

APLICACIÓN DE MÉTRICAS PARA ESTIMACIÓN DE LA FRAGMENTACIÓN DEL PAISAJE EN EL ÁREA PILOTO¹, DEPTO. ALMIRANTE BROWN, PROVINCIA DEL CHACO, ARGENTINA

KEES, Sebastián M.²; GOYTÍA, Silvia Y.³; DAGNINO, Laura G.⁴

Resumen

La expansión agrícola es un caso particular de los frecuentes cambios producidos por los humanos en el uso del suelo, o en el tipo de aprovechamiento de los recursos naturales. Es un fenómeno muy complejo que influye sobre el clima, los ciclos de agua, en la dinámica de carbono, etc., por lo que su consecuencia excede el ámbito local o regional.

El objetivo del trabajo fue determinar la pérdida de superficie con cobertura natural en el periodo 2000-2007, en un área de estudio ubicada al oeste de la Provincia del Chaco y obtener estadísticas de paisaje para el área de estudio. Con esta información se analizó la heterogeneidad del paisaje y la fragmentación introducida por la presencia de sistemas productivos.

El trabajo se llevó a cabo a través de clasificaciones no supervisadas de imágenes Landsat 5 TM, obteniendo un mapa de “Áreas Transformadas” y “Áreas No Transformadas” de donde se separó las áreas no transformadas para su posterior análisis en un entorno SIG.

El fenómeno de avance de la frontera agropecuaria fue caracterizado y cuantificado para el área de estudio a través de herramientas SIG que permiten calcular las estadísticas del paisaje. Con lo cual se pudo, por ejemplo, determinar una disminución del número de parches, es decir, los parches de bosque con menor tamaño que fueron reemplazados por otros usos. Además el análisis visual de las clasificaciones permitió inferir que el avance de la frontera agropecuaria estuvo asociada a la disponibilidad de caminos.

Palabras Clave: avance de la frontera agropecuaria, fragmentación, estadísticas de paisaje, SIG.

¹ Área piloto del Proyecto Nacional de Ecorregiones, seleccionada para el proyecto específico: “Valorización de los bienes y servicios ambientales para caracterizar vulnerabilidad en áreas ecológicas críticas” (PNECO1303): proyecto integrado al PNECO 1301 “Ordenamiento Territorial en el Ámbito Rural. Programa Ecorregiones. INTA.

² Estación Forestal Plaza – INTA E.E.A. Sáenz Peña. Lote IV. Colonia Santa Elena. CP 3536. Chaco. Argentina.

³ Laboratorio de Teledetección y SIG – INTA E.E.A. Sáenz Peña. Ruta 95 Km 1108 CP 3700. Chaco. Argentina

⁴ Área Recursos Naturales – INTA E.E.A. Sáenz Peña. Ruta 95 Km 1108 CP 3700. Chaco. Argentina.

Introducción

La expansión agrícola es un caso particular de los frecuentes cambios producidos por los humanos en el uso del suelo, o en el tipo de aprovechamiento de los recursos naturales. Además influye sobre el clima, los ciclos de agua, en la dinámica de carbono, etc., por lo que su consecuencia excede el ámbito local o regional.

El punto clave del análisis llevado a cabo es estudiar la heterogeneidad del paisaje y la fragmentación introducida por la presencia de sistemas productivos; este análisis es necesario para evaluar la vulnerabilidad ambiental del área piloto. Posteriormente servirá de base junto a otros componentes para determinar, a distintas escalas espaciales, los servicios ecológicos que son causa de vulnerabilidad ambiental. Como fin último del proyecto se pretende desarrollar mapas que valoren la vulnerabilidad ambiental de tales áreas críticas a escalas significativas y predeterminadas de abordaje.

Una imagen de satélite puede considerarse como una representación digital del mosaico que forma un determinado paisaje (Chuvieco, 2006). Al tratarse de una representación digital es posible llevar a cabo cálculos matemáticos y estadísticos para medir las relaciones espaciales entre los parches (elementos del mosaico).

El uso común del término “métricas del paisaje” se refiere exclusivamente a índices desarrollados para categorizar patrones de mapa. Las métricas del paisaje son algoritmos que cuantifican las características espaciales de parches, clases de parches o mosaicos enteros de paisaje (McGarigal and Marks, 1995).

Estas métricas se dividen en dos grandes categorías: aquellas que cuantifican la composición de un mapa sin referencia de atributos espaciales (número de parches distintos, abundancia proporcional de cada clase, etc.), y aquellas que cuantifican la configuración espacial del mapa requiriendo información espacial para el cálculo (parches aislados/contaminados, forma del parche, área, dispersión, etc.).

Estudios realizados con antelación para otras zonas de la región chaqueña (Torrella, et al 2007) han destacado la utilización de estas técnicas de análisis como herramientas para diseñar estrategias de conservación y manejo de ecosistemas.

Según diversos especialistas (Mackinnon et al, 1986; Reid y Miller, 1989) la superficie mínima a conservar debería oscilar entre el 15 y el 30%, de los cuales se sugiere un 5 a 10% de protección estricta y un 10 a 20% de áreas no estrictas (buffers) bajo manejo.

Desde este punto de vista no solo es importante conservar dichas superficies, también adquiere relevancia el manejo apropiado de las mismas, a fin de recuperar (en parte) o mantener la estructura y provisión de servicios de estos ecosistemas. Según la IUCN el 30% de las extinciones se debe a perturbaciones o eliminación del habitat. En esto estriba la importancia del mantenimiento del habitat. Lo que no es apreciado en su justo valor es la necesidad de comprender el funcionamiento de los ecosistemas en el contexto regional (Morello, J y Matteucci, S 1999).

Objetivos

✓ Del proyecto específico:

1. Determinar, a distintas escalas espaciales, los servicios ecológicos que son causa de vulnerabilidad ambiental.
2. Evaluar la vulnerabilidad ambiental de esas áreas críticas.
3. Desarrollar mapas que valoren la vulnerabilidad ambiental de tales áreas críticas a escalas significativas y predeterminadas de abordaje.

✓ Del trabajo:

- a) Determinar la disminución de superficie de áreas no transformadas en el periodo 2000 – 2007.
- b) Obtener y analizar las estadísticas de paisaje para el área de estudio.

Materiales y métodos

Ubicación

El área piloto ocupa una superficie de 721.900 has, está ubicada en la porción oeste de la provincia del Chaco, desde la localidad de Avia Terai hasta Río Muerto. La misma se encuentra incluida casi en su totalidad dentro del departamento Almirante Brown y parte en los departamentos Maipú, Independencia, 9 de julio y Gral. Belgrano (figura 1).

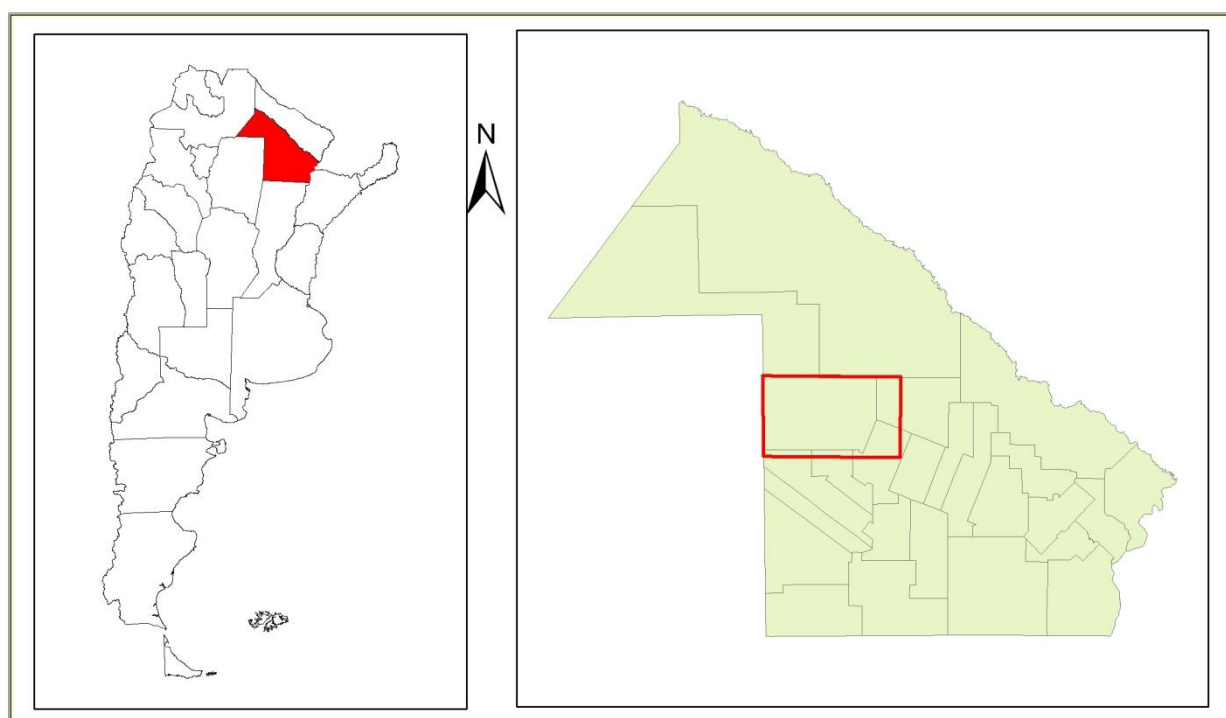


Figura 1. Ubicación del área piloto en el país y dentro de la provincia.

Caracterización

Los suelos pertenecen al área geomorfológica Sáenz Peña (figura 2). Que se subdivide en dos grandes zonas: al norte: es una gran llanura de loess, disectada por un sistema fluvial derivado del impenetrable, numerosos paleocauces de rumbo noroeste; sureste. Los ambientes más importantes se encuentran bajo vegetación de bosque. Al sur: continua una gran llanura de loess, algo disectada por paleocauces, cuyos ambientes más importantes son las abras o pampas naturales o artificiales (desmonte o fuego) e isletas de bosques (L. Ledesma, 1973).

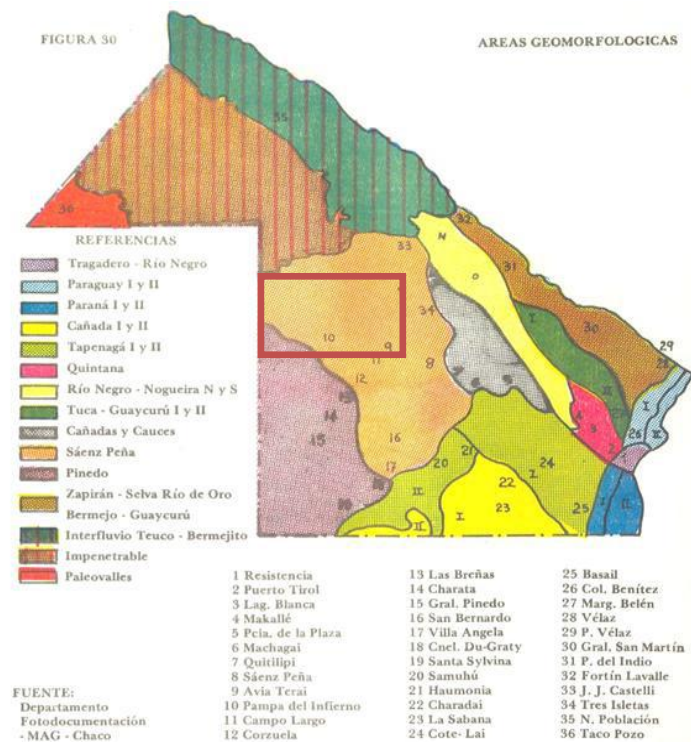


Figura 2. Ubicación del área de estudio en mapa de áreas geomorfológicas.

El área de estudio se encuentra en la subregión del Chaco húmedo al sureste, con tipo de bosque alto abierto y Chaco Semiárido al noroeste con tipología de bosque bajo abierto.

Sub región ecológica VII sobre el complejo Antiguos cauces del río juramento – salado. El patrón de vegetación (antiguo), era totalmente forestal, excepto en los cauces inactivos ocupados por pastizales, incluso en sus lechos.

Los bosques de esta área corresponden a quebrachales (quebracho colorado santiagueño y quebracho blanco).

- Caracterización del Chaco semiárido

Clima

La subregión del Chaco semiárido es la más característica del Chaco Argentino. Su clima se caracteriza por un déficit hídrico (Índice hídrico menor de -20 según el INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGRARIA, 1982) y un alto grado de continentalidad con importante amplitud térmica anual y escasa influencia de los vientos del Océano Atlántico. Su gran extensión genera dos importantes gradientes climáticos: en sentido este-oeste disminuyen las precipitaciones y en sentido norte-sur, la temperatura.

Geología y suelos

El Chaco semiárido es, en su mayor parte, una vasta llanura sedimentaria, modelada esencialmente por la acción de los ríos que la atraviesan en sentido noroeste-sudeste, principalmente el Juramento-Salado, el Bermejo y el Pilcomayo. Sus altas cuencas se encuentran fuera de la región, en la cordillera, desde donde transportan una gran cantidad de sedimentos que forman albardones a los costados del cauce o, como ocurre con frecuencia, colmatan los cauces y dan origen a la divagación de los ríos. Estas divagaciones forman con el tiempo verdaderos abanicos (o paleo abanicos) fluviales y paleocauces de suelos arenosos, que atraviesan la matriz boscosa característica de la región. Estos paleocauces fueron, a finales del siglo XIX y a comienzos del XX, las vías de acceso de los colonos ganaderos que se establecieron en la región.

Vegetación

El bosque de la región chaqueña alcanza en esta subregión su mayor expresión en extensión y continuidad espacial y en la presencia de las especies más típicas de la región chaqueña. El bosque es rico en especies xerófilas semicaducifolias, adaptadas tanto a las importantes fluctuaciones de disponibilidad hídrica como a las variaciones térmicas. Este bosque cuenta con un estrato superior dominado por Quebracho colorado santiagueño (*Schinopsis lorentzii*) y el Quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*), superando los 20 m de altura. En el límite con el chaco húmedo estas especies coexisten con el Quebracho colorado chaqueño (*Schinopsis balansae*). Es lo que se conoce como bosque de los tres quebrachos. En el centro y al oeste de la subregión aparece el palo santo (*Bulnesia sarmientoi*), generalmente en suelos deprimidos. Integran el bosque otros árboles más bajos como el mistol (*Ziziphus mistol*) y varias especies de algarrobos (*Prosopis* spp.), acompañados por una gran variedad de arbustos.

Otro elemento muy importante del paisaje son los paleocauces, generalmente cubiertos por pastizales de aibe (*Elionurus* spp.). El fuego, frecuentemente de origen antrópico, es un elemento fundamental en el manejo y estabilización de estos sistemas. El sobrepastoreo y las excesivas quemas han disminuido la biomasa combustible colaborando en el avance de especies leñosas sobre las comunidades de pastizal. (Ministerio de la Producción, 2007).

- Caracterización del Chaco húmedo

Clima

Abarca los sectores del este de la Provincia del Chaco. Su definición como subregión está determinada por un límite climático (Índice hídrico mayor de -20, INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGRARIA, 1982).

Geología y suelos

El Chaco húmedo es una llanura plana, con pendientes muy suaves en sentido de oeste a este del orden de 20 a 40 cm/km. Geomorfológicamente es un bloque hundido, relleno con sedimentos de los ríos Pilcomayo, Bermejo y Juramento. La baja pendiente de toda la región chaqueña y la torrencialidad estacional de los ríos favorecen los procesos fluviomorfológicos y generan una topografía local irregular con albardones elevados respecto a los alrededores anegables.

El eje dado por los ríos Paraguay-Paraná es fundamental para la dinámica hídrica de la subregión. Los sedimentos y los propágulos transportados por dichos ríos atraviesan esta subregión y son exportados fuera de la región Chaqueña, influyendo en la dinámica fluviomorfológica y en la vegetación del delta del Paraná. En el sector sur, un área grande concentra sus aguas en los Bajos Submeridionales. El excedente hídrico, sumado a un escurrimiento superficial lento, provoca inundaciones por las cuales los campos permanecen anegados hasta el invierno.

Vegetación

En la subregión del Chaco húmedo existe una estrecha vinculación entre las distintas formas del paisaje y la vegetación que se desarrolla en ellas. Las comunidades vegetales se encuentran condicionadas por el gradiente topográfico que ocupan y, en relación a éste, por el gradiente de inundación (MORELLO Y ADÁMOLI, 1967, HAMPEL 1997). HAMPEL describe la dinámica de vegetación como:

- (1) La vegetación de zonas bajas con inundaciones periódicas está determinada por fuegos cíclicos. Pastizales, palmares y sabanas forman asociaciones relativamente estables. Los bosques sólo pueden formarse en épocas sin fuegos intensos ni inundaciones prolongadas.
- (2) En los bosques en zonas de transición disminuye el impacto de incendios. Están formados por especies pioneras como Algarrobos (*Prosopis spp.*), Quebracho colorado chaqueño (*Schinopsis balansae*), Guayacán (*Caesalpinia paraguayensis*) y Urunday (*Astronium balansae*), que luego son desplazadas por especies umbrófilas que avanzan bajo el dosel de las pioneras.
- (3) Los bosques altos cerrados con dominancia de especies umbrófilas como Lapacho (*Tabebuia spp.*), Palo lanza (*Phyllostylon rhamnoides*), Guayaibí (*Patagonula americana*) y Espina corona (*Gleditsia amorphoides*) son estables en su combinación de especies. (Ministerio de la Producción, 2007).

Recopilación y procesamiento de la información

Las tareas desarrolladas se estructuraron en tres etapas.

1 - Primer Etapa

- Selección de imágenes
- Selección de Puntos de Control (GCP)
- Proyección de imágenes mediante GCP y validación de la georreferencia.

2 - Segunda Etapa

- Clasificación no supervisada
- Agrupación de clases (recodificación)

- Filtrado
- Transformación de datos raster a información vectorial
- Preparación de información vectorial.

3 – Tercer Etapa

- Procesamiento y análisis de la información derivada del análisis de capas vectoriales.

1 - Primer Etapa

1.1 Preparación de datos

Selección de Imágenes: Se seleccionaron imágenes Landsat 5 TM, provistas por la CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales) en convenio con el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). El sensor TM del satélite Landsat tiene una resolución espacial de 30 m x 30 m y resolución temporal de 16 días, parámetros considerados satisfactorios, en función de las tareas inherentes para este estudio. Como criterio de selección se tomaron aquellas escenas con menor nubosidad. A continuación se describen las características de las escenas utilizadas (Tabla 1):

Fecha de adquisición	Sensor	Path	Row
18/05/2000	TM	228	078
06/04/2003	TM	228	078
28/12/2004	TM	228	078
11/05/2007	TM	228	078

Tabla 1: Parámetros de las imágenes utilizadas

1.2 – Georreferenciación

El Software utilizado para el procesamiento de las imágenes fue en todos los casos el ERDAS IMAGINE 9.1.

El Mapa de Áreas transformadas presentado como producto del presente análisis fue re proyectado según los parámetros utilizados por el Instituto Geográfico Militar Argentino a coordenadas planas Gauss Krüger (Tabla 2):

Sistema de Referencia	Sistema de Proyección
Elipsoide: Internacional 1909	Coordenadas Planas: Gauss Krüger, Faja 5
Datum: Campo Inchauspe	Tipo de Proyección: Transverse Mercator
	Factor de escala: 1
	Meridiano central: -60°
	Origen de latitudes: -90°
	Falso Este: 5.500.000
	Falso Norte: 0 metros

Tabla 2: Parámetros utilizados para la presentación del Mapa de Áreas no transformadas del área piloto.

Con la corrección geométrica se trata de ubicar cada pixel en su posición planimétrica correspondiente. Esto nos permite relacionar las imágenes satelitales con otras fuentes de información SIG, además de facilitar la obtención de medidas de distancia, de área o de información de orientación.

La corrección geométrica se llevó a cabo a través de la técnica de selección de puntos de control (Ground Control Points, GCP), la cual precisa localizar una serie de puntos comunes en la imagen a corregir y en otra de referencia previamente proyectada (corrección geométrica, *Image to Image*). Para ello, se tomaron, por cada una de las escenas a proyectar, unos 12 a 30 puntos distribuidos homogéneamente sobre el área de estudio. El método de remuestreo seleccionado fue el del Vecino más Cercano (*nearest neighbour*), por situar en cada celdilla de la imagen corregida el ND del píxel más cercano de la imagen original.

El método del vecino más cercano es el único que preserva los valores originales al no introducir promedios (Chuvienco, 2006). Es decir, no supone transformación alguna de los ND originales, que lo convierte en el único método apto para imágenes clasificadas.

Para verificar la calidad de la corrección geométrica se utiliza el Error RMS (*Root Mean Squared*; Error Medio Cuadrático) indica el grado de correspondencia entre los valores calculados y los valores asignados a los puntos de control GCP mediante la imagen de referencia. Cuánto menor es el valor del Error RMS, mejor es el ajuste entre dos imágenes igualmente georreferenciadas; en este caso se acepto como válido un error menor a la unidad, expresado en píxeles. Los sitios elegidos como puntos de control, se corresponden con rasgos antrópicos del paisaje, tales como cruces de caminos, o líneas divisorias de parcelas. Se aplicó un modelo de corrección de tercer orden por convolución cúbica.

2 - Segunda Etapa

2.1 Clasificación

La clasificación digital de una imagen implica “categorizar” una imagen multibanda (Chuvienco, 2006). En otras palabras, al clasificar una imagen transformamos su carácter cuantitativo (ND) a una escala cualitativa (tipos de vegetación, por ejemplo).

La clasificación multispectral es el proceso de clasificar los píxeles en un número finito de clases, o categorías de datos, basado en sus ND. Si un pixel satisface ciertos criterios, el pixel se asigna a la clase que corresponde a ese criterio (ERDAS, 1997).

La clasificación digital tiene por meta obtener una nueva imagen, al que llamamos **mapa temático** con la cantidad de clases que se desee (puede ser una clasificación de vegetación, de áreas ecológicas, etc.) que siempre es necesario chequear y validar en terreno.

Tradicionalmente se han dividido los métodos de clasificación en dos grupos: supervisado y no supervisado.

El método supervisado parte de un conocimiento previo del terreno, a partir del cual se seleccionan las muestras para cada una de las categorías. El método no supervisado procede a una búsqueda automática de grupos de valores homogéneos dentro de la imagen. Queda al usuario, en este caso, la labor de encontrar correspondencias entre esos grupos y sus categorías de interés.

Para el presente trabajo se decidió utilizar la técnica de clasificación no supervisada por algoritmo de agrupamiento ISODATA, el cual consiste en clasificar iterativamente los píxeles usando la

distancia espectral y redefiniendo el criterio de clasificación para cada clase hasta alcanzar cierto umbral, de esta manera el patrón de distancia espectral de los datos emerge gradualmente.

El proceso de clasificación se llevó a cabo con ERDAS IMAGINE 9.1 y la configuración de parámetros descriptos en la tabla 3:

Número de clases a generar	= 50
Numero de Iteraciones Máximo	= 6
Umbral de Convergencia	= 0,95

Tabla 3. Parámetros empleados para la clasificación

2.2 Recodificación

Una vez lograda la clasificación o agrupamiento de píxeles, se procedió a fusionar y a recodificar las clases espectrales según los criterios de interés utilizando análisis visuales sobre la imagen original y teniendo en cuenta criterios de proximidad, suponiendo que los ND de la imagen forman conglomerados o clústeres. Finalmente se realizó la inspección a campo de las “clases espectrales” obtenidas (solo la correspondiente al año 2007) con el objeto de convertir las mismas en “clases informacionales”.

Las clases definitivas fueron las que se listan en la tabla 4:

Clases o categoría	Descripción
Áreas transformadas	Chacras, paleocauces con cultivos agrícolas, áreas quemadas.
Áreas no transformadas	Bosques y superficies con vegetación natural que no han sufrido cambio de uso del suelo.

Tabla 4. Descripción de las clases definidas.

2.3 Filtrado de las imágenes clasificadas:

Las imágenes clasificadas muchas veces suelen presentar gran fragmentación. Muchas de las diversas categorías pueden superponerse entre sí, en una compleja sucesión espacial. Pueden presentarse áreas de un color (categoría), más o menos homogéneas que incluyen algunos píxeles de otras categorías, perdiéndose su unidad geográfica y dificultándose la interpretación de los resultados.

Para evitar esto se utilizan filtros, los cuales alteran las características espaciales o espectrales para realzar la imagen (ERDAS, 1997). Debido a la gran extensión del área de trabajo, se decidió emplear un filtro *majority* de 7x7 píxeles. El objetivo último es reasignar valores a aquellos píxeles aislados o poco significativos, facilitando una distribución espacial más nítida de las distintas categorías.

2.4. Transformación de datos raster a información vectorial:

Para manipular la información obtenida, realizar los análisis de fragmentación y superponer con otros tipos de información (tabulares y/o gráficos) se transformaron las imágenes clasificadas a layers de formato vectorial.

2.5. Preparación de la información Vectorial:

Debido a que el análisis se centra en la transformación de superficies no agrícolas a zonas de cultivo; es decir de áreas no transformadas a áreas transformadas para uso agrícola, se procedió a la separación de la clase “áreas no transformadas” de los distintos años para su posterior análisis.

3. Tercera etapa

3.1. Procesamiento de la información derivada del análisis de capas vectoriales

Las capas correspondientes a “áreas no transformadas” fueron tratadas con la extensión *Patch Analyst* para ARCVIEW 3.2, con la cual se obtuvieron las estadísticas de paisaje, las cuales permitieron cuantificar y caracterizar tanto el fenómeno de avance de la frontera agropecuaria, como así también el de fragmentación.

Resultados y discusión

Como podemos observar en la figura 3, el avance de la frontera agropecuaria, entre los años analizados, se ha dado predominantemente desde el sur hacia el norte.

Hacia el 2007 la mayor proporción de áreas no transformadas quedan en el centro y norte del área de estudio, debido fundamentalmente a cuestiones de accesibilidad.

Hacia finales del período abarcado en este trabajo, el uso del suelo en el área de estudio fue adquiriendo un sesgo agrícola.

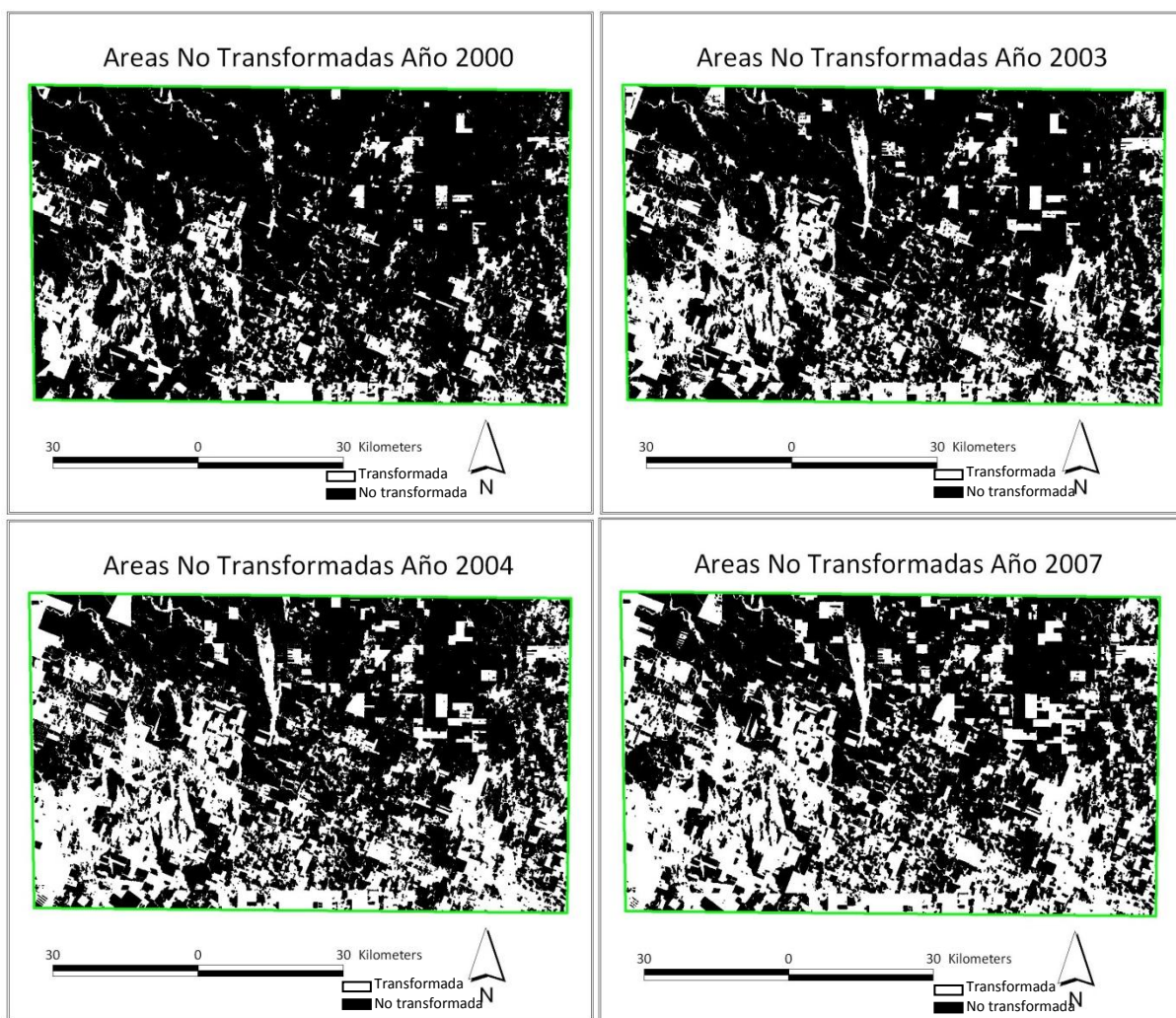


Figura3. Coberturas de áreas no transformadas para los años de estudio.

Evolución de la superficie de áreas no transformadas en el periodo:

Años	2000	2003	2004	2007
Áreas no transformadas (has)	527.818,42	452.895,75	383.288,56	366.308,78
% del área total	73,1	62,7	53,1	50,7

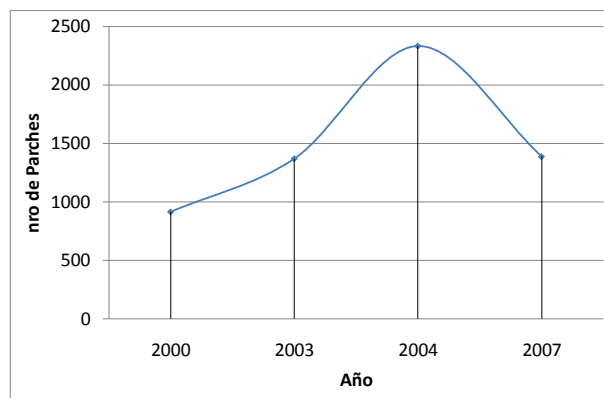
Tabla 5.evolución de la superficie de áreas no transformadas en el periodo.

La tabla 5 nos muestra que de la superficie total del área de estudio (721.900 ha), hacia el año 2007 solo el 50% de la superficie quedaba sin transformar, esto representa el 69,4% de la superficie de áreas no transformadas hacia el 2000. Estos valores son un tanto mayores a los porcentajes recomendados por los especialistas, por lo cual podemos suponer que aplicando técnicas apropiadas de manejo y conservación se podrían mantener las funciones y servicios que prestan estos ecosistemas.

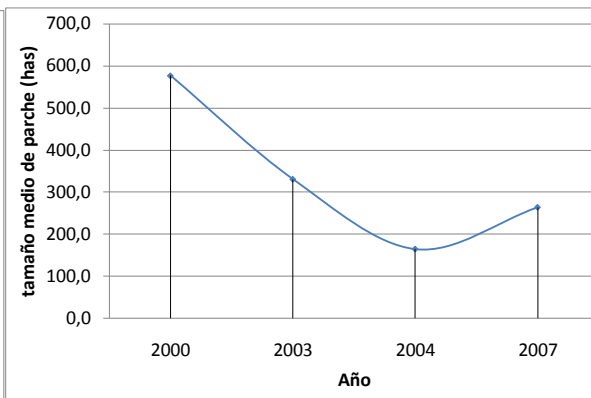
Los resultados obtenidos muestran no solo la importante reducción de la superficie de áreas no transformadas, sino también la severidad del proceso de fragmentación del paisaje, habilitándose más de 20.000 ha por año (más de un 3%), las que totalizan 161.520,7 ha para el periodo. Este último valor representa un 22,4% de la superficie total del área de estudio.

Año	Área total (has)	Número de parches	tamaño promedio parche (has)	mediana del parche (ha)	desviación estándar	Borde total (m)	densidad de borde (m/ha)	borde medio de parche (m)	índice de forma medio	índice de forma medio pesado por área	media de perímetro/área (m/ha)
2000	527.818,42	915	576,9	2,25	16.481,82	9.514.020	18,03	10.397,8	1,50	29,25	464,30
2003	452.895,75	1370	330,6	2,79	9.035,34	10.659.420	23,54	7780,6	1,57	20,89	427,83
2004	383.288,56	2333	164,3	2,06	4.482,43	12.932.600	33,74	5543,3	1,59	19,24	503,99
2007	366.308,78	1388	263,9	4,16	6.901,55	10.600.316	28,94	7637,1	1,60	21,37	377,38

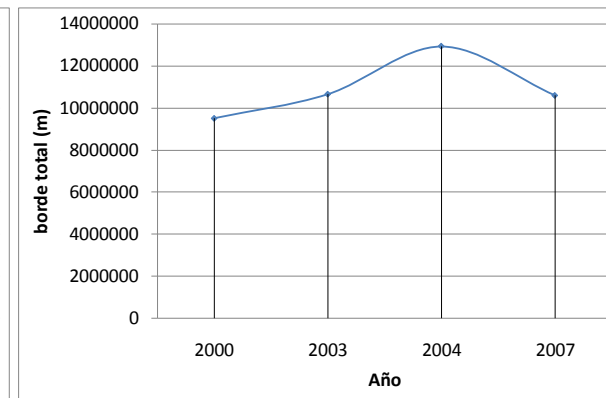
Tabla 7. Métricas de paisaje para áreas no transformadas.



a)



b)



c)

Gráfico 2. Análisis de las métricas de paisaje durante los años de estudio. a) Evolución del nro. de parches entre 2000 y 2007; b) Tamaño medio de los parches entre 2000 y 2007; c) Borde total de parches.

En base al gráfico 2 (a); b); y c)) podemos ver que el periodo analizado tuvo 2 etapas bien demarcadas, por un lado, durante los primeros años y hasta el 2004, se dio un fuerte proceso de fragmentación acompañada por la reducción de la superficie de áreas no transformadas, caracterizado por un aumento del nro. de parches, una reducción del tamaño medio de parche y un aumento en el borde total. Por otro lado, a partir del año 2004 se da principalmente un proceso de aumento de superficie de parches, minimizando en alguna medida el proceso de fragmentación. Esto se observa en el aumento del tamaño medio de parche, la disminución del nro. de parches y del borde total. Podemos inferir que los parches de menor tamaño han sido transformados para otros usos.

La densidad de borde (tabla 7), refleja la cantidad de metros de borde de áreas no transformada por ha de dicha superficie, aumenta drásticamente hasta el año 2004 y luego disminuye, pero en todos los casos es mayor que al inicio del periodo, lo cual indica que la cantidad de borde de las áreas no transformadas aumentó conjuntamente con el aumento de parches.

La media perímetro/área (tabla 7), aumentó hasta el 2004 y luego disminuyó incluso a valores menores que al inicio del periodo. Esto lo podemos ver al analizar la variación del índice de forma medio (tabla 7), el cual compara la complejidad de los parches con la forma de un círculo, a mayor irregularidad mayor es el índice de forma. Este índice aumento su valor para todos los años (6% en total). El índice de forma pesado por área sufrió una disminución del 26,5%. Ambos índices en conjunto reflejan un incremento en la irregularidad de todos los parches.

Conclusiones:

El Área No Transformada disminuyó entre 2000/2007 a una tasa de reducción anual del 3,2%, si bien este valor es bajo en comparación con la superficie del área total de estudio, representa una pérdida de más de 20.000 ha de áreas no transformadas.

Hacia el año 2007, solo el 50% de la superficie del área de estudio quedaba sin transformar.

El avance de la frontera agrícola tuvo una orientación sur-norte y oeste-este. Este fenómeno puede deberse a la disponibilidad de caminos en el área de estudio.

La variación de forma de los parches fue no lineal, notándose 2 períodos. El primero, donde la relación perímetro/área de cada parche fue incrementándose, es decir, que los parches tenían formas irregulares. Posteriormente se dio un período de simplificación de borde donde la pérdida de borde se acercó a la pérdida de superficie tendiendo en este caso a regularizarse la forma de los parches.

El tamaño de los parches de áreas no transformadas disminuyó drásticamente marcando una fragmentación del paisaje, lo que compromete la disponibilidad de áreas con un número, tamaño y contigüidad necesarias para asegurar la provisión de servicios ecosistémicos a perpetuidad, comprometiendo severamente la producción sustentable de la zona estudiada.

Agradecimientos:

Nodo Balcarce, sede central de coordinación de los proyectos específicos, Drs. Nestor Maceira y Pedro Laterra, coordinadores nacionales de los PNECO 1302 y 1303 respectivamente.

Nodo Sáenz Peña para los proyectos específicos PNECO 1302 Y 1303, ECORREGIÓN CHACO, Programa Nacional Ecorregiones, coordinación actividades campaña y gabinete; Ing. Agr. Laura Dagnino.

Equipo forestal, Estación forestal Plaza; por su apoyo en la participación y ejecución de las tareas de campo y gabinete. Ing. Ftal. Carlos A. Gómez; Tec. Adm. Emp. Rurales Mariano A. Vera y Sr. José Vargas.

Equipo de Suelos. En los trabajos de campo y gabinete; Generador de información de base de suelos, Ing. J.J. Zurita, Lic. E. Brest, Ing. A. López, Dto. Suelos INTA Saenz Peña.

Se destaca la especial colaboración de los productores zonales, por su invaluable apoyo en la realización de las tareas de campaña.

Bibliografía consultada

- Chuvieco, E. 2006. Fundamentos de teledetección espacial. Editorial ARIEL. Pág. 584.
- ERDAS FIELD GUIDE. 1997. 4ta Edición Erdas Imagine, Inc. Pág. 656.
- L. Ledesma. 1973. Introducción al conocimiento de los suelos del Chaco. Convenio INTA-MAG Chaco
- Mackinnon, J; Mackinnon, K; Child, G; Thorsell, J. (comps). 1986 Managing protected areas in the tropics. IUCN/UNEP, Gland, 290 PAG.
- McGarigal, K., and B. J. Marks. 1995. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. PNW-351.
- Ministerio de la Producción (2007), Manual para el Manejo forestal sustentable de los Bosques Nativos de la Provincia del Chaco. (inédito).
- Morello, J. y Matteucci, S. (1999) Biodiversidad y fragmentación de los bosques en la Argentina. Matteucci, Solbrig, Morello y Halffter (editores). Biodiversidad y uso de la tierra. Conceptos y ejemplos de Latinoamérica. EUDEBA, Buenos Aires, 589 pp.
- IALE Landscape Research and Management papers - Understanding Biodiversity Loss - An overview on Forest fragmentation In South America - Edited by Maria Jose Pacha, Sandra Luque, Leonardo Galetto, Louis Iverson - ISSN: 1570-6532. 2007. S. A. Torrella, R. G. Ginzburg y J. M. Adámoli. Análisis multitemporal de la fragmentación y reducción del Bosque de Tres Quebrachos - 154 PAG.
- Philip C. Elkie; Robert S. Rempel; Angus P. Carr. Patch Analyst user's Manual - A Tool for Quantifying Landscape Structure - nwst technical manual tm - 002. Febrero 1999.