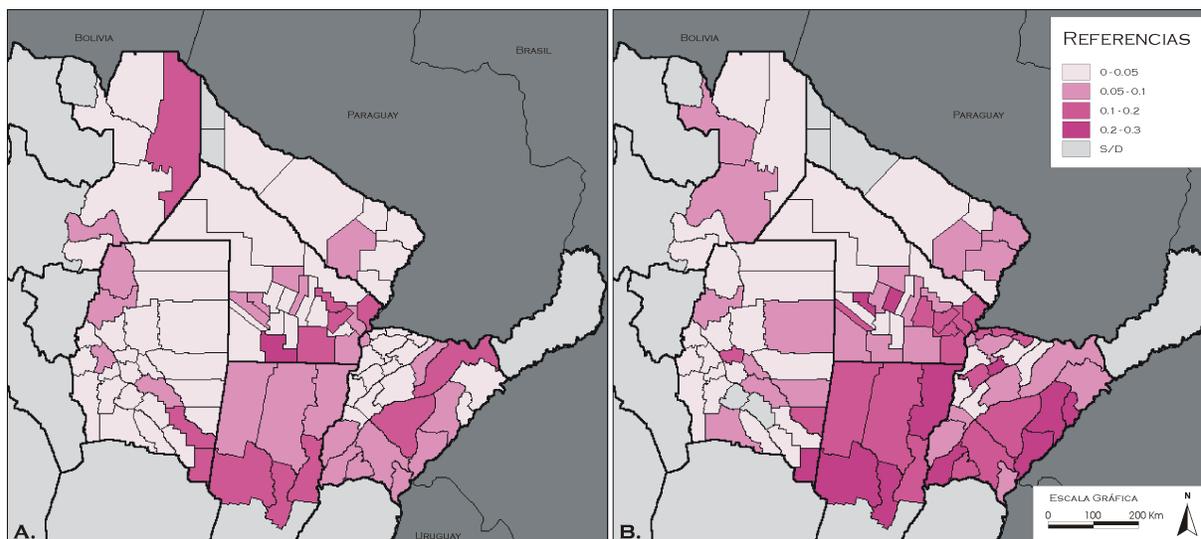


Figura 16. Proporción de la superficie de EAP en arrendamiento a nivel departamental en 1988 (A) y 2002 (B). Fuente: Elaboración propia a partir de CNA- INDEC 1988 y 2002. Fuente: CNA – INDEC, 1988 y 2002.

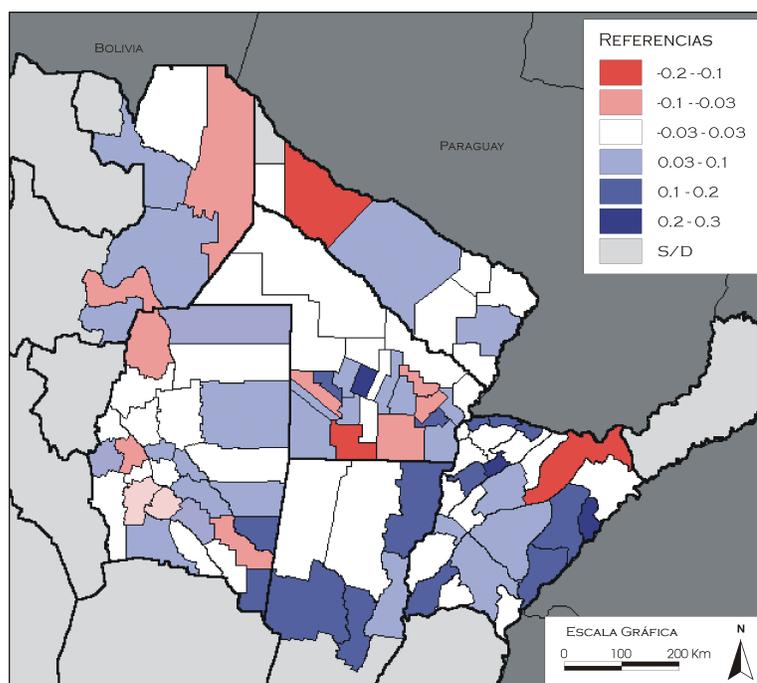


Figura 17. Cambios en la proporción de la superficie de EAPs en situación de arrendamiento durante el período 1988-2002. Fuente: Elaboración propia a partir de CNA – INDEC, 1988 y 2002.

La proporción de área arrendada sufrió un aumento del 50% en el área de estudio en general. Sin embargo hubo muchos departamentos que sufrieron disminuciones. Estos cambios tampoco mostraron patrones claros de distribución espacial. Los que más aumentaron fueron Comandante Fernandez en Chaco, Gral. Alvear y Mburucuy en Corrientes, San Cristóbal, San Justo y Gral. Obligado en Santa Fe (Figura 17).

Factores Ambientales

La distribución espacial de las precipitaciones presenta el gradiente general ya descrito en la sección metodológica. La zona este del área de estudio, representada por la provincia de Corrientes y los departamentos del este de la provincia de Chaco, Santa Fe y Formosa es la que tiene los valores máximos de precipitaciones anuales (1250– 1700 mm). Estas van disminuyendo hacia el oeste, y llegan a valores mínimos de precipitación media anual (500 – 600 mm) al oeste de Santiago del Estero y sudeste de Salta. En la zona noroeste del área de estudio (departamento de Anta y Oran) se observaron en el período analizado (60-2000) valores medios de precipitaciones entre 800 y 950 mm anuales (Figura 18).

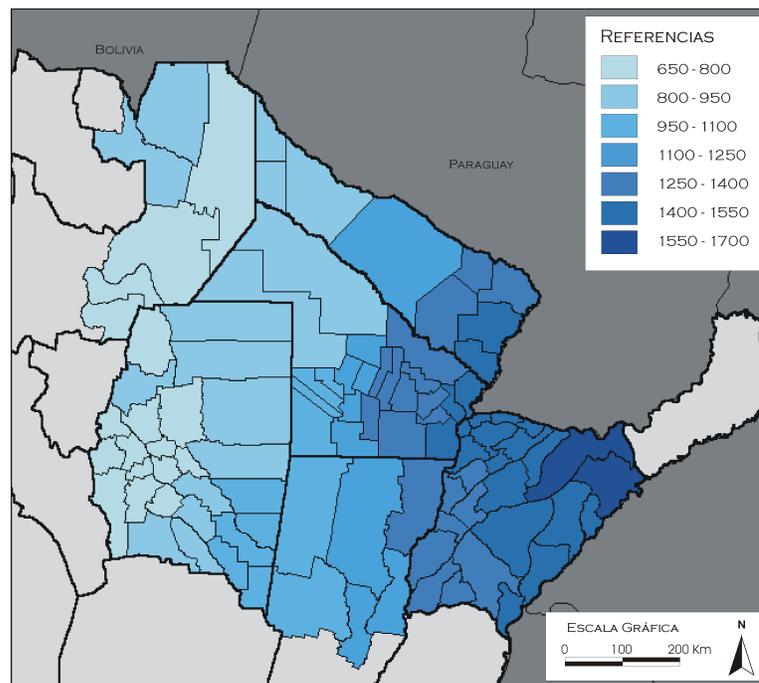


Figura 18. Precipitación media anual (mm) para cada departamento durante el período 60-2000. Los valores corresponden a la interpolación de 22 estaciones y a su integración a nivel departamental.

Se observó un claro corrimiento hacia el oeste en las isohietas de precipitación media anual entre los períodos analizados (60-2000) en toda el área de estudio (Figura 19 A, B, C y D). La isohieta de 800 mm se desplazó desde el Este de Santiago al Oeste de esa provincia entre la década del 60 y el 90.

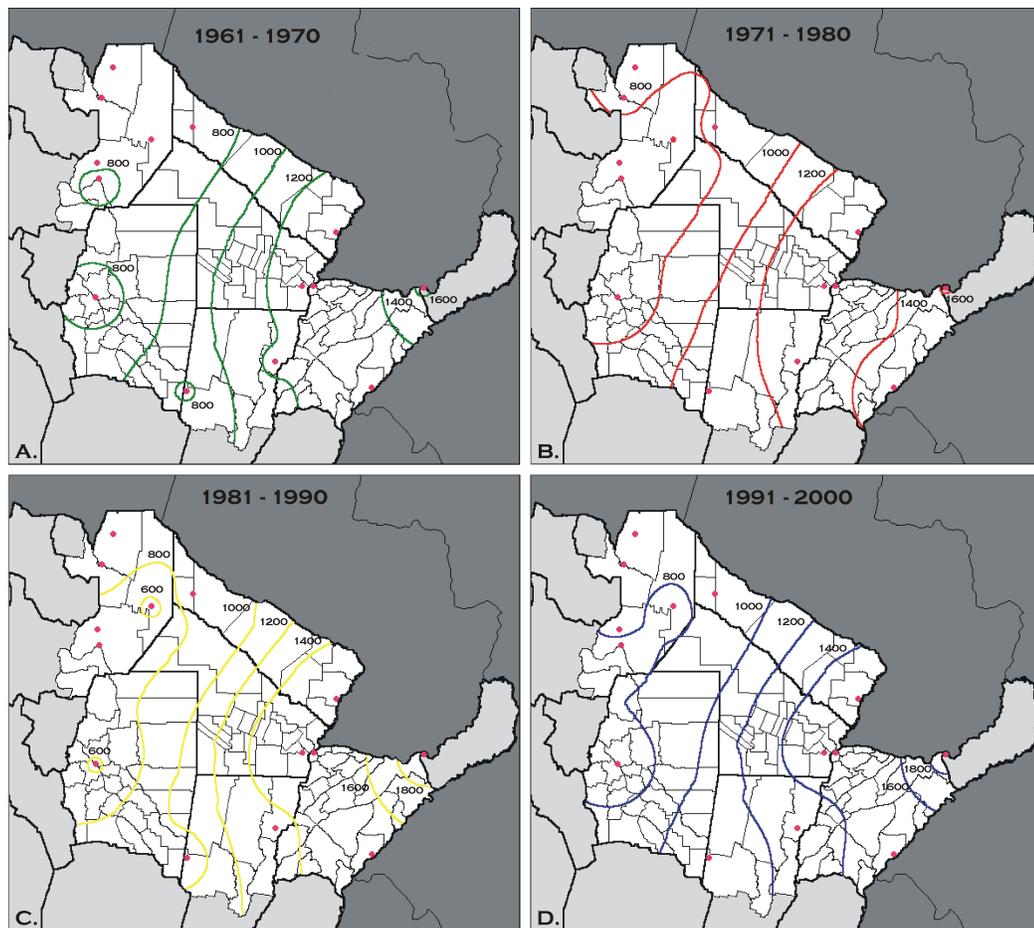


Figura 19. Isohietas de precipitación media anual (800-1000-1200-1400-1600-1800) en la zona de estudio, en los diferentes periodos analizados: 61-70 (A), 71-80 (B), 81-90 (C), 91-2000 (D). Fuentes: Elaboración propia a partir de FAO y SMN.

En el oeste de la provincia de Chaco y en todo el norte de Corrientes es donde se observaron los mayores aumentos de las precipitaciones, mientras que en el sudoeste de Corrientes y este de Santa Fe y en el oeste de Santiago del Estero se observaron los cambios menos importantes. No se registraron disminuciones en los niveles medio de precipitación anual a escala departamental, para ninguno de los municipios de la región de estudio (Figura 20).

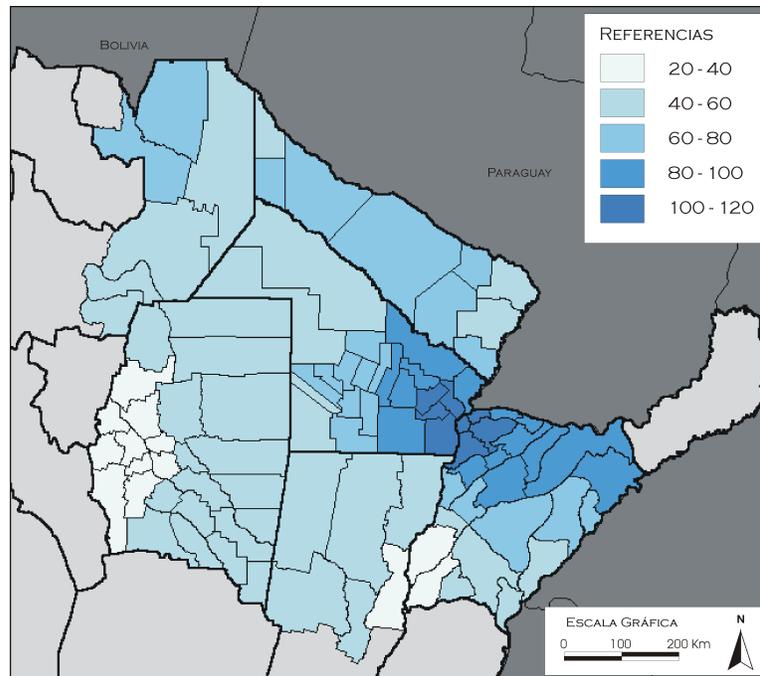


Figura 20. Tendencia en la precipitación media anual para cada departamento durante el período 1960-2000. Fuentes: Elaboración propia a partir de FAO y SMN.

Si bien las áreas donde se observaron los mayores incrementos en las precipitaciones no coinciden geográficamente con las áreas donde ocurrieron los mayores aumentos de cultivos anuales, en todas las áreas de reciente crecimiento agrícola se detectaron cambios positivos en el aporte hídrico. De éstas, el extremo noreste de Salta (departamentos de Anta y Orán) fue el que presentó mayores aumentos en las precipitaciones, y también presentó cambios importantes en la superficie agrícola (Figura 20).

Si bien para todo el área de estudio se observaron tendencias positivas de aumento de la precipitación media anual, con una tasa de 1.57 mm/año, (entre 0.58 y 3 mm/año), sólo las provincias de Salta y Formosa tuvieron diferencias estadísticamente distintas en la pendiente de la relación de la precipitación media en las últimas 4 décadas ($p= 0.0158$ y $p= 0.0146$ respectivamente $n= 4$). Es decir, que en estas provincias aumentó la precipitación a una tasa de 5.6 y 6.16 mm/año y estas tasas de aumento de la precipitación fueron significativamente distintas ($F_s= 8.344 > F_{0.05} (1,4) = 4.54$). Es decir la precipitación de la provincia de Formosa aumentó a una tasa significativamente mayor que la precipitación de la provincia de Salta (Figura 21).

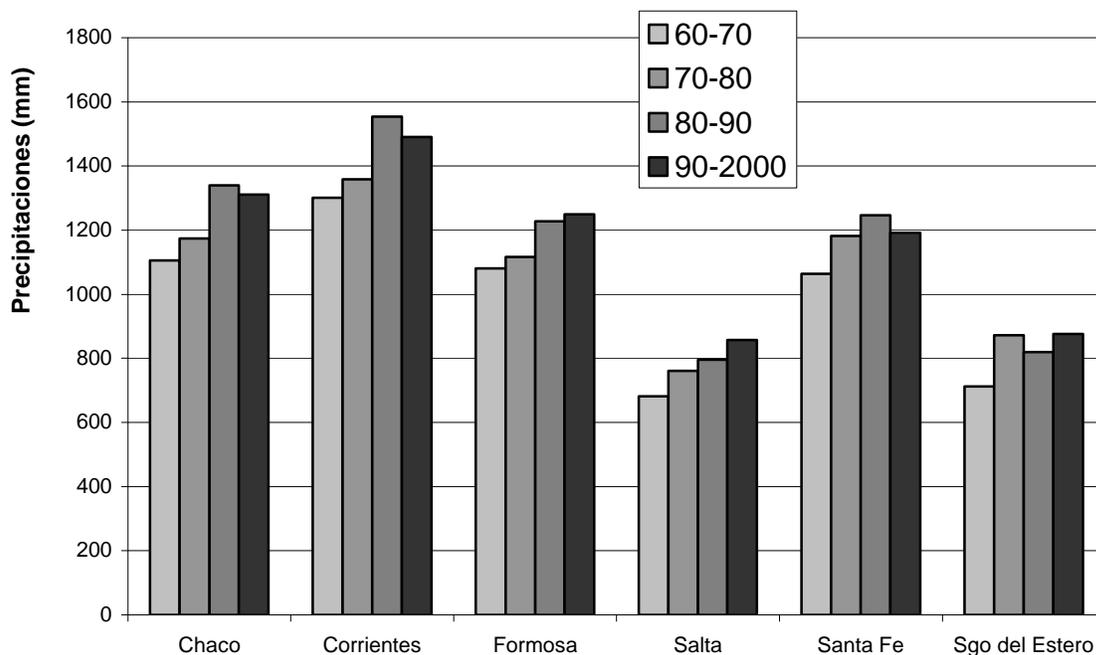


Figura 21. Precipitación media anual para las seis provincias analizadas, durante las décadas 60-70, 70-80, 80-90 y 90-2000.

Los suelos de la región de estudio se encuentran distribuidos de manera intrincada, aunque respetando el sentido de los grandes causes fluviales de la región chaqueña (Bermejo, Pilcomayo, Paraná y Juramento). Los suelos predominantes son molisoles y alfisoles (Figura 22).

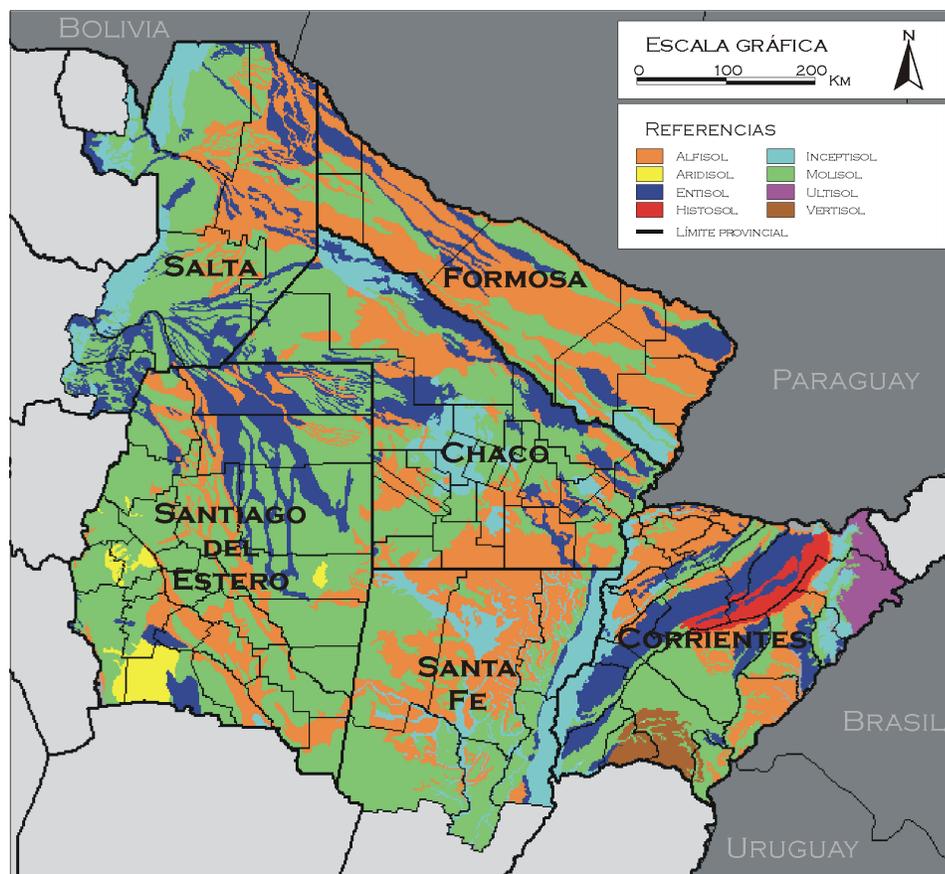


Figura 22. Distribución de los principales Grandes Grupos de suelos de la región de estudio. Fuente: Atlas de suelo, INTA, 1990.

Aspectos socioeconómicos

En el período analizado la población total en esta región aumentó un 18%, pasando de 3.4 millones a casi 4 millones de habitantes, siendo los departamentos de Salta analizados en este trabajo los que más crecieron (24%), y los de Santa Fe, los que tuvieron menor crecimiento (10%).

A su vez el porcentaje de la población con Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) disminuyó un 3.6% en promedio para todo el área en estudio. Chaco (-7,5%) y los departamentos de Salta (-8%) incluidos en este análisis fueron los que tuvieron mayores disminuciones en el porcentaje de la población con NBI, mientras que Santiago del Estero fue la provincia con menores reducciones en el NBI (-1,1%).

El patrón de distribución espacial del indicador de bienestar social (%NBI) tenía en 1991 una mayor heterogeneidad en comparación con el patrón de distribución en el 2001. A inicios de los 90, las regiones más comprometidas en términos de bienestar social estaban representadas por los departamentos de Rivadavia y, en el noreste de Salta, Matacos, en el noroeste de Formosa y varios departamentos del centro de Santiago del Estero, mientras que los departamentos

del norte de Santa Fe, oeste de Formosa, y gran parte de Corrientes estaban menos comprometidos (Figura 23 A). Si bien el patrón de distribución fue similar en el 2001, las diferencias entre los departamentos con mayores y menores porcentajes de NBI fueron menores (Figura 23 B).

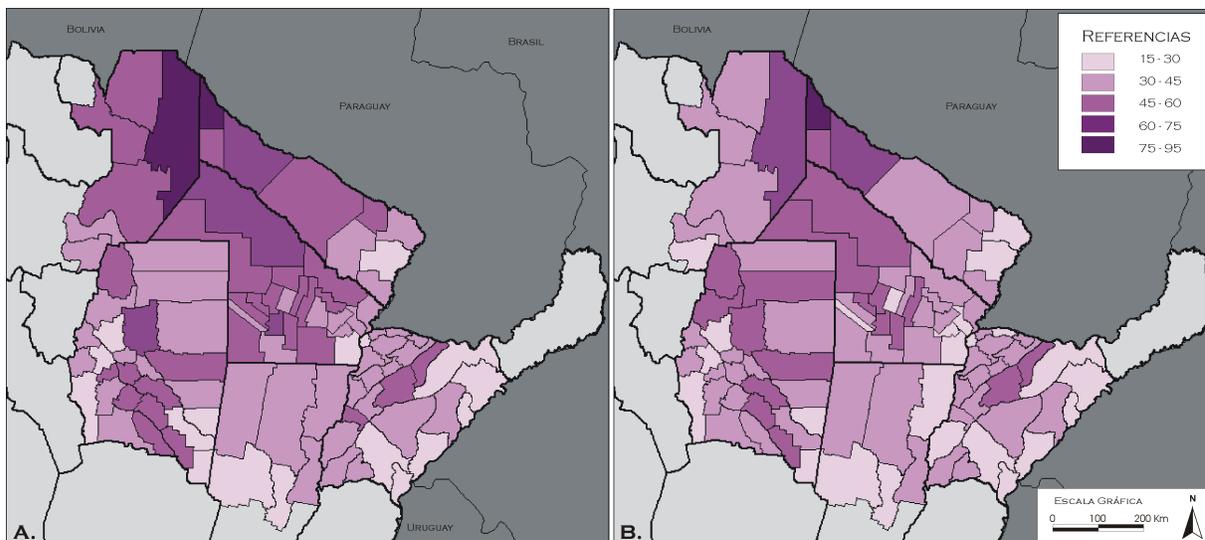


Figura 23. Porcentaje de la población con Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI), en 1991 (A) y 2001 (B). Fuente: Elaboración propia a partir de CNPyV- INDEC, 1991 y 2001.

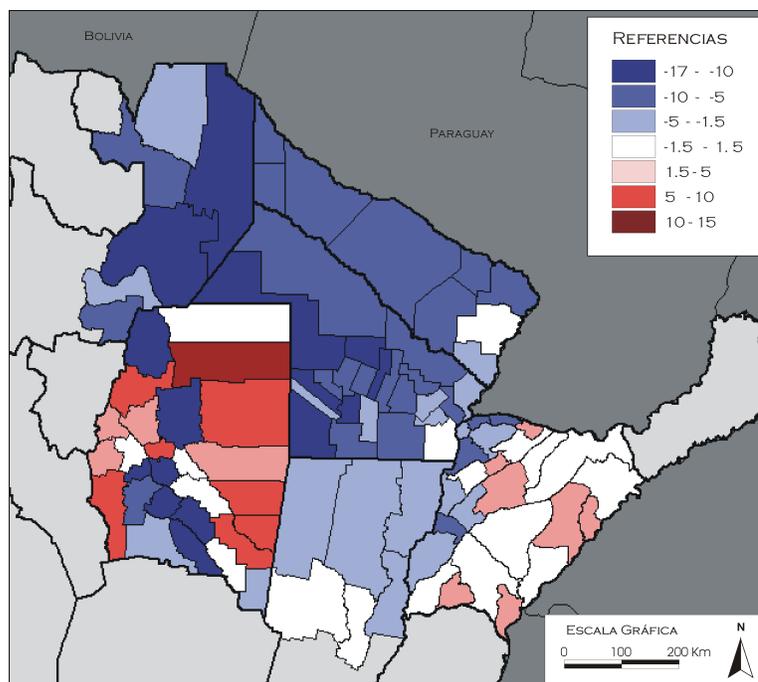


Figura 24. Cambios en el porcentaje de la población con Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI), entre 1991 y 2001. Fuente: Elaboración propia a partir de CNPyV- INDEC, 1991 y 2001.

En todos los departamentos de las provincias de Salta, Chaco, Formosa y la mayor parte de los de Santa Fe la proporción de la población con NBI disminuyó,

mientras que eso sólo ocurrió en la mitad de los departamentos de las provincias de Santiago del estero y Corrientes. Es de destacar el importante aumento del % de población con NBI observado en el departamento de Alberdi, en la provincia de Santiago del Estero en los últimos 15 años (Figura 24).

No se observó alguna relación entre la expansión de la agricultura en general, y la soja en particular, y los cambios en la proporción de la población con NBI, en ninguno de los momentos analizados (Figura 25 A y B). Tampoco hubo, en términos generales, tendencias claras en la relación entre cambios en el área agrícola y los cambios en este bienestar social de la población en la región de estudio (Figura 26).

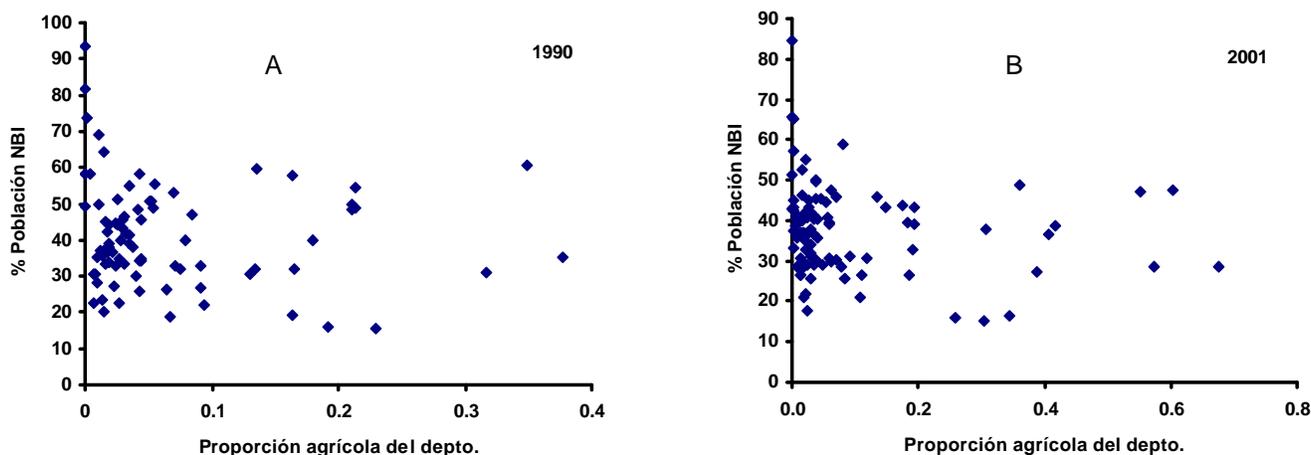


Figura 25. Relación entre el porcentaje de NBI y la proporción de la superficie ocupada por agricultura a nivel departamental, en 1990 (A), 2001 (B). Fuentes: Elaboración propia a partir de CNA (1988 y 2002) y CNPyV(1991 y 2001) – INDEC.

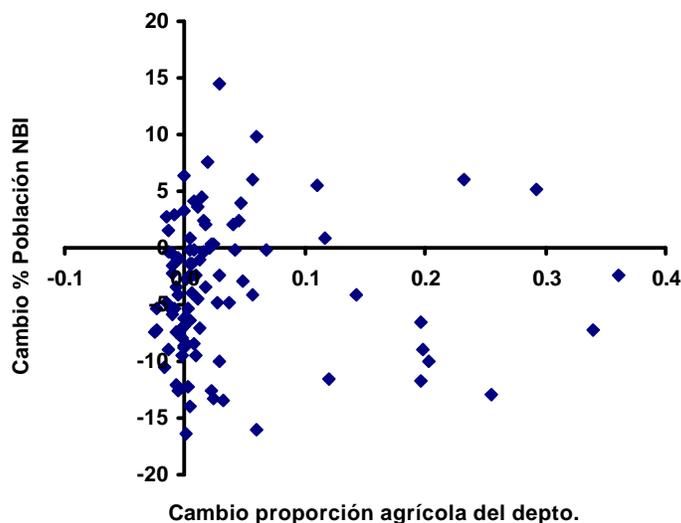


Figura 26. Relación entre los cambios del porcentaje de NBI y los cambios en la proporción de la superficie ocupada por agricultura a nivel departamental, durante el período (1988-2002). Fuentes: Elaboración propia a partir de CNA (1988 y 2002) y CNPyV(1991 y 2001) – INDEC.

Infraestructura

La longitud de caminos asfaltados en proporción al área de cada departamento tenía valores promedio en 1988 para el área de estudio de 0.71 m/ha. La mayor concentración de caminos por unidad de área en 1988 se observó en el oeste y centro de Santiago del Estero, en el noreste de Santa Fe, este y norte de Chaco, Formosa y oeste y este de Corrientes. El noreste de Salta registró una baja proporción de caminos en relación a la superficie (Figura 27 A). En el 2002 la distribución de la concentración de rutas se homogeneizó un poco más en el área de estudio, aunque la zona noreste de Salta, norte de Santiago del Estero y centro de Corrientes permaneció con valores bajos de rutas en relación a la superficie del departamento (Figura 27 B). En este momento la longitud promedio fue de 0.75 m/ha.

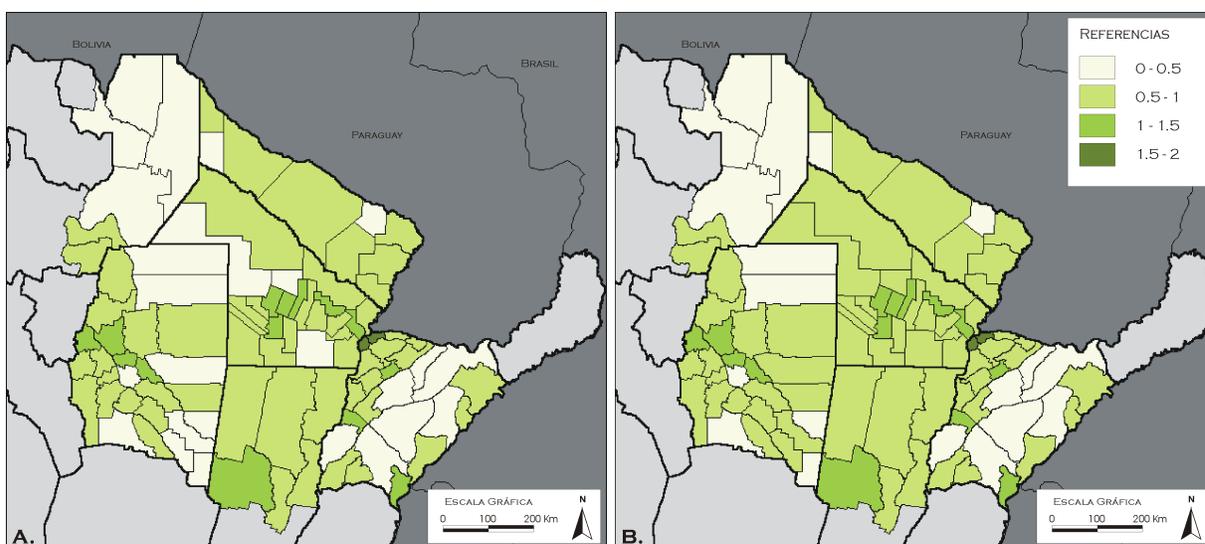


Figura 27. Longitud (m/ha) de rutas en proporción al área de cada departamento en 1988 (A) y 2002 (B). Fuentes: Elaboración propia a partir de mapas del ACA y CNRT.

Se observa un aumento en casi todos los departamentos, y no se registran disminuciones en la cantidad de rutas para ninguno. Las zona donde se registraron los mayores incrementos en el período de análisis fueron el centro – norte de Chaco, centro de Formosa, noroeste de Santiago del Estero y sudeste de Salta, sudeste de Santiago del estero y noroeste de Santa Fe, y en el noroeste de Corrientes (Figura 28). No se observaron aumentos importantes de la red vial en todos los departamentos donde hubo aumentos en el área agrícola.

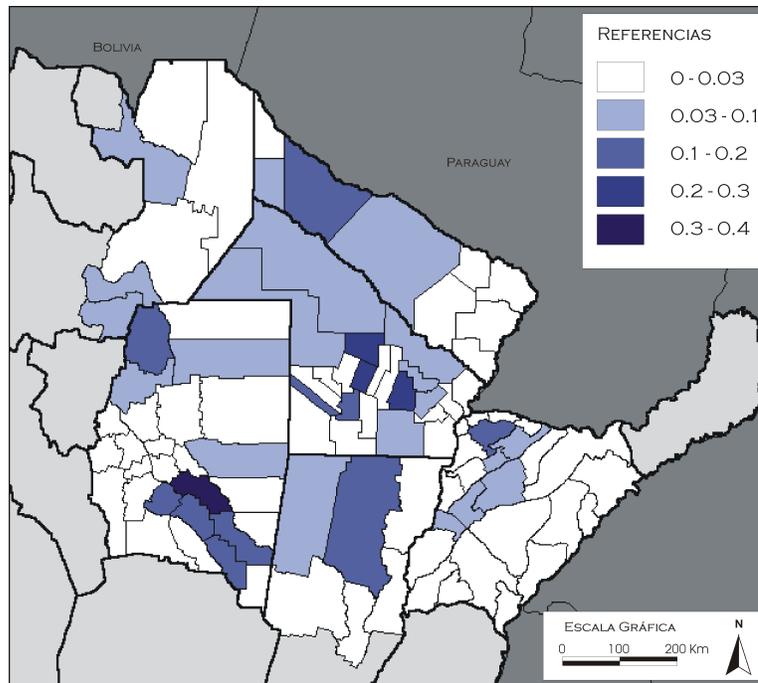


Figura 28. Cambios en la proporción de longitud de rutas en relación al área de cada departamento durante el período 1988 – 2002. Fuentes: Elaboración propia a partir de ACA y CNRT.

3.2 Relación entre la superficie implantada con soja y variables ambientales, demográficas y de uso de la tierra e infraestructura

A continuación se presentan los modelos que mejor explican la variación espacial de la superficie implantada con soja en los dos años analizados (1988 y 2002) y de los cambios entre estos dos años a partir de las variables incluidas en la base de datos recientemente descripta. Con estos modelos se busca identificar las variables que se asocian con la variación del área cultivada con soja entre departamentos o con los valores absolutos de áreas implantadas con esta leguminosa en los dos momentos analizados. Como en cualquier análisis de regresión estas asociaciones no implican causalidad, los modelos son eminentemente descriptivos. Sin embargo la identificación de relaciones significativas es un paso muy importante para plantear hipótesis acerca de cuales serían los controles de la distribución regional de cultivos y los cambios temporales en la superficie agrícola.

Para todos los modelos se describe, en primer término, el grado de asociación entre la variable dependiente y cada una de las variables independientes. Ello permite identificar las variables que contribuyen en forma mayoritaria a explicar la variabilidad espacial de la superficie sembrada con soja. Posteriormente se describe el sentido (positivo o negativo) de la asociación entre las variables independientes y la dependiente. A continuación se presentan los resultados del diagnóstico de influencia. Este diagnóstico permite identificar los departamentos que ejercen una influencia significativa tanto en la magnitud (coeficiente de regresión) como en el sentido de la asociación (signo del coeficiente de regresión) entre la variable dependiente y cada una de las variables independientes. Por último, se comparan los modelos generados mediante los métodos de selección de variables *Stepwise* y *Rsquare*. Como se mencionó en la sección de Metodología estos métodos permiten evaluar la consistencia de las variables incluidas en los modelos.

Área sembrada con soja en 1988

El modelo que dio cuenta de la mayor parte (60%) de la variabilidad espacial de la superficie sembrada con soja para 74 departamentos del área de estudio en el ciclo agrícola 1987/1988 fue el siguiente:

$$\%Soja = - 0.013 + 0.00019 PROF + 13.72 \text{ Km caminos/ha} - 0.06 Sc - 0.01 ALKA - 0.22 \text{ Riego}$$

Las variables edáficas en conjunto (PROF y ALKA) aportaron aproximadamente 44% de la variabilidad total explicada (Tabla 3). De este conjunto de variables la profundidad fue la que en forma individual estuvo más asociada a la superficie implantada con soja (39.8%). De la varianza no explicada por las variables edáficas, una variable que caracteriza el nivel de infraestructura de cada departamento, km de caminos por ha, contribuyó a explicar el 7.2%. La escala de

extensión de las empresas agropecuarias de cada departamento (proporción del área del departamento ocupada por empresas agropecuarias de menos de 100 ha - Sc-) explicó 5.5% de la variabilidad espacial de la superficie implantada con soja. Por último, proporción del área del departamento bajo riego (RIEGO) explicó un porcentaje relativamente bajo de la variabilidad del área ocupada por Soja, 4.1%.

Según este modelo existe una relación positiva entre la superficie implantada con soja en los distintos departamentos y la proporción de suelos buenos (profundos) y, en menor medida, con la disponibilidad de caminos de esos departamentos. A su vez, cuanto mayor fue la proporción de suelos poco aptos para agricultura (i.e. suelos alcalinos), y mayor la proporción del área regada, menor fue la superficie implantada con soja. En esta región el riego se utiliza principalmente en cultivos hortícolas. De hecho los departamentos donde el riego adquiere valores más altos se encuentran en la provincia de Santiago del Estero (Robles -16%- Banda -6%-) donde los cultivos hortícolas son importantes y donde en 1988 no hubo cultivos de soja. Por último, la cantidad de establecimientos pequeños (menores de 100 ha) se relaciona en forma negativa con la superficie sojera.

Variable	R ² Parcial	R ² Modelo	F	P
Profundidad del suelo (PROF)	0.398	0.398	47.71	<0.0001
Densidad de caminos (Km caminos/ha)	0.072	0.471	9.74	0.0026
Proporción de la superficie del departamento ocupada por empresas agropecuarias de menos de 100 has (Sc)	0.055	0.526	8.25	0.0054
Índice de Alcalinidad (ALKA)	0.036	0.562	5.68	0.0199
Proporción de la superficie del departamento bajo riego (RIEGO)	0.041	0.604	7.17	0.0093

Tabla 3. Variables independientes incluidas en el modelo de regresión múltiple *stepwise* cuya variable dependiente fue la proporción del departamento sembrada con soja. R² parcial indica la proporción de la varianza explicada por cada una de las variables en forma independiente mientras que R² modelo lo indica para el conjunto de variables ya incorporadas en el modelo. F es el cociente entre el cuadrado medio del modelo y el cuadrado medio del error. P indica la probabilidad de F (o sea la probabilidad de que el aporte de la variable al modelo no sea distinta de cero). n = 74.

Las variables seleccionadas mediante el procedimiento *stepwise* fueron similares a las seleccionadas con el procedimiento *Rsquare*. En el caso del método de selección *Rsquare* siguiendo el criterio del C(p) de Mallows el mejor modelo contenía 6 variables. La variable agregada a las 5 seleccionadas por el procedimiento *Stepwise* fue la variable IP (Índice de productividad Cartográfica) que integra en su valor aspectos ambientales y edáficos. Los otros dos modelos alternativos generados por el procedimiento *Rsquare* (i.e. de los tres modelos con

mayor R^2) incorporaron la variable Scm y la Sm (Scm con signo negativo y Sm con signo positivo). Este último resultado sugeriría que el porcentaje del departamento sembrado con soja en 1988 estaba similarmente asociado en forma negativa a pequeños y medianos productores o en forma positiva con los productores grandes.

El diagnóstico de influencia realizado permitió identificar los departamentos que modificaron significativamente el modelo obtenido. Así, el departamento de 1º de Mayo en Chaco y 9 de Julio, General Obligado y San Justo en la provincia de Santa Fe influyeron significativamente en el valor del coeficiente de regresión de la variable PROF. Es decir, si se hubiese exceptuado estos departamentos del análisis, el valor del coeficiente de la variable PROF hubiese sido significativamente distinto al que aparece en el modelo. El coeficiente de la variable km caminos/ha fue influido, principalmente, por dos departamentos de la provincia de Santa Fe (San Justo y San Cristóbal) mientras que el valor del coeficiente de la variable Sc solo fue influenciado por el departamento de General Alvear en Corrientes.

Área sembrada con soja en 2002

En este caso el modelo seleccionado para describir la variabilidad espacial de la superficie sembrada con soja en 88 departamentos del área bajo estudio fue el siguiente:

$$\%Soja = -0.09 + 0.44Scm + 0.001 IP - 0.77 Sc + 0.09 DREN$$

Este modelo permitió explicar el 65% de la varianza en la distribución espacial de la superficie implantada con soja en el ciclo agrícola 2001/2002. Aproximadamente un 48% de la varianza fue explicado por variables que describen la escala de extensión de las empresas agropecuarias (Proporción de la superficie del departamento ocupada por empresas agropecuarias de más de 100 y menos de 1000 has -Scm, 40%- y de menos de 100 has -Sc 8%-) (Tabla 4). Las variables edáficas índice de productividad cartográfica (IP) e índice de drenaje (DREN) explicaron el restante 16.5%. El IP, una variable sintética que resume aspectos climáticos y edáficos, explicó el 12.4% y DREN, una variable que sintetiza aspectos vinculados a la textura del suelo y a la topografía, el 4.1% de la varianza respectivamente.

Según el modelo generado, la superficie ocupada por soja y la cantidad de empresas agropecuarias de mediana extensión (entre 100 y 1000 has) y la calidad de los suelos (estimada a partir del índice de drenaje) están asociadas en forma positiva. Por el contrario, con la cantidad de pequeños productores (menos de 100 has, Sc) la asociación es negativa.

La inclusión en el análisis de los departamentos ubicados en la provincia del Chaco influyó principalmente el valor del coeficiente de regresión de la variable

que caracterizan la escala de extensión, es decir, Sc y Scm. Si bien en promedio la provincia del Chaco es la que posee la mayor proporción de la superficie del departamento ocupada por empresas agropecuarias de mas de 100 y menos de 1000 has –Scm- (0.31 vs 0.15, 0.12, 0.05, 0.26, 0.09 correspondientes a Corrientes, Formosa, Salta, Santa Fe y Santiago del Estero) la influencia de cada departamento no fue similar. El departamento de O'Higgins influenció el valor del coeficiente de regresión de Scm en forma positiva (es decir, si se elimina O'Higgins del análisis el valor del coeficiente de la variable Scm disminuye), y 25 de Mayo y Maipú lo hicieron en forma negativa. A su vez, los departamentos de Quitilipi, O'Higgins y Comandante Fernández influenciaron positivamente el coeficiente de la variable Sc y solo el departamento de Chacabuco lo hizo en forma negativa.

Variable	R ² Parcial	R ² Modelo	F	P
Proporción de la superficie del departamento ocupada por empresas agropecuarias de mas de 100 y menos de 1000 has (Scm)	0.403	0.403	58.08	<0.0001
Índice de productividad cartográfico (IP)	0.124	0.527	22.34	<0.0001
Proporción de la superficie del departamento ocupada por empresas agropecuarias de menos de 100 has (Sc)	0.083	0.61	17.93	<0.0001
Índice de Drenaje (DREN)	0.041	0.65	9.92	0.0023

Tabla 4. Variables independientes incluidas en el modelo de regresión múltiple stepwise cuya variable dependiente fue la proporción del departamento sembrada con soja. R² parcial indica la proporción de la varianza explicada por cada una de las variables en forma independiente mientras que R² modelo lo indica para el conjunto de variables ya incorporadas en el modelo. F es el cociente entre el cuadrado medio del modelo y el cuadrado medio del error. P indica la probabilidad de F (o sea la probabilidad de que el aporte de la variable al modelo no sea distinta de cero). n = 88

Por último, tanto la cantidad como la identidad de las variables seleccionadas fue distinta según el método utilizado (*Stepwise* o *Rsquare*). Los tres modelos generados con el *Rsquare* que daban cuenta de la mayor varianza en la distribución espacial del cultivo de soja incluían 6 variables (criterio de selección *C_p* de Mallows). Ninguno de estos tres modelos incluyó la variable IP mientras que si incluyeron las variables SArr (porcentaje de la superficie del departamento en arrendamiento, índice de alcalinidad y la precipitación media anual del periodo 1990-2000). Los tres modelos obtenidos con el procedimiento *Rsquare* tuvieron un coeficiente de determinación mayor al del modelo generado por el *Stepwise* (ca. 70%).

Cambios en el período 1988 - 2003

El modelo que dio cuenta de casi la mitad de la variabilidad espacial (49%) en el cambio del área sembrada con soja en 83 departamentos entre las campañas agrícolas 1987-1988 y 2001-2002 fue el siguiente:

$$\%Soja = - 0.13 - 0.8 DSc + 0.0007 PROF + 0.14 DREN + 0.36 DSArr + 0.06 ALKA$$

Las variables que caracterizan los suelos (DREN, ALKA y PROF) explicaron en conjunto el 26.8% de la varianza en el aumento del área sembrada con soja (PROF 13.5%, DREN 8.6% y ALKA 4.65%) (Tabla 5). El cambio en la proporción del departamento ocupada por establecimientos de menos de 100 has fue, a su vez, la variable que en forma individual explicó el porcentaje más alto de la varianza en el aumento del área sembrada con soja (14.5%). Por último el cambio en la superficie bajo arrendamiento explicó un 8.2% del aumento en el área sembrada con soja entre 1988 y 2002.

Variable	R ² Parcial	R ² Modelo	F	P
Diferencia en la proporción de la superficie del departamento ocupada por empresas agropecuarias de menos de 100has (DSc)	0.144	0.144	13.68	0.0004
Profundidad del suelo (PROF)	0.135	0.279	15.02	0.0002
Índice de Drenaje (DREN)	0.086	0.365	10.74	0.0016
Proporción de la superficie del departamento bajo arrendamiento (DSArr)	0.082	0.448	11.68	0.001
Índice de Alcalinidad	0.046	0.495	7.09	0.009

Tabla 5. Variables independientes incluidas en el modelo de regresión múltiple stepwise cuya variable dependiente fue el cambio en la proporción del departamento sembrada con soja entre 2002 y 1988. R² parcial indica la proporción de la varianza explicada por cada una de las variables en forma independiente mientras que R² modelo lo indica para el conjunto de variables ya incorporadas en el modelo. F es el cociente entre el cuadrado medio del modelo y el cuadrado medio del error. P indica la probabilidad de F (o sea la probabilidad de que el aporte de la variable al modelo no sea distinta de cero). n = 83.

Según el modelo, el aumento en el área sembrada con soja fue mayor en los departamentos que tuvieron menor proporción de la superficie del departamento ocupada por pequeños productores (menos de 100 has). El modelo también indica que el aumento en el área sembrada con soja fue mayor en los departamentos que poseen mejores suelos según se puede inferir de la asociación positiva entre esta

variable y PROF y DREN. La asociación positiva con el índice de alcalinidad resulta contraintuitiva y puede deberse en parte a al proceso de selección de variables o a la inclusión de algunos departamentos particulares en el análisis (ver más adelante). Finalmente, los cambios en el área bajo arrendamiento también se asociaron en forma positiva con el cambio en el área sembrada con soja.

El diagnóstico de influencia mostró que los departamentos de Chacabuco y O'Higgins en la provincia del Chaco influyeron significativamente en el coeficiente de regresión de la variable índice de alcalinidad. Ello se debe a que en dichos departamentos, que poseen porcentajes medianos a altos de la superficie con problemas de alcalinidad (34% O'Higgins y 40% Chacabuco), se produjeron los mayores aumentos en el área sembrada con soja de la región (ca. 29%).

La comparación de los modelos obtenidos mediante los distintos métodos de selección de variables también sugiere que la inclusión de la variable ALKA en el modelo no es consistente/robusta. Ello se deriva de que, si bien el método *Stepwise* la incluyó, el modelo generado por el método *Rsquare* no contiene dicha variable. De todos modos la proporción de la varianza explicada por este último modelo fue menor a la del modelo generado por el método *Stepwise* (49 vs 44%).

El modelo presentado más arriba permite describir el aumento del área sembrada con soja en función de variables que describen características edáficas, cambios en el clima, cambios en la población y cambios en algunas variables que caracterizan el uso de la tierra. Sin embargo, dicho modelo no permite avanzar sobre una de las preguntas más interesantes de la expansión del cultivo de soja en la región en los últimos años: ¿el aumento en el área sembrada con soja se realizó a expensas de la vegetación natural (i.e. aumento de la superficie agrícola) o a expensas de otros cultivos?

Para intentar contestar esta pregunta incorporamos las variables que caracterizan los cambios en el área agrícola total y de cada cultivo relevante de la región a las variables independientes consideradas anteriormente. Los resultados de este análisis constituyen una aproximación a la pregunta formulada anteriormente y no una respuesta formal. Ello se debe a que al incorporar la variable cambio en la superficie agrícola inevitablemente se incurre en una asociación espuria. Los cambios en área sembrada con soja están en menor o mayor medida incluidos en los cambios en la superficie agrícola.

Al incorporar las nuevas variables el siguiente modelo dio cuenta de casi la totalidad (97%) de la variabilidad espacial en el cambio del área sembrada con soja:

$$\%Soja = -0.0009 + 0.7 \text{ Agri} - 0.91 \text{ Gr} - 0.75 \text{ Ag} - 1.12 \text{ Por} - 1.4 \text{ Sg} - 0.57 \text{ Pfor} - 19.9 \text{ Km caminos/ha} - 0.66 \text{ Arr}$$

Casi la totalidad de la variación espacial en la diferencia del área ocupada con soja fue explicada por el aumento en el área agrícola (82%), mientras que el reemplazo de otros cultivos por soja solamente explicó aproximadamente el 15% de la variabilidad no explicada por el aumento del área agrícola. Cambios en el nivel de infraestructura disponible (km caminos/ha) explicó una fracción muy pequeña del cambio en la superficie sembrada con soja durante la última década (menos del 1%).

De acuerdo con el modelo, la expansión de cultivo de soja estuvo asociada principalmente a un cambio en la cobertura del suelo con cultivos (incorporación a la agricultura de tierras anteriormente no utilizadas con tal fin) y en mucha menor medida al reemplazo de praderas o cultivos. Entre estos últimos la disminución en la superficie implantada con Girasol y Algodón estuvo más asociada al cambio en el área sembrada con soja no explicada por el aumento en el área agrícola que a la disminución en el área dedicada al Sorgo, Poroto o Arroz. El reemplazo de praderas por el cultivo de soja, que denotaría que la soja aumentó a expensas de un aumento de la componente agrícola de las rotaciones fue menos frecuente. Por último los cambios en área sojera no explicados por el aumento del área agrícola o por el reemplazo de cultivos estuvieron asociados negativamente con el cambio en el nivel de infraestructura del departamento estimado a partir de diferencia entre periodos en la densidad de caminos.

El diagnóstico de influencia mostró que los cambios ocurridos en los departamentos pertenecientes a Chaco Santiago del Estero y Santa Fe influenciaron significativamente el modelo obtenido. La influencia de estos departamentos sobre cada uno de los coeficientes de regresión del cambio en el área agrícola y de cada cultivo no fue homogénea. Por ejemplo, si se eliminase el departamento de Chacabuco del análisis el coeficiente de regresión del cambio en el área agrícola aumentaría y el de cambio en el área sembrada con girasol disminuiría. Si, por el contrario, se eliminase el departamento de O' Higgins sucedería lo contrario, el coeficiente del área agrícola disminuiría y el del girasol aumentaría. Estos resultados sugieren que los mecanismos por los cuales aumentó el área cultivada con soja tendrían un fuerte componente local.

La comparación entre los modelos obtenidos por los distintos métodos de selección mostró diferencias únicamente en cuanto al número de variables ya que la identidad de las variables y los coeficientes de regresión fueron similares. El modelo generado por el método *Stepwise* incluyó 8 variables mientras que el modelo óptimo generado por el método *Rsquare* incluyó 7 variables. La variable no incluida por este último método (y que sí está presente en el otro modelo) fue diferencia en el área sembrada con Arroz. La proporción de la varianza espacial explicada no fue significativamente diferente entre los modelos.

Variable	R ² Parcial	R ² Modelo	F	P
Diferencia en la proporción de la superficie del departamento ocupada por cultivos agrícolas entre 1988 y 2002 (Agri)	0.817	0.8171	361.94	<0.0001
Diferencia en la proporción de la superficie del departamento ocupada por cultivos de girasol entre 1988 y 2002 (Gr)	0.064	0.882	43.83	<0.0001
Diferencia en la proporción de la superficie del departamento ocupada por cultivos de algodón entre 1988 y 2002 (Ag)	0.053	0.935	65.30	<0.0001
Diferencia en la proporción de la superficie del departamento ocupada por cultivos agrícolas entre 1988 cultivo de poroto (Por)	0.01	0.946	15.46	0.0002
Diferencia en la proporción de la superficie del departamento ocupada por cultivo de sorgo entre 1988 y 2002 (Sg)	0.005	0.950	7.58	0.0074
Diferencia en la proporción de la superficie del departamento ocupada por especies forrajeras perennes entre 1988 y 2002 (Pfor)	0.01	0.960	18.57	<0.0001
Diferencia en la densidad de caminos (Km camino/ha)	0.005	0.965	10.24	0.002
Diferencia en la proporción de la superficie del departamento ocupada por cultivos agrícolas entre 1988 cultivo de Arroz (Arr)	0.003	0.968	5.91	0.017

Tabla 6. Variables independientes incluidas en el modelo de regresión múltiple stepwise cuya variable dependiente fue el cambio en la proporción del departamento sembrada con soja entre 2002 y 1988. R² parcial indica la proporción de la varianza explicada por cada una de las variables en forma independiente mientras que R² modelo lo indica para el conjunto de variables ya incorporadas en el modelo. F es el cociente entre el cuadrado medio del modelo y el cuadrado medio del error. P indica la probabilidad de F (o sea la probabilidad de que el aporte de la variable al modelo no sea distinta de cero). n = 83.

3.3 Patrones espaciales y temporales del uso de la tierra a nivel de parcela

En esta sección se presentan los resultados que se derivan del análisis, mediante imágenes satelitales, de la distribución espacial de los cultivos agrícolas en dos subregiones del Norte Argentino (ver Figura 29). En la subregión “Noreste de Salta” se utilizaron dos imágenes satelitales LANDSAT 5 (señaladas en la Figura 29 con las letras A y B) para caracterizar los cultivos presentes en la campaña 1988/9. En la subregion Este de Santiago del Estero–Oeste de Chaco se utilizó solamente una imagen LANDSAT 5 (señalada con la C) para este período. En cada subregión se analizaron los patrones de distribución de los cultivos a fines de la década del 80 (1988-1989) y los cambios en el uso de la tierra entre ese momento y la actualidad (2003).

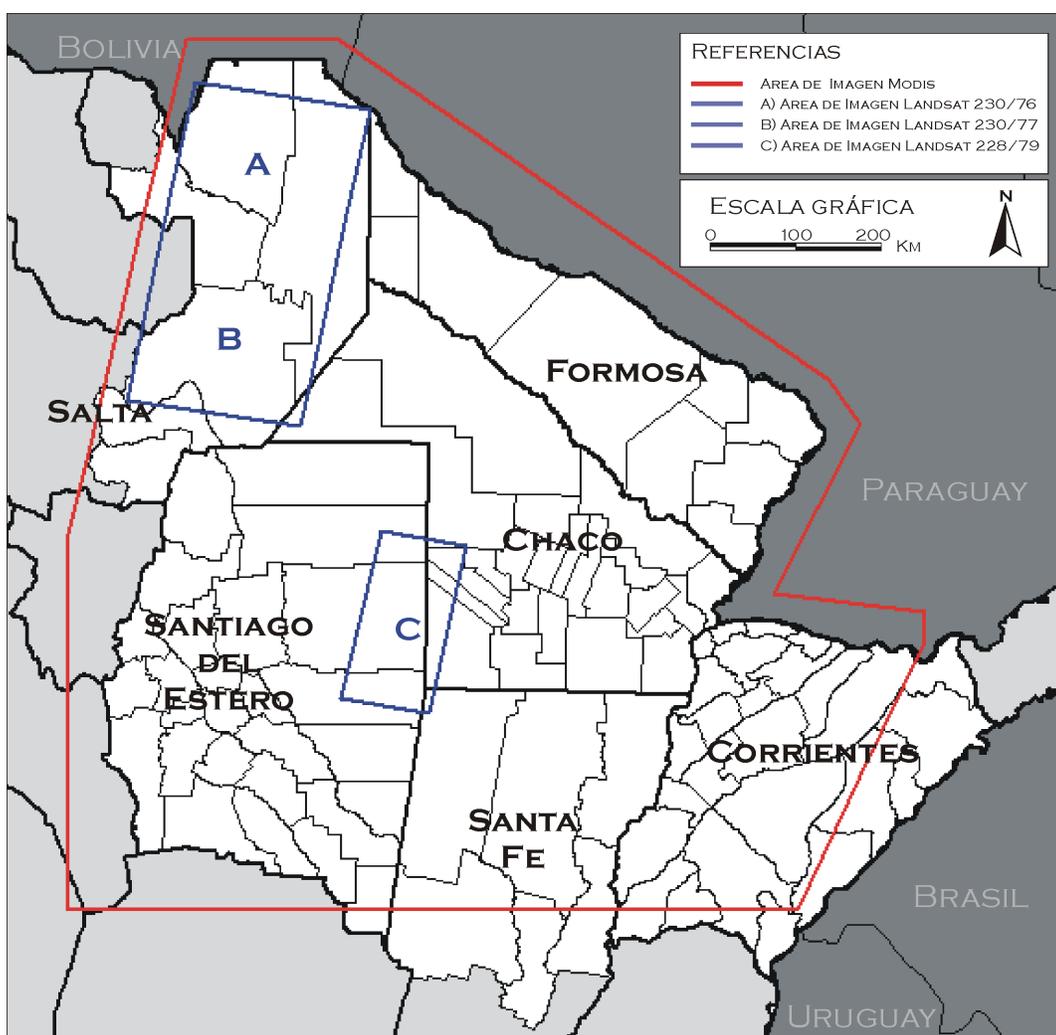


Figura 29. Subregiones seleccionadas para estudiar los patrones espaciales y temporales del uso de la tierra a nivel de parcela. En azul se señala el área analizada en la campaña 1988/9, mediante imágenes satelitales LANDSAT 5 TM. En rojo se señala el área analizada en la campaña 2002/3 mediante imágenes MODIS/TERRA. Para la intersección de las áreas se analizó el cambio ocurrido entre ambas campañas.

3.3.1 Campaña 1988/9

En los mapas de uso de la tierra de las dos subregiones de estudio, generados para el año 1988 y 1989, se puede apreciar la localización de los cultivos y la distribución de los tipos principales de vegetación natural en 88.000 km² de superficie con mucha mayor definición espacial que la considerada en el análisis departamental recientemente descrito. En la subregión del noroeste de Argentina (Salta) ya existían en 1989 los polos agrícolas de Tartagal y Las Lajitas (Figura 30). Las áreas no cultivadas estaban ocupadas por selva (yungas) al Oeste, bosques cerrados de quebrachos, bosques abiertos y matorrales al Este de esta región (Región Chaqueña).

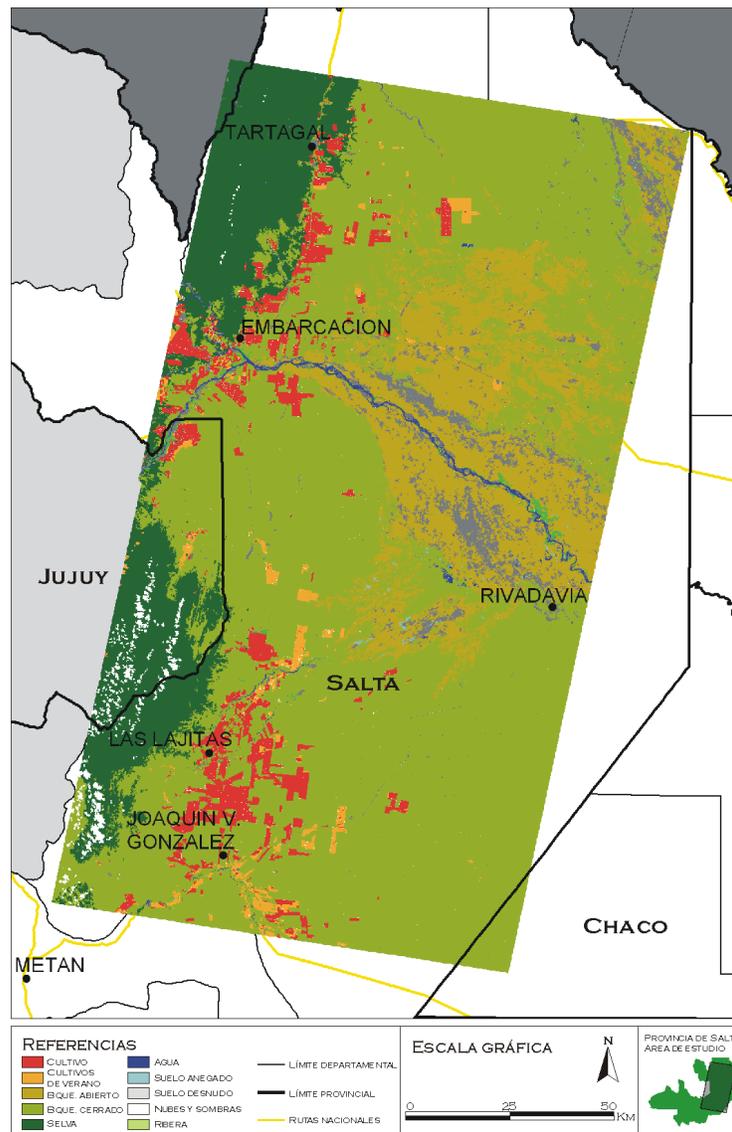


Figura 30. Mapa de uso de la tierra durante la campaña agrícola 1988/1989, en la Subregión noreste de Salta, derivados de la clasificación de imágenes Landsat 5 TM.

La mayor parte de la superficie analizada estaba ocupada por bosques cerrados, que se ubicaban en el centro la region analizada, de Norte a Sur, mientras que la selva montana y pedemontana se ubicaba al Oeste de la región analizada. Había una importante superficie ocupada por “matorrales” al centro y al este, bordeando el río Bermejo, y al noreste de éste. En el departamento de Anta (Salta), había una gran concentración de cultivos de verano (poroto y soja) al Norte del río Juramento, donde se encuentra la localidad de Joaquín V. Gonzalez, que se extendía al Norte, pasando por la localidad de Las Lajitas. Había también algunos lotes de cultivos dispersos hacia el Este de dicho centro agrícola (Figura 30).

El otro polo agrícola se ubicaba al Norte de la provincia de Salta, en el departamento de Gral. San Martín, que comienza a orillas del río Bermejo, y se extiende al Norte desde la localidad de Embarcación hasta la ciudad de Tartagal, bordeando el límite de la selva (yunga) y el bosque cerrado. También se observan algunos lotes dispersos hacia el Este (Figura 30).

En ambos polos agrícolas existían áreas en donde no se habrían sembrado cultivos durante la campaña analizada. Estas áreas probablemente se encontraban bajo una rotación agrícola ya que presentaban límites bien definidos característicos de los lotes agrícolas.

En la subregión del Este de Santiago del Estero y sudoeste de Chaco también la vegetación natural ocupaba la mayor parte de la superficie. Esta estaba compuesta, por bosques de quebracho de varios tipos, pastizales y zonas de sabanas y parques (Figura 31). Sin embargo, ya existía a fines de la década del 80 una cantidad importante de cultivos anuales. Los lotes agrícolas, principalmente implantados con soja y maíz, se encontraban concentrados en el extremo sudeste del departamento de Moreno, en la provincia de Santiago del Estero y el extremo sudoeste de la provincia de Chaco. Existían en ese entonces sólo algunos lotes agrícolas aislados ubicados hacia el Oeste. Los lotes agrícolas se presentaban distribuidos en una matriz intrincada con la vegetación natural, principalmente bosque cerrado y bosque abierto (Figura 31).

El análisis mediante sensores remotos permite analizar su distribución intra-departamento, evaluar los cambios experimentados por lotes individuales, estudiar el tamaño y la conectividad de los parches agrícolas y relacionar la localización de los lotes cultivados con los suelos y el tipo de cobertura previo.

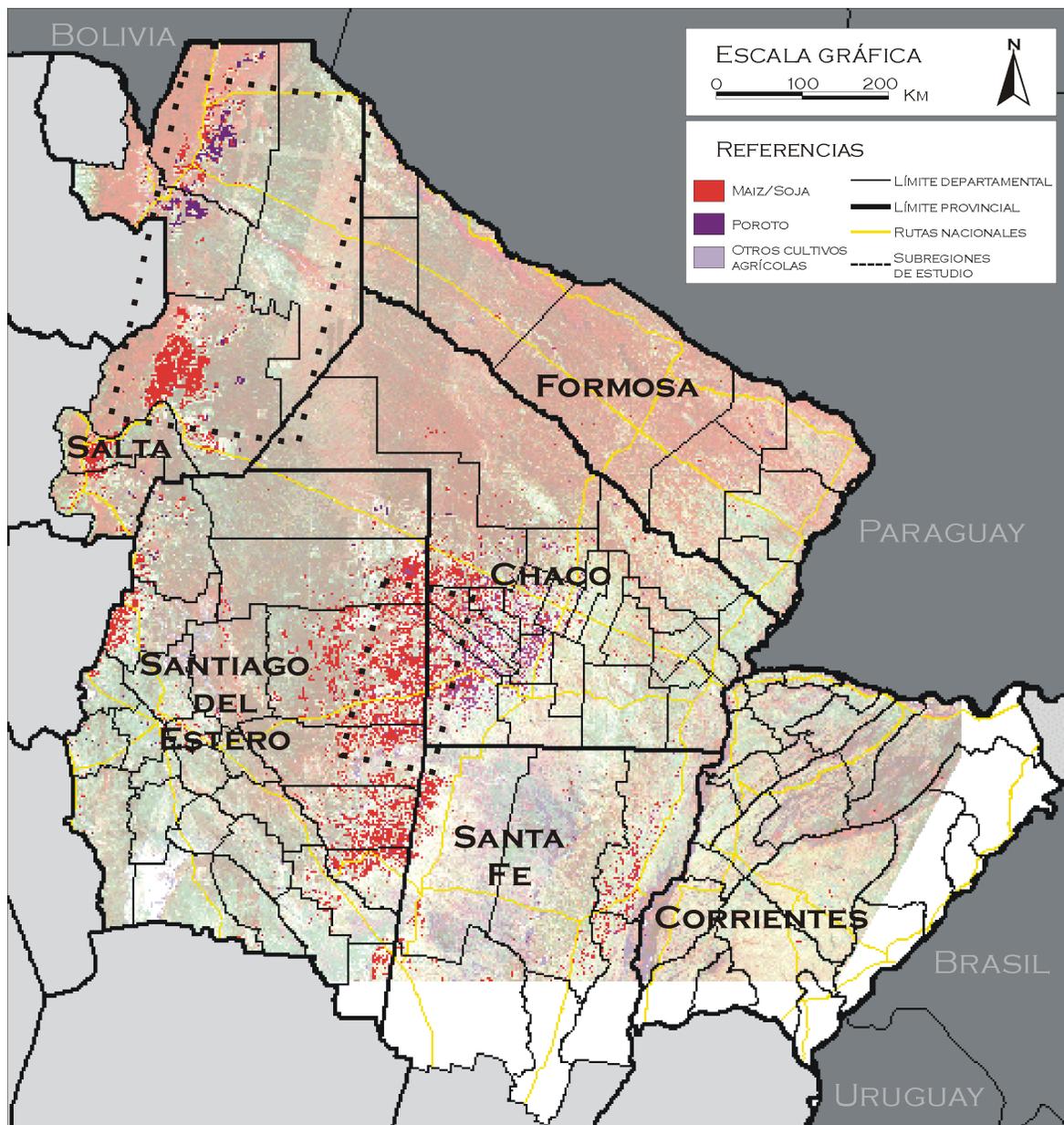


Figura 32. Mapa del uso de la tierra durante la campaña 2002/2003 en el Norte de Argentina, derivado de la clasificación con imágenes MODIS. Para la confección de esta figura se utilizó como fondo una imagen del satélite MODIS-TERRA en falso color compuesto que permite advertir los patrones del relieve y de la vegetación en las áreas no agrícolas.

En el Noreste de Salta los lotes agrícolas se distribuyen en un eje Norte - Sur, al Este de la ruta 34. Los parches agrícolas se caracterizan por ser de gran tamaño. En la zona sudeste de Salta, los lotes agrícolas están aún más agrupados y concentrados. El polo agrícola que se ubica al Este de Santiago del Estero y sudoeste de Chaco presenta una distribución de la agricultura mucho más atomizada, con lotes más pequeños y menos conectados que se expanden hacia el centro de las provincias de Santiago del Estero y de Chaco. El sudeste de Santiago del Estero y noroeste de Santa Fe presenta un patrón de distribución espacial similar al anterior.

El resto del área analizada correspondió a vegetación natural o a áreas desmontadas pero no cultivadas y sólo se detectaron cultivos anuales aislados y en superficies pequeñas. Un ejemplo de esta situación se da en la gran mayoría de las provincias de Formosa y Corrientes (Figura 32). Las áreas de vegetación natural, si bien no fueron analizadas en este trabajo, corresponden en general a matorrales, pastizales o bosques que se utilizan para la cría de ganado y para la extracción de leña.

3.3.3 Cambios en el uso de la tierra 1989-2003:

Cómo surge del análisis de los censos agropecuarios presentado anteriormente, entre los años 1989 y 2003 ocurrieron importantes cambios en el uso de la tierra en las dos subregiones analizadas. Para las dos áreas focales analizadas la superficie agrícola aumentó 906.740 ha, que representa un 12% del total del área. Hubo un importante aumento en el área sembrada con cultivos de anuales (áreas rojas en la figura 33 y 35), principalmente el cultivo de soja, y en menor medida el maíz, algodón, trigo. Mientras que otros cultivos redujeron su extensión como ser el poroto (restringido a la zona de Tartagal en Salta), el girasol y el sorgo.

Subregión noreste de Salta

Cambios en el área agrícola y la vegetación natural

Al superponer los mapas de agricultura de 1989 y de 2003 es posible analizar los cambios en la superficie dedicada a la agricultura en las áreas seleccionadas. En el extremo Norte de Salta se observa que el aumento en el área agrícola se produce hacia el Este de los lotes agrícolas que existían previamente (1989). A su vez los nuevos lotes agrícolas generaron la coalescencia de parches cultivados, reduciendo las áreas de vegetación natural dispuestas en la matriz de agricultura. En la zona agrícola cercana a las ciudad de Las Lajitas, ubicada casi en su totalidad en el departamento de Anta, el crecimiento de la agricultura se produjo en las áreas que se disponían entre los lotes agrícolas presentes en 1989, y hacia el Este de éstos (Figura 33). De esta manera se cubrió prácticamente toda el área que estaba ocupada por vegetación natural. El paisaje pasó a estar dominado por lotes agrícolas que en este departamento conforman la matriz del paisaje.

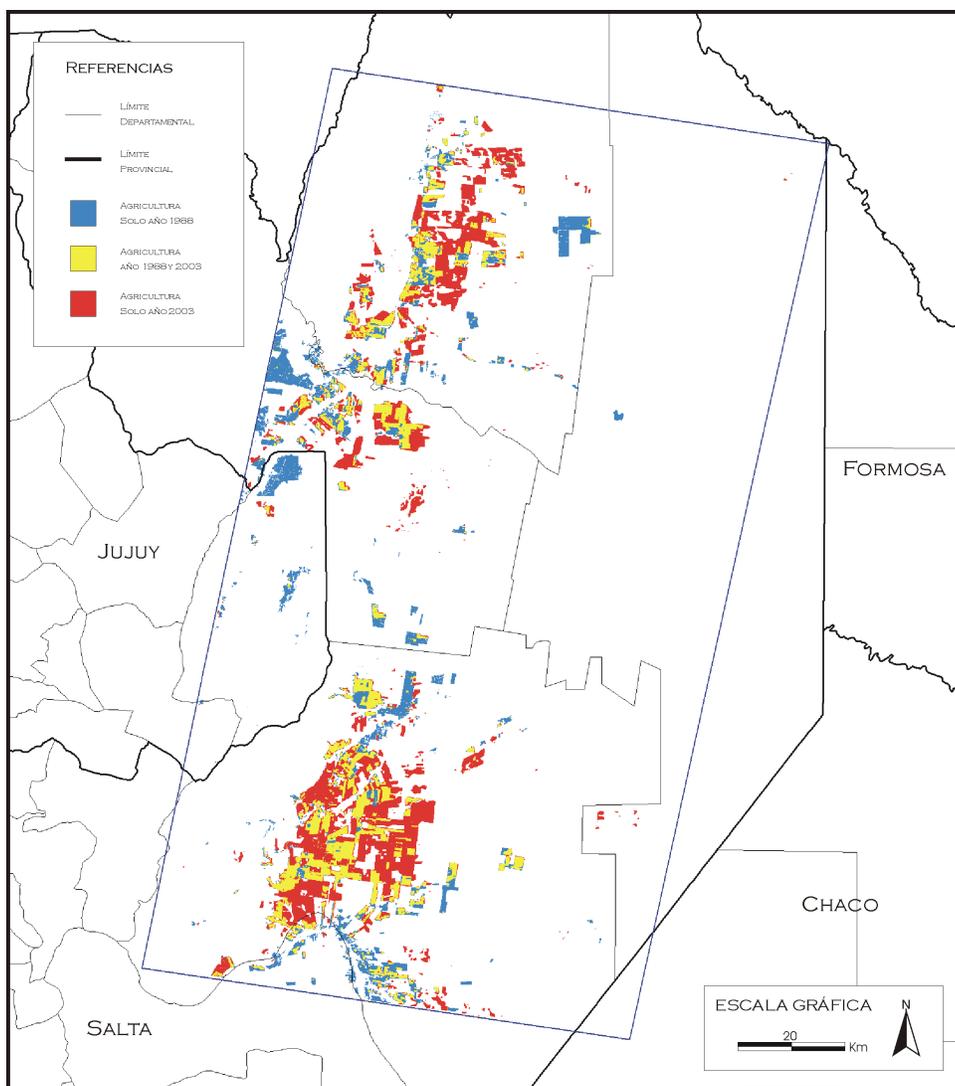


Figura 33. Mapa de cambios en el uso de la tierra entre 1989 y 2003 en la zona noreste de Salta. Este mapa surge de la superposición de los mapas generados con LANDSAT 5 TM para 1989 y con MODIS-TERRA para 2003.

En ambos polos agrícolas se observa que pequeñas zonas que fueron agrícolas en 1989 y que en el 2003 no estuvieron ocupadas por un cultivo anual. Posiblemente están sean áreas aún bajo cultivo que se encontraban en descanso dentro de un sistema de rotación agrícola para el año analizado. Algunos parches relativamente extensos que habiendo estado cultivados en 1989 no aparecen con cultivos en 2003, se ubican el borde occidental de la zona agrícola, en la transición entre los bosques chaqueños y las selvas pedemontanas de las Yungas. Grau et al. (en prensa) indican que en las áreas montañosas está teniendo lugar un abandono de lotes agrícolas asociados a migraciones rurales hacia centros urbanos.

En esta zona el área total de cultivos de verano estimada mediante las imágenes satelitales MODIS para la campaña 2002/2003 fue de 451.776 ha. Estos datos fueron similares a los registrados en el Censo del año 2002 (429.456 ha) para

los departamentos que están incluidos en la zona de estudio. Para la campaña 1988/1989 el área estimada de cultivos de verano fue de 307.509 ha similar a la registrada en el Censo de 1988 (264.228 ha). El aumento en el cultivo de soja fue el principal responsable del aumento del área, incrementando su superficie en aproximadamente 200.000 ha, pasando de 114.107 a 310.971 ha cultivadas.

En el 2002/2003 el 50.6 % de la soja, aproximadamente unas 157.409 ha, fueron sembradas sobre áreas que en 1988/1989 estaban ocupadas por vegetación natural, mientras que el resto fue sembrada sobre áreas que ya eran agrícolas. El 89% del avance de la soja sobre la vegetación natural se produjo en áreas ocupadas por vegetación de Chaco Seco (Bosques de Quebracho, Palosanto, Duraznillos y otras especies), un 5% sobre la Selva, y un 5.7% sobre Chaco Serrano, según la clasificación de unidades de vegetación propuesta por Zapater de del Castillo (1985). En la tabla 7 se puede observar las hectáreas perdidas de cada tipo de vegetación natural debido al avance de la agricultura (principalmente soja) en la zona. Esta tabla muestra que el avance de la soja disminuyó las áreas de cada unidad de vegetación llegando a disminuir hasta un 13% el área de algunas unidades. Otras unidades menos fértiles, anegables o con salinidad excesiva, no fueron convertidas a la agricultura.

Vegetación a fines de la década del 80	Área en 1988-9	Área en 2002-3	Pérdida (ha)	Pérdida (%)
Selva Montana y Pedemontana	794935	784374	-10561	-1.3%
Cebilar Quebrachal	452763	394484	-58280	-12.9%
Quebrachal de Colorado y Blanco variante típica	1454908	1326982	-127926	-8.8%
Vinalar con palma en zonas anegadizas y con salinidad	102870	102870	0	0.0%
Suelos desnudos	214396	213725	-671	-0.3%
Quebrachal de paleocauces y bañados	577410	566221	-11189	-1.9%
Quebrachal duraznillal con Palo Santo en áreas deprimidas	735469	735362	-107	0.0%
Quebrachal palosantal	201575	201463	-113	-0.1%
Quebrachal con duraznillares en áreas de escurrimiento	292843	260928	-31914	-10.9%
Bosques ralos de algarrobos y vegetación de madrejones	464484	463861	-623	-0.1%
Duraznillares en áreas de escurrimiento y quebracho blanco	371032	370624	-408	-0.1%
Palosantos en bajadas aluviales	16051	15922	-129	-0.8%
Vegetación de ribera	16770	16647	-123	-0.7%
Chaco Serrano	138240	129015	-9225	-6.7%
Suelos anegadizos	5388	5383	-5	-0.1%
Total	5914243	5662808	-251435	-4.3%

Tabla 7. Avance de la agricultura sobre distintos tipos de vegetación natural, según la descripción de Zapater de del Castillo (1985). Variación entre 1988-9 y 2002-3.

El 25% (78.946 ha) del área actual con soja se ubica sobre áreas que ya eran soja en 1988/1989. Otro 24 % (74.615 ha) se ubica sobre áreas que tenían otro uso agrícola en 1988/1989. De estas 74.615 ha unas 43.404 (13% del área de soja

actual) están ubicadas sobre suelos que habían sido sembrados con poroto en la zafra 1988/1989. Solamente 6.048 ha que tenían soja en 1988/1989 se encontraban bajo cultivo de poroto en el 2002/2003. El resultado neto de estas transformaciones fue una sustitución de poroto por soja de 37.361 ha, un 12% del área actual de soja. A su vez, el censo del año 2002 registra un descenso del área de porotos de 36.660 ha con respecto al censo de 1988, valores semejantes a los detectados con el uso de imágenes satelitales.

Controles edáficos de los patrones del uso de la tierra y sus cambios:

La mayor parte del área agrícola actual en la zona de estudio se ubica sobre Argiustoles (80%), y en menor medida sobre Haplustoles (6.1%), Ustifluvents (7.4%) y otros suelos (Tabla 8). Los Argiustoles estaban ocupados originalmente por bosques secos típicos de la región. La expansión reciente de la agricultura ocurrió casi exclusivamente sobre este tipo de suelos (85%). Actualmente el 18% de los Argiustoles se encuentra bajo uso agrícola, mientras que el 80% restante está todavía cubierto por vegetación natural.

Suelo	Área total	Agricultura 1988/89	Agricultura 2002/03	Variación por suelo		% del suelo ocupado por agricultura	% de la agricultura realizada en cada tipo de suelo
				ha	%		
Argiustol	2038904	242552	367753	125202	51.6%	18.0%	83.4%
Ustifluent	1102623	20091	32478	12387	61.7%	2.9%	7.4%
Haplustol	824978	21736	26859	5123	23.6%	3.3%	6.1%
Haplustalf	789275	4394	5340	946	21.5%	0.7%	1.2%
Ustipsament	76291	1704	2919	1215	71.3%	3.8%	0.7%
Haplacuept	324480	3464	2039	-1425	-41.1%	0.6%	0.5%
Ustortent	50613	1597	1723	125	7.9%	3.4%	0.4%
Haplumbreptes	260107	4089	1395	-2694	-65.9%	0.5%	0.3%
Haplumbrept	45797	578	478	-101	-17.4%	1.0%	0.1%
Natrualf	677626	422	70	-353	-83.5%	0.0%	0.0%
Natrualf	3840	0	0	0	0.0%	0.0%	0.0%
Paleustol	5480	1	11	9	645.3%	0.2%	0.0%
Torrifluent	2808	135	11	-124	-92.0%	0.4%	0.0%
Total	6202821	300764	441075	140311	46.7%	7.1%	100.0%

Tabla 8. Áreas agrícolas por tipo de suelo en las dos campañas analizadas en la subregión de de Salta.

En esta zona la expansión del área agrícola ocurrió en las cercanías de centros poblados y en áreas con buen desarrollo de infraestructura, básicamente rutas (Figura 33) (ver "Cambios en la estructura del Paisaje" mas adelante en este informe). Gran parte de los Argiustoles lejanos a centros poblados y con una pobre red vial permanece aun con vegetación natural. El inicio del crecimiento de la agricultura en estos suelos presenta entonces un crecimiento contagioso a partir de las áreas ya cultivadas y con una fuerte restricción asociada al acceso. Hacia el Este la limitación de la expansión agrícola podría estar asociada al descenso de la

precipitación media anual. De ser así, los aumentos en las precipitaciones registrados durante los últimos 40 años en esta región (Figura 20, Grau et al., en prensa), podrían haber impulsado el crecimiento de la agricultura hacia el Este sobre Argiustoles (Figura 34).

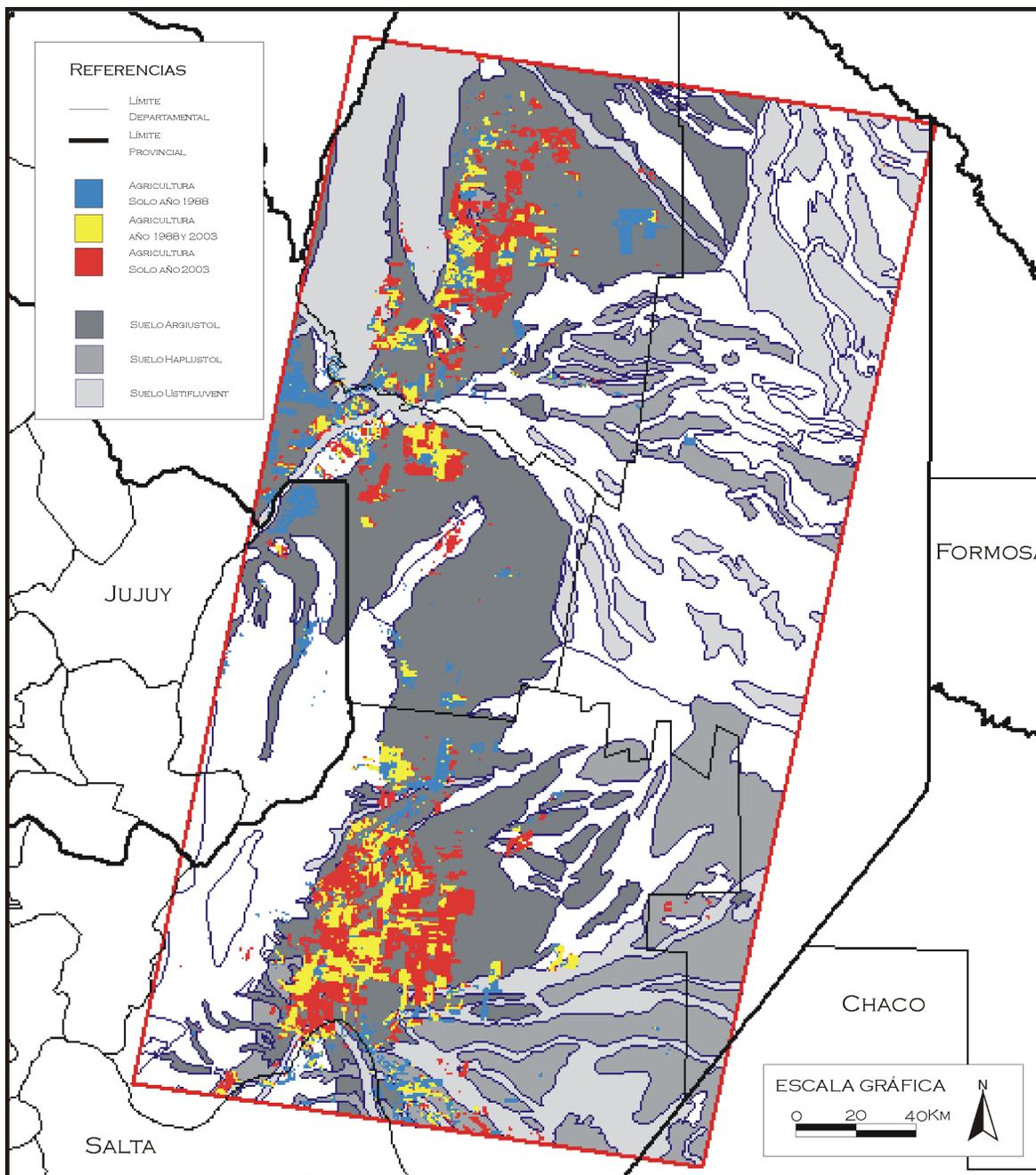


Figura 34. Mapa de suelos y de zonas agrícolas del noreste de Salta. Las unidades de suelo en tonos de gris son aquellas sobre las que se ubican las áreas de cultivos.

Subregión Este de Santiago del Estero– Oeste de Chaco

Cambios en el área agrícola y la vegetación natural

En esta zona el área total de cultivos estimada para la campaña agrícola 1988/9 a partir de una imagen LANDSAT 5 TM fue de 142.158 ha (9 % del total del área analizada), mientras que para la campaña 2002/3 a partir de imágenes satelitales MODIS fue de 454.964 ha (28% del área)(Figura 35). El aumento en el área implantada con cultivos de soja fue el principal responsable del incremento en el área agrícola.

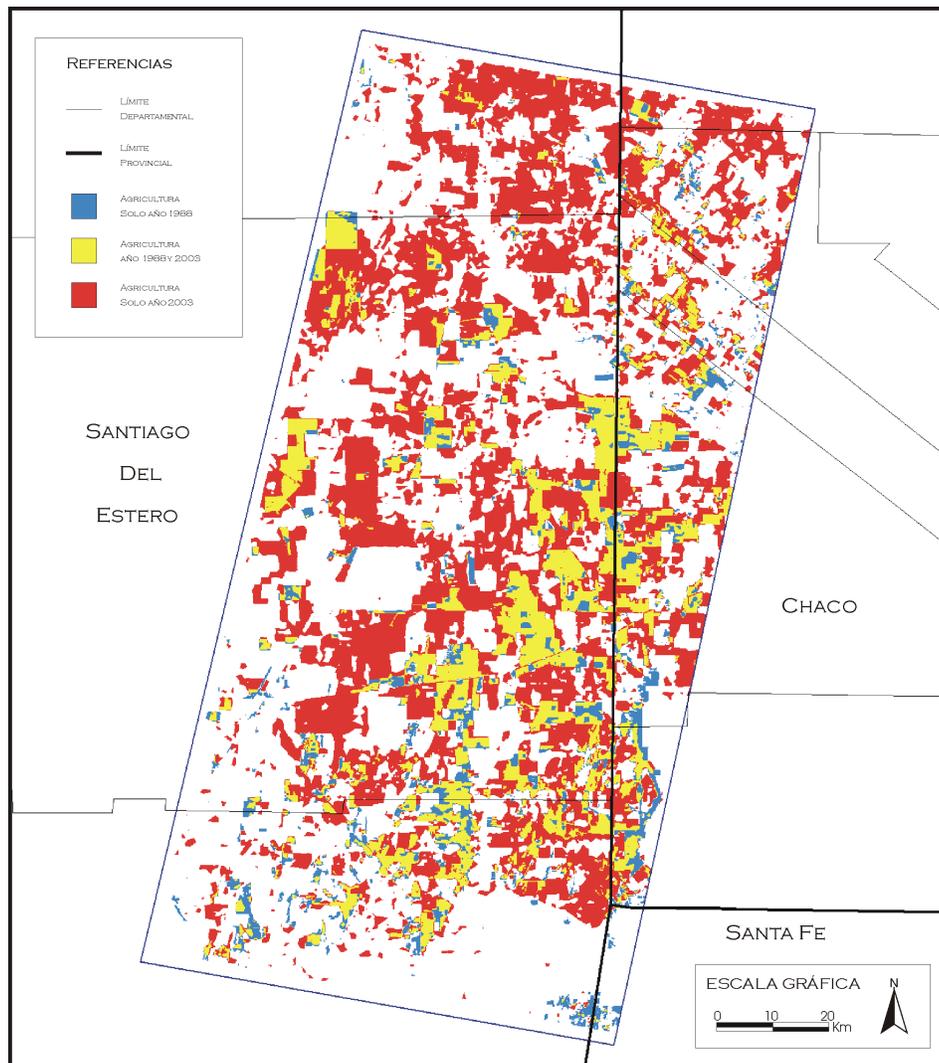


Figura 35. Mapa de cambios en el uso de la tierra entre 1988 y 2003 en la subregión Este de Santiago del Estero– Oeste de Chaco. Este mapa surge de la superposición de los mapas generados con LANDSAT 5 TM para 1988 y con MODIS-TERRA para 2003.

Ese crecimiento de la agricultura se distribuyó en las áreas aledañas a los lotes agrícolas que estaban presentes en 1988, unificándolos en grandes parches

agrícolas, con pequeñas áreas relictos de vegetación natural. Se observa también que la agricultura se expandió hacia el Norte del área analizada, cubriendo un alto porcentaje del departamento de Alberdi, al noreste de Santiago del Estero, donde prácticamente no había agricultura a fines de la década del 80 (Figura 35).

En el 2002/03 el 79.8% de la agricultura (con soja como principal cultivo) se hizo sobre áreas que en 1988/9 tenían vegetación natural y el resto sobre áreas que ya eran agrícolas. El avance de la soja sobre la vegetación natural se produjo principalmente sobre vegetación de Bosques abiertos (Bosques de Quebracho, Palosanto, Duraznillo y otras especies) (34,5%), sobre pastizales y sabanas (26,3%) y sobre zonas de suelo desnudo (15%). En estas últimas se incluye zonas agrícolas en donde no había cultivos en 1988/9. En la tabla 9 se puede observar las hectáreas perdidas de cada tipo de vegetación natural por el avance de la agricultura (principalmente soja) en la zona, donde se notan pérdidas muy importantes de algunos biomas.

Vegetación a fines de la década del 80	Área en 1988-9	Área en 2002-3	Perdida por bioma	Perdida (%)
Bosque Abierto	770002	612969	-157034	-20.4%
Pastizales y Sabanas	383949	264148	-119801	-31.2%
Suelo desnudo*	93216	33422	-59793	-64.1%
Bosque Cerrado	76456	58194	-18262	-23.9%
Peladar	36240	29800	-6440	-17.8%
Areas inundables	96731	94922	-1808	-1.9%
Total				

*Tabla 9. Avance de la agricultura sobre distintos tipos de vegetación natural, según la descripción de las grandes unidades de vegetación del Chaco (Morello y Adamoli, 1974). Variación entre 1988/1989 y 2002/2003. *La clasificación de suelos desnudos de la campaña 1988/9 incluye gran parte de suelos agrícolas sin cultivo.*

Controles edáficos de los patrones del uso de la tierra y sus cambios:

La mayoría del área agrícola de esta zona se ubica sobre Haplustoles, Argiustoles, Haplustalfes y Natracuoles, que en total suman el 74% del área agrícola. Estos suelos son los mayoritarios en la región y estaban ocupados originalmente por bosques y sabanas típicas. La expansión reciente de la agricultura ocurrió mayoritariamente sobre este tipo de suelos, debido a que son los más abundantes en la región. A diferencia de la subregión anterior, los cultivos agrícolas ocupan una proporción similar de las unidades de suelos (cerca al 30%), excepto en el caso de lo Natrudalfes y los Ustocrepts (Tabla 10). La agricultura entonces, no parece estar asociada fuertemente a un tipo de suelo en particular.

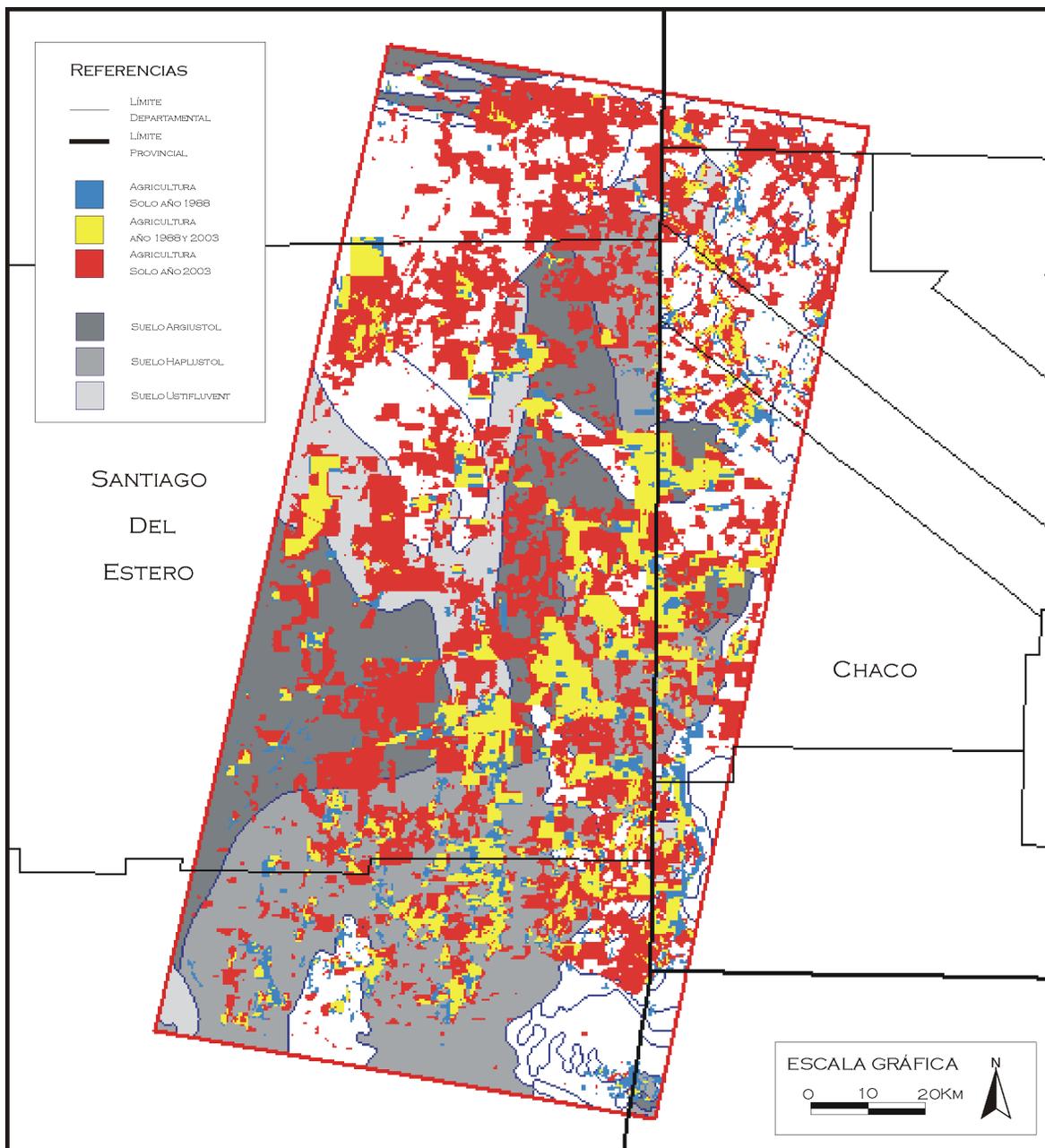


Figura 35. Mapa de suelos y de zonas agrícolas de la subregión Este de Santiago del Estero– Oeste de Chaco.

Tipo de Suelo	Área total	Agricultura 1988/89	Agricultura 2002/03	Variación por suelo		% del suelo ocupado por agricultura	% de la agricultura realizada en cada tipo de suelo
				ha	%		
Haplustol	432763	50698	138170	87472	20%	32%	31%
Argiustol	319573	25493	95308	69815	22%	30%	22%
Haplustalf	121325	16309	46881	30572	25%	39%	11%
Natracuol	177539	9090	47085	37995	21%	27%	11%
Ustifluvent	140650	12798	37614	24816	18%	27%	9%
Durustol	78340	3121	19759	16639	21%	25%	4%
Natrustol	84506	5543	18976	13433	16%	22%	4%
Argiudol	27734	4379	11774	7395	27%	42%	3%
Calciortid	23752	1732	2560	828	3%	11%	1%
Durustalf	39347	1639	5028	3389	9%	13%	1%
Hapludalf	33074	3069	10663	7595	23%	32%	2%
Natracualf	33057	1662	5646	3983	12%	17%	1%
Natrudalf	16266	1096	1374	278	2%	8%	0%
Ustocrept	129	5	5	0	0%	4%	0%
Total	1528053	136635	440845	304210	20%	29%	100%

Tabla 10. Áreas agrícolas por tipo de suelo en las dos campañas analizadas en la subregión Este de Santiago del Estero– Oeste de Chaco.

En esta zona la expansión del área agrícola no parece estar asociada claramente a centros poblados ni redes viales (Figura 35) (ver próximo punto “Cambios en la estructura del Paisaje”). Por otro lado en esta zona los cultivos no muestran un patrón tan agregado como en Salta sino que ocurren dispersos en el espacio.

3.3.4 Cambios en la estructura del paisaje.

Diversos cambios en la estructura del paisaje ocurrieron en la región debido a la agricultura. Una forma de cuantificar estos cambios es mediante índices o indicadores que describan las características del paisaje. A continuación se presentan índices sencillos que caracterizan la estructura de los parches agrícolas en ambas subregiones de estudio. Los parches agrícolas no hacen referencia a los lotes agrícolas sino a las superficies continuas bajo agricultura. Es decir que en el caso de que varios lotes agrícolas estén contiguos todos pertenecerán a un solo parche.

Entre la campaña 1988/9 y 2002/3 en ambas regiones se produjo una agrupación o aglomeración de los parches agrícolas, que provocó un aumento del tamaño y una disminución del número de parches (Tabla 11). En ambas regiones también se registró un aumento en la variabilidad del tamaño de los parches agrícolas, lo que significa que existen tanto parches muy grandes como muy chicos. A su vez entre ambas campañas también ocurrió una disminución de la cantidad de

bordes agrícolas. Todos estos indicadores sugieren una aglomeración de las superficies agrícolas.

	<i>Subregión Noreste de Salta.</i>		<i>Subregión Este de Santiago del Estero– Oeste de Chaco</i>	
	<i>Campaña 1988/9</i>	<i>Campaña 2002/3</i>	<i>Campaña 1988/9</i>	<i>Campaña 2002/3</i>
Numero de parches agrícolas	842	551	943	661
Área Promedio de los parches agrícolas	440	818	251	1009
Coefficiente de Variación del Área de los parches agrícolas	494	1066	599	1225
Densidad de Bordes (m/ha)	24	12	26	14

Tabla 11. Variación temporal de distintos índices del paisaje para ambas subregiones de estudio.

Espacialmente, estos cambios ocurridos en el paisaje no fueron iguales para toda el área de las subregiones analizadas. Para analizar la distribución espacial de los índices de paisaje, se realizó una grilla hexagonal para la cual se calculo el valor de los índices dentro de cada hexágono. Esto permitió conocer la distribución espacial de los indicadores en cada subregión.

En Salta, el área agrícola se distribuyó en ambas campañas alrededor de los centros poblados y las rutas y caminos (Figura 36). En la campaña 2002/3 se produjo una agregación o aglomeración importante de los parches agrícolas, concentrándose en zonas núcleo en donde la densidad de cultivos fue muy alta. La densidad de bordes de parches en esta subregion, fue muy alta en la campaña 1988/9 alrededor de los poblados y rutas, pero disminuyo notablemente en la campaña 2002/3 (Figura 37). Esto se debió a que el aumento de las áreas agrícolas unió la mayoría de los parches agrícolas, y por lo tanto redujo la cantidad de bordes por ha. Este patrón fue corroborado por en el numero de parches, que también disminuyo debido a la aglomeración de los lotes agrícolas (Figura 38).

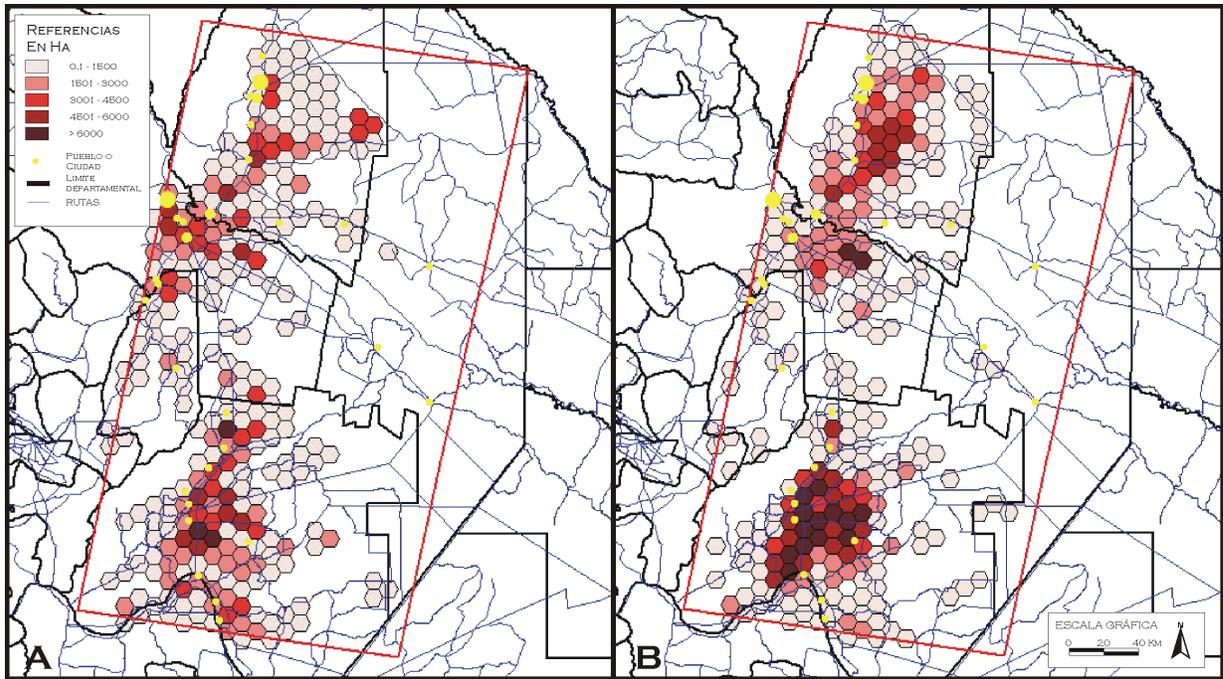


Figura 36. Variación espacial de la proporción del Área agrícola en la subregion Noreste de Salta. A) Campaña 1988/9. B) Campaña 2002/3.

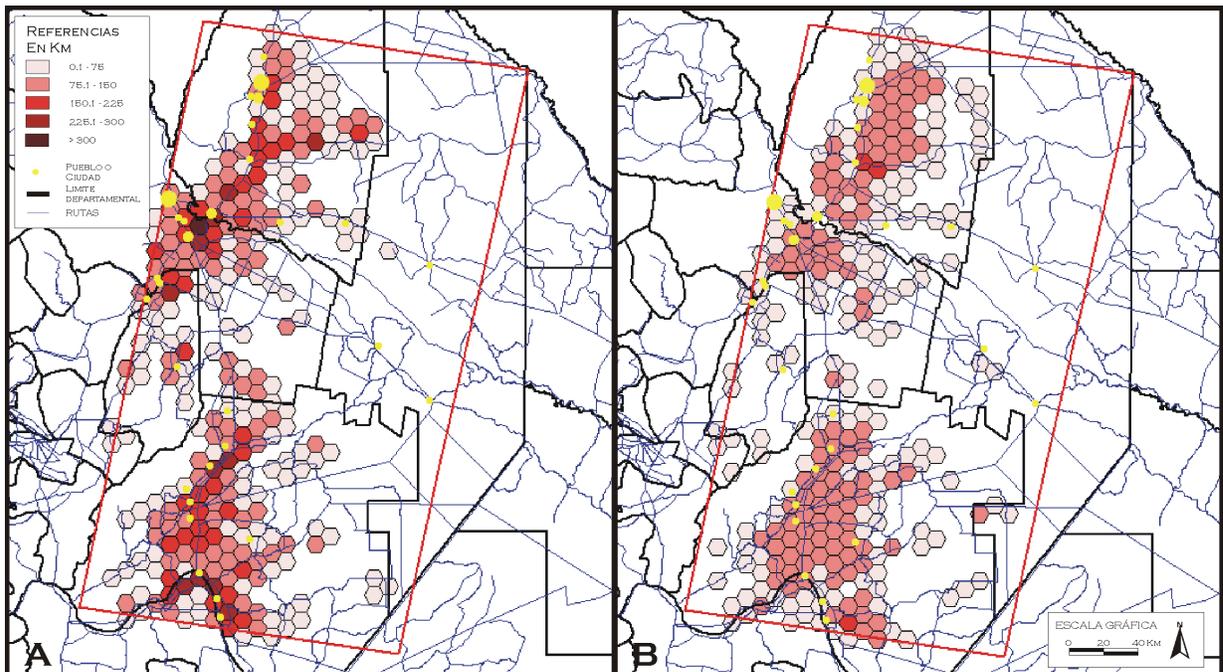


Figura 37. Variación espacial de la cantidad de bordes de parches agrícolas en la subregion Noreste de Salta. A) Campaña 1988/9. B) Campaña 2002/3.

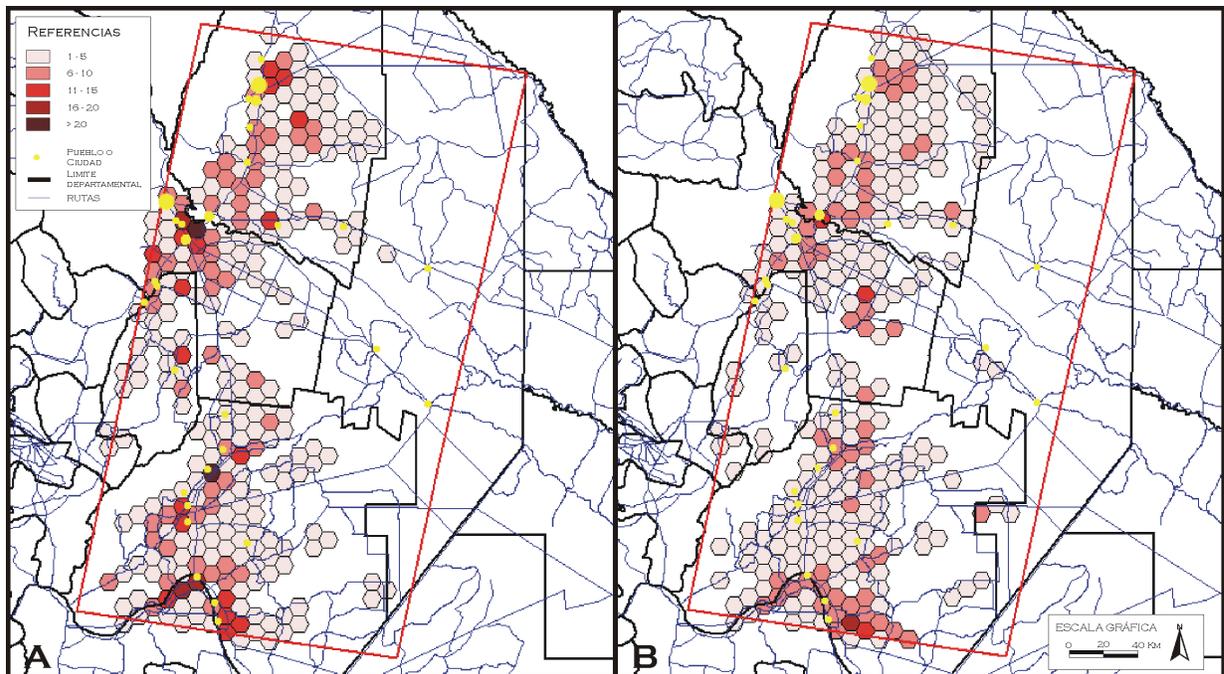


Figura 38. Variación espacial del número de parches agrícolas en la subregion Noreste de Salta. A) Campaña 1988/9. B) Campaña 2002/3.

En la subregión Este de Santiago del Estero– Oeste de Chaco los parches agrícolas no se distribuyeron alrededor de los centros poblados ni los caminos, presentando una distribución más uniforme. El aumento del área agrícola fue muy importante entre la campaña 1988/89 y 2002/3 (Figura 39). Al contrario que en la subregion de Salta, en esta subregion se produjo un aumento en el largo de los bordes de parches agrícolas desde 1988/9 a 2002/3 (Figura 40). Esto se debió principalmente al aumento en el área agrícola y a la alta dispersión espacial de los parches (no tan aglomerados como en Salta). La mayor dispersión espacial de los parches o la persistencia de zonas de vegetación natural intercaladas entre los parches agrícolas, provocó un aumento significativo del largo de los bordes.

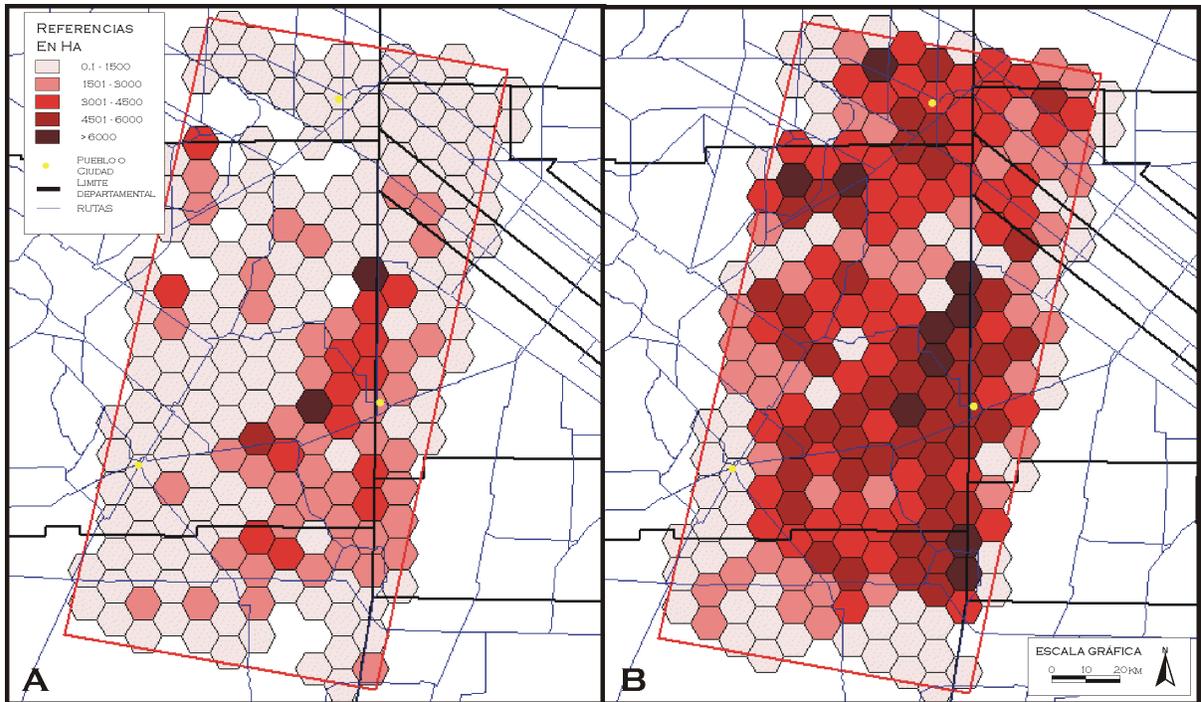


Figura 39. Variación espacial de la proporción del Área agrícola en la subregion Este de Santiago del Estero– Oeste de Chaco. A) Campaña 1988/9. B) Campaña 2002/36.

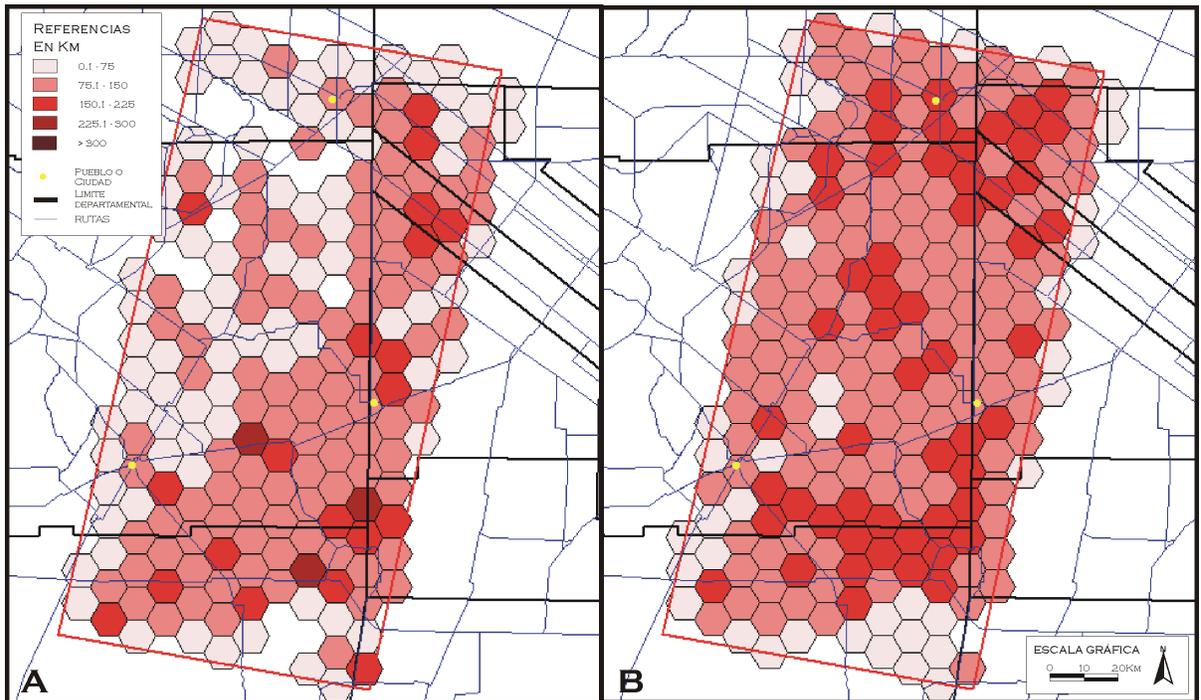


Figura 40. Variación espacial de la cantidad de bordes de parches agrícolas en la subregion Este de Santiago del Estero– Oeste de Chaco. A) Campaña 1988/9. B) Campaña 2002/36.

El número de parches agrícolas por unidad de superficie en cambio, pareció estar asociado a cuestiones políticas, siendo menor en ambos periodos en Santiago del estero (Figura 41). Como el área agrícola fue uniforme espacialmente, esto significa que en Santiago del Estero los parches agrícolas fueron menos y más grandes, mientras que en las otras provincias los parches fueron muy abundantes y más pequeños. La irregularidad de los bordes fue similar en las diferentes provincias.

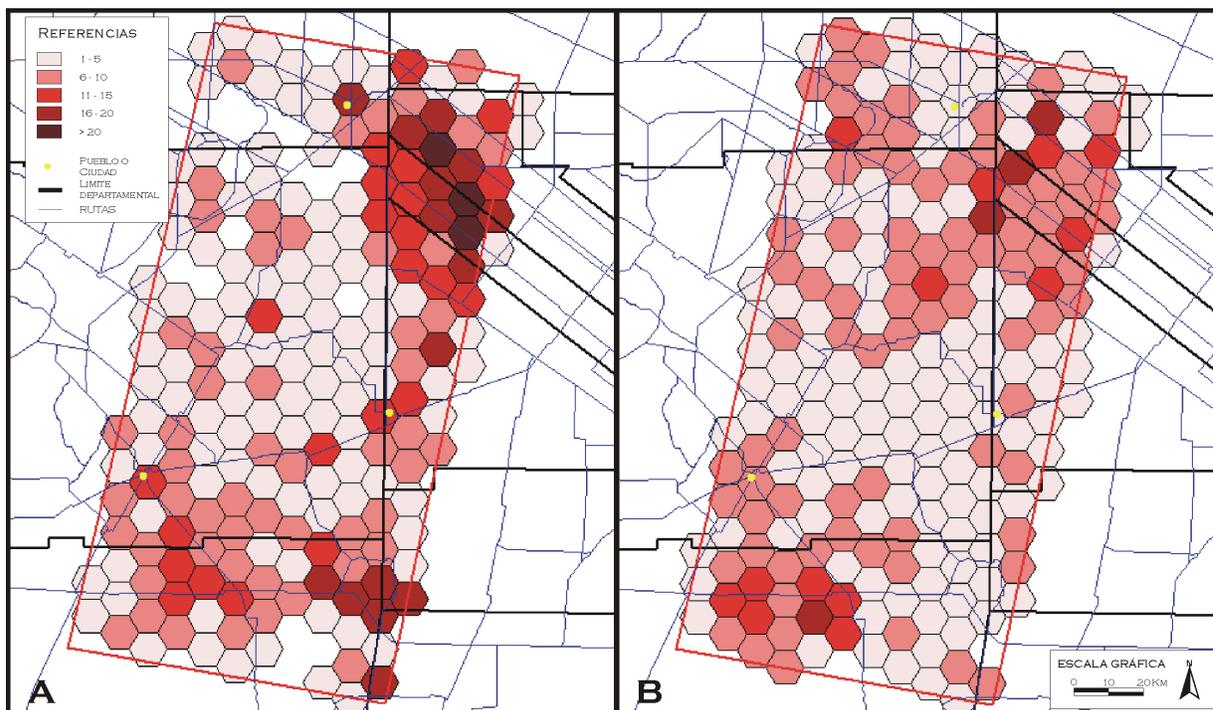


Figura 41. Variación espacial del número de parches agrícolas en la subregion Este de Santiago del Estero- Oeste de Chaco. A) Campaña 1988/9. B) Campaña 2002/36.

3.4 Consecuencias ambientales de la agriculturización: el caso de las ganancias de Carbono

El Índice Verde Normalizado (IVN) es un índice que está relacionado con la capacidad de la vegetación de interceptar radiación, y da una idea de su actividad fotosintética. Este índice resulta un buen estimador de la capacidad de fijar carbono. La fijación de C es un determinante fundamental del balance de este elemento ya que da cuenta de las entradas al sistema. La capacidad de secuestrar C por parte de los ecosistemas (y por lo tanto de contribuir a mitigar los aumentos de gases con efecto invernadero en la atmósfera) esta estrechamente ligada a mantener y/o aumentar su entrada.

Al analizar las tendencias de este índice en los últimos 20 años en el área de estudio, se observa que las áreas donde ocurrieron los mayores cambios en el uso de la tierra (reemplazo de vegetación natural por cultivos anuales) coinciden con las áreas que sufrieron cambios negativos en este índice (Figura 42). Si bien existen áreas donde no hubo reemplazo de vegetación natural por cultivos anuales, y donde también se observan cambios negativos en el IVN en los últimos 20 años, se pueden distinguir las áreas donde sí hubo reemplazo por cultivos anuales (Noreste y sureste de Salta, y este y sudoeste de Chaco). Cuando se analiza a nivel de departamento el cambio en la superficie agrícola y el cambio en las ganancias de C se ve una relación negativa y significativa entre ambos (Figura 43).

La disminución en el IVN en los últimos 20 años en las áreas donde no hubo cambios en el uso de la tierra se pudo haber debido a cambios ambientales (precipitaciones y/o temperaturas) y/o de manejo del ganado (sobrepastoreo), entre otras causas.

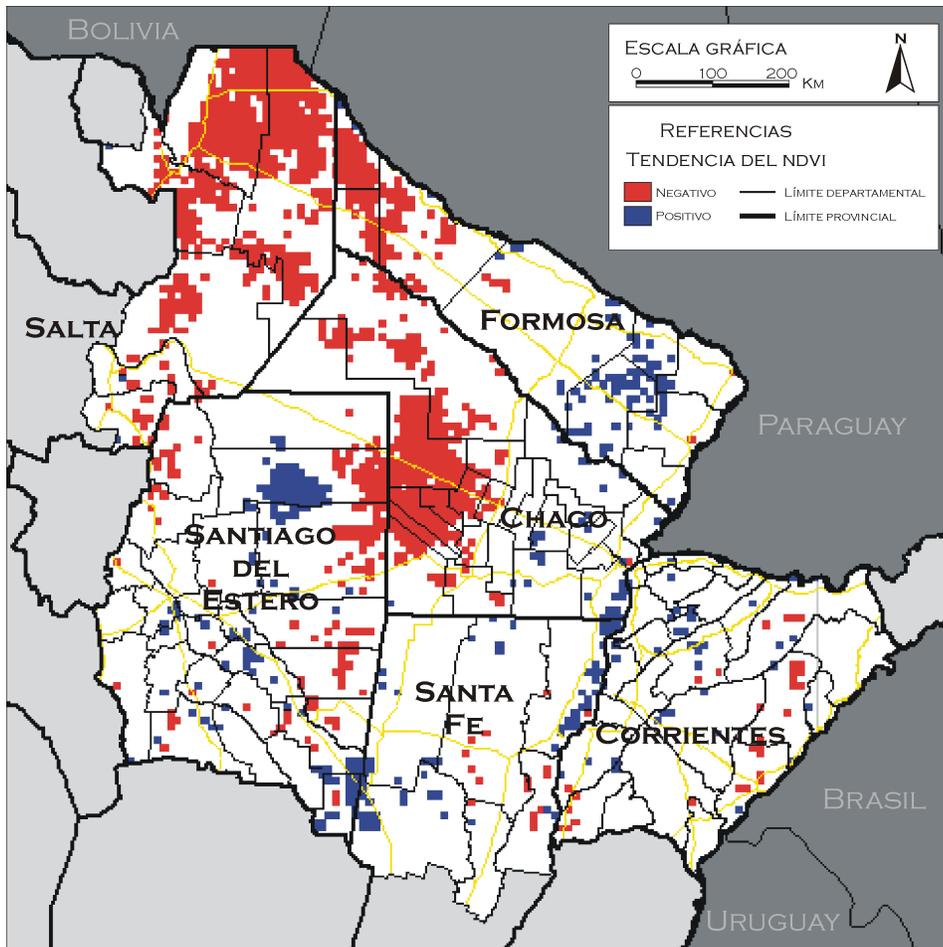


Figura 42. Mapa de tendencias de Índice Verde Normalizado (NDVI) entre 1981 y 2000, derivado de imágenes NOAA-AVHRR en la región de estudio.

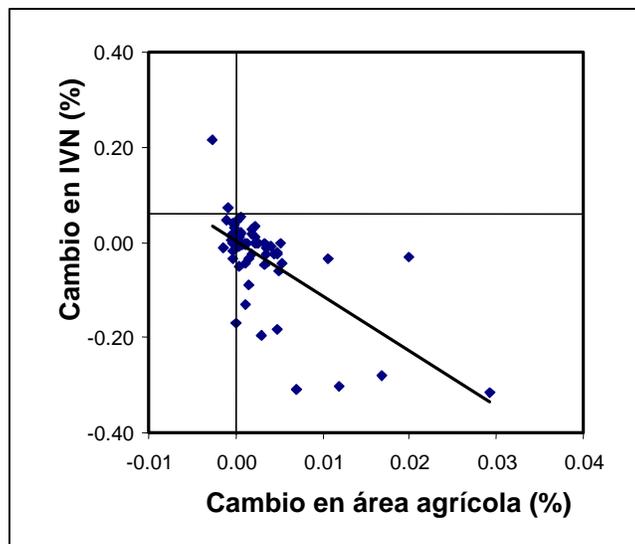


Figura 43. Relación ente el cambio en el área agrícola y la variación del IVN, durante los últimos 20 años, para varios departamentos del Norte Argentino.

4. DISCUSIÓN

La integración de bases de datos de distinto origen, correspondiente a diferentes períodos y relacionadas con distintos aspectos en un sistema de información geográfico (SIG) permitió identificar y cuantificar algunos aspectos hasta ahora desconocidos del proceso de agriculturización en buena parte del N del país. La generación de este SIG constituye en sí misma un valioso aporte del proyecto ya que transforma datos dispersos en información unificada, compatible y accesible. La combinación de estas bases de datos con un análisis multitemporal de los cambios en los tipos de cobertura del suelo permitió romper las limitaciones impuestas por la resolución de las estadísticas oficiales. Más aún, al analizar las relaciones entre distintos indicadores agropecuarios, sociales, económicos y de infraestructura fue posible mejorar el conocimiento acerca del proceso de “agriculturización” y plantear hipótesis educadas acerca de la dinámica del proceso. Sorprende la cantidad de afirmaciones que han sido realizadas por distintos actores públicos y privados en torno a la expansión de la agricultura sin contar con la información de base que aquí se presenta.

Los datos del Censo Nacional Agropecuario (CNA) de 1988 y del 2002 muestran que en el área de estudio la superficie agrícola aumentó un 70%, de 2.5 millones de ha a 4.3 millones de ha. Este aumento representa la incorporación a la agricultura de casi 120.000 ha por año, un 0.2% de la superficie estudiada. Este proceso fue marcadamente heterogéneo en el espacio concentrándose en 4 polos bien definidos:

- noreste de Salta (Tartagal)
- sudeste de Salta (Las Lajitas)
- oeste de Santiago del Estero y sudoeste de Chaco (Charata)
- sudeste de Santiago del Estero y noroeste de Santa Fe (Bandera)

En esas áreas algunos departamentos experimentaron un aumento de más del 30% de la superficie del departamento dedicada a la agricultura, multiplicándose ésta por un factor superior a 2 entre 1988 y 2003. El aumento más importante se observó en la provincia de Santiago del Estero, donde la superficie agrícola aumentó un 177% y en segundo lugar los departamentos del norte de Santa Fe, donde el área agrícola aumentó un 88%. Un 66% del aumento del área agrícola en la región de estudio en este período se explicó principalmente por el aumento en la superficie destinada a los cultivos de soja, un 24% por el aumento de trigo, y un 7.2% por el de maíz. Hubo otros cultivos, como el poroto, algodón, sorgo y girasol, para los cuales la superficie implantada se redujo durante este período.

En general los modelos ajustados obtenidos permitieron estimar un porcentaje intermedio a alto de la varianza espacial del área sembrada con el cultivo de soja y de su cambio en el tiempo. A su vez, estos modelos permitieron mejorar nuestro conocimiento sobre la naturaleza de la relación entre el área sembrada con soja y variables ambientales, sociales, de infraestructura y económicas. Al analizar los

modelos obtenidos para el primer y segundo momento resulta evidente el cambio en las variables que muestran mayor asociación con la proporción de cada departamento sembrada con soja. A fines de la década de 1980 el área cultivada con soja estuvo asociada principalmente a variables edáficas mientras que hacia principios de la presente década lo estuvo a variables que describen la escala de extensión de las explotaciones agropecuarias.

La soja, como cualquier otro organismo vivo, posee un rango de requerimientos físicos (i.e. factores: temperatura, radiación, humedad relativa, pH del suelo, nitrógeno, fósforo etc.) fuera del cual su crecimiento y desarrollo se ve limitado o directamente impedido. A escala global, el clima es el principal factor limitante de la distribución de los cultivos (Tivy 1989) ya que la capacidad de modificar aspectos tales como temperatura, precipitación o radiación resulta económica y técnicamente poco factible. En sitios donde el clima no es limitante, la importancia del suelo en el desempeño de los cultivos agrícolas es fundamental (Tivy, 1989). El suelo no solo constituye el arraigo físico del cultivo sino que también le provee de recursos esenciales tales como agua y nutrientes minerales. La capacidad del suelo de proveer estos recursos determinará en gran medida la factibilidad económica de realizar un cultivo.

Contrariamente a lo que se podría esperar, la precipitación media anual (PMA) no contribuyó a explicar la variabilidad de la superficie ocupada por soja (%Soja). Este resultado podría deberse, sin embargo, al rango de valores explorados. La inclusión en el análisis de la provincia de Corrientes, del chaco oriental, o departamentos de las yungas, donde la precipitación media anual es elevada, y donde hay poca superficie implantada con soja, sea probablemente una de las causas de la falta de relación entre estas variables. En estos casos otros factores limitarían el cultivo de la soja: pendientes, anegabilidad, alcalinidad, etc. Otra posibilidad que podría explicar la falta de relación entre la PMA y la superficie ocupada por soja, es que al ser un promedio anual no representara adecuadamente la disponibilidad hídrica explorada por el cultivo. Debido a ello, calculamos la precipitación media durante el ciclo del cultivo (Noviembre – Abril) (P_{media}) y volvimos a realizar el análisis. Sin embargo, el reemplazo de esta variable no produjo cambios significativos en el modelo: la P_{media} del ciclo (Nov a Abr) solo explicó el 1.1% de la variabilidad espacial de la superficie implantada con soja. Por último, no debería descartarse la posibilidad de que una correlación entre la PMA y las variables edáficas consideradas esté enmascarando la relación entre la precipitación media anual y la superficie ocupada por soja. De hecho, la PMA explicó un 24% y 53% de la variación espacial de la profundidad de los suelos y del índice de productividad cartográfico de cada departamento respectivamente.

La importancia relativa de las variables edáficas en la descripción del área sembrada con soja en el año 1988 podría estar explicada por el aumento en la precipitación ocurrida en esta región en las últimas décadas (Minetti y Vargas 1997, Grau et al. en prensa, Cabido et al. en prensa). Este aumento en la precipitación habría removido las limitantes climáticas aumentando así la importancia relativa de las limitantes edáficas. Por ejemplo, en la provincia del Chaco el aumento en el área

sembrada con soja ocurrió casi exclusivamente en los departamentos del oeste mientras que en los del este se mantuvo en niveles muy bajos o inexistentes. Este patrón muestra la existencia de una fuerte limitante hacia el este asociada a inundaciones y condiciones de hidro-halomorfismo edáfico ya que las precipitaciones no varían significativamente entre los departamentos del oeste y los del este. De hecho el análisis basado en imágenes de satélite muestra, a una escala de mayor detalle, que la expansión de la agricultura en Salta tuvo lugar fundamentalmente sobre argiustoles y hacia el este del área ocupada por cultivos en 1989.

El cambio en la importancia relativa de variables ambientales (i.e. edáficas) a variables socioeconómicas (i.e. escalas de extensión) estaría reflejando el relajamiento de los controles ambientales producto de la utilización de nuevas tecnologías. En general se asume que el nivel de producción alcanzado por los productores agrícolas depende principalmente de dos factores: mejoras en las prácticas agropecuarias y mejoras genéticas de los cultivos (Slafer y Kernich 1996 y Cassman 1999). Las mejoras en las prácticas agropecuarias incluyen, por ejemplo, la elección de la fecha de siembra óptima, tipo y disponibilidad de maquinaria, cantidad de fertilizantes y pesticidas, riego etc. Las mejoras genéticas de los cultivos incluyen, a su vez, el desarrollo de genotipos resistentes a herbicidas o enfermedades, tolerantes a deficiencias minerales o hídricas etc. En conjunto las mejoras agronómicas y genéticas incrementan la capacidad del hombre de modificar el ambiente de manera tal de superar las limitaciones que este impone. Por ejemplo, en el caso del cultivo de soja, el desarrollo de la siembra directa junto con el aumento en la disponibilidad de fertilizantes y la obtención y comercialización de genotipos resistentes a herbicidas permitió obtener rendimientos económicamente factibles en suelos donde previamente ello no era posible. De hecho, si bien parte de la expansión del cultivo de soja se realizó hacia ambientes menos favorables, su rendimiento mostró un marcado aumento a mediados de la década de 1990 al pasar de 2100 kg/ha (promedio 1990-1995) a 2500 kg/ha (promedio 1996-2000) (Grau et al en prensa).

El acceso a estos genotipos y prácticas agronómicas requiere de capital y conocimiento cuya disponibilidad no es homogénea entre productores. La asociación positiva entre el área sembrada con soja y la proporción de grandes productores sugiere que estos últimos, generalmente más tecnificados y con mayor acceso a la información, pudieron incorporar más rápidamente el cultivo de soja a sus planteos productivos. Otra explicación posible es que el resultado de la utilización de tecnología varía según la escala a la que se la utiliza. El costo de obtener información que permita determinar la fecha óptima de siembra o la dosis de fertilizante a aplicar seguramente no varíe según la cantidad de hectáreas sobre las cuales se va a utilizar mientras que el beneficio obtenido de esa información será mayor cuanto mayor sea la superficie cultivada. El acceso a maquinaria más moderna o a recursos financieros sí muestran una clara asociación con la escala del establecimiento. Es decir, en muchos casos el cambio tecnológico que daría lugar a los aumentos de rendimiento que tornan el cultivo una opción rentable, podría ocurrir cuando la escala del establecimiento permite disminuir costos fijos lo suficiente o el nivel patrimonial es tal que permite el acceso al crédito. En estas condiciones la

expansión del cultivo ocurriría fundamentalmente en un estrato intermedio a grande de tamaño de establecimientos.

El modelo obtenido para explicar el cambio en el área sembrada con soja y los análisis basados en teledetección arrojaron resultados concluyentes: el aumento en la superficie ocupada con soja se realizó principalmente a expensas de la vegetación natural y en forma independiente de las variables ambientales (climáticas y edáficas). El reemplazo de otros cultivos por soja fue menos importante para explicar la expansión de la soja pero muy importante para explicar la caída en la superficie de los cultivos reemplazados. La identidad del cultivo reemplazado por soja fue diferente según cada departamento. En Salta y según los análisis basados en sensores remotos sólo un 25 % (79.000 ha) del área actual de la soja se ubica sobre áreas que ya eran soja en 1988/1989. Otro 24 % (75.000 ha) se ubica sobre áreas que tenían otro uso agrícola en 1988/1989. De estas 75.000 ha unas 43.000 (13 % del área de soja actual) se ubicaron sobre suelos que habían sido sembrados con poroto en la zafra 1988/1989. Solamente 6.000 ha que tenían soja en 1988/1989 se encontraban bajo cultivo de poroto en el 2002/2003. El resultado neto de estas transformaciones fue una sustitución de poroto por soja de 37.000 ha, un 12% del área actual de soja. A su vez, el censo del año 2002 registra un descenso del área de porotos de 36.000 ha con respecto al censo de 1988, valores semejantes a los detectados con el uso de imágenes satelitales. En la zona de Chaco- Santiago del Estero un 13% del área sembrada de soja se realizó sobre áreas ya dedicadas a la agricultura, fundamentalmente al cultivo del algodón.

Los cambios en el nivel de infraestructura disponible (km caminos/ha) explicaron una fracción muy pequeña del cambio en la superficie sembrada con soja durante la última década. El tipo de vegetación reemplazado varió y en algunas formaciones vegetales chaqueñas se reemplazó más de un 12% de la superficie original. Los cultivos avanzaron fundamentalmente sobre el bosque chaqueño, las selvas pedemontanas de las Yungas no sufrieron alteraciones, al menos debido a la expansión de cultivos anuales.

El cambio en la superficie de un departamento dedicada a cultivos anuales no mostró ninguna relación con la proporción de la población con necesidades básicas insatisfechas, lo cual sugiere que, al menos a este nivel, el incremento de las actividades agrícolas no parece tener un impacto sobre la situación económica de la población. El hecho de que los niveles de bienestar social (%NBI) no estuvieron asociados al aumento de la superficie agrícola, principalmente con soja, estaría asociado a que la renta generada por esta actividad económica habría tenido una apropiación fundamentalmente privada, muy concentrada, y en muchos casos con destino en otras regiones. A esto se asociaría el aumento en más de un 50% en la proporción de la superficie de EAPs en arrendamiento entre 1988 y 2002 en el área de estudio. Este tipo de contrato generalmente es utilizado por grandes empresas agropecuarias no locales, cuya renta es destinada a sus inversores, radicados también fuera de la región y/o países, lo que impediría en parte el desarrollo de las microeconomías regionales. Una hipótesis alternativa es que haya una demora insalvable entre el aumento de actividad económica y su manifestación en un índice

como el %NBI. Si bien no hubo asociación directa entre la proporción de la superficie de soja con la superficie de EAPs en arrendamiento, sí hubo una relación positiva entre la superficie de explotaciones mayores a mil hectáreas y la proporción de la superficie de soja y superficie de EAPs en arrendamiento en 2002. En todos los departamentos donde se observaron los aumentos del área implantada con soja, aumentó también la proporción de la superficie de EAPs en arrendamiento. Si bien el efecto del precio de la soja no fue considerado en este análisis debido a que no es una variable espacialmente explícita, suponemos que su importancia no fue relevante debido a que durante el periodo considerado se mantuvo relativamente constante (Grau et al. en prensa).

Durante el periodo de expansión del cultivo de soja tuvo lugar un aumento en las precipitaciones de las regiones subtropicales de Argentina (Minetti y Vargas, 1997). Sin embargo, esta variable no fue incluida en el modelo sugiriendo que, a escala regional el aumento en las precipitaciones no estuvo asociado a un aumento en el área sembrada con soja. Como se mencionó anteriormente el aumento ocurrido en las precipitaciones habría removido limitantes climáticas aumentando entonces la importancia de las limitantes edáficas. La inclusión en el modelo de estas variables (cuando se excluyeron las variables que caracterizaban el cambio en el área agrícola o de cultivos) apoya esta hipótesis. Sin embargo, no se puede descartar que el aumento en la precipitación haya estado asociado al aumento del cultivo de soja en algunos sitios particulares y que la escala de nuestro análisis (por la resolución de la base de datos o la extensión de los estudios basados en imágenes) no haya podido detectar dicha relación. Es más existen fuertes evidencias que esta tendencia explicaría el avance de los cultivos anuales a través de su efecto sobre los rendimientos promedio y sobre la reducción en la variabilidad y consecuentemente del riesgo. Minetti y Lamelas (1997), Grau et al. (en prensa) atribuyeron el aumento en la expansión de soja en la provincia de Tucumán al aumento en la precipitación. En el norte de la provincia de Córdoba, Cabido et al. (en prensa) encontraron que en un área con características edáficas similares la planicie ubicada al este de un sistema de sierras y que había experimentado un incremento significativo de la precipitación, el reemplazo de bosques por el cultivo de soja fue mucho mayor que en la planicie del oeste donde las precipitaciones no registraron cambios. El análisis de la expansión intra-departamento basado en las clasificación de imágenes de satélite muestra que la expansión ocurrió hacia el este, el área en donde las limitantes hídricas aumentan.

Si bien gran parte del aumento de la agricultura en el período analizado (1988-2003) se dio sobre áreas de vegetación natural, el inicio de la expansión está claramente asociado a la accesibilidad (camino y centros urbanos), y una vez iniciado el proceso de reemplazo, el área agrícola se expande de manera “contagiosa”, debido probablemente a cuestiones operativas y de escala de producción. Este fenómeno genera áreas parches agrícolas de gran tamaño, con pequeñas “islas” de vegetación natural. Este patrón es particularmente claro en Salta. La agricultura se ha transformado por la superficie ocupada y la conectividad de los parches en la “matriz” del paisaje.

El crecimiento de las áreas agrícolas tuvo lugar en ambas áreas sobre Argiustoles. El régimen ústico de los suelos estaría indicando que las condiciones de balance hídrico favorable no necesariamente persistirán en el futuro ya que estos suelos se han formado en condiciones de menor disponibilidad de agua. Esta asociación permite evaluar, en un escenario de “todo sigue igual” las áreas sobre las cuales se expandiría la agricultura. De hecho los análisis y mapas presentados en este trabajo sugieren que es posible construir un modelo espacialmente explícito de expansión de la agricultura en base a:

- La distribución de Argiustoles
- Escenarios de movimientos de isohietas de PMA
- Distribución actual de la agricultura
- Distribución de caminos

Los resultados encontrados mediante estos análisis de regresión deben ser usados con precaución. En primer lugar las asociaciones entre variables aquí encontradas no implican causalidad. En segundo lugar el error del modelo de regresión puede no ser aleatorio debido al efecto de variables no consideradas (o directamente nunca medidas). Este problema es inherente a cualquier trabajo observacional (como el actual) donde las variables no se pueden manipular. Este problema reduce la capacidad predictiva de los modelos que aquí se reportan aunque no modifican su capacidad descriptiva o explicativa. En tercer lugar, los rangos de variación de las variables independientes pueden ser muy pequeños. Ello puede generar que el coeficiente de regresión del modelo de una variable que efectivamente es buena predictora no sea significativamente distinto de cero.

La transformación de bosques nativos en áreas agrícolas está motivada fundamentalmente por el interés privado en producir un bien con un elevado valor de mercado. Para maximizar la producción de este bien (soja, por ejemplo) el ecosistema se transforma, se modifica su estructura y su funcionamiento. En este informe se muestra que los reemplazos de la vegetación nativa por cultivos afectan significativamente la capacidad del sistema de fijar carbono. Probablemente las consecuencias sean aún más graves si se considera el balance total de carbono debido a las quemas asociadas al desmonte y al aumento de la descomposición asociada a las labores agrícolas (aún en siembra directa). La disminución de la capacidad de secuestrar carbono afecta el servicio ecosistémico que tiene, a partir de lo que ocurra con el protocolo de Kyoto, potencial de convertirse en transable en un mercado global. Sin duda el reemplazo de la vegetación natural y la alteración del funcionamiento del ecosistema afectará la capacidad de proveer otros servicios y bienes de apropiación fundamentalmente pública: Regulación de cuencas e inundaciones, regulación de la concentración de gases invernaderos, regulación climática, ciclado de nutrientes, servicios de polinización, mantenimiento de la biodiversidad, valores recreativos, escénicos y de existencia. Esto incrementará sin duda los costos sociales (asociados a externalidades) y disminuirá los beneficios de los que se apropia la sociedad a distintos niveles (local, regional o global).

El esquema de la figura 44 resume la posible dinámica de transformación de los ambientes chaqueños. La vegetación natural en donde se maximiza la producción

de servicios y bienes ecosistémicos de apropiación fundamentalmente pública, puede transformarse en un monocultivo de soja en donde se maximiza la producción de commodities de apropiación fundamentalmente privada (Agroecosistema A) (Figura 44). Esa no es la única dinámica posible del sistema. El ordenamiento territorial permitiría diseñar transiciones a paisajes mixtos en donde se combinen parches de vegetación nativa y agricultura y en donde se maximice la sustentabilidad ecológica, ambiental y social (Agroecosistema B).

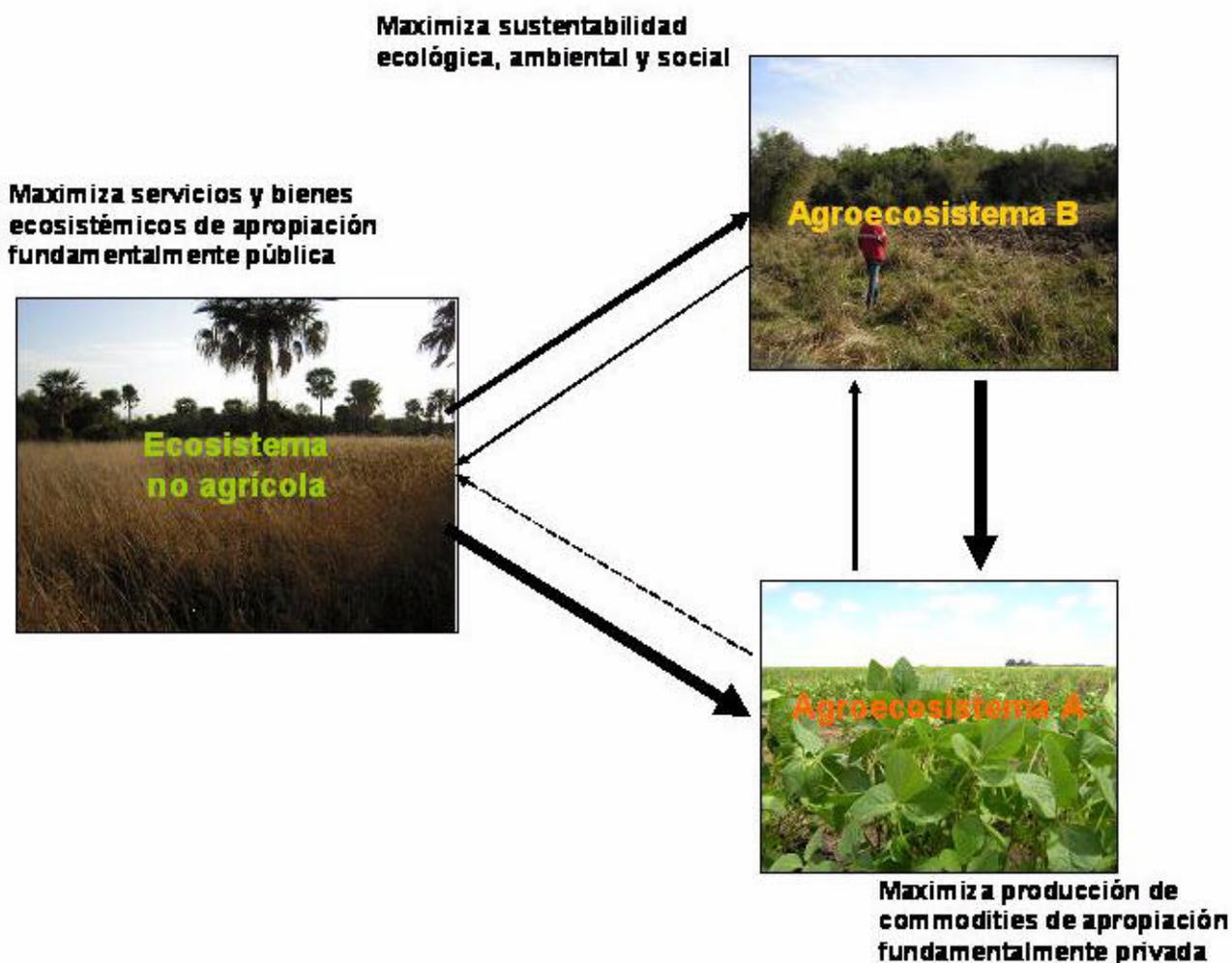
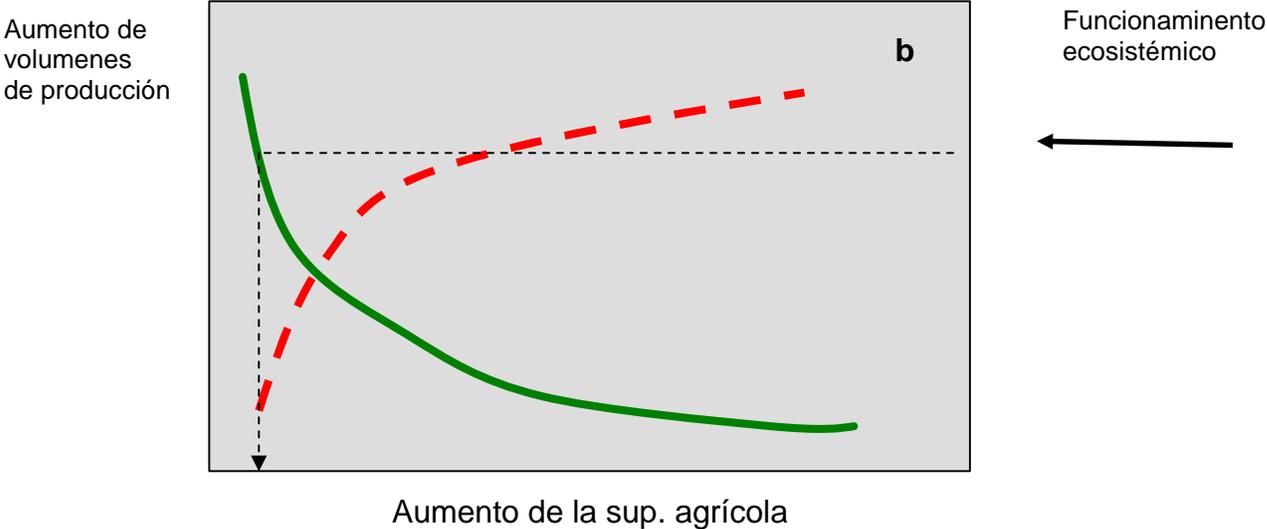
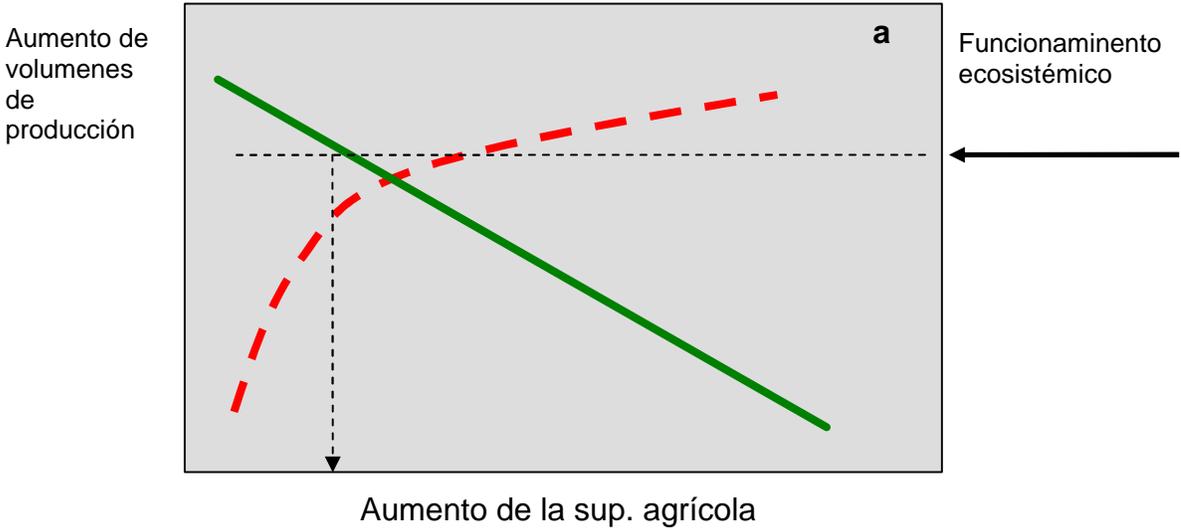


Figura 44. Posibles transformaciones del paisaje Chaqueño y aspectos a maximizar en cada caso. El grosor de la flecha hace referencia a la probabilidad de la transición.

La importancia de planificar en torno a estas transformaciones se relaciona con que las transiciones entre tipos de uso del suelo puede presentar fenómenos de histéresis: las dinámicas de las transiciones difieren de acuerdo al sentido y pueden no ser reversibles. Por otro lado es probable que tengan lugar respuestas no lineales en la productividad agrícola y el funcionamiento de los ecosistemas. Así al aumentar

la superficie incorporada a la agricultura puede esperarse un crecimiento de los volúmenes totales producidos con tasa decreciente (Figura 45). El aumento del área cultivada determinará un efecto negativo sobre distintos aspectos del funcionamiento ecosistémico, tal como se indicó más arriba. La caída puede tener distinta dinámica (Figura 45 a, b o c). La forma de esa dinámica determinará, una vez fijado el límite de reducción de la provisión de bienes y servicios ecosistémicos que la sociedad esta dispuesta a tolerar, la superficie cultivable en un dado paisaje.



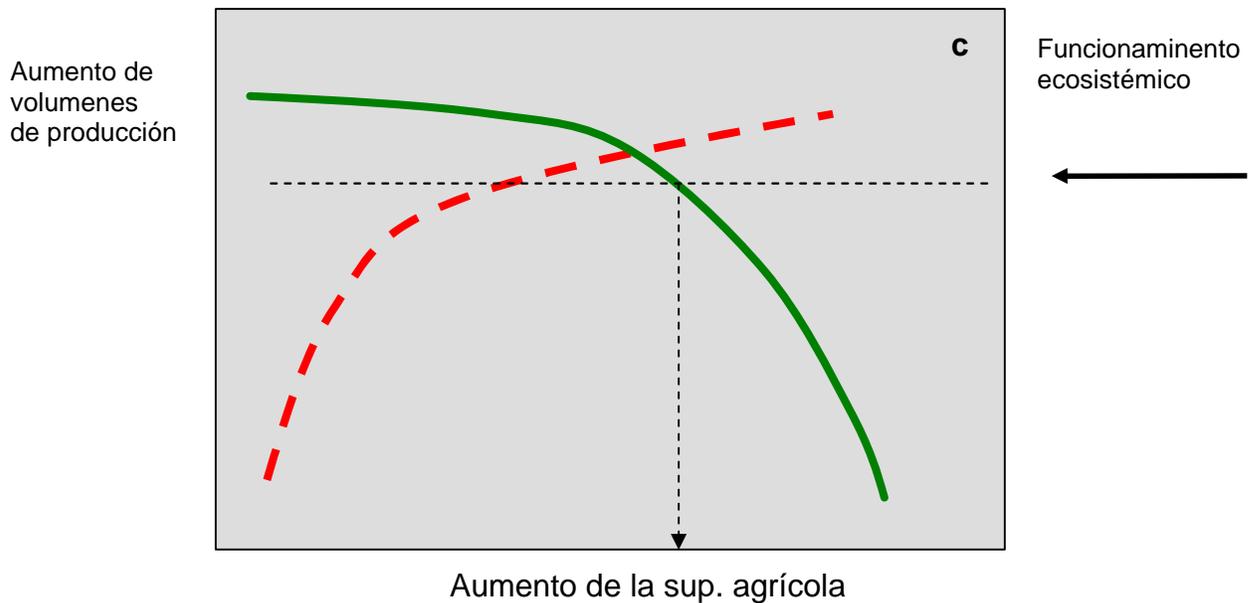
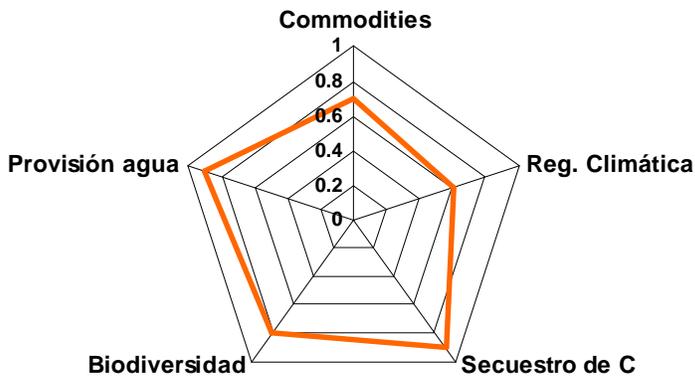
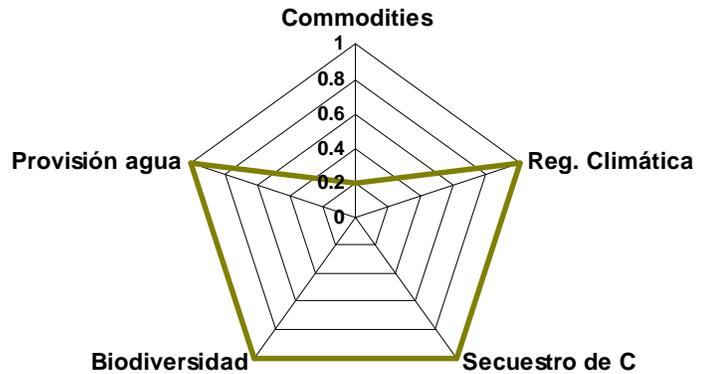


Figura 45. Cambios hipotéticos en los volúmenes de producción a medida que aumenta la superficie cultivada de un dado paisaje. La tasa decreciente deriva de la incorporación de lotes menos aptos por cuestiones edáficas o climáticas (línea punteada). En línea llena se grafican 3 posibles dinámicas para un aspecto del funcionamiento ecosistémico (por ej, secuestro de C) a medida que aumenta la superficie cultivada. La flecha sobre el eje derecho indica el nivel tolerado por la sociedad de disminución de dicho bien. La flecha sobre el eje x muestra el nivel de agricultura en el paisaje para cada una de las dinámicas.

Si bien el límite a tolerar en la reducción de un dado proceso ecosistémico depende de los valores, intereses en juego, capacidad de negociación y poder de los distintos grupos sociales involucrados, la determinación de los impactos ambientales (la forma de las curvas en la figura 45) escapa a esas consideraciones y puede (y debe) ser determinada de manera objetiva. Para cada una de las alternativas de uso planteadas en la Figura 44 puede estimarse el nivel en el que estará produciendo commodities y servicios ecosistémicos (provisión de agua, mantenimiento de la biodiversidad, regulación climática o secuestro de C) (Figura 46) y a partir de del balance de lo producido de quienes se apropian de los beneficios planificar el uso del territorio.

Ecosistema no agrícola



Agroecosistema B

Agroecosistema A

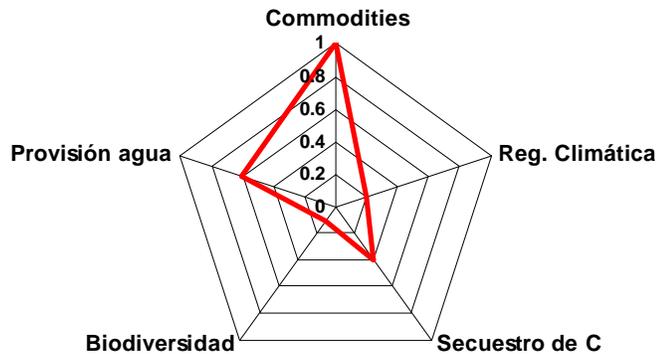


Figura 46. Diagramas radiales de los niveles de producción de distintos bienes y servicios con y sin valor mercado de los ecosistemas presentados en la Figura 44.

Las características que tuvo el proceso de agriculturización en la región según surge de este informe llama a reflexionar acerca de los riesgos de no planificar el uso del

territorio. Los conflictos se plantean cuando distintos actores sociales o políticos difieren en cuanto a que bienes y servicios producir, en los criterios para su apropiación, en el valor que se les asigna o sobre quien se hace cargo de los costos derivados de su merma. El ordenamiento territorial por parte del estado y con el concurso de los distintos grupos sociales involucrados y de instituciones académicas y técnicas debería ser la herramienta para minimizar los riesgos ambientales y los conflictos asociados (Figura 47). Una normativa que regule, ordene y restrinja el uso de los recursos naturales de acuerdo al interés colectivo, nos permitirá avanzar hacia la construcción de una sociedad sustentable, más justa, igualitaria y solidaria.

Ordenamiento Territorial

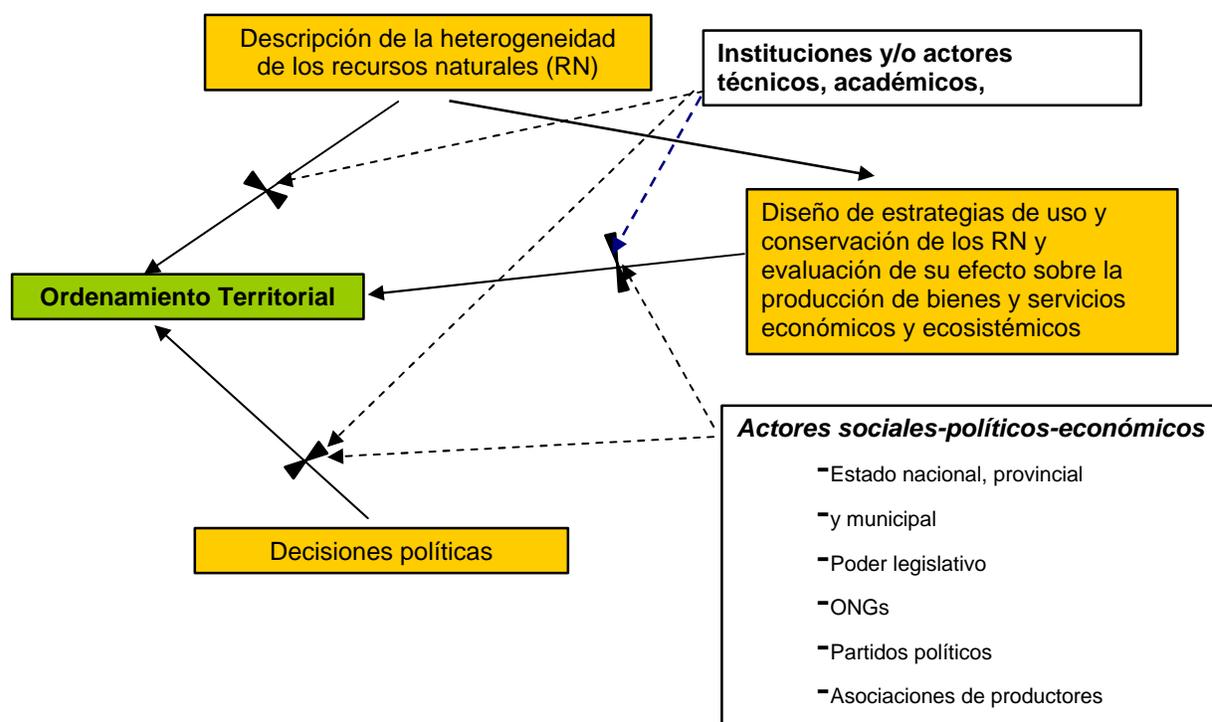


Figura 47. Esquema de ordenamiento territorial indicando las necesidades del proceso y los actores responsables de generarlas.

¿Estamos hoy en condiciones de generar políticas de ordenamiento territorial?. Sin duda hay problemas serios para hacerlo:

1. El estado no dispone de un sistema que le permita describir los cambios en el uso del suelo a nivel de establecimiento. Eso impide aplicar tanto políticas de control como fiscales.
2. Se sabe relativamente poco acerca de los impactos de los cambios en el uso del suelo sobre la magnitud del cambio en la producción de bienes y servicios ecosistémicos (regulación hídrica, control de erosión, ciclado de nutrientes, etc.).

3. Hay un vacío institucional a nivel nacional, provincial y municipal: no hay agencias encargadas del ordenamiento territorial o su capacidad de acción es mínima.

4. Se reconocen derechos para decidir sobre el uso y modificación de la vegetación y el suelo, casi exclusivamente al propietario o a quien detenta el derecho de uso.

Hipótesis

A partir de los resultados hallados es posible plantear las siguientes hipótesis:

1. El acceso a la tecnología y su disponibilidad local determina la tasa de expansión del cultivo sobre los suelos potencialmente aptos.

2. La estructura de tenencia de la tierra, al afectar la escala de la producción y consecuentemente la magnitud de los costos fijos y financieros, condiciona la tasa de expansión del cultivo de soja.

3. El aumento del área cultivada con soja no tiene un impacto social positivo a nivel departamental (la proporción de la población con necesidades básicas insatisfechas no cambia).

4. La expansión de la agricultura depende de la calidad de los suelos y ocurre a partir de núcleos establecidos. Los límites de la expansión estarán definidos por el balance hídrico.

5. BIBLIOGRAFÍA

- ACA, 2004. Automóvil Club Argentino. Mapas de rutas de las provincias del norte argentino, Buenos Aires, Argentina.
- Adamoli, J. Y Fernandez, P. La expansión de la frontera agropecuaria en la Cuenca del Plata: antecedentes ecológicos y socioeconómicos para su planificación. 1980. Pp 468-501. En "estilos de desarrollo y medio ambiente en América Latina". O. Sunkel y N. Gligo eds. 663 pp. México: fondo de Cultura Económica.
- Adelman, J. Frontier development: land, labour and capital on the weathlands of Argentina and Canada, 1890-1914. 1984. 322 pp. Oxford Historical Monographs. Clarendon Press. Oxford.
- Andriulo, A., J. Guerif, and B. Mary. 1999. Evolution of soil carbon with various cropping sequences on the rolling pampas. Determination of carbon origin using variations in natural ¹³C abundances. *Agronomie* 19:349-364.
- Barsky, O y Gelman, J. 2001. Historia del agro argentino. 460 pp. Ed. Grijalbo-Mondolari. ISBN 987-9397-21-5.
- Bianchi, A. R. y Yañez, C. E. 1982. Las precipitaciones en el Noroeste Argentino. INTA. EEA Salta. 383 p.
- Burgos JJ. 1970. El clima de la región Noreste de la República Argentina en relación con la vegetación natural y el suelo. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* XIV: 37-101.
- Burke, I. C., C. M. Yonker, W. J. Parton, C. V. Cole, K. Flach, and D. S. Schimel. 1989. Texture, climate, and cultivation effects on soil organic content in U.S. grassland soils. *Soil Science Society of America Journal* 53:800-805.
- Cabido, M., Zak, M., Cingolani, A., Cáceres, D. y S. Díaz. en prensa. Cambios en la cobertura de la vegetación del centro de Argentina. ¿Factores directos o causas subyacentes? *Las Comunidades Potenciales del Pastizal Pampeano Bonaerense*. In: M. Oesterheld, M. Aguiar, C. Ghersa y J. Paruelo (eds.). *La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas. Un homenaje a Rolando León*. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.
- Cabrera, A. 1971. Fitogeografía de la República Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* XIV: 1-42.
- Carnevali R. 1994. Fitogeografía de la Provincia de Corrientes. INTA – Gobierno de la Provincia de Corrientes pp. 324.
- Cassman, K.G., 1999. Ecological intensification of cereal production systems: Yield potential, soil quality, and precision agriculture. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 96, 5952-5959.
- Cihlar, J., R. Latifovica, J. Chena, A. Trishchenkoa, Y. Duc, G. Fedosejevs, y B. Guindona. 2004. Systematic corrections of AVHRR image composites for temporal studies. *Remote Sensing of Environment* 89:217-233.
- Costanza R., d' Arge R., Groot R.d., Farber S., Grasso M., B. Hannon, Limburg K., Naeem S., O'Neill R.V., Paruelo J., Raskin R.G., Sutton P. and Belt. M.V.d. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 357, 253-260.

- Daily 1997, *Nature's Services: societal dependence on natural ecosystems*. 1997, Island Press. , USA
- Fabrizzi, K. P., A. Moron, and F. O. García. 2003. Soil carbon and nitrogen organic fractions in degraded vs. non-degraded mollisols in Argentina. *Soil Science Society of America Journal* 67:1831-1841.
- FAO, 1985. (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1985. Datos agroclimatológicos para América Latina y el Caribe. Roma, Italia: FAO.
- Foley et al. 2003. Green surprise? How terrestrial ecosystems could affect earth's climate. *Front Ecol Environ* 2003; 1(1): 3844
- Fontana JL. 1996. Los pajonales mesófilos semi-naturales de Misiones (Argentina). *Phytocoenologia* 26(2): 179-271.
- Forman, R. Y Gordon, M. 1985. *Landscape Ecology*. 618 pp. Wiley and Sons, Editors.
- Grau, H. R., Gaspari, N. I, Aide, M. T. Agriculture expansion and deforestation in seasonally dry forest of NW Argentina. *Environmental Conservation* (en consideración).
- Guerschman, J. P. 2004. Análisis regional de impacto de los cambios del uso de la tierra sobre el funcionamiento de los ecosistemas en la región pampeana (Argentina). Tesis de Doctorado. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.
- Guerschman, J. P., J. M. Paruelo, C. DiBella, M. C. Giallorenzi, y F. Pacín. 2003. Land cover classification in the Argentine Pampas using multi-temporal Landsat TM data. *International Journal of Remote Sensing* 24:3381-3402.
- Guerschman, J.P. and J.M. Paruelo. Agricultural impacts on ecosystem functioning in temperate areas of North and South America. *Global and Planetary Science* (aceptado, en revisión).
- Huete, A., K. Didan, T. Miura, E. P. Rodriguez, X. Gao, y L. G. Ferreira. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment* 83:195-213.
- INDEC, 1988. Censo Nacional Agropecuario. Resultados Generales. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Ministerio de Economía, Buenos Aires, Argentina.
- INDEC, 1991. Censo Nacional de Población y Vivienda. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Ministerio de Economía, Buenos Aires, Argentina.
- INDEC, 2001. Censo Nacional de Población y Vivienda. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Ministerio de Economía, Buenos Aires, Argentina.
- INDEC, 2002. Censo Nacional Agropecuario. Resultados Generales. Instituto Nacional de estadística y Censos. Ministerio de Economía, Buenos Aires, Argentina.
- INTA-SAGyP (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca). 1990. Atlas de suelos de la República Argentina. Buenos Aires, Argentina: INTA-SAGyP.
- INTA, 2004. ProReNOA. Proyecto de relevamiento de cultivos en el noroeste argentino, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Salta, Argentina.
- León RJC. 1991. Geographic limits of the region, Geomorphology and geology, Regional subdivisions, Floristic aspects, Description of the vegetation.

- Coupland RT, editor. Natural Grasslands: Introduction and Western Hemisphere. Amsterdam, Netherlands: Elsevier. 369-387.
- LIEY, 2004. Bases climáticas de estaciones meteorológicas del Chaco salteño. Laboratorio de Investigaciones Ecológicas de las Yungas, Tucumán, Argentina.
- Lovell, J. L., y R. D. Graetz. 2001. Filtering Pathfinder AVHRR Land NDVI data for Australia. *International Journal of Remote Sensing* 22:2649–2654.
- Minetti, J. L., Vargas, W, M. 1997. Trends and jumps in the annual rainfall in South America, South of 15S. *Atmosfera* 11: 205-221.
- Minetti, J. L., Lamelas, C. M. 1997. Respuesta regional de la soja en Tucumán a la variabilidad climática. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán* 72: 63-68.
- Moody, A., y C. E. Woodcock. 1995. The influence of scale and the spatial characteristics of landscapes on land-cover mapping using remote sensing. *Landscape Ecology* 10:363-379.
- Morello J y Adamoli J. 1967. Vegetación y ambiente del Nordeste del Chaco Argentino. IX Jornadas Botánicas Argentinas. INTA pp. 75.
- 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. Secretaría de Estado de Agricultura y Ganadería de la Nación. INTA, Serie Fitogeográfica Nº 13. Buenos Aires. 130 pp.
- Paruelo, J.M., Garbulsky, M.F., Guerschman, J.P. and Jobbágy E.G. 2004. Two decades of NDVI in South America: identifying the imprint of global changes. *International Journal of Remote Sensing* 25: 2793 – 2806.
- Ragonese AE y Castiglione JC. 1970. La vegetación del Parque Chaqueño. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* XIV: 133-160.
- RSI. 2003. ENVI 4.0. User´s Guide., Boulder, CO.
- SAGPyA, 2003. Estimaciones Agrícolas. Secretaría de Agricultura Ganadería Pesca y Alimentación, Buenos Aires, Argentina.
- Slafer, G.A., Kernich, G., 1996. Have changes in yield (1900-1992) been accompanied by a decreased yield stability in Australian cereal production? *Aust. J. Agric. Res.* 478, 323-334.
- SMN - CIM, 2004. Servicio Meteorológico Nacional, Centro de Información Meteorológica, Buenos Aires Argentina.
- Tou, J. T., y R. C. Gonzalez. 1974. Pattern recognition principles. Addison-Wesley Publishing Company., Reading Massachussetts.
- Verón, S.R., Paruelo, J.M., Sala, O.E. and Lauenroth, W.K. 2002. Environmental controls of primary production in the Argentine pampas: an analysis based on wheat crops and remotely sensed data. *Ecosystems* 5: 625-635.
- Vermonte, E. F., y C. O. Justice. 2002. Atmospheric correction of MODIS data in the visible to middle infrared: first results. *Remote Sensing of Environment* 83:97-111.
- Viglizzo, E.F., Lértora, F.A., Pordomingo, A.J., Bernardos, J.N., Roberto, Z.E., Del Valle, H., 2001. Ecological lessons and applications from one century of low external-input farming in the pampas of Argentina. *Agric. Ecosyst. Environ.* 81, 65–81.

- Wolfe, R. E., M. Nishihama, A. J. Fleig, J. A. Kuyper, D. P. Roy, J. C. Storey, y F. S. Patt. 2002. Achieving sub-pixel geolocation accuracy in support of MODIS land science. *Remote Sensing of Environment* 83:31-49.
- Zapater de Del Castillo, M. 1985. Esquema fitogeográfico de la Provincia de Salta. Secretaría de Estado de Asuntos Agrarios, Dirección General Agropecuaria. 23 pp.