

“Relevamiento de los recursos naturales de los lotes fiscales 55 y 14”.

Departamento de Rivadavia- Provincia de Salta

Informe Final

INSTITUTO NACIONAL DE ASUNTOS INDÍGENAS
MINISTERIO DE DESARROLLO SOCIAL DE LA NACIÓN



Dirección:

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

Coordinación:

Ing. Agr. Federico del Pino

Desarrollo metodológico:

Lic. Cs. Biológ. Germán Baldi
Ing. Agr. (MSc) Martín Garbulsky

Procesamiento de datos e imágenes:

Ing. Agr. Constanza Caride
Ing. Agr. María Dolores Arocena
Luciana Porfirio

Revisión: Ing. Agr. (PhD) Martín R. Aguiar

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



Octubre 2004

CONTENIDO

	página
Introducción	1
Objetivos	
Objetivo general	3
Objetivos particulares	
Objetivo 1. Caracterizar la cobertura del suelo	3
Objetivo 2. Caracterizar el funcionamiento de la vegetación	3
Metodología	4
Zona de estudio	4
Trabajo de campo	5
Procesamiento imágenes	
Objetivo 1. Caracterizar la cobertura del suelo	5
Objetivo 2. Caracterizar el funcionamiento de la vegetación	8
Resultados	10
Objetivo 1. Caracterizar la cobertura del suelo	10
Objetivo 2. Caracterizar el funcionamiento de la vegetación	16
Consideraciones finales	32
Glosario	35
Bibliografía	37
Anexo A. Planillas	39

Anexo B. Metodológico

..... 41

Anexo C. Suelos

..... 51

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este informe es proveer a quienes toman decisiones elementos objetivos acerca de los recursos naturales de los Lotes Fiscales 14 y 55 en el Este de la provincia de Salta. Estos elementos deberían contribuir al desarrollo de un plan de ordenamiento territorial, una de las herramientas básicas para garantizar un uso sustentable de los recursos. El ordenamiento territorial involucra la asignación de superficies y recursos a distintas actividades (llevadas a cabo por diferentes actores sociales y económicos) y el diseño de su distribución espacial en el territorio. Tradicionalmente el ordenamiento territorial en nuestro país no resultó de un proceso planificado, sino que emergió como el resultado de las actividades y decisiones de los distintos actores individuales que detentaban los derechos de uso o la propiedad de la tierra o los recursos naturales. La ausencia de planificación en Argentina ha generado en general sistemas no sustentables desde el punto de vista ambiental, social y económico. Esto trajo asociado un marcado deterioro de los recursos naturales y, consecuentemente, de la calidad de vida de los pobladores locales.

El ordenamiento territorial debe contemplar por un lado la heterogeneidad, potencial y fragilidad de los recursos del área y por otro el impacto, los beneficios y los riesgos de las actividades a desarrollar (Figura 1).

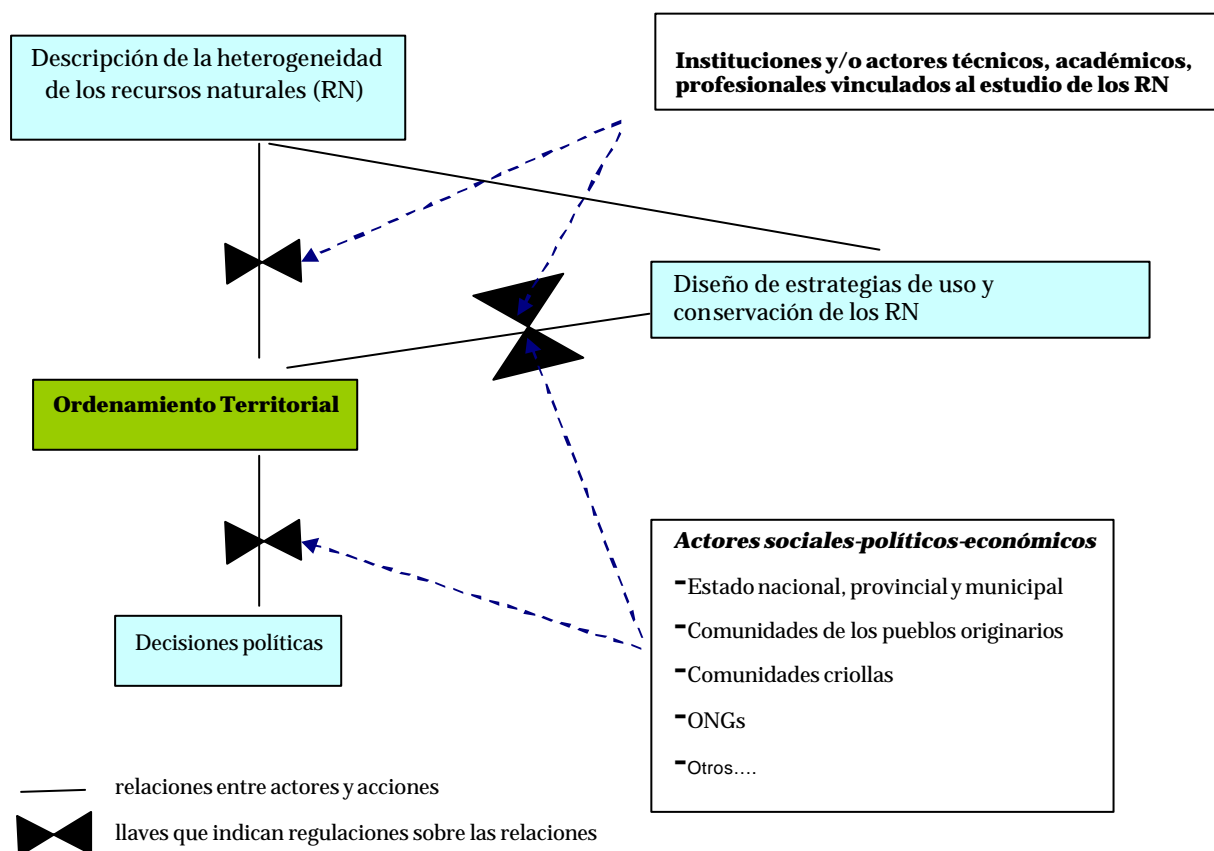


Figura 1. Esquema conceptual de actores y acciones a considerar para el ordenamiento territorial.

Conocer la superficie ocupada, la distribución y el funcionamiento de los diferentes tipos de vegetación existentes en los Lotes Fiscales 14 y 55 brinda elementos objetivos para el desarrollo de planes de manejo y ordenamiento de este territorio. Estos planes deben contemplar a su vez los aspectos económicos y sociales asociados a cada una de las actividades potenciales. Las instituciones técnico-académicas que proveen estos análisis se deberían integrar al programa de ordenamiento. Sin embargo, y como decíamos antes, esto provee sólo parte de los elementos indispensables para la resolución de los conflictos asociados al ordenamiento territorial. Una serie de cuestiones políticas deben resolverse antes de tomar decisiones técnicas acerca de cómo asignar recursos a distintos tipos de uso y/o conservación. Para su resolución deben identificarse los actores, sus intereses y derechos. Entre los actores debe necesariamente incluirse a la sociedad en su conjunto (y no sólo a los residentes) y a las generaciones futuras: el estado, las organizaciones que representan a los actores, y las ONGs que participan de la definición de los aspectos políticos del plan de ordenamiento (Figura 1). La tarea del LART, en su condición de institución académica, se concentra en la descripción de la heterogeneidad de los recursos naturales de ambos lotes.

Los ecosistemas chaqueños producen una cantidad de bienes y servicios. Algunos de ellos tienen valor de mercado (carne, artesanías, turismo, productos agrícolas) y otros no (la regulación de la concentración de gases atmosféricos, el ciclado de nutrientes, el procesamiento de residuos, el mantenimiento de la biodiversidad y la regulación hídrica). Estos bienes y servicios ecosistémicos son esenciales para el mantenimiento de la vida (particularmente la de los humanos) en la región (y en el planeta). Para maximizar la producción de un bien (supongamos soja) el ecosistema se transforma, se modifica su estructura y su funcionamiento y, como consecuencia, disminuye su capacidad de proveer otros servicios y bienes. La regulación de caudales y carga de sedimentos en cuencas hídricas es un ejemplo de un servicio ecosistémico. Muchos de estos servicios se usufructúan lejos del lugar donde se generan. La regulación del flujo de agua que el ecosistema realiza en la parte alta de cuenca se “goza” en las poblaciones ubicadas aguas abajo. La transformación de bosques nativos en áreas agrícolas o ganaderas está motivada fundamentalmente por el interés privado en producir un bien con un elevado valor de mercado. El criterio más frecuentemente usado para decidir cuál bien o servicio se produce es el de maximizar el beneficio económico. Sin embargo, no debería ser el único.

La identificación y cuantificación de los servicios y bienes que provee un ecosistema es un tema eminentemente técnico. Para su medición o estimación los ecólogos o profesionales en ciencias ambientales disponen de diversas alternativas metodológicas. Los conflictos se plantean cuando distintos actores sociales o políticos difieren en cuanto a qué bienes y servicios producir, en los criterios para su apropiación, en el valor que se les asigna o sobre quién se hace cargo de los costos derivados de su merma. Los intereses particulares entran en conflicto con los de otros privados y con los de la sociedad toda. El estado debería arbitrar en estos casos evitando que se violen derechos e intereses de personas físicas, grupos sociales y generaciones futuras. Debe tenerse en cuenta que el uso de los recursos genera “externalidades” (consecuencias que trascienden los límites de un establecimiento). Más allá de la conciencia conservacionista de un individuo o grupo, la “lógica del mercado” inducirá a

asignar recursos de manera de maximizar beneficios económicos independientemente de sus consecuencias ambientales, particularmente si estas pueden “externalizarse”. Nuevamente los aspectos políticos se mezclan con los técnicos en la generación de programa de ordenamiento territorial.

El relevamiento de los recursos naturales de los Lotes 14 y 55 plantea una serie de problemas metodológicos. Uno es la extensión (600.000 has); sería muy costoso y lento realizar el relevamiento a campo de un área tan grande. Otro es la falta de datos básicos (climáticos, edáficos, de vegetación, manejos previos). Debido a ello se utilizó información provista por imágenes satelitales. La gran ventaja del uso de imágenes satelitales es que se puede estudiar un área muy extensa sin la necesidad de relevarla por completo. Por otra parte es posible también realizar análisis temporales, ya que se cuenta con información de años anteriores.

Los análisis realizados proveerán elementos acerca de dos aspectos de los ecosistemas del área. Por un lado se describirá la estructura de la vegetación, en términos de tipos fisonómicos (distintos tipos de bosques, peladares, arbustales, etc.). Por otro, se describirá el área en términos funcionales: se presentarán diferencias en la producción de materia seca, en las pérdidas de agua y en la variación estacional de estos dos aspectos. En este caso también se analizará la variación entre años de estos aspectos del funcionamiento de los ecosistemas.

Objetivo General

Proveer elementos objetivos para el ordenamiento territorial de los Lotes Fiscales 55 y 14 a partir de la caracterización estructural y funcional de los ecosistemas. Esta caracterización servirá de base para el planteo de propuestas de manejo sustentable de esos recursos.

Objetivos particulares:

1. -Caracterizar la cobertura del suelo

Se describe la distribución de los diferentes tipos de cobertura del suelo, y la superficie que abarca cada uno de ellos. Los tipos de cobertura del suelo se definieron a nivel de tipos fisonómicos de vegetación.

2. -Caracterizar el funcionamiento de la vegetación

Se describen dos aspectos funcionales de las distintas unidades de vegetación descriptas en el objetivo 1: la productividad primaria (tasa de acumulación de materia seca) y el consumo de agua, dos variables que permiten hacer inferencias acerca de sus posibilidades de uso. Se identifican a su vez indicadores de deterioro de la vegetación existente. La descripción incluye los cambios estacionales e interanuales.

METODOLOGÍA

Zona de estudio

El área de estudio que corresponde a los Lotes Fiscales 14 y 55 abarca una superficie de 663.117 hectáreas (4.2% de la superficie provincial), y se encuentra ubicada en el departamento de Rivadavia, en el extremo Noreste de la provincia de Salta, dentro de la región fitogeográfica del Chaco. Limita al Norte y Noreste con Bolivia y al Este con Paraguay (separado de estos países por el río Pilcomayo) y la provincia de Formosa. Al Oeste limita con el departamento de San Martín, y está delimitada al Sur por la latitud -23° (Figura 2).

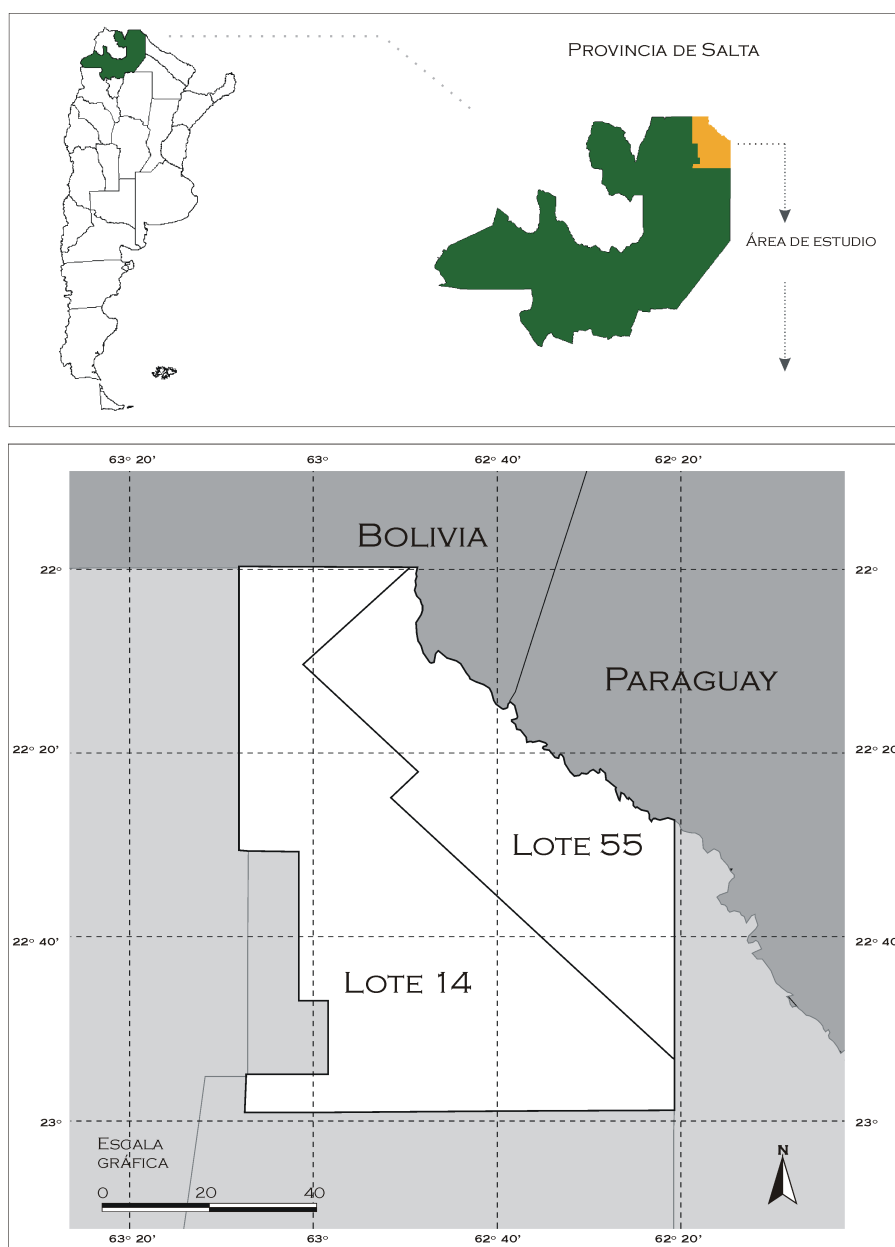


Figura 2: Mapa de la zona de estudio, indicando los límites de los lotes 14 y 55.

Esta región se caracteriza por poseer un clima tropical seco, con estación seca que dura entre 6 y 8 meses. La precipitación media anual es de 512 mm.

Las lluvias de octubre a marzo representan más del 90% de la precipitación media anual. La temperatura promedio anual se ubica entre los 18°C y los 23°C, con mínimas de 5-10°C y máximas de 44-49°C. (Datos presentados en “Antecedentes relativos a las tierras públicas del Lote Fiscal 55. Area Pilcomayo Provincia de Salta”, Gobierno de Salta). Los suelos predominantes son Xerosoles Lúvicos y Fluvisoles Éutricos (Nadir y Chafatinos 1990).

Para alcanzar los objetivos propuestos se realizó un viaje al campo, y se utilizaron varias plataformas satelitales para calcular diferentes índices y generar mapas y gráficos, a diferentes escalas, que permiten visualizar espacial y temporalmente las diferentes variables.

Trabajo de campo

Se realizó un viaje a la región de estudio durante el mes de mayo de 2004 para relevar la vegetación. Para ello se determinaron recorridos tratando de cubrir la mayor parte de la heterogeneidad del paisaje, basándonos en una clasificación no supervisada que realizamos previamente. En estos recorridos se realizaron observaciones que fueron registradas en planillas y asociadas a coordenadas geográficas mediante el uso de un Sistema de Geoposicionamiento Global (GPS) (Figura 3). Cada observación consistió en describir la composición florística y el ordenamiento horizontal y vertical (estructural) de la vegetación en los diferentes estratos (Tabla I, Anexo A), completando la planilla adjunta en la Tabla II del mismo Anexo. Esta información fue digitalizada e ingresada a un Sistema de Información Geográfica (SIG), y luego utilizada para generar y evaluar los modelos que permitieron describir la estructura y funcionamiento de la vegetación.

Procesamiento de las imágenes satelitales:

Objetivo 1: Caracterización de la cobertura del suelo:

Para alcanzar este objetivo se generaron los siguientes productos:

- Mapa fisonómico de la vegetación,
- Mapa de probabilidades florísticas,
- Mapa de cuerpos de agua.

Para la caracterización de la cobertura del suelo, se calcularon tres índices espectrales a partir de la información provista por las imágenes satelitales LANDSAT 7 ETM+, para la estación de crecimiento 2002-2003: El Índice Verde Normalizado (IVN), el Albedo y la Temperatura superficial. El IVN es un índice que está relacionado con la capacidad de la vegetación de interceptar radiación, y da una idea de su actividad fotosintética. El Albedo es un índice calculado a partir de la reflectancia en las distintas bandas y por lo tanto indica el brillo de la superficie del suelo, que obviamente está afectado por la vegetación existente. Este índice fue utilizado con éxito para la detección de clases de vegetación (Piñeiro et al., en revisión). La Temperatura superficial calculada a partir de información satelital provee información, junto con la temperatura del aire, de

la tasa de evapotranspiración de la superficie, la cual a su vez depende del tipo de cobertura vegetal.

El uso de estas tres variables permite minimizar el trabajo de campo ya que por registrar de manera directa las características de la superficie no requieren calibración.

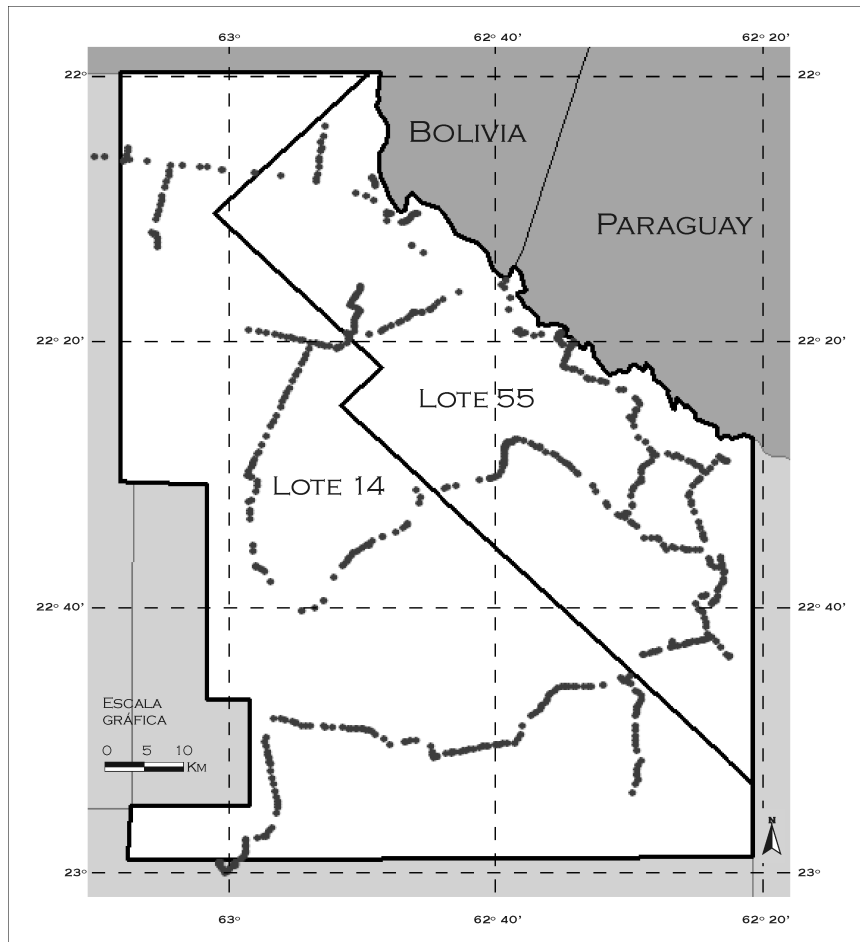


Figura 3. Recorridos realizados en la zona de estudio durante el mes de mayo de 2004 para relevar la vegetación. Cada punto representa una observación y una coordenada geográfica tomada con un GPS.

Se decidió analizar la estación de crecimiento de la vegetación entre el invierno del 2002 y el otoño de 2003. La elección de este período se debe a la disponibilidad de imágenes libres de nubes, y por tratarse de años normales desde el punto de vista meteorológico. La incorporación al análisis de diferentes momentos del ciclo de crecimiento de la vegetación aporta información sobre la fenología de la vegetación, que a su vez puede usarse para diferenciar unidades en el espacio. Por esta razón se usaron imágenes correspondientes a cinco momentos claves del ciclo de vegetación. Como para cubrir la zona hicieron falta dos escenas Landsat, el total de imágenes utilizado fue 10 (cinco fechas y dos escenas). Las imágenes fueron provistas por la CONAE (Tabla 1). La caracterización de las diferentes unidades se basó pues en las diferencias fenológicas (cambios en el tiempo) de la vegetación, según lo descrito por el IVN, Albedo y Temperatura superficial. Sobre esas tres variables se realizaron

una serie de clasificaciones no supervisadas (ver Anexo B), que permitieron generar un mapa de fisionomía (aspecto) de la vegetación del área de estudio.

Orbita	Punto	Fecha
229	76	15-jul-02
229	76	17-sep-02
229	76	20-nov-02
229	76	24-feb-03
229	76	13-abr-03
230	Lat. Cent, -22.54?S	20-jun-02
230	Lat. Cent, -22.54?S	24-sep-02
230	Lat. Cent, -22.54?S	27-nov-02
230	Lat. Cent, -22.54?S	15-feb-03
230	Lat. Cent, -22.54?S	20-abr-03

Tabla 1. Orbita, punto y fechas de las imágenes Landsat 7 ETM+ utilizadas para caracterizar la estructura de la vegetación.

Se analizó también la asociación entre características estructurales y florísticas de la vegetación mediante técnicas de correlación (Tabla I, Anexo B), utilizando datos de campo.

Se desarrolló asimismo un mapa de probabilidades de dominancias florísticas. Este muestra la probabilidad de que cada píxel pertenezca a un tipo florístico simplificado, ya que sólo se consideraron tres posibles tipos: 1) quebrachales de dos quebrachos (*Schinopsis balansae* y *Aspidosperma quebracho blanco*), 2) algarrobales (*Prosopis alba* y *Prosopis nigra*), y 3) palosantales (*Bulnesia sarmientoii*). Las combinaciones de estas comunidades surgen en el mismo mapa por combinaciones de las probabilidades de pertenecer a cada una de las clases. Es decir que dentro de un mismo tipo fisionómico de vegetación existen áreas con mayor probabilidad de pertenecer a uno u otro tipo florístico.

Se elaboraron mapas de cuerpos de agua a partir de la banda pancromática por su alta resolución espacial (15 m), en combinación con las bandas 3, 4 y 5 (30 metros) de las imágenes de febrero. Así se diferenciaron tres clases de cuerpos de agua: las aguas “blancas” (con material en suspensión), las aguas “negras” (con poco sedimento), y humedales (áreas con o sin vegetación con períodos de inundación variables), presentes durante la estación húmeda.

Se comparó el mapa fisionómico de vegetación generado en este trabajo con el mapa de vegetación de Zapater de del Castillo (1985) con el objetivo de detectar similitudes y diferencias, para complementar la información generada a partir de los mapas de vegetación de este trabajo.

Se realizó también un análisis de asociación geográfica entre las unidades de vegetación detectadas en este trabajo con mapas de suelos descriptos por Nadir y Chafatinos (1990), con el objetivo de buscar asociaciones entre la vegetación los tipos de suelos, para poder definir limitantes de usos de los distintos tipos de vegetación en base a las limitantes determinadas por los suelos.

Objetivo 2: Caracterización del funcionamiento de la vegetación

Esta caracterización se basó en tres índices:

1. El Índice de Productividad, que es un indicador de la producción de biomasa de la vegetación.
2. El Índice de Consumo de Agua, que es un indicador de la cantidad de agua que es absorbida y transpirada por la vegetación y aquella que es evaporada desde la superficie del suelo.
3. El Índice Verde Normalizado, que como fuera explicado previamente es un indicador de la actividad fotosintética de la vegetación.

Con estos índices se generaron los siguientes productos, para alcanzar el Objetivo 2:

1. Índice de Productividad:

- Mapa de índice de productividad total media anual,
- Mapas de mes de máximo y mínimo valor del índice de productividad,
- Mapa de coeficiente de variación del índice de productividad,
- Gráficos de variación estacional del índice de productividad para cada clase fisonómica de vegetación,

2. Índice de consumo de agua:

- Mapa de índice de consumo de agua anual,
- Mapas de mes de máximo y mínimo valor del índice de consumo de agua,
- Mapa de coeficiente de variación del consumo de agua,

3. Índice Verde Normalizado:

- Mapa de la tendencia del IVN en los últimos 20 años,
- Gráficos de tendencia del IVN para cada clase fisonómica de vegetación en los últimos 20 años.

Para la caracterización del funcionamiento de la vegetación se utilizó información provista por los satélites MODIS-TERRA con resolución espacial de 250 y 1000 metros, para la serie temporal 2000-2004, y NOAA/AVHRR con resolución espacial de 8 km, para la serie temporal de IVN entre 1981-2000. Los detalles metodológicos se describen detalladamente en el Anexo B. Las imágenes MODIS utilizadas en este trabajo se obtuvieron en los sitios:

- <ftp://e0dps01u.ecs.nasa.gov/MOLT/> y
- <http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>

Para el cálculo del Índice de Productividad se utilizó la ecuación de Monteith (1977). Se trata de un modelo simple en donde el Índice de productividad es una función lineal de la integral anual de la radiación fotosintéticamente activa absorbida (APAR). APAR es convertido en materia seca o en carbono utilizando el coeficiente de conversión de energía (?).

$$\text{Índice de Productividad} = \text{PPN} / \text{PPN}_{\text{max}}$$
$$\text{PPN} = ? \times [? \text{ APAR}] \quad \text{y} \quad \text{APAR} = \text{FPAR} \times \text{PAR}$$

siendo PAR la radiación fotosintéticamente activa incidente, FPAR la fracción del PAR interceptada por la vegetación verde, que puede ser estimada por medio del Índice Verde Normalizado (IVN), y ϵ es la eficiencia de conversión de energía en biomasa, que presenta una variación estacional y anual. Este índice fue calculado a partir de las imágenes MODIS-TERRA con una resolución espacial de 1000 x 1000 metros.

A partir del mapa de Índice de Productividad se extrajeron los valores para cada tipo de vegetación, y se generaron los gráficos de variación estacional de este índice para cada tipo de vegetación.

Para el cálculo del Índice de Consumo de agua y sus derivados se utilizaron los modelos de Garbulsky y Paruelo (2004).

$$\begin{aligned}\text{Índice de Consumo de agua} &= ET / ET_{\max} \\ ET &= Ts \times IVN \times 5.57\end{aligned}$$

Donde Ts (°C) es la Temperatura media mensual de la superficie del suelo e IVN es el Índice Verde Normalizado. Este índice fue calculado a partir de las imágenes MODIS-TERRA con una resolución espacial de 250 x 250 metros.

Si bien los modelos utilizados permiten estimar el valor de la PPN y de la ET no se incluyeron los valores absolutos ya que los modelos no pudieron ser evaluados localmente debido a la falta de datos de campo. La normalización realizada permite no obstante percibir las diferencias estacionales y espaciales de ambas variables.

Para el análisis de los cambios en el IVN durante el período 1981-2000 se utilizaron imágenes NOAA/AVHRR (8 x 8 km) decádicas, a partir de las cuales se generó el mapa de tendencias. A partir de este mapa se seleccionaron píxeles representativos de cada clase de vegetación, y se extrajeron los valores de los píxeles y se graficaron las tendencias para cada una de estas clases.

RESULTADOS

Objetivo 1: Caracterización de la cobertura del suelo

Fue posible determinar la superficie y distribución de 6 clases de cobertura de suelo, con un nivel de definición de 30 metros (figura 4). Las clases son:

1. Cuerpo de Agua
2. Peladar
3. Bosque Caducifolio Ralo
4. Bosque Caducifolio Intermedio
5. Bosque Caducifolio Denso
6. Bosque Caducifolio Higrófilo

Las características estructurales y florísticas de cada clase son las siguientes:

1. Cuerpo de Agua: en esta clase se considera a toda la superficie que está cubierta con agua durante el período estival.
2. Peladar: se incluye en ésta toda la superficie que tiene más de un 60% de suelo descubierto. Esta clase está generalmente compuesta por Brea, Algarrobo y/o Palo Santo. En cuanto a su estructura vertical se caracteriza por el predominio de individuos de escasa altura (hasta 2 m), y en cuanto a su estructura horizontal es abierto.
3. Bosque Caducifolio Ralo: esta clase está principalmente compuesta por individuos de Mistol, Duraznillo, Brea, Algarrobo y Palo Santo (estas dos últimas especies presentan en este ambiente una talla reducida). Se caracteriza por tener una altura media a baja, mientras que su estructura horizontal puede ser abierta, media o cerrada.
4. Bosque Caducifolio Intermedio: compuesta por Mistol y Brea en el estrato medio, y Palo Santo y Quebracho en el superior. Variable en cuanto a su estructura vertical y horizontal.
5. Bosque Caducifolio Denso: clase dominada por Palo Santo y Quebracho en el estrato superior, de medio a cerrado en su distribución horizontal y de medio a alto en cuanto a su estructura vertical.
6. Bosque Caducifolio Higrófilo: ubicados generalmente en las márgenes de los ríos, se caracterizan por estar dominados por Palo Bobo y/o Algarrobos, cerrados en su estructura horizontal y generalmente de medio a altos en cuanto a su estructura vertical.

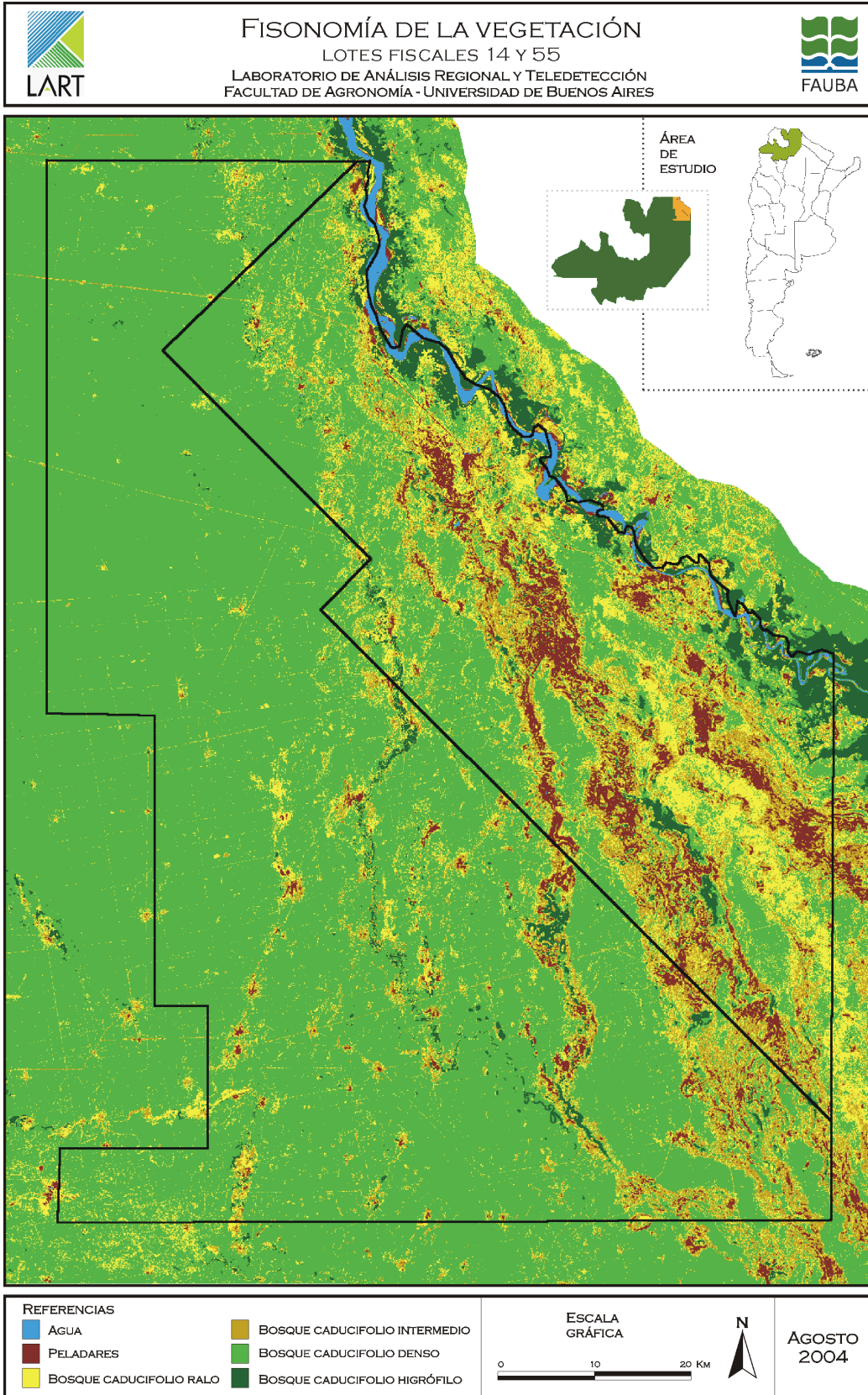


Figura 4. Mapa fisionómico de la vegetación generado a partir de la clasificación de imágenes Landsat 7 ETM+. Las unidades de vegetación se indican con falso color.

La superficie ocupada por la clase “Peladar” es de 30180 ha, lo que representa un 4.5% de la superficie analizada. En el Lote 14 hay 5386 ha, (1.3%

de la superficie del Lote), mientras que en el Lote 55 hay 24793 ha (10% de la superficie del Lote)(Tabla 2). Esta clase se encuentra en áreas de divagación meándrica (planicie aluvial) del río Pilcomayo, que sufren un proceso erosivo por acción hídrica e intensa ocupación humana (Zapater de Del Castillo 1985).

El “Bosque Ralo” ocupa 53169 ha del área de estudio (8%), de las cuales 17895 están en el Lote 14 (4%) y 35274 en el Lote 55 (14.6%). Esta clase de vegetación se ubica generalmente en la periferia de los Peladares (Tabla 2).

La clase “Bosque Intermedio” representa el 13.6% de la superficie total analizada (90507 ha), de la cual 58510 ha están en el Lote 55 y 31997 ha en el Lote 14. Esta clase se encuentra distribuida en forma intrincada con la clase “Bosque Ralo”, alrededor de los Peladares (Tabla 2).

La clase “Bosque Denso” ocupa el 70% de la superficie de la zona de estudio (466233 ha) (Tabla 2). Esta clase, que se ubica principalmente en el Lote Fiscal 14, concentrada principalmente en el norte, y oeste (Figura 4), corresponde en gran medida a las unidades de vegetación U.f.6.4 y U.f.6.5 definidas por Zapater de Del Casillo (1985).

La clase “Bosque Higrófilo” representa el 3% del área de estudio (19960 ha), siempre asociada a las costas del río Pilcomayo y de otros meandros (Figura 4). En el Lote 55 hay 14455 ha (6% de la superficie), mientras que en el Lote 14 hay 5500 ha (1.3% de la superficie) (Tabla 2).

Clase	Lote 14		Lote 55		Total	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%
1- Agua	17.2	0.0	3049.1	1.3	3066.3	0.46
2- Peladares	5386.7	1.3	24793.8	10.2	30180.5	4.55
3- Bosque Ralo	17895.0	4.2	35274.1	14.6	53169.0	8.02
4- Bosque Intermedio	31997.8	7.6	58510.0	24.2	90507.8	13.65
5- Bosque Denso	360302.3	85.6	105931.5	43.8	466233.8	70.31
6- Bosque Higrófilo	5504.7	1.3	14455.5	6.0	19960.2	3.01
Total	421103.6	100.0	242014.1	100.0	663117.7	100.0

Tabla 2. Superficie y valores relativos de cada clase de cobertura de suelo, derivadas del estudio de campo y las clasificaciones supervisadas con imágenes Landsat 7 ETM+.

Las precisiones de las clasificaciones obtenidas (88.9% según características florísticas y 66.6% según características estructurales) son muy aceptables (Tabla VII, Anexo B) teniendo en cuenta la extensión del área de estudio, la complejidad del sistema y la escasa información disponible.

El mapa de probabilidades florísticas (Figura 5) muestra claramente áreas de características particulares que se describen a continuación:

1. dominadas por Algarrobos

- a) en Bosques Higrófilos, caracterizados por árboles de mediano o gran porte.
- b) en Peladares, caracterizados por árboles de pequeño porte.

2. dominadas por Quebrachos. En Bosques Caducifolios Densos, caracterizados por árboles de mediano o gran porte.

3. dominadas por Palosantos. De carácter más reducido en el espacio y generalmente bordeando áreas de Peladares. Se encuentran en Bosques Caducifolios Ralos, Intermedios y Densos. Caracterizados por ejemplares de pequeño o mediano porte.
4. codominancia de Palosantos y Quebrachos. En Bosques Caducifolios Densos, caracterizados por árboles de mediano o gran porte.

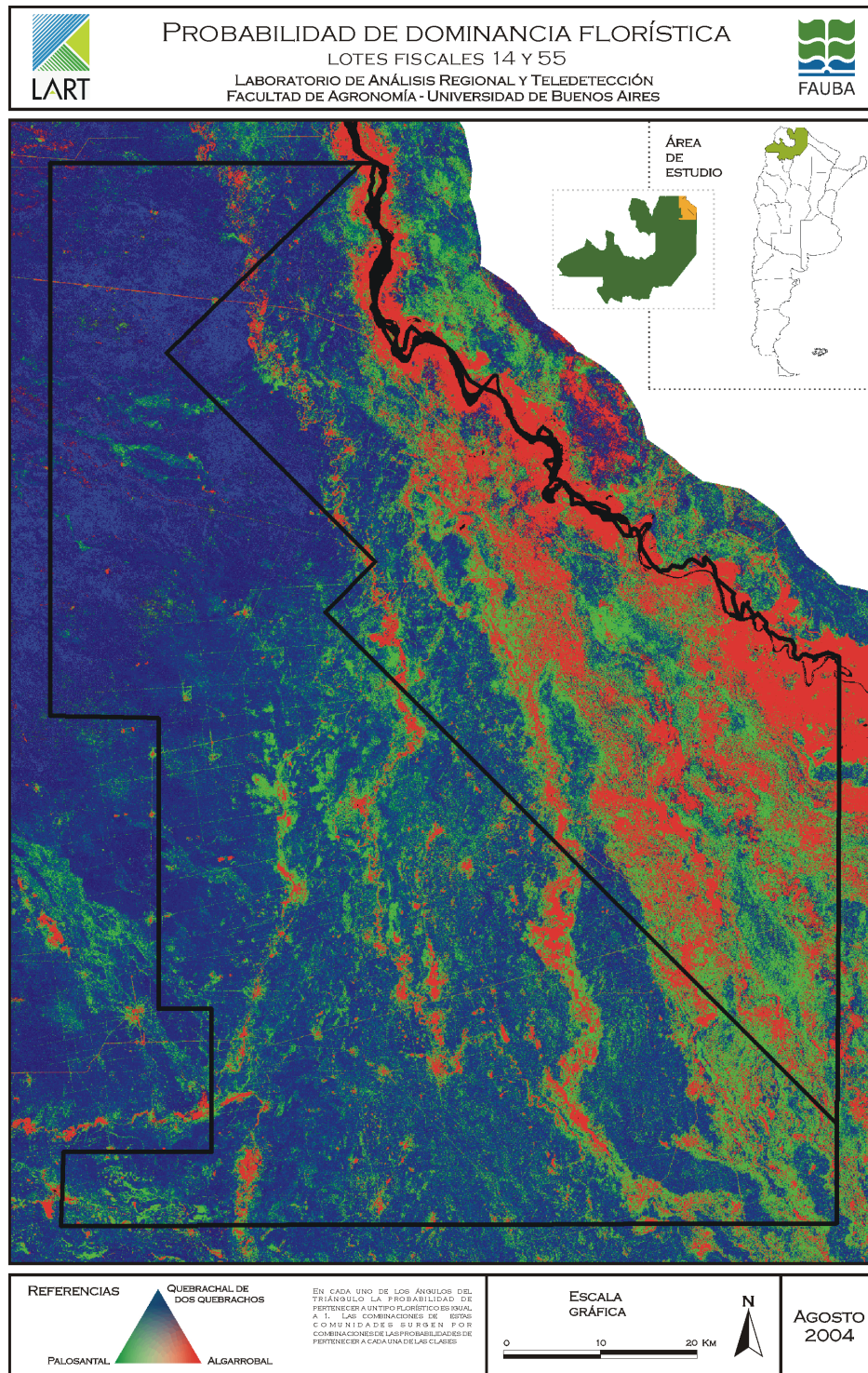


Figura 5. Mapa de probabilidades florísticas, derivado de imágenes Landsat 7 ETM+. Los cuerpos de agua representan sólo el 0.45% del área en estudio (3066 ha), concentrados en el Lote 55 (Figura 6), donde hay 3049 ha, que representan

el 1.3% de la superficie de este Lote. En el Lote 14 hay sólo 17 ha, menos del 1% de su superficie (Tabla 2).

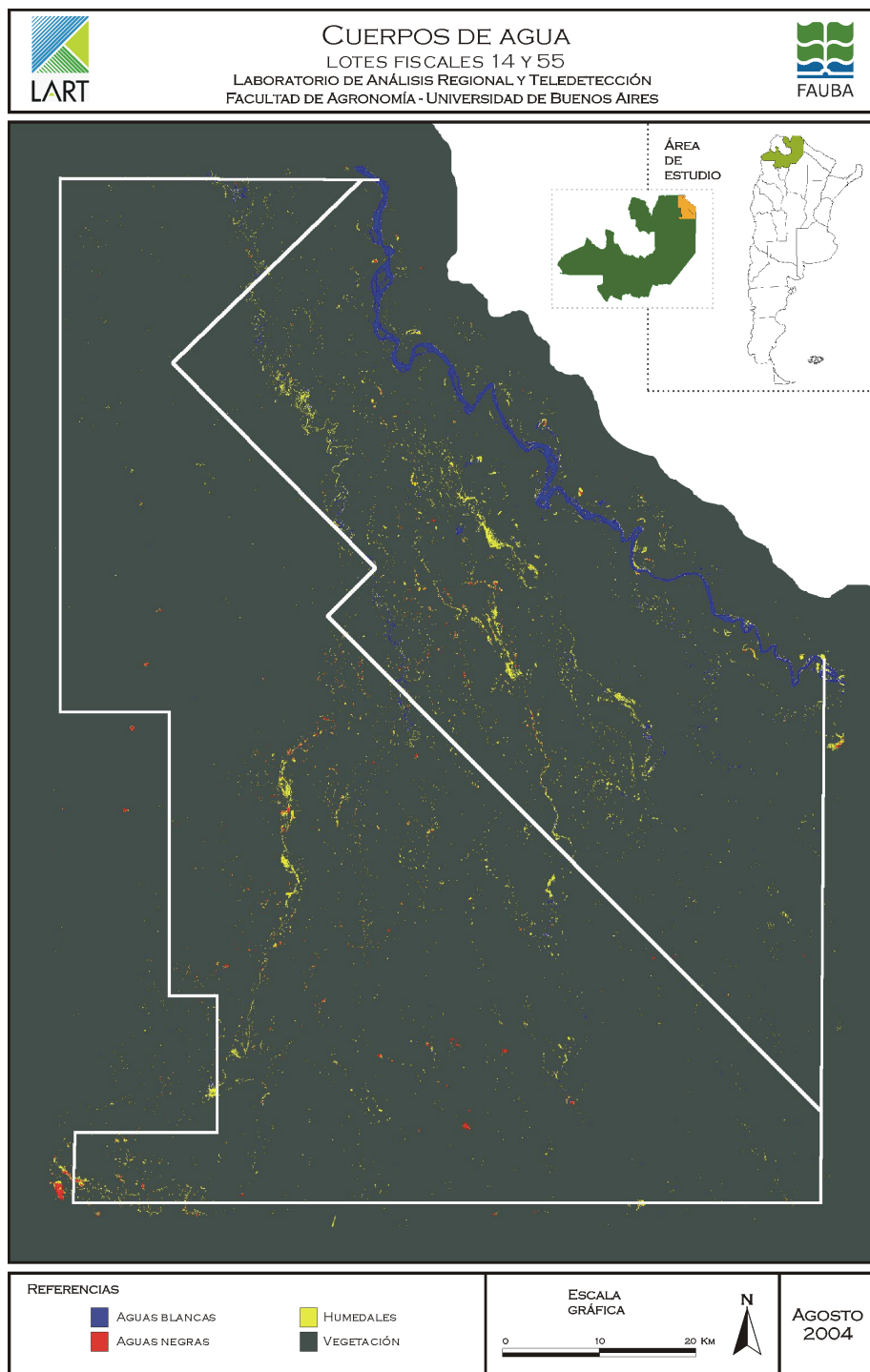


Figura 6. mapa de cuerpos de agua en la época de lluvias, derivado de imágenes Landsat 7 ETM+

Relación entre la vegetación y los suelos:

Con el objetivo de evaluar el grado de asociación entre la vegetación y los suelos, se corregistraron el mapa de vegetación derivado de las clasificaciones con imágenes Landsat 7 (Figura 4) con el mapa de suelos en formato vectorial publicado por Nadir y Chafatinos (1990). Se decidió utilizar este mapa de suelos ya que fue recomendado por varias fuentes de INTA Cerrillos (Volante, com. pers.) y de la Universidad de Salta (Camardelli, com. pers.) por su detalle y precisión para esta zona. Ese mapa de suelos se basa en la clasificación desarrollada por FAO-Unesco (1974). Por lo tanto, la caracterización de la asociación entre suelos y vegetación que sigue a continuación se basa en el estudio de Nadir y Chafatinos (1990) para todo lo que concierne a suelos y en nuestro trabajo para lo que concierne a vegetación.

Los suelos predominantes en el área de estudio son los Xerosoles Lúvicos y Fluvisoles Éútricos, que ocupan más de 407000 (62%) y 172000 (26%) ha respectivamente (Tabla 4). Individualmente, los Bosques densos sobre Xerosol Lúvico ocupan más de la mitad de las dos reservas (55%).

Unidades	Peladares		B. Ralo		B. Intermedio		B. Denso		B. Higrófilo		Total	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Fluvisol Éútrico	26101	88.09	38264	73.19	45753	51.68	49923	10.75	11070	62.95	171112	26
Regosol Éútrico	0	0.00	31	0.06	90	0.10	3872	0.83	0	0.00	3993	1
Solonchack Órtico	65	0.22	345	0.66	1954	2.21	14223	3.06	181	1.03	16767	3
Vertisol Crómico	0	0.00	27	0.05	578	0.65	28824	6.21	27	0.15	29455	5
Xerosol Háplico	1111	3.75	4007	7.67	7755	8.76	8048	1.73	2372	13.49	23347	4
Xerosol Lúvico	2352	7.94	9605	18.37	32409	36.60	359434	77.41	3936	22.38	407754	62
Total	29630	100	52279	100	88539	100	464323	100	17585	100	654116	100

Tabla 4. Asociación entre las clases de vegetación, derivadas de las clasificaciones con imágenes Landsat 7 ETM+ y los tipos de suelo descriptos por Nadir y Chafatinos, 1990.

La distribución de las clases de vegetación presenta cierta asociación con las unidades de suelos descriptas por Nadir y Chafatinos (1990) (Tabla 4). Las clases de vegetación que están más asociadas a un tipo de suelos son los Peladares y los Bosques Densos. La clase Peladares se encuentra predominantemente sobre Fluvisoles Éútricos (88%), mientras que los Bosques Densos están ubicados principalmente sobre Xerosoles Lúvicos (77 %). Los Bosques Ralos, que se encuentran generalmente bordeando a los Peladares, están también en una gran proporción en los mismos suelos que éstos (Figura 7).

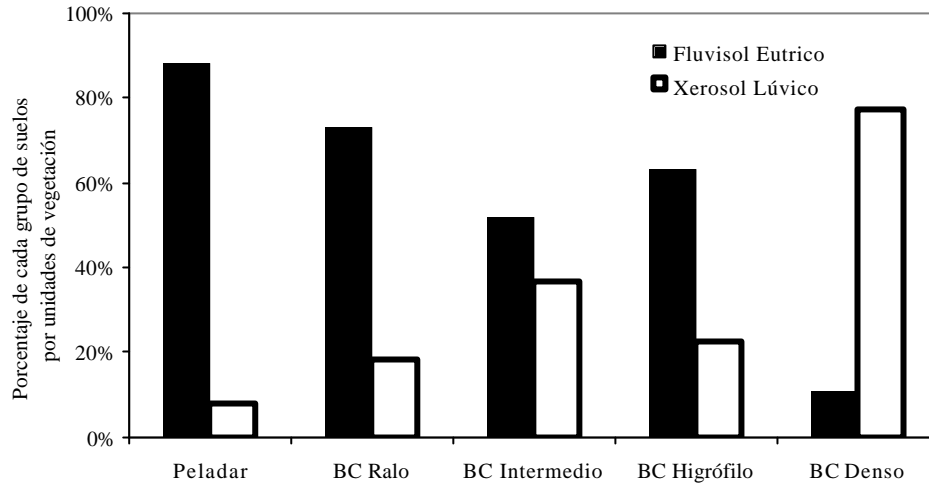


Figura 7. Distribución de los principales grupos de suelos según las unidades de vegetación.

Los Bosques Caducifolios Intermedios e Higrófilos no muestran una distribución tan marcada en algún tipo de suelo en particular, sino que están distribuidos entre los suelos predominantes del área de estudio (Xerosoles Lúvicos y Fluvisoles Éutrícos). Los bosques intermedios se encuentran en un 36 % en Xerosoles Lúvicos y en un 51 % en Fluvisoles Éutrícos, mientras que un 22 % de los Bosques Higrófilos se encuentran sobre Xerosoles Lúvicos y un 62 % sobre Fluvisoles Éutrícos (Figura 7).

Las características de los principales suelos encontrados en los Lotes 14 y 55, se describen en forma resumida en el Anexo C, según FitzPatrick (1996).

Objetivo 2: Caracterización del funcionamiento de la vegetación

Las transferencias de energía y agua entre la atmósfera y la superficie terrestre son dos flujos que resumen una gran parte del funcionamiento de los ecosistemas. Ese intercambio, al que denominamos funcionamiento, nos permite comprender espacial y temporalmente las diferencias y potencialidades de la vegetación. La estructura y el funcionamiento pueden o no estar relacionados: las mismas unidades de vegetación pueden funcionar distinto o unidades distintas pueden tener un comportamiento similar.

El funcionamiento de la vegetación se describió mediante un índice de productividad y un índice de consumo de agua. Estas descripciones son de carácter espacial y temporal.

Variabilidad espacial y estacional del Índice de Productividad (IP):

Las áreas que mostraron mayores valores de índice de productividad media (IP=1) anual fueron aquellas situadas en los márgenes del río Pilcomayo, en su mayoría asociados a los Bosques Higrófilos, seguidos por la zona Noroeste del Lote 14, que corresponde a la clase bosques densos. En las zonas dominadas por Peladares predominan valores bajos de índices de productividad media anual (Figura 8).

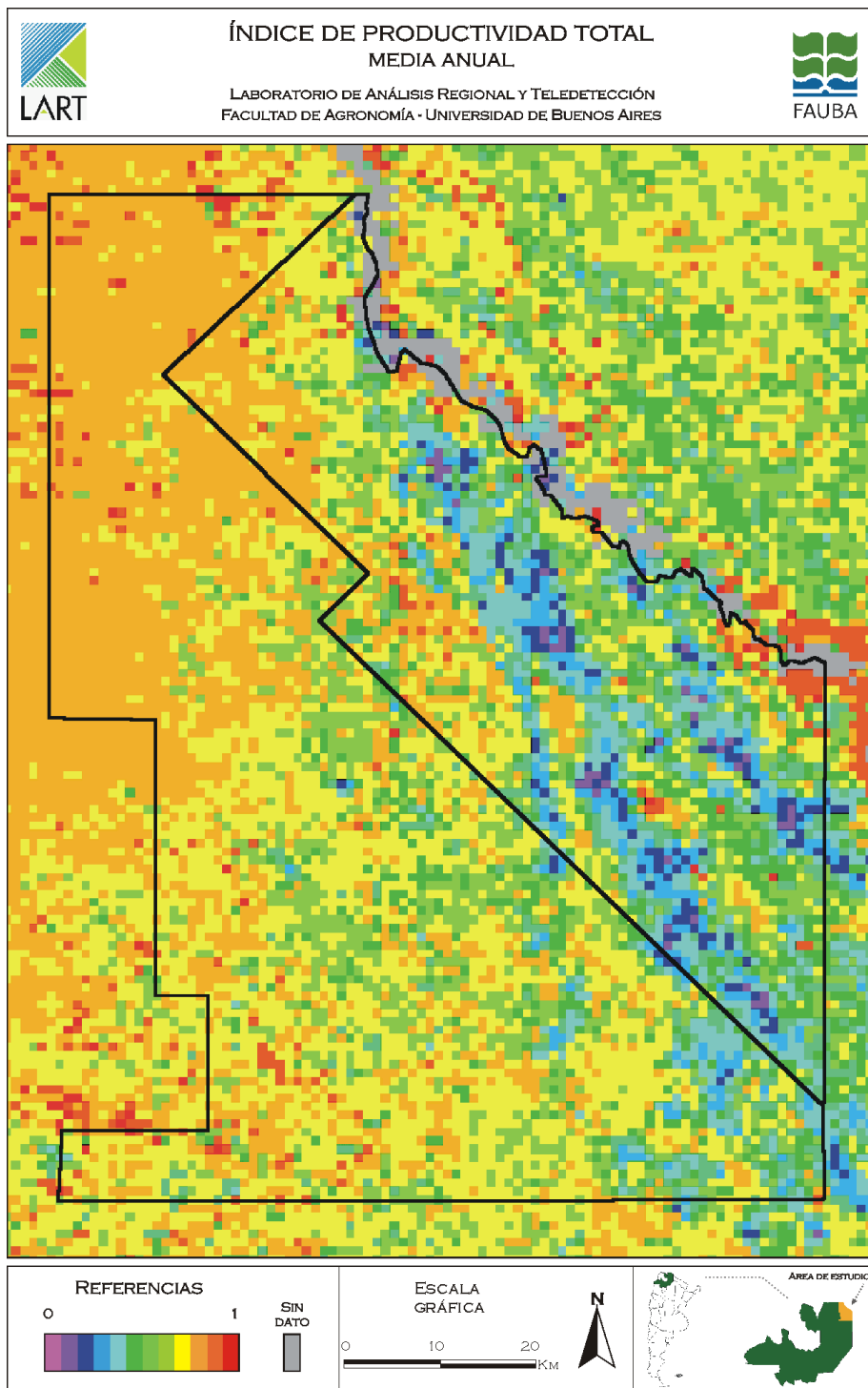


Figura 8. Mapa de Índice de productividad media anual, derivado de imágenes MODIS 1 x 1 Km.

Las clases de vegetación presentaron diferencias en cuanto a su funcionamiento. El índice de productividad promedio fue máximo para los bosques densos y Bosques Higrófilos, y mínimo para los Peladares y los Bosques ralos. Los Bosques Higrófilos fueron los más variables. Los Bosques densos presentaron menor variabilidad, a pesar de ser los que cubren la mayor superficie (Figura 9).

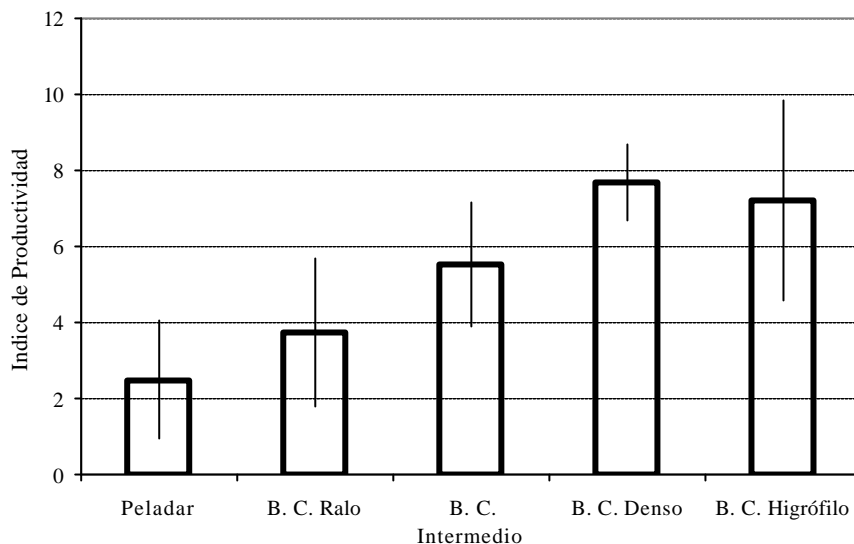


Figura 9. Índice de productividad promedio de cada clase de vegetación para el período 2000-2004. Las barras muestran la variabilidad espacial para todos los píxeles de la clase.

Los valores del índice de productividad para cada clase de vegetación mostraron espacialmente diferente variabilidad. La información de la Figura 9 se complementa con la Figura 10, en dónde es posible apreciar la distribución de la superficie en función del índice de productividad para cada clase de vegetación. Si bien las cinco clases presentan rangos de variación semejantes (Figura 9), los Bosques Densos muestran una distribución unimodal con un máximo en 8, mientras que la de los Peladares resultó polimodal, con un máximo en 1 (Figura 10).

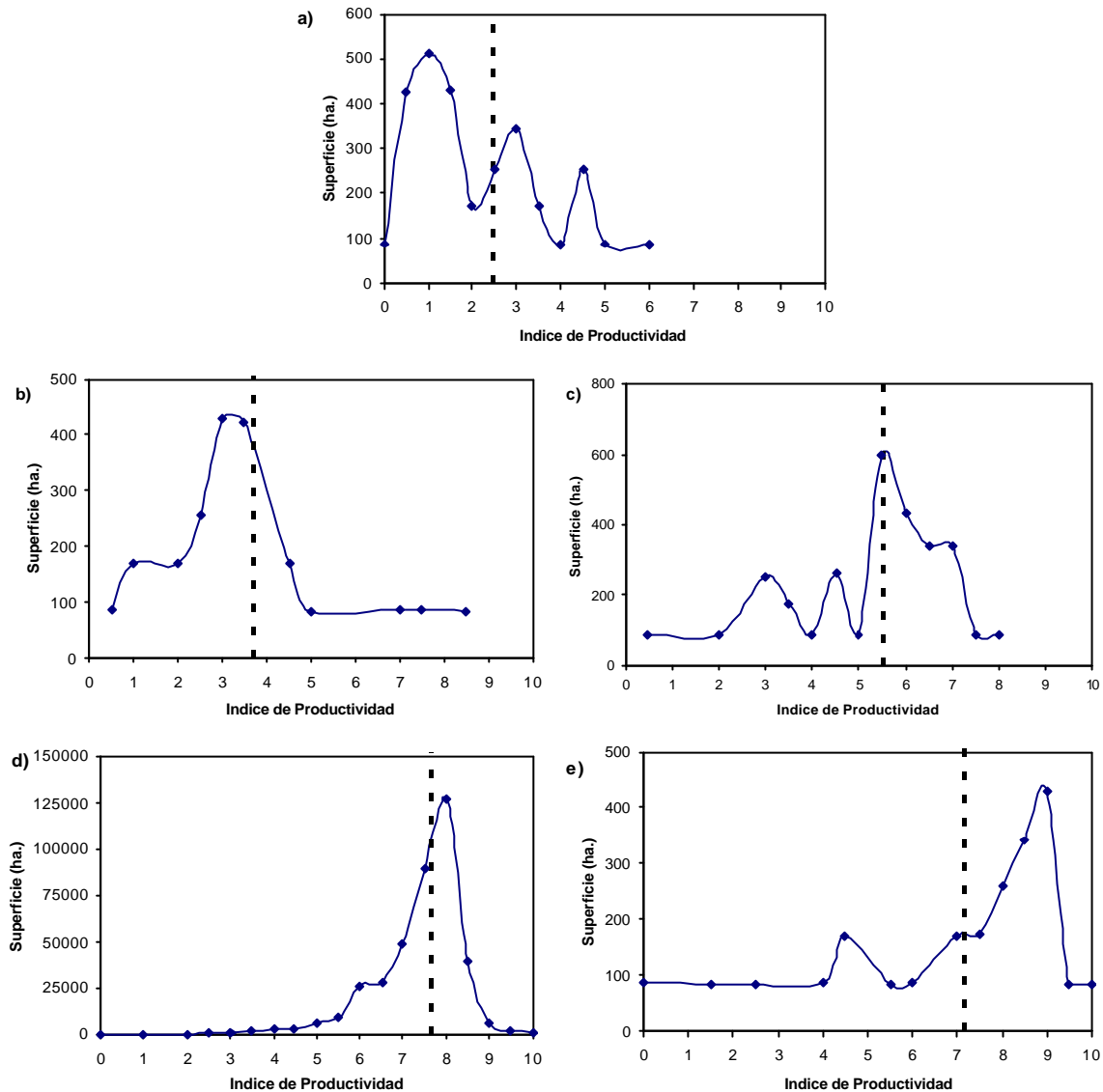


Figura 10. Distribución de la superficie de cada clase de vegetación a lo largo del gradiente de productividad promedio. a) Peladar, b) Bosque Ralo, c) Bosque Intermedio, d) Bosque Denso y e) Bosque Higrófilo. La línea punteada indica el valor medio del Índice de productividad para cada clase de vegetación.

Estacionalmente todas las unidades de vegetación tienen un comportamiento fuertemente estacional que coincide con el período de lluvias y las mayores temperaturas (octubre a marzo). Sin embargo, existieron diferencias entre el funcionamiento de la vegetación dentro y entre las unidades. El índice de productividad varió a lo largo del año para las cinco clases de vegetación: en todos los casos los valores mínimos ocurrieron en Junio y los valores máximos en Enero (Figura 11.a). Los Bosques Intermedios e Higrófilos presentaron valores máximos y mínimos similares. Sin embargo, durante la primavera, los Bosques Higrófilos comienzan su crecimiento más temprano que los Intermedios probablemente por una mayor disponibilidad de agua. Los Bosques Higrófilos fueron los más variables espacialmente a lo largo de todo el año. Todas las clases aumentaron su variabilidad durante los meses de más activo crecimiento (noviembre a marzo) (Figura 11.b).

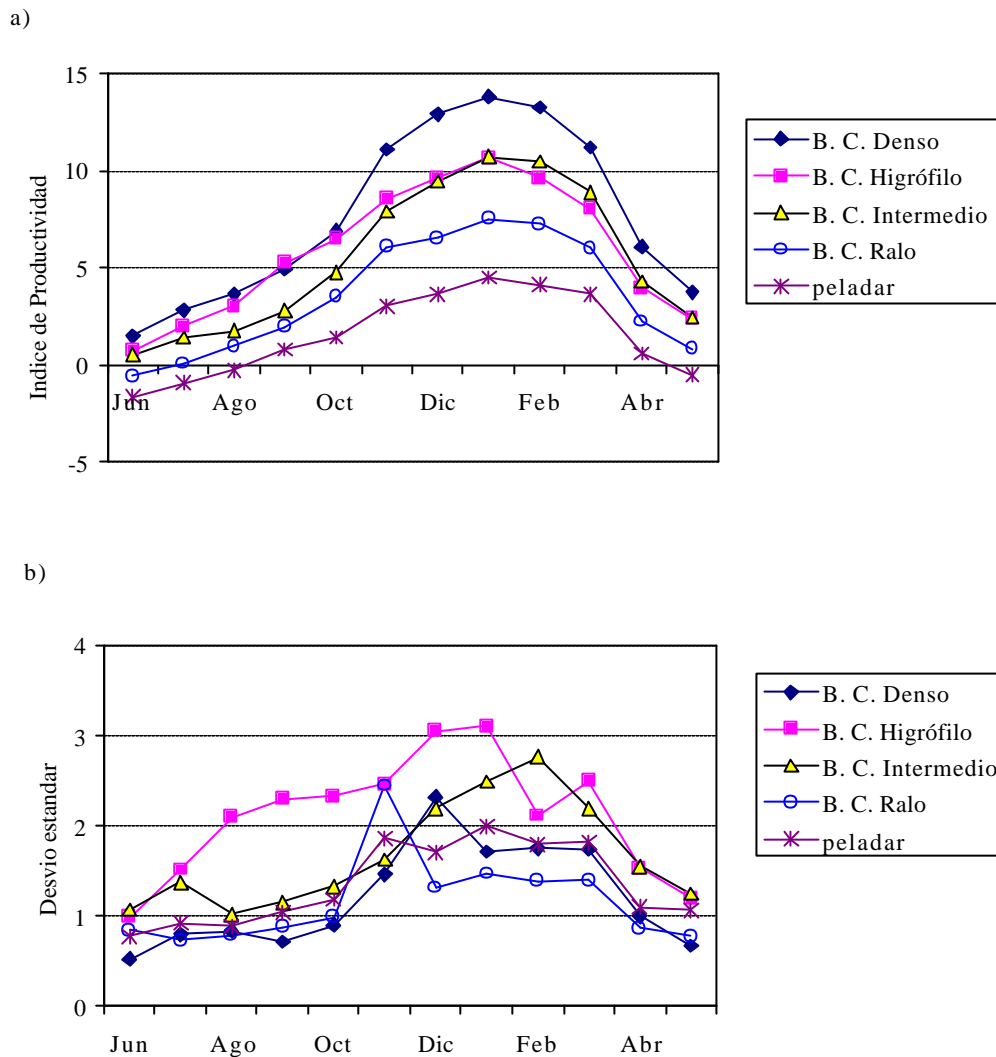


Figura 11. Estacionalidad del índice de productividad y su variabilidad espacial promedio para el período 2000-2004. a) Estacionalidad promedio. b) Desvío estándar.

En la mayor parte del área, el mes de máximo Índice de Productividad promedio de los últimos 4 años (2000-2004) se observó en Enero (Figura 12.a), mientras que los mínimos valores se produjeron en Junio (Figura 12.b). El mes de máximo valor de este índice tiene mayor variación espacial que el mes de mínimo, ya que en la época húmeda se observaron vastas áreas con valores máximos en Febrero, Diciembre y Marzo, mientras que en los meses de invierno, sólo algunas pequeñas áreas tuvieron valores mínimos en algún otro mes que no sea Junio (Figuras 11.a y b).



ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD TOTAL
MES DE MÁXIMA

LABORATORIO DE ANÁLISIS REGIONAL Y TELEDETECCIÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA - UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

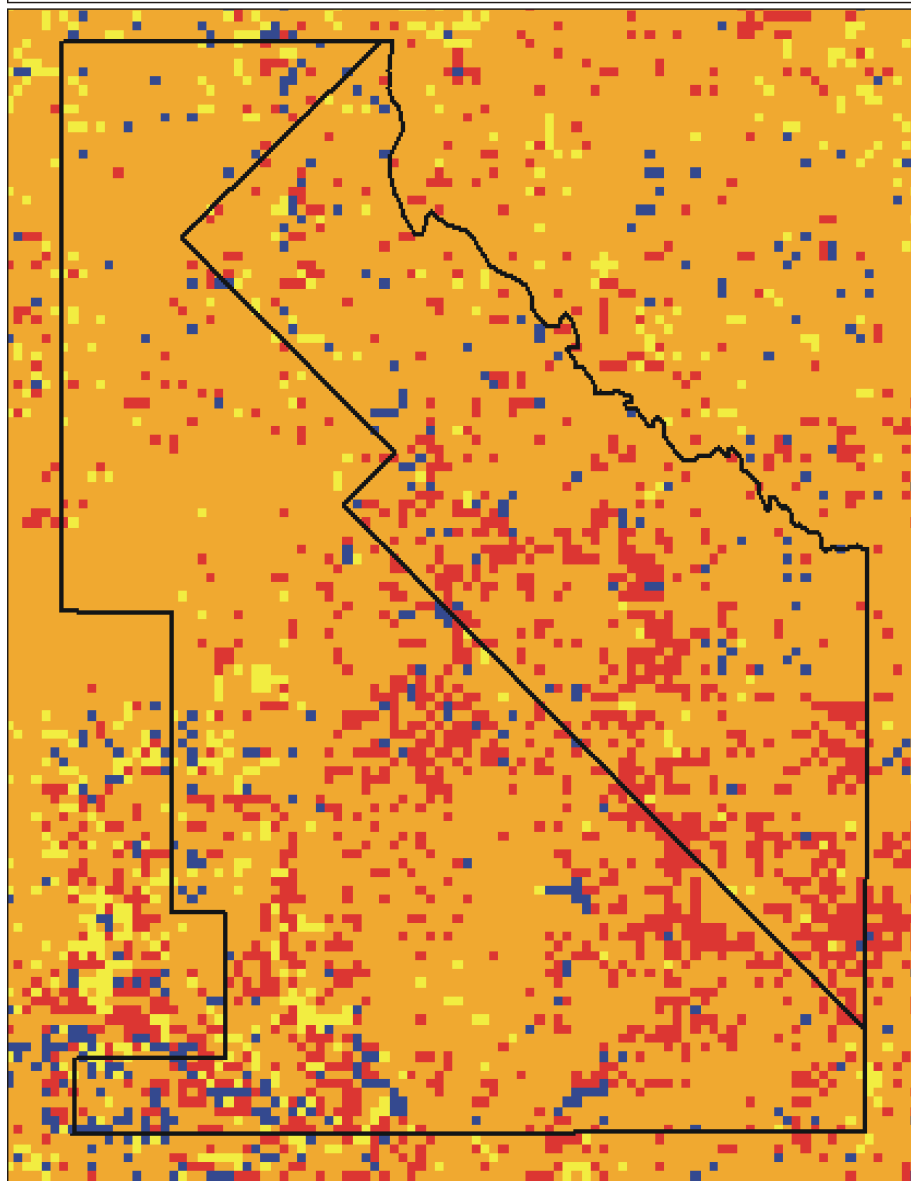


Figura 12.a. Mapa de mes de mínimo Índice de Productividad derivado de imágenes MODIS 1 x 1 Km.



ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD TOTAL MES DE MÍNIMA

LABORATORIO DE ANÁLISIS REGIONAL Y TELEDETECCIÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA - UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

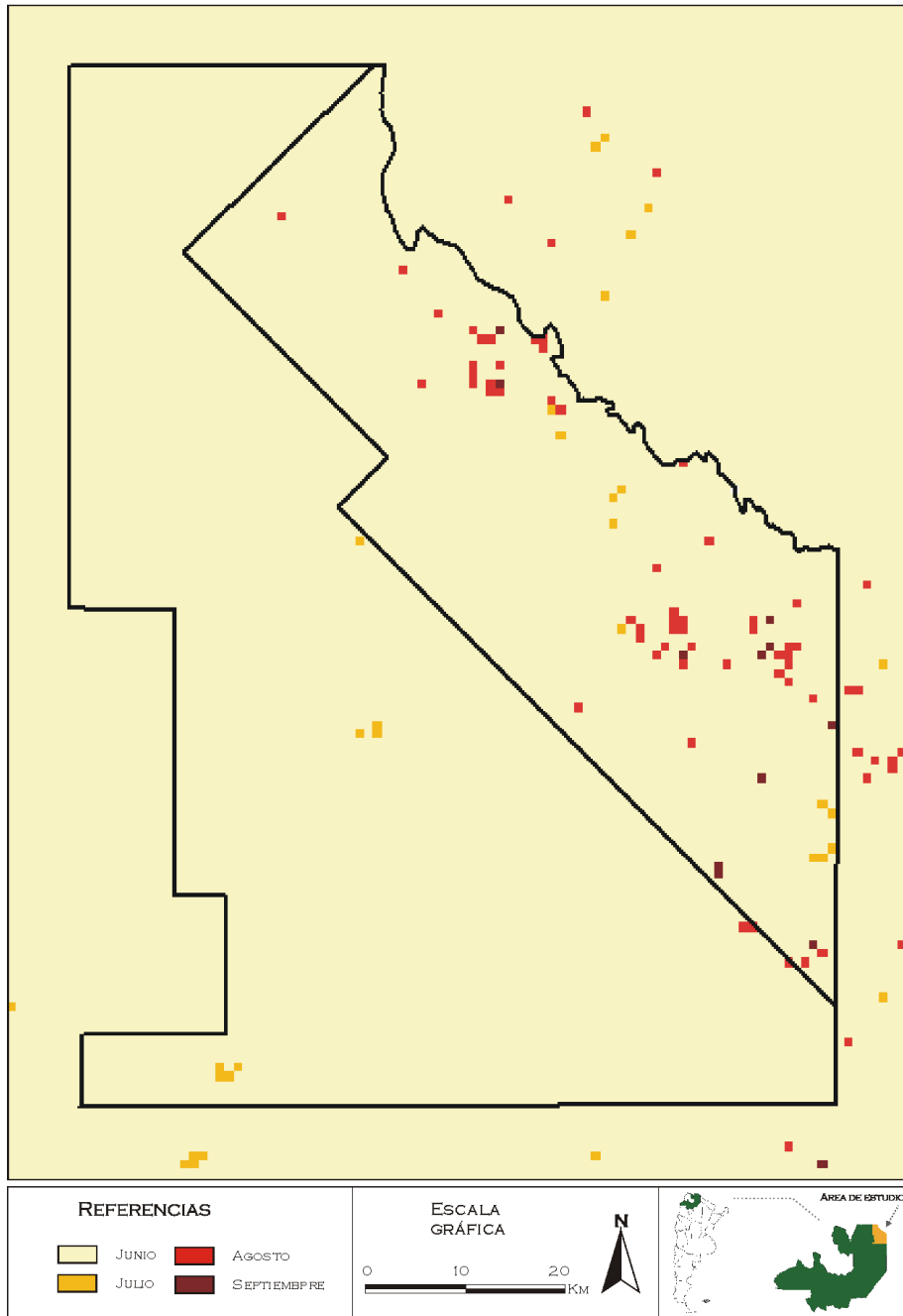


Figura 12.b. Mapa de mes de mínimo Índice de Productividad derivado de imágenes MODIS 1 x 1 Km.

La variación estacional a lo largo del año del índice de productividad promedio fue estimada mediante el coeficiente de variación ($cv = \text{desvío estándar}/\text{promedio}$). La zona con menor coeficiente de variación estacional promedio del Índice de Productividad es la región Noroeste del Lote Fiscal 14, área asociada a la clase Bosques Densos. La zona Sudeste del Lote Fiscal 14, y el Este del Lote Fiscal 55 presentaron mayores coeficientes de variación de este índice (Figura 13).

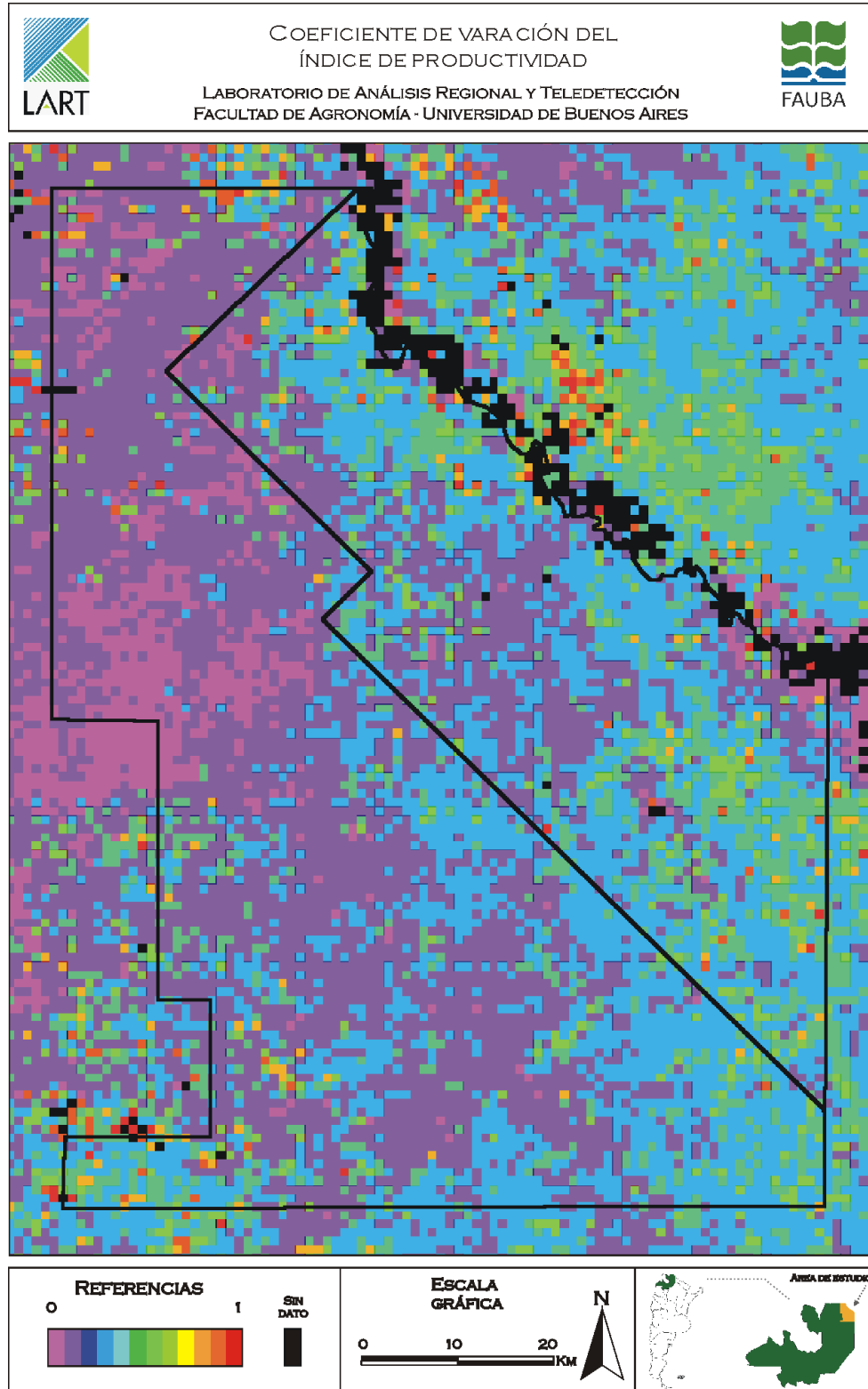


Figura 13. Mapa de coeficiente de variación estacional promedio del Índice de Productividad.

Índice de consumo de agua:

El área Noroeste del Lote 14, cubierta principalmente por Bosques Densos, mostró valores altos de consumo de agua, mientras que la zona Centro-Sur de este mismo Lote, mostró áreas con valores más bajos. El área cubierta por Peladares y Bosques Ralos mostró valores más bajos de consumo de agua (Figura 14).

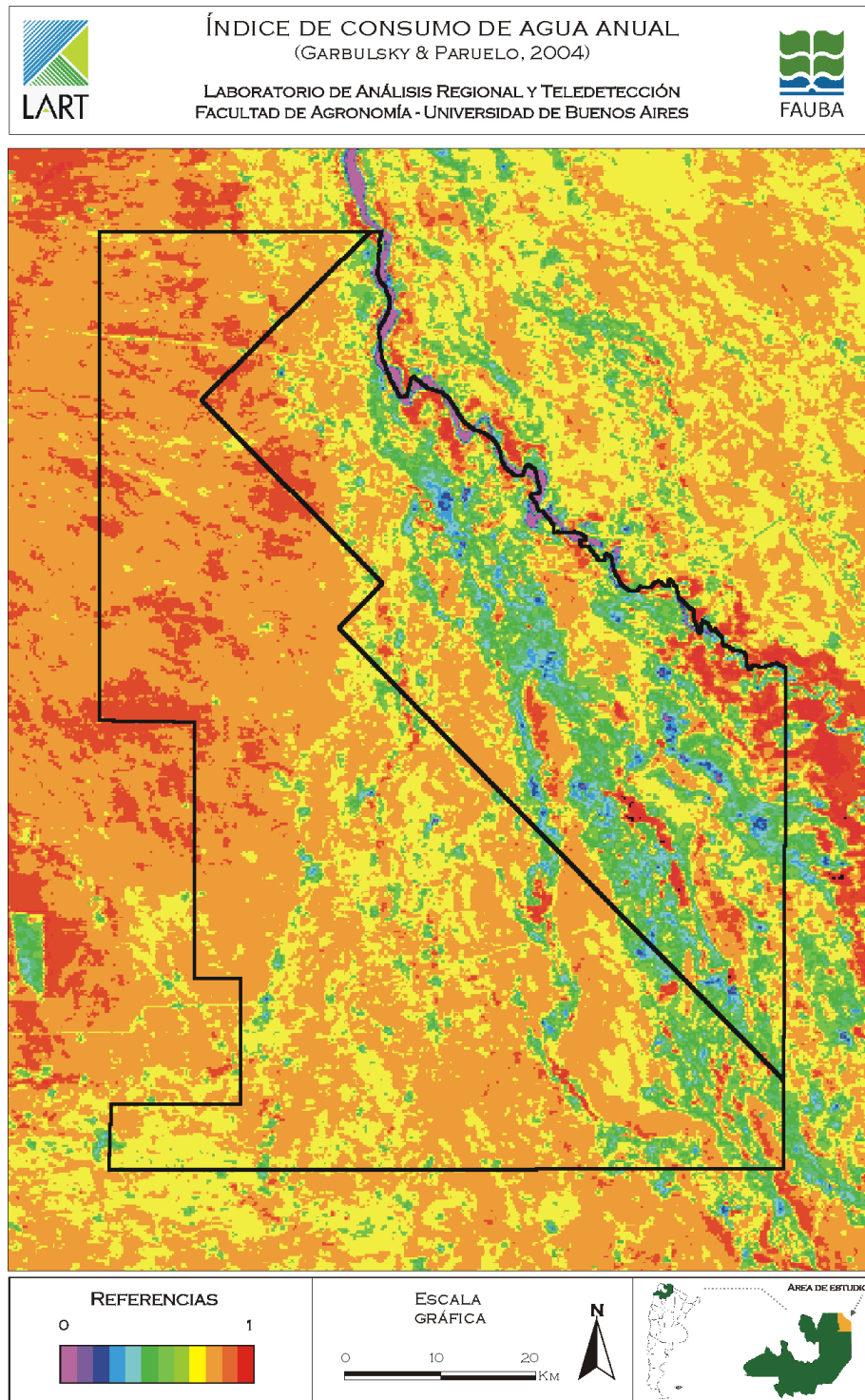


Figura 14. Mapa de índice de consumo de agua promedio anual (2000-2004) derivado de imágenes MODIS 250 x 250 metros, a partir de la ecuación desarrollada por Garbulsky y Paruelo (2004).

El índice de consumo de agua presentó una importante variabilidad espacial. El Bosque Higrófilo presentó los valores mayores y los Peladares los menores. La cantidad de agua consumida en los Bosques Higrófilos fue el doble que en los Peladares. Al igual que en el índice de productividad, los Bosques densos mostraron la menor variabilidad espacial dentro de la clase (Figura 15).

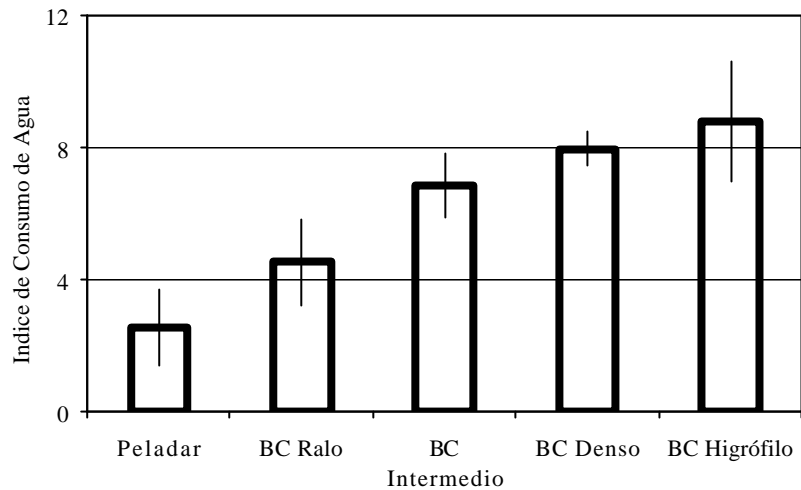


Figura 15. Índice de consumo de agua promedio para las unidades de vegetación. Las barras de dispersión muestran el desvío estándar espacial de cada clase de vegetación.

Los meses de máximo índice de consumo de agua fueron Enero para el Lote Fiscal 14, y Febrero para el Lote Fiscal 55. En este último, las áreas asociadas a los Peladares presentaron los valores máximos durante el mes de Marzo (Figura 16.a). El momento de mínimo consumo de agua presentó gran variación espacial. Estuvo repartido en proporciones semejantes entre los meses de Junio, Julio y Agosto. El Noroeste del Lote 14 presentó su mínimo consumo de agua en el mes de Junio, mientras que la zona Centro-Sur de éste tuvo sus mínimos valores durante el mes de Julio, y gran parte del Lote 55 en el mes de Agosto (Figura 16.b).



MES DE MÁXIMA DEL ÍNDICE DE CONSUMO DE AGUA
(GARBUSKY & PARUELO, 2004)

LABORATORIO DE ANÁLISIS REGIONAL Y TELEDETECCIÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA - UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

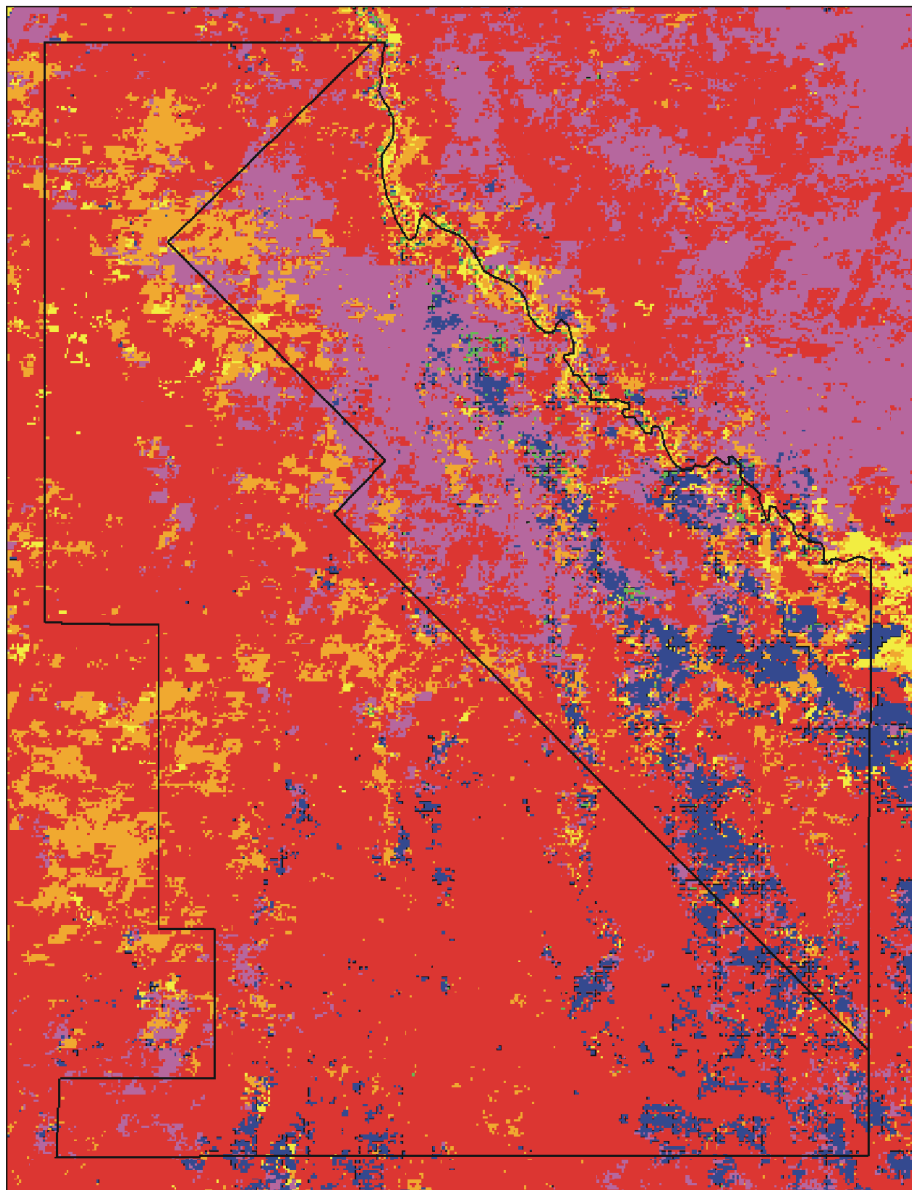


Figura 16 a.. Mapa de mes de máximo índice de consumo de agua, derivado de imágenes MODIS 250 x 250 metros.



MES DE MÍNIMA DEL ÍNDICE DE CONSUMO DE AGUA
(GARBUSKY & PARUELO, 2004)

LABORATORIO DE ANÁLISIS REGIONAL Y TELEDETECCIÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA - UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

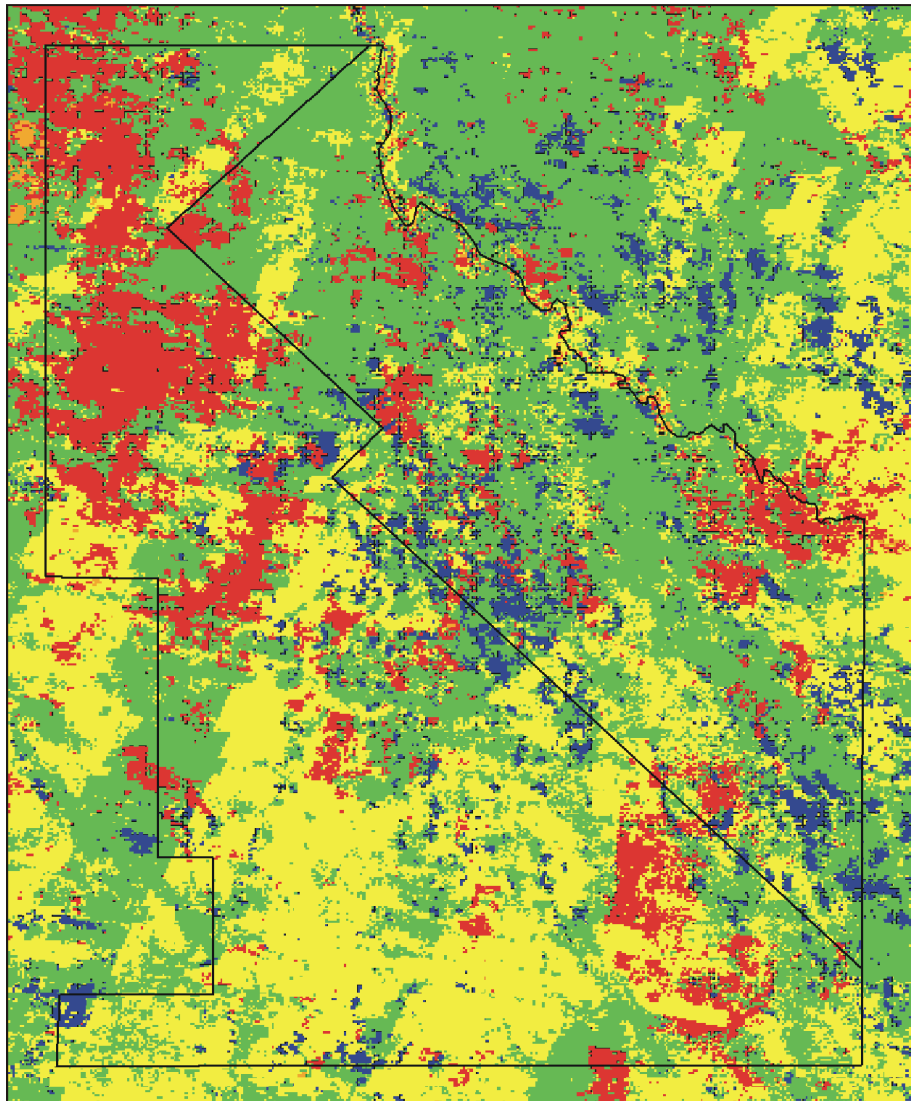


Figura 16 b. Mapa de mes de mínimo índice de consumo de agua, derivado de imágenes MODIS 250 x 250 metros.

El coeficiente de variación, un estimador de la variabilidad estacional de consumo de agua, fue máximo en la zona este del Lote Fiscal 55 y en el extremo sueste del Lote Fiscal 14, mientras que la franja central, que va de Norte a Sur tuvo los menores coeficientes de variación (Figura 17).

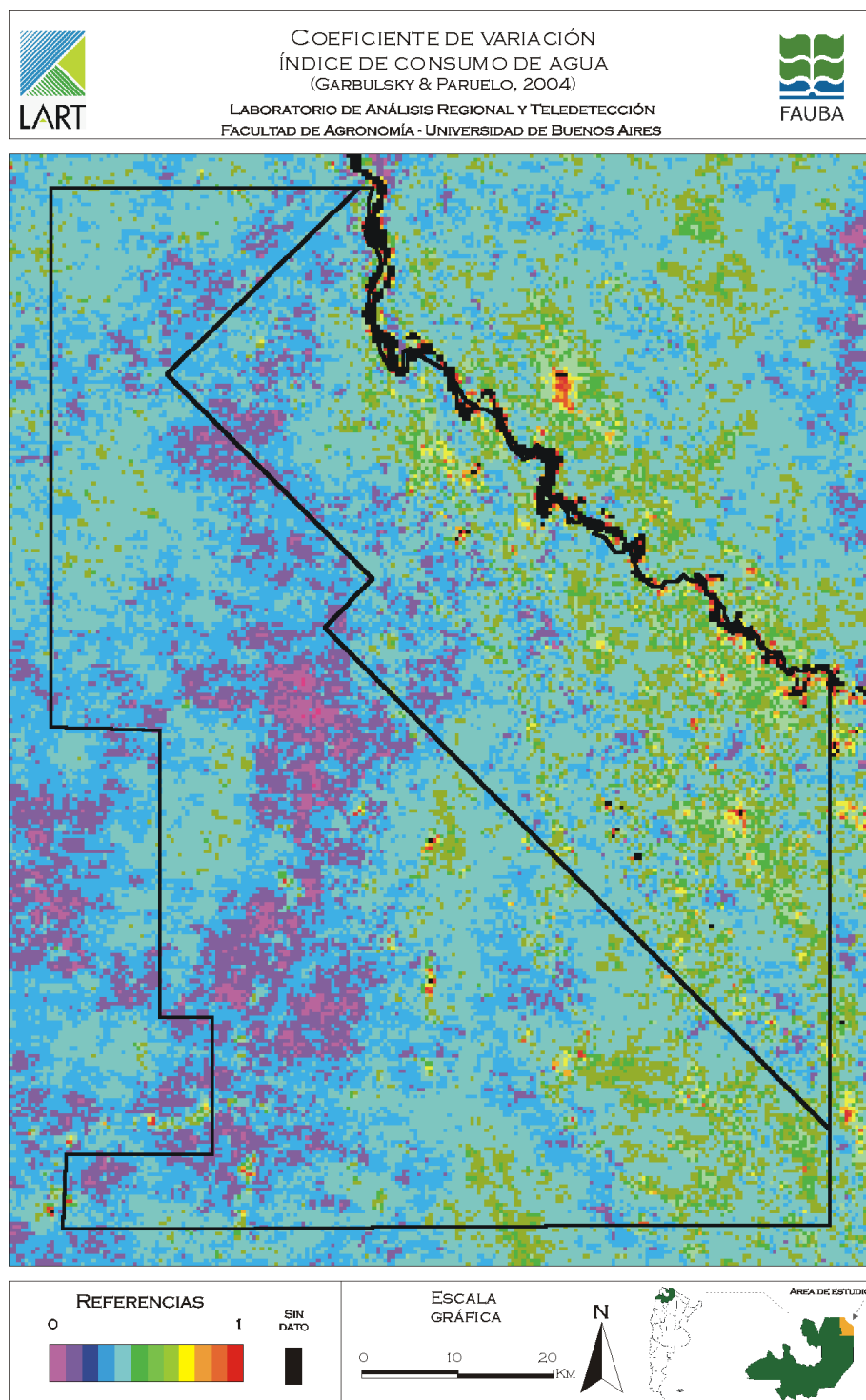


Figura 17. Mapa de coeficientes de variación del Índice de consumo de agua.

Tendencia de largo plazo del funcionamiento de la vegetación:

Durante los últimos 20 años el funcionamiento de la vegetación de la zona de estudio respondió a variaciones climáticas y de uso de la tierra. El IVN promedio anual mostró variaciones diferenciales según las clases de vegetación. Especialmente, la variación del IVN a lo largo del tiempo presentó heterogeneidad. El área con mayor disminución del IVN durante el período analizado fue la zona Noroeste del Lote Fiscal 14, área dominada por Bosques Caducifolios Densos. En la zona Centro y Centro Sur del área de estudio los cambios negativos fueron menores que en el Noroeste del Lote 14. Al Este del Lote Fiscal 55 hay una zona donde no hubo cambios en el IVN (Figura 18.b). En términos generales, para toda el área incluida en los Lotes Fiscales, en los últimos 20 años se produjo una disminución del IVN independientemente de la clase de vegetación. Sin embargo, estos cambios negativos no se observaron sólo en el área de estudio, sino que también se observaron alrededor de ésta. Al Este del área de estudio, en la provincia de Formosa, y sobre un área costera del río Pilcomayo se puede identificar zonas con aumentos significativos de IVN durante el período analizado (Figura 18.a).

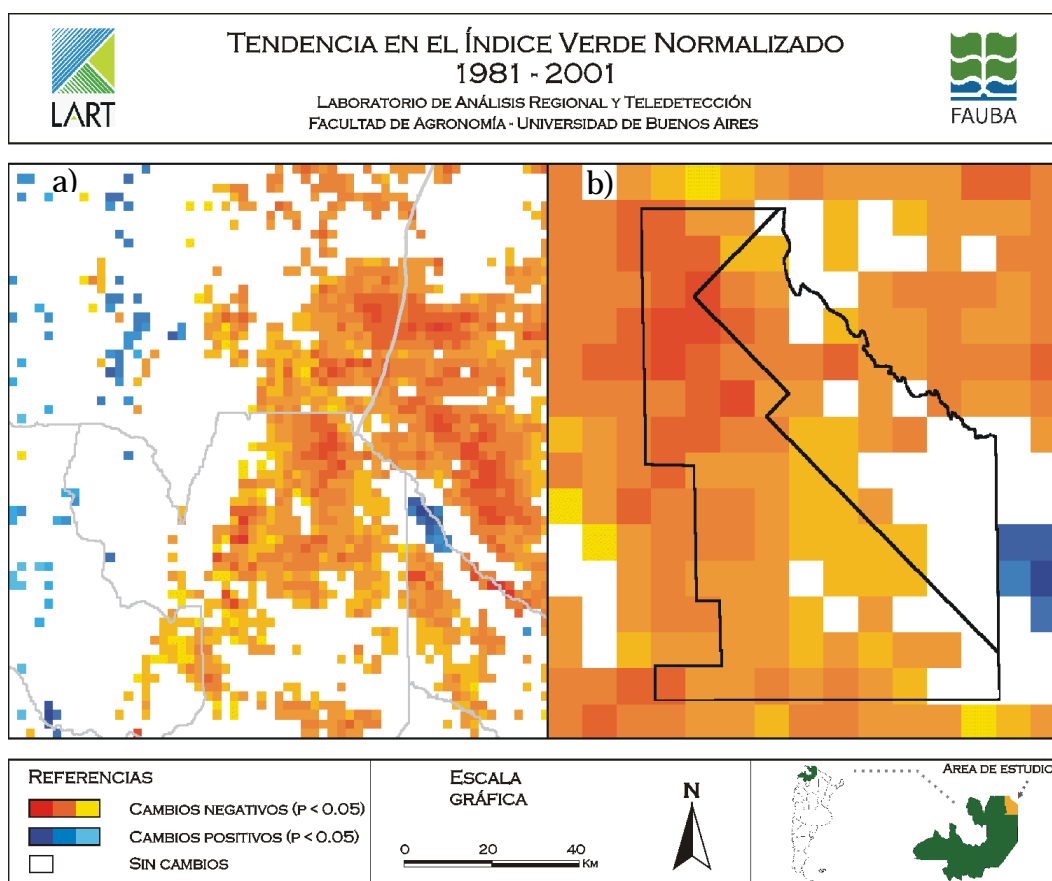


Figura 18. Mapa de tendencia del IVN en el período 1980-2000, derivado de imágenes NOAA/AVHRR, para el noroeste argentino (a) y para el área de estudio (b).

En los Bosques Ralos, Intermedios e Higrófilos la variabilidad en el IVN no tuvo una tendencia temporal definida, sino que existieron ciclos de aumento o de disminución. Sin embargo, la clase Bosques Densos mostró una marcada

tendencia negativa en el IVN a lo largo de los últimos 20 años. Esta tendencia podría estar relacionada con los impactos de los diferentes usos de esa vegetación (ganadero, explotación de madera o agrícola) sobre su funcionamiento, provocando una disminución en su productividad. Por el contrario, los Peladares presentaron una tendencia positiva en el IVN de menor magnitud y menor significancia (Figura 19).

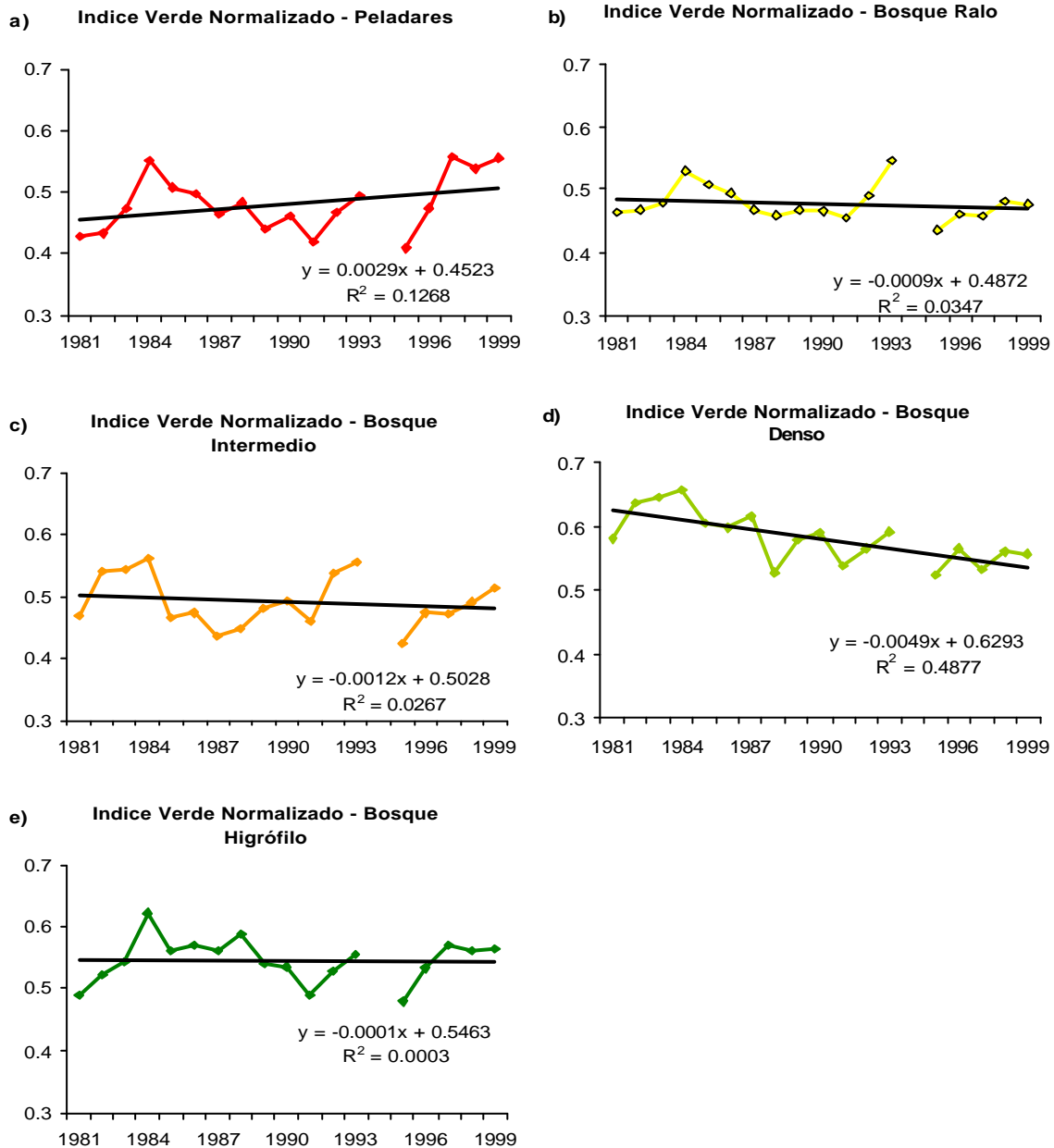


Figura 19. Tendencia del IVN de cada clase de vegetación, derivados la serie temporal de imágenes NOAA/AVHRR 1981-2000. a) Peladares, b) Bosques Ralos, c) Bosques Intermedios, d) Bosques Densos, y e) Bosques Higrófilos.

En términos de consumo de agua los Peladares y los Bosques Higrófilos muestran una tendencia positiva, mientras que las demás clases de vegetación no tienen una tendencia definida (Figura 20).

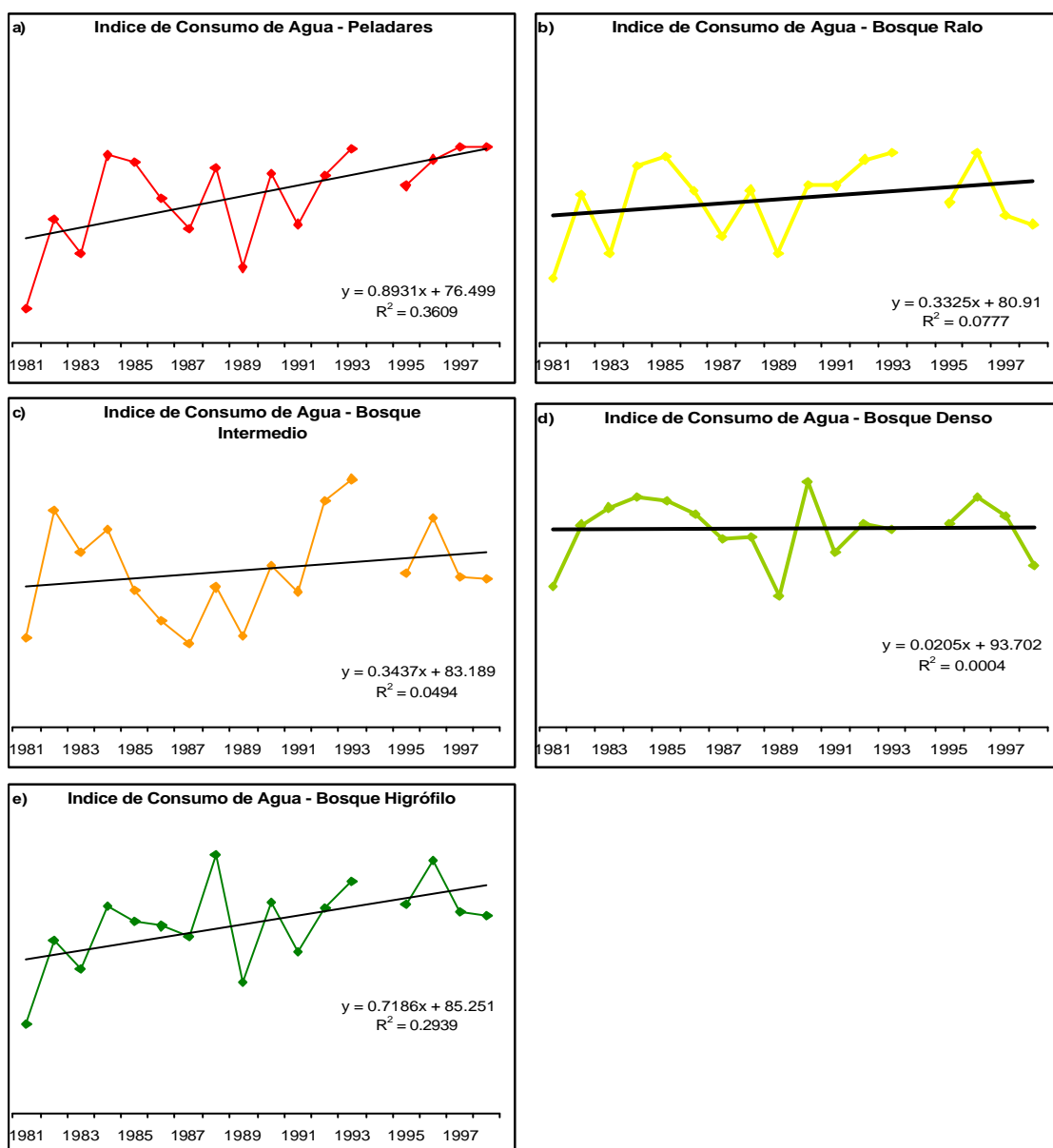


Figura 20. Tendencia del Índice de consumo de agua para cada clase de vegetación, derivado de la serie temporal de imágenes NOAA/AVHRR. a) Peladares, b) Bosques Ralos, c) Bosques Intermedios, d) Bosques Densos, y e) Bosques Higrófilos.

CONSIDERACIONES FINALES

En el marco planteado en la Figura 1, este trabajo provee al proceso de ordenamiento territorial de los lotes 14 y 55 una exhaustiva descripción de la heterogeneidad de los recursos naturales. Si bien la escasa información disponible para el área pone un límite a la descripción de éstos, el uso de imágenes de satélites y de modelos conceptuales que vinculan las características espectrales de la superficie con procesos biológicos, permitió conocer aspectos centrales de la variación espacial y temporal de la vegetación.

En cuanto al primer objetivo, describir la heterogeneidad de la vegetación, el mapa generado muestra una importante coincidencia con las unidades identificadas por Zapater de del Castillo (1985). Dado que esa descripción no fue usada en el proceso de clasificación la coincidencia brinda una medida cualitativa de la bondad de la descripción generada en este trabajo. Nuestro trabajo permitió mapear con mayor definición espacial las unidades oportunamente descritas por este autor. Esto representa un avance importante, ya que por ejemplo es posible conocer la superficie de cada una de las unidades definidas. No todas las unidades de vegetación del estudio citado pudieron ser discriminadas correctamente con las imágenes satelitales. Por ejemplo la unidad U.f.6.4 (Quebrachal con Palo santo) no se diferenció espectralmente de la unidad U.f.6.5 (Quebrachal-palosantal). Sin embargo, en el mapa de probabilidades florísticas (Figura 5) se puede reconocer una mayor cantidad de áreas con alta probabilidad de pertenecer a la clase “Palosantal” en el área correspondiente a la U.f.6.5 (quebrachal-palosantal) que en el área clasificada como U.f.6.4 (Quebrachal con palo santo) de este autor. Por otra parte la asociación entre vegetación y suelos muestra que los factores edáficos son en gran medida responsables de la heterogeneidad percibida.

En cuanto al segundo objetivo de este trabajo, los mapas de los índices de productividad y consumo de agua proveen una medida del potencial del área. Si bien la ausencia de datos locales no permitió calibrar los valores de estos índices con medidas físicas de materia seca o agua, las diferencias en el espacio reflejan diferencias en las posibilidades de uso del territorio. La diferencia en los valores promedio de índice de productividad y de consumo de agua dentro de una misma clase de vegetación, como es el caso de los bosques densos (Figuras 7 y 13), permitiría inferir que si bien son estructural y florísticamente similares podrían considerarse como clases diferentes desde el punto de vista funcional. Debido a esto, deberían ser consideradas también en forma diferencial desde el punto de vista del manejo.

La distribución de agua superficial es heterogénea y la superficie ocupada por cuerpos de agua es escasa. Esto plantea un serio problema para el uso ganadero ya que el agua de bebida puede pasar a ser una seria limitante en algunas zonas, principalmente del lote fiscal 14. Sería fundamental contar con información sobre las posibilidades de uso del agua subterránea.

El análisis de los cambios en la productividad y el consumo de agua durante las últimas dos décadas señala la existencia de un serio problema ambiental. La producción de materia seca ha disminuido y el consumo de agua ha aumentado durante estos años. Esto impacta seriamente en la eficiencia en el

uso del agua de la región que habría entonces disminuido. Algunas de esas variaciones estarían relacionadas con la variabilidad climática característica de la zona pero también con cambios climáticos regionales: aumentos de las temperaturas y/o disminución de las precipitaciones. Lamentablemente no podemos profundizar en esto ya que no disponemos de datos locales de clima para evaluar tendencias. Otras de las variaciones, en cambio, estarían relacionadas con cambios producidos en el uso de la tierra, como aumento de la carga animal, cambios en las áreas cultivadas o modificaciones producidas por la extracción de madera o desmontes.

La tendencia más negativa de la productividad se observa en la zona noroeste del lote 14, donde se encuentran los bosques densos, con mayores valores de productividad y de consumo de agua, donde abundan quebrachales y palosantales, lo que indicaría que son justamente los bosques más valiosos los que sufrieron el mayor deterioro en estos últimos 20 años. Por el contrario, las áreas de peladares y los bosques densos de menor productividad tuvieron menor o a veces nulo deterioro en este mismo período (Figura 17). Esto podría indicar que estas últimas áreas sufrieron deterioro en períodos previos, y que en los últimos veinte años no hubo más deterioro porque muchos de los recursos (madera, recursos forrajeros, etc.) ya estaban agotados.

El conocimiento de los patrones de productividad y consumo de agua y de las variaciones estructurales de la vegetación no resuelve por sí solo el problema de distribución de tierras ni define los usos posibles. Sin embargo, provee elementos objetivos para encarar esta tarea. Para ello es necesario contar con elementos asociados a las decisiones políticas que los actores involucrados y el estado deben tomar. A partir de ellas (y no antes) se podrán decidir las superficies asignadas a cada uno de los grupos involucrados y decidir los potenciales usos. Hay, no obstante, algunos puntos que deberían considerarse seriamente a la hora de tomar las decisiones:

1. Los ecosistemas involucrados son frágiles y estarían sufriendo un proceso de deterioro importante. La caída en la eficiencia en el uso del agua (kg de biomasa producidos por mm de agua consumida) estaría indicando este proceso.
2. Es altamente probable que la ganadería vacuna esté acelerando procesos de deterioro ambiental. La degradación de los ecosistemas afecta su productividad forrajera y produce una retroalimentación negativa al sistema ganadero ya que disminuye la receptividad de los campos. Si la carga no se ajusta, esto produce más deterioro. Romper este círculo vicioso es esencial para generar sistemas sustentables desde el punto de vista social, económico y ambiental. Sería recomendable pensar en la posibilidad de generar corredores o áreas relicto, evitando así el avance del deterioro que pueda estar ocasionando la ganadería en estas áreas.
3. Si bien el trabajo realizado no permite identificar claramente los mecanismos de deterioro por uso ganadero, es probable que la carga animal no sea el único problema. Esto hace que su reducción *per se* no solucione los problemas. La distribución espacial del pastoreo en sistemas de pastoreo continuo (muy asociado a la distribución de las

aguadas) estaría generando áreas de sobre y sub-pastoreo que potencian el proceso de deterioro ecosistémico.

4. La agricultura o la implantación de pasturas perennes solo sería una alternativa en áreas pequeñas, debido básicamente a las limitantes determinadas por las condiciones edáficas, y las dificultades técnicas para mejorar los suelos. Difícilmente puedan constituirse en la principal fuente de forraje. Esta seguirá siendo la vegetación natural. Si bien es importante realizar estudios de factibilidad de implantación de otras fuentes de forraje, resulta prioritario avanzar en el estudio de los recursos forrajeros naturales.
5. La confinación de la ganadería en parcelas de un único propietario, independientemente de donde se las ubique, tendrá consecuencias muy negativas sobre la sustentabilidad de la explotación. Sin subdivisiones internas (los costos superan ampliamente las posibilidades de un productor individual) no existen posibilidades de manejo del pastoreo (rotaciones, pastoreo diferido, descansos) y el deterioro de la vegetación y la reducción de la productividad ganadera serían inevitables. Difícilmente pueda generarse un sistema sustentable sin formas asociativas de manejo ganadero y con una adecuada planificación de los pastoreos y las cargas a nivel zonal o regional.

GLOSARIO

A continuación se da una breve explicación de las palabras técnicas empleadas en este informe:

Albedo: es la fracción de energía electromagnética reflejada por un cuerpo o superficie.

Algoritmo "K-means": algoritmo de clasificación no supervisada; permite dividir un conjunto de datos en K grupos mediante su partición por el método de cuadrados mínimos.

APAR: radiación fotosintéticamente activa absorbida.

Banda: rangos de longitudes de onda en los que el sensor puede captar la energía reflejada.

Clasificación:

No supervisada: metodología empleada para detectar diferencias de tipos de cobertura de suelo, a partir de las características espectrales de éstos, sin utilizar información de campo, basándose sólo en las diferencias espectrales.

Supervisada: metodología empleada para detectar diferencias de tipos de cobertura de suelo, a partir de las características espectrales de éstos, utilizando información de campo para entrenar los modelos matemáticos.

Coefficiente de variación: medida de la variabilidad de los datos que permite evitar problemas asociados a la dimensionalidad de las variables ya que tiene en cuenta la proporción existente entre medias y desviación típica. Se define como $CV = s / \bar{x}$, siendo s el desvío estándar y \bar{x} la media muestral

Comportamiento espectral: forma característica de la reflectancia de los distintos tipos de cobertura del suelo en las distintas bandas en que el sensor, ubicado en el satélite, capta la energía solar.

CONAE: Comisión Nacional de Actividades Espaciales, organismo que provee en Argentina imágenes de diferentes satélites.

Espectro electromagnético: es la energía transmitida a través del espacio en la forma de ondas eléctricas y magnéticas.

FPAR: fracción del PAR interceptada por la vegetación verde.

Índice de Consumo de Agua: es un indicador de la cantidad de agua que es transpirada por la vegetación y de aquella evaporada desde la superficie del suelo.

Índice de Productividad: es un indicador de la Productividad Primaria Neta, que representa la producción de biomasa (ramas, tronco, hojas, etc.) de la vegetación.

Índice Verde Normalizado: calculado a partir de las bandas 3 y 4, este índice da una idea de la actividad fotosintética de la vegetación..

Iteración: repetición de un proceso de cálculo determinado, mejorando en cada repetición los resultados del análisis.

Landsat 7: satélite norteamericano, en cuya plataforma está montado el sensor ETM+, que provee información de reflectancia en 9 bandas, con una resolución espacial (pixel) de 15 a 60 metros, y una resolución temporal de 16 días.

Organización horizontal: se refiere a la disposición de las plantas en una superficie determinada. Hace referencia a la distancia entre la copa de los árboles de los distintos estratos.

Organización vertical: se refiere a la altura de los distintos estratos de la vegetación.

PAR: radiación fotosintéticamente activa.

Pixel (del inglés. picture element): unidad mínima de una imagen digital.

Puntos de control: datos de campo, con coordenadas geográficas conocidas, utilizados para las clasificaciones supervisadas.

Reflectancia: es la relación del flujo de energía reflejado por la superficie de un objeto (en este caso suelo y vegetación) en relación al flujo incidente.

Resolución espacial: indica la definición de la imagen satelital, expresada en el tamaño de la unidad mínima de superficie en que el sensor puede captar información. La unidad mínima de medida es el pixel, que se mide por el largo de sus lados.

Resolución temporal (o revisita): indica el tiempo que demora en pasar el satélite por el mismo lugar.

Sensor remoto: dispositivo ubicado en los satélites que capta la energía solar reflejada por la superficie del suelo.

Sistema de Posicionamiento Global (GPS): sistema que permite posicionar un punto en el espacio, a través de satélites de geoposicionamiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Altman D.G. 1991. *Practical Statistics for Medical Research*. Chapman & Hall, London, UK. pp. 285-288.
- Dorman J.L. and Sellers P.J. 1989. A global climatology of albedo, roughness length and stomatal resistance for atmospheric general circulation models as represented by the Simple Biosphere Model (SiB). *Journal of Applied Meteorology* 28: 833-855.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1985. Datos agroclimatológicos para América Latina y el Caribe. Roma, Italia.
- Field C.B., Randerson J.T., and Malmström C.M. 1995. Global Net Primary Production: Combining Ecology and Remote Sensing. *International Journal of remote sensing* 51: 74-88.
- FitzPatrick E.A. 1996. Introducción a la ciencia de los suelos. Ed. Trillas. Mexico D.F., México. pp. 288.
- Gallego FJ. 2004. Remote sensing and land cover area estimation. *International Journal of Remote Sensing* 25(15): 3019-3047.
- Garbulsky M.F. and Paruelo J.M. 2004. Remote sensing of protected areas to derive baseline vegetation functioning characteristics. *Journal of Vegetation Science* 15: 711-720.
- Garbulsky M.F., Paruelo J.M. y Baldi G. 2003. Productividad primaria y cambios en el Índice Verde para América Latina entre 1981 y 2001. Informe final.
- Guerschman J.P., Paruelo J.M., Di Bella C., Giallorenzi M.C., and Pacín F. Land cover classification in the Argentine Pampas using multi-temporal LANDSAT TM data. *International Journal of Remote Sensing* 24(17): 3381-3402.
- Hill R.A. 1999. Image segmentation for humid tropical forest classification in Landsat TM data. *International Journal of remote sensing* 20: 1039-1044.
- Jensen J.R. 1996. Introductory digital image processing. A remote sensing perspective. 2° Edition. Prentice Hall series in geographic information science. Englewood Cliffs, NJ, USA.
- Liang S. 2000. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo. I Algorithms. *Remote Sensing of Environment* 76: 213-238.
- Lloyd D. 1990. A phenological classification of terrestrial vegetation cover using shortwave vegetation index imagery. *International Journal of Remote Sensing* 11: 2269-2279.

- Monteith, J.L. 1977. Climate variation and the growth of crops. *Q.J. Roy. Meteor. Soc.* 107: 749-74.
- Mueller-Dombois, D. y Ellenberg, H. 1974. *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. John Wiley and Sons, Ed. New York, USA. pp. 474.
- Myneni R. B., Hoffman S., Knyazikhin Y., Privette J. L., Glassy J., Tian Y., Wang, Y., Song X., Zhang Y., Smith G. R., Lotsch A., Friedl M., Morisette J. T., Votava P., Nemani R. R., & Running S. W. 2002. Global products of vegetation leaf area and fraction absorbed PAR from year one of MODIS data. *Remote Sensing of Environment* 83: 214-231.
- Nadir A. y Chafatinos T. 1990. *Los Suelos del NOA (Salta y Jujuy)*. Universidad Nacional de Salta, 428 pp.
- Piñeiro G., Oesterheld M. and Paruelo J.M. en revision. Seasonal variation of aboveground production and radiation use efficiency of temperate rangelands estimated through remote sensing. *Ecosystems*.
- Sobrino J.A., Coll C. and Caselles V. 1991. Atmospheric correction for land surface temperature using NOAA-11 AVHRR Channels 4 and 5. *Remote Sensing of the Environment* 38: 19-34.
- Tibshirani, R., Guenther, W., and Trevor, H. 2001. Estimating the number of clusters in a data via the gap statistic. *J. R. Statist. Soc. B.* 63: 411-423.
- Tottrup, C. 2004. Improving tropical forest mapping using multi-date Landsat TM data and pre-classification image smoothing. *International Journal of remote sensing* 25: 717-730.
- Tucker C.J. and Sellers P.J. 1986. Satellite remote sensing of primary production. *International Journal of Remote Sensing* 7: 1395-1416.
- Zapater de del Castillo, M.A. 1985. Esquema fitogeográfico de la Provincia de Salta. Secretaría de Estado de Asuntos Agrarios Dirección General Agropecuaria, Departamento Suelo, Riego y Clima. Pp. 21.