

Estudio de la evolución de las coberturas espaciales en el suroeste de la provincia del Chaco, entre 1989 y 2010, mediante la Teledetección

Juan Ariel Insaurrealde*

Resumen

El presente trabajo propone analizar las variaciones de las coberturas espaciales en el sector suroeste de la provincia del Chaco, un área de reciente expansión agrícola, por medio de la Teledetección. Para ello se han realizado tareas de pre procesamiento, correspondiente a la preparación de las imágenes satelitales, luego, de procesamiento, mediante el cálculo de tabulaciones cruzadas y, finalmente, presentación de resultados a través de la producción cartográfica y tabular. De este modo se determinaron cinco cubiertas bien diferenciadas que presentan variaciones espaciales y temporales. En particular la cubierta de monte presenta un descenso en su superficie de 47,64 %, mientras que otra cubierta como la de cultivos manifiesta un aumento del 65,46 %, al igual que los suelos desnudos (suelo 1 y 2) en su conjunto, con una variación de 62,3 % y la cubierta de pastizales, que resulta ser la de mayor permanencia espacio temporal, manifiesta una leve variación positiva del orden del 10,62 %.

Palabras clave: Teledetección, sudoeste chaqueño, coberturas espaciales, detección de cambios.

* Becario CONICET - insaurrealdejuan@conicet.gov.ar – ariel_insa@hotmail.com

Study of the evolution of remote-sensing spatial coverage in the southwest of the province of Chaco between 1989 and 2010

Abstract

This paper aims at analyzing the variations of spatial coverage in the southwest of the Province of Chaco, an area of recent agricultural expansion, through remote sensing techniques. The study presented here describes three major tasks that were accomplished: Pre-processing tasks corresponding to the preparation of satellite images; processing tasks by calculating cross tabulations; and, finally, the presentation of results through cartographic and tabular output. Thus, it was identified five clearly distinct coverage areas that show temporal and spatial variations. In particular, forests reveal a decrease of 47.64% in their total area, while crop areas show an increase of 65.46%; bare soil surfaces (soil 1 and 2), as a whole, show a variation of 62.3% and grassland cover, which happens to be the longest-temporal space, shows a slight positive variation of 10.62%.

Key words: Remote Sensing, southwest of the Province of Chaco, spatial coverage, detection of changes.

Introducción

El sector del suroeste chaqueño comprende una porción del espacio provincial sobre el cual se han manifestado importantes cambios durante los últimos 20 años (entre 1989 y 2010 aproximadamente), relacionados con la ampliación de las superficies destinadas a cultivos, principalmente a partir de la incorporación de la soja hacia el año 1999/2000 (Adámoli, 2008; Zarrilli, 2010; Valenzuela, 2009; Torre Galdi, 2004). Estos cambios se relacionan, además, con la crisis del algodón, como producto de diversos problemas económicos, y de las adversidades climáticas, que, en conjunto, ocasionaron el endeudamiento de los pequeños y medianos productores chaqueños y forzaron la introducción de alternativas de cultivos (Manoiloff, 2005; Valenzuela, 2009; Torre Galdi, 2004) e iniciando, una nueva expansión agrícola hacia el sudoeste provincial.

Históricamente, esta provincia se ha caracterizado por participar como una economía regional primaria exportadora mediante el aporte de materia prima en principio, a través de los recursos forestales y sus derivados como el tanino en el contexto de la expansión del sistema ferroviario en la Argentina hasta el año 1929 aproximadamente (Zarilli, 2004). Pero, en lo que respecta a la agricultura esta provincia estuvo vinculada desde un inicio y con posterioridad al ciclo forestal al cultivo del algodón desde 1930 hasta 1990 llegando a presentar campañas récord hacia la década de 1990 (tanto en superficies implantada, cosechada, en la producción y el rendimiento). La posterior crisis de este cultivo favoreció la incorporación, de modo alternativo e incipiente, de la soja, la cual con el paso de los años lograría posicionarse en primer lugar teniendo en cuenta las ventajas y simplezas de manejo que presenta en relación con el resto de los cultivos y en particular al algodón, que se lo consideraba hasta entonces, como monocultivo tradicional (Manoiloff, 2005; Zarrilli, 2010).

Para Manoiloff (2001; 2005) la crisis del algodón conformó un cúmulo de sucesos económicos y meteorológicos desfavorables que influyeron de diversas maneras a partir de la década de 1990: las inundaciones de 1997/1998, las heladas tempranas al año siguiente y una prolongada sequía en la primavera de 1999/2000, además de los precios desfavorables en los mercados y la competencia de la fibra sintética. Esta situación crítica para los productores algodoneros junto al endeudamiento generado fue suficiente para abandonar la explotación o recurrir a la transformación productiva, en el caso de soportar los gastos, con la introducción de cultivos alternativos. La soja, hasta ese entonces desconocida en la región se muestra como una alternativa válida rentable económicamente y de menor exigencia climática que el algodón de allí que se incorpore rápidamente en el sector.

Con la introducción de esta oleaginosa con un nuevo sistema de producción basado en una visión empresarial (Zarrilli, 2004) se modificó rápidamente el espacio geográfico a través de la incorporación de agroecosistemas. De este modo se logró

una transformación hacia paisajes agrarios. Su inclusión ocupó las superficies que pertenecían al algodón y nuevos territorios obtenidos de los desmontes (Adámoli, 2008) en particular hacia el oeste de la provincia, con su continuación al este de Santiago del Estero. Sostiene Zarrilli (2010) que el nuevo modelo productivo era más eficiente, simple, relativamente barato y de rápida comercialización en el mercado. Además su ingreso estuvo solventado por capitales provenientes de otras provincias, que encontraron precios bajos en la compra de tierras y regulaciones débiles a los desmontes (Torre Geraldí, 2004).

Dicha apropiación espacial, criticada por la falta de controles a los desmontes, ha generado diversas preocupaciones por las perspectivas ambientales futuras de esta región, ante situaciones como la pérdida de diversidad biológica, reducción y fragmentación de bosques, problemas socio-económicos que han sido tratados por especialistas como Torre Geraldí (2004), Adámoli (2008), Valenzuela (2009) y Zarrilli (2010).

En este sentido, la Teledetección, a través de sus fundamentos y técnicas, ofrece una gran posibilidad para el monitoreo y control de variaciones en las superficies con determinada cobertura (natural o antrópica, por ejemplo los montes nativos y las áreas de cultivos). Por otra parte, el estudio multi-temporal posibilita la comparación y análisis, además de contribuir con otros estudios de orden económico, ambiental, territorial, entre otros.

Antecedentes

Los estudios de detección de cambios en las coberturas como en los usos del suelo son frecuentes en diversos campos de investigación, tales como la Geografía, Agronomía, Geología, Biología, Urbanismo, Economía y otros que requieran estudiar las cubiertas terrestres, en cuestiones referidas al estado, distribución, evolución de los recursos, como así también explorar las ventajas que ofrecen en vistas de un mayor aprovechamiento y conservación. Para tales fines, existen en el mercado una gran variedad de productos satelitales, como las del proyecto LANDSAT, SPOT, MODIS, IRS, QUICKBIRD, C-BERS, SAC-C y D, entre otros. Los mismos son empleados para análisis tanto a escala regional (para el estudio de los recursos naturales y el seguimiento de los fenómenos naturales) como local (en el estudio de los ambientes urbanos). Éstos presentan características que facilitan el estudio de la evolución de las cubiertas, como la vegetación natural, las actividades agrícolas y antrópicas en general, la distribución de las masas oceánicas y otras.

Las actividades que el ser humano desarrolla (agricultura, ganadería, deforestación, obras civiles, etc.) son las principales causantes de la transformación del espacio aunque no las únicas, pudiendo los fenómenos naturales (inundaciones, deslizamientos de tierras, incendios, tornados, huracanes, actividades volcánicas,

terremotos, tsunamis, etc.) provocar cambios considerables en el espacio. Ambas, tanto naturales como antropogénicas implican una transformación sustancial del entorno y pueden ser estudiados mediante la Teledetección y los Sistemas de Información Geográficas.

En este sentido son frecuentes los trabajos que abordan estudios de Teledetección en el ámbito agrario, urbano, minero y otros. Se destaca el forestal, principalmente para el control de este recurso empleando técnicas de monitoreo de incendios, tala no autorizada, repoblación forestal y otras (Di Bella *et al.*, 1999; Romero, 2006; Frauc *et al.*, 2006; Tonatto *et al.*, 2008; Fonseca *et al.*, 2009). Generalmente este tipo de investigaciones es propio de los organismos de control de los Estados, como por ejemplo, la Dirección de Bosques de la Provincia del Chaco y la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (2002; 2004) los cuales realizaron el mapa forestal provincial empleando imágenes satelitales Landsat 5 TM para el año 2002 y 2004, actualizando la información sobre el estado de esta cubierta. Dicha actualización cartográfica también apunta a determinar la proporción de la deforestación y fragmentación de los bosques.

Por otro lado, existen trabajos como los de Adámoli *et al.* (2008) que analizan diversos aspectos del avance agrícola y estudian la reducción de los bosques nativos mediante la Teledetección. Este autor se constituye en un referente obligado, dentro de la literatura consultada para este trabajo, dado que sus investigaciones abarcan, entre otros, los espacios de análisis planteados en este artículo.

Los fundamentos teóricos en los cuales se basan la mayoría de los trabajos aplicados de Teledetección son desarrollados de forma sistematizada por autores como Campbell (1987), Chuvieco (1990; 2002), Pinilla (1995), Navone (2003), Santos Preciados *et al.* (2006), Schowengerdt (2007), Li *et al.* (2008), Eastman (2003; 2012), Chandra (2012). Éstos proporcionan los contenidos conceptuales y procedimentales como también los principios y aplicaciones más comunes y recientes derivadas del procesamiento digital de las imágenes.

Dentro de la temática de Teledetección en el ámbito agrario y con especial atención al área de estudio que se plantea en este trabajo de investigación, Solbrig y Adámoli (2008) analizan a nivel nacional el aumento de la producción agrícola como resultado de la incorporación del cultivo de soja y su expansión sobre los bosques nativos; evaluando los recursos forestales, su degradación, reducción, fragmentación, los impactos ambientales derivados del sistema de cultivo implementado y los principales núcleos de expansión agrícola, entre los cuales se encuentra el Núcleo Sub-Húmedo Central que ocupa porciones del suroeste chaqueño. Además estos autores destacan que la expansión agrícola se realizó sobre un ciclo húmedo con mayores registros pluviométricos, algo que Pértile (2004) lo había observado para el período en el que principalmente se cultivaba algodón (1980-1990), pero que se acentuaría en el período de avance de la soja (Insaurralde, 2012) junto con

las ventajas económicas existentes debido a los bajos precios de los campos. Zarrilli (2010: 143) destaca que el proceso de expansión de la frontera agrícola “... *estuvo condicionada en la Argentina, por las coyunturas favorables del mercado y por la disponibilidad de tierras aptas y baratas...*”, a lo que se le debe agregar el cambio cualitativo en el sistema de producción que pasa de un binomio productor-campo a empresario-campo, junto con la introducción de los *pools* de siembra. En relación con lo mencionado anteriormente, Viglizo y Jobbágy (2010) ofrecen evidencias de las transformaciones e impactos que la expansión agropecuaria ocasiona sobre los ambientes mediante la realización de un trabajo de carácter técnico que recopila las experiencias de diversos autores que analizan cuestiones relativas a la expansión agrícola y su impacto en el ambiente, empleando, en algunos casos, estudios con imágenes de satélite para la determinación de los núcleos agrícolas que a nivel nacional han experimentado un crecimiento en superficie.

Si bien lo que se pretende es analizar los efectos territoriales de los cambios en las coberturas, no se puede dejar de hacer referencia a los efectos que ocasionaron sobre el ambiente y las poblaciones; al respecto Pérez Carrera, Moscuza y Fernández Cirelli (2008) analizan los problemas socio-ambientales que producen la expansión de la frontera agropecuaria y los cambios en el modelo productivo, tomando como caso de estudio la provincia de Santiago del Estero, la cual se halla próxima al área de estudio. Estos autores sostienen que prácticas, tales como desmontes y el monocultivo de soja, han generado serios inconvenientes en los pobladores produciendo migraciones por desempleo. Sumado a ello, la instalación de este nuevo sistema productivo desplazó la actividad ganadera hacia zonas marginales, lo que Zarrilli (2010: 144) denomina “*agro-culturización*”, es decir, “... *el uso creciente y continuo de tierras para cultivos agrícolas en lugar de usos ganaderos o mixtos*”, acentuando la aparición de los *feedlots*, lotes de alimentación y engorde del ganado bajo un sistema intensivo. Este autor continúa diciendo que “*También se asocia en la pampa a cambios tecnológicos, intensificación ganadera, expansión de la frontera agropecuaria hacia regiones extra-pampeanas, y, fuertemente relacionado con la sostenibilidad, la tendencia a producciones orientada al monocultivo, principalmente soja o la combinación soja-trigo*”. En coincidencia con estos autores, Reboratti (2010) pone en evidencia los procesos que llevaron a la incorporación de la soja al contexto agrícola nacional y que, como tal, ocasionó diversos cambios geo-históricos que dieron lugar a problemas ambientales, sociales y políticos fuertemente cuestionados, en donde destaca, el monocultivo como una práctica dañina al ambiente, especialmente a los suelos, la incorporación de variedades genéticamente modificadas y el uso de agroquímicos, la deforestación; y otros efectos sociales, derivados de los anteriores, como la pérdida de recursos naturales, degradación ambiental, pobreza e inmigración, entre otros.

También, aunque fuera de la línea de trabajo que implica el uso de la Teledetección, se encuentran trabajos que ofrecen un contexto histórico de la situación del agro chaqueño, como también una revisión actual de la situación. En éstos abundan los análisis estadísticos y de recopilación bibliográfica que ofrecen una

mayor comprensión de las situaciones dadas en determinados períodos, constituyéndose en una fuente bibliográfica de referencia para su análisis y comparación con los resultados de los análisis multitemporales, logrados con las imágenes satelitales. Al respecto Manoiloff (2001; 2005) realiza un profundo análisis sobre el cultivo del algodón, que forma parte de la historia agrícola chaqueña y destaca la importancia que éste tuvo durante un período de 30 años, entre 1930 y 1960. Este estudio permite comprender el estado inicial de la incorporación del nuevo modelo agroproductivo y con ello las nuevas transformaciones territoriales que se producirían a partir de 1990. En cambio, una mirada más actual es la que ofrecen Brodersohn, Slutzky y Valenzuela (2009) que describen las diferentes etapas que ha atravesado el cultivo del algodón desde su incorporación en la economía nacional, pasando por períodos de ampliación de los mercados internos, de diversificación productiva y por último, de crisis con una posterior transformación. A esta descripción, Valenzuela (2009) aporta una actualización de la situación del cultivo del algodón, desde 1970 hasta el 2010, remarcando los conflictos sociales que generó la introducción de un nuevo modelo productivo, basados en la inclusión de la soja, para las poblaciones locales.

Objetivos

El presente trabajo pretende evaluar cuáles han sido los cambios en las coberturas, ocurridos en el suroeste chaqueño, entre 1989 y 2010, con especial atención en las transformaciones del bosque nativo ante el avance de la agricultura hacia el oeste.

Con el fin de alcanzar el objetivo principal se propone una serie de objetivos específicos:

- Identificar y cuantificar las cubiertas ocupadas por monte, cultivos, pastizales y suelos desnudos, entre los años 1989 y 2010.
- Establecer comparaciones entre la situación inicial y final en la evolución y transformación de las cubiertas.
- Calcular las superficies transformadas en el suroeste chaqueño para cada cobertura.
- Evidenciar la evolución de cada cubierta, identificando la variación durante el período de estudio.

Área de estudio

El suroeste chaqueño es una porción de la provincia del Chaco que abarca los departamentos de General Belgrano, 9 de Julio, Chacabuco, 12 de Octubre, 2 de Abril y Fray Justo Santa María de Oro. Limita al norte con el departamento de Almirante Brown, al sur con la provincia de Santa Fe, al este con los departamentos de Independencia, General O'Higgins y Mayor Luis Fontana y al oeste con la provincia de Santiago del Estero. Contiene en su interior a las localidades de

Corzuela, Las Breñas, Charata, General Pinedo, Hermoso Campo Santa Sylvina y otras de menor categoría (Fig. 1). Estos departamentos presentan una superficie total de 11.050 km², lo que representa un 11,1 % en relación con el total provincial; además posee un total de 103.307 habitantes, según el censo del año 2001 y de 114.286 habitantes, según los datos provisionales del censo 2010. Dicha población se comunica a través de las rutas nacionales 89 y 95 como por un conjunto de rutas provinciales que se estructuran a partir de ellas.

Esta región presenta un clima templado cálido húmedo “de costa oriental”, sin una estación seca estival, con registros pluviométricos medios anuales que oscilan entre 800 y 1.000 mm, sobre un área de déficit hídrico y una alta variabilidad temporal pluviométrica. Topográficamente presenta alturas que varían de 70 a 150 m.s.n.m. Las unidades geomorfológicas que predominan son las de Pinedo y la de Sáenz Peña seguidas por las de Cañadas (II) y Tapenagá (II). Sobre el área se destaca la presencia de los Bajos de Chorotis, porción chaqueña de los Submeridionales, tratándose de un área deprimida. Sobre estas condiciones se desarrolla la vegetación de la Región Fitogeográfica del Monte, con comunidades de arbustales, pajonales, bosques (altos y bajos), chilcar, gramillar y sabanas con palmares.

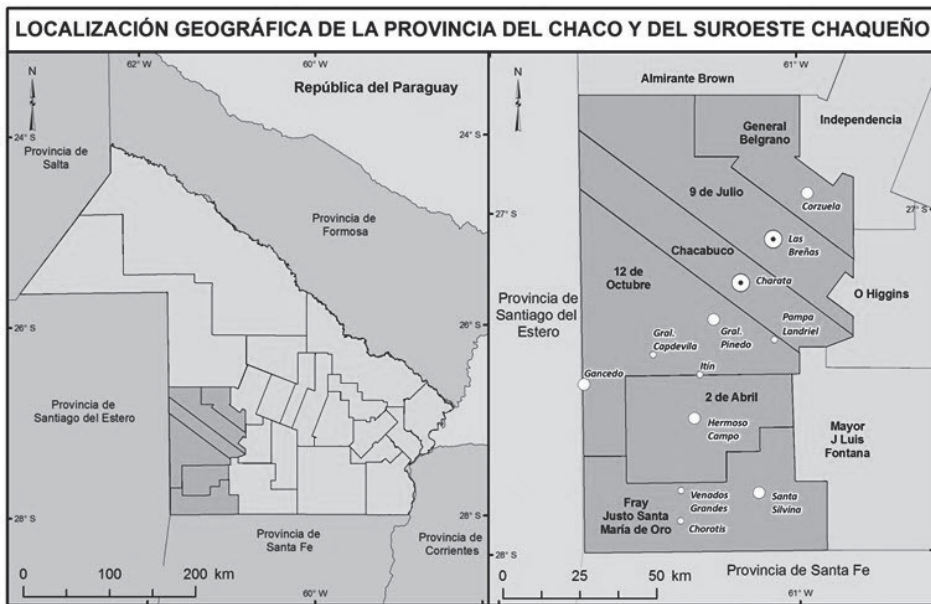


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio.

Fuente: Elaborado por Insaurrealde (2012) sobre la base de SIG -250 (IGN) y Aeroterra S.A.

Metodología y fuentes de información

La metodología que se plantea en este trabajo se encuentra ligada a los fundamentos de Teledetección ampliamente desarrollada por autores como Campbell (1987), Chuvieco (1990; 2002), Pinilla (1995), Navone (2003), Preciados y Matesanz (2006), Schowengerdt (2007), Li *et al.* (2008), Eastman (2003; 2012), Chandra (2012). En ésta se plantean diversos pasos que corresponden a la búsqueda de información, selección, pre-procesamiento, procesamiento, análisis y presentación de los resultados. A continuación se presenta una síntesis de los pasos metodológicos aplicados:

Selección y obtención de la información satelital:

- Imágenes Landsat 5 TM (años 1989 y 2010)

Preparación de la información (operaciones de pre-procesamiento):

- Combinación de bandas (RGB -543)
- Cálculo del NDVI
- Composición de las imágenes
- Construcción del mosaico de imágenes
- Re-proyección de los mosaicos
- Delimitación del área de estudio (recorte de los mosaicos)

Procesamiento de los datos:

- a) Clasificación NO supervisada de imágenes, 20 clases resultantes
- b) Reclasificación → clasificación final (5 coberturas)

Análisis de los cambios en las coberturas entre 1989 y 2010:

- Tabulación cruzada (*Cross-Tabulation*)
- Salida tabular y gráfica (tablas y mapas)
- Análisis de la información gráfica y cartográfica.

Por su parte, las fuentes de información empleadas para este trabajo poseen diferentes orígenes. Las imágenes satelitales Landsat 5 Thematic Mapper (TM) para los años de estudio considerados fueron obtenidas del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE-Brasil- <http://www.inpe.br>) éstas corresponden al mes de septiembre de 1989 y 2010. La decisión de trabajar con tales fechas guarda relación con el objetivo de este trabajo: identificar y cuantificar cubiertas y a la disponibilidad de imágenes de buena calidad. A su vez, se pretende, como objetivo, centrarse en una cubierta en particular, el monte y analizar su evolución temporal entre las fechas mencionadas.

Entre las imágenes de cada escena (1989 y 2010) se conforma un mosaico para cada una de ellas, que posteriormente son reducidas al área de estudio. En la figura 2 se puede apreciar la disposición espacial del mosaico constituido por dos imágenes Landsat 5 TM: al Norte path 228, row 078 y al Sur path 228, row 079. En total se lograron dos mosaicos con el empleo de cuatro imágenes.

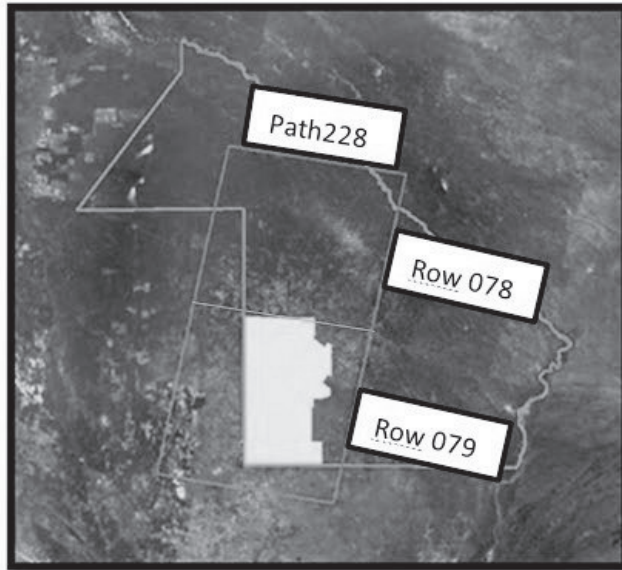


Figura 2. Localización geográfica del mosaico y el área de estudio en el suroeste chaqueño. Fuente: Insaurrealde (2012) sobre la base de Google Earth y Aeroterra S.A.

Marco teórico

El uso del espacio geográfico

Un sensor remoto captura información espectral del comportamiento radiativo de la superficie terrestre, es decir, de las cubiertas o coberturas para una determinada fecha y, como resultado de su procesamiento, se pueden observar los usos que el hombre hace del espacio. Coincidiendo con lo que sostiene Marlenko (2003), el uso de la tierra está íntimamente relacionado con el uso que se hace de los recursos naturales y no naturales para la satisfacción de las necesidades humanas, a esto lo denomina "*el uso del espacio geográfico*". Pero cabe aclarar que existe gran diferencia conceptual entre observar el uso del espacio geográfico y el uso del suelo, entendido este último desde el punto de vista edáfico o económico, ya que un sensor observa cubiertas y no usos, puesto que estos últimos son inferidos a través de la aplicación de diferentes técnicas.

Conocer el uso que se hace de un espacio geográfico es de suma importancia para la planificación, pues el aprovechamiento de los recursos naturales para la satisfacción de las necesidades humanas hace necesario inventariar, analizar y clasificar los usos de la tierra. El resultado de ello es una cartografía temática que

divide el área de estudio en espacios con características coherentes al sistema de clasificación adoptado.

Existen varios sistemas de clasificación, entre los cuales se destaca la Clasificación Mundial de Usos de Suelo, de la Unión Geográfica Internacional de 1965, que pretendía sistematizar el uso de la tierra en todas partes del mundo en un sistema uniforme de clasificación, con variaciones locales, si fuera necesario. Otras clasificaciones fueron las de Gran Bretaña en 1961, la Canadiense de 1962, la Estándar de Estados Unidos de 1965, la Clasificación de Usos y/o coberturas de Anderson (Servicio Geológico de Estados Unidos) de 1976 y la Clasificación de Usos y Coberturas de la Tierra CORINE perteneciente a la Unión Europea. Todas ellas ofrecen diferentes niveles de clasificación, algunas generales y otras con mayor detalle.

Cualquier sistema de clasificación de los usos del territorio posee como objetivo posterior el ordenamiento territorial. No se puede concebir a éste sin contar con un mapeo de usos del espacio, ya que se trata de una información valiosa para la planificación y control de los recursos naturales y no naturales, como para la predicción de los futuros cambios.

Clasificación digital de imágenes satelitales

La clasificación digital es un proceso que implica la transformación de los niveles digitales de radiancia (ND) de la imagen satelital original en niveles digitales con referencia a categorías. Eastman (2003: 193) lo define como “el proceso de desarrollar mapas interpretados de imágenes de sensores remotos”, este mismo autor continúa diciendo que “...la clasificación es el aspecto más importante del procesamiento de imágenes para SIG”. Chuvieco (2002: 370), por su parte, afirma que “...como fruto de la clasificación digital, se obtiene una cartografía e inventario de las categorías objeto de estudio”, señalando además que “...la imagen multibanda se convierte en otra imagen del mismo tamaño y características de las originales, con la importante diferencia de que el ND que define cada pixel no tiene relación con la radiancia detectada por el sensor, sino que se trata de una etiqueta que identifica la categoría asignada a ese pixel”. Es decir, se crea una nueva imagen con información temática cuyo ND se corresponde a una determinada clase o categoría. Como resultado, esta nueva imagen presenta una escala cualitativa, a diferencia de la imagen original en la cual los ND representan una variable, como lo son los niveles de radiancia. Según Chuvieco, (2002: 371) sobre esta nueva imagen “...no pueden aplicarse ciertas operaciones estadísticas a una imagen clasificada, ya que, pese a ser digital, no está medida en una escala cuantitativa, sino generalmente cualitativa”.

Métodos empleados en la clasificación digital de imágenes satelitales

Existen dos métodos comúnmente empleados para la clasificación de imágenes satelitales: los métodos Supervisados y los No Supervisados. El primero de ellos es un método que exige un buen conocimiento del área sobre la cual se realizará el trabajo de clasificación. En este se emplean “zonas de entrenamiento”, captadas directamente sobre la imagen original; se trata de porciones de la imagen, representativas de una determinada categoría, que son empleadas para la búsqueda y clasificación del resto de la imagen. Además es común emplear técnicas de ajuste en campo como por ejemplo el uso de radiómetros portátiles, que determinan el comportamiento espectral de una cubierta pudiendo luego clasificar la imagen a partir de su firma espectral considerada como muestra (Chuvieco, 2002). Para Eastman (2003: 193), en una clasificación supervisada “...uno provee una descripción estadística del modo en que espera que ciertas coberturas terrestres aparezcan en la imagen, y luego se usa un procedimiento (conocido como clasificador) para evaluar la probabilidad de que cada pixel pertenezca a una de estas clases”.

Como ambos autores mencionan, este método requiere gran conocimiento del área sobre la cual se pretende clasificar y una calibración a partir de herramientas que mejoren la precisión de la clasificación. Pero si no se dispone de esta herramienta existe otro método denominado No Supervisado que es frecuentemente empleado y, según Chuvieco (2002: 380) “...se dirige a definir las clases espectrales presentes en la imagen. No implica ningún conocimiento del área de estudio, por lo que la intervención humana se centra más en la interpretación que en la consecución de los resultados”. Para Eastman (2003), este enfoque busca “...descubrir las principales clases de coberturas terrestres que existen en la imagen sin conocimiento previo de lo que puede ser. Genéricamente, tales procedimientos se hallan en el campo del análisis de agrupamiento (clusters) porque éstos buscan grupos de píxeles con características de reflectancias similares en una imagen multibanda”.

Chuvieco (2002: 380) explica que “...los ND de una imagen forman una serie de agrupaciones o conglomerados (clusters), más o menos nítido según los casos. Estos grupos equivaldrían a píxeles con un comportamiento espectral homogéneo y, por tanto, deberían definir clases de interés”. Por otra parte, “El método para definir los agrupamientos espectrales (...) se basa en la selección de tres parámetros 1) variables que intervienen en el análisis; 2) criterio para medir la similitud o distancia entre los casos; 3) criterio para agrupar los casos similares”. En el primer caso, las variables intervinientes corresponden a las bandas de la imagen satelital que se emplean para la clasificación; en segundo lugar, los casos se definen como cada pixel presente en las respectivas bandas de la imagen, definidos por sus respectivos niveles digitales (ND) y; en tercer lugar, existen criterios intervinientes para la agrupación de los casos similares, lo más común es el uso de la distancia euclidiana a un centro o promedio (Chuvieco, 2002).

Existen en la actualidad una importante variedad de algoritmos de clasificación de datos, en este trabajo se ha optado por la utilización del algoritmo de clasificación ISODATA, el cual ha sido desarrollado por Ball y Hall (1965). Dicho algoritmo es uno de los más sencillos en la clasificación de los datos, pero ofrece a su vez gran solidez como flexibilidad a la hora de establecer los parámetros de clasificación, tales como la cantidad de clases a determinar y como la cantidad de pasos cíclicos que el algoritmo ha de hacer para clasificar, ofreciendo un mayor ajuste de los datos finales (Eastman, 2003).

Resultados

El estado de las coberturas para el año 1989

Para el año 1989 (Fig. 3) la imagen en falso color RGB 543 permite realizar un análisis visual y en ella es posible advertir cubiertas con zonas agrícolas al este de la imagen, éstas comprenden la continuación del área agrícola central chaqueña. Además de esta cubierta es posible identificar el bosque nativo que se extiende como una cubierta homogénea y sin demasiadas discontinuidades por el sector noroeste, mientras que por el suroeste se puede advertir una zona con presencia de humedales y cuerpos de agua, como también suelos desnudos; se trata del área deprimida de los Bajos de Chorotis y sus alrededores, mientras que por el sector sureste se observan sabanas compuestas de palmares y pastizales. Mediante la clasificación de la imagen se obtienen cinco cubiertas: monte, pastizales, cultivos, suelo 1 (con baja reflectividad) y suelo 2 (con alta reflectividad) estas últimas cubiertas son suelos desnudos, solo que de ellas se puede deducir que las primeras presentan alguna cobertura vegetal muy escasa (posiblemente rastrojo), mientras que suelo 2 no presenta ninguna cobertura como mezcla, de allí la elevada reflectividad.

A partir de estas se observan diferentes patrones de distribución espacial. Al este se aprecia una porción del núcleo agrícola chaqueño, caracterizado por parcelas de pequeñas superficies. Éstas presentan cubiertas de suelo 1 y 2 y cultivos, con parches de monte dispersos; la presencia de esta última cubierta en estos sectores es moderada a baja debido a la actividad agrícola presente. Al oeste y norte predomina la cubierta de monte seguida por la de pastizales, mientras que al sur en los Bajos de Chorotis, un área deprimida y con presencia de cuerpos de agua se observa el predominio de la cubierta de pastizales y de suelos 1 y 2.

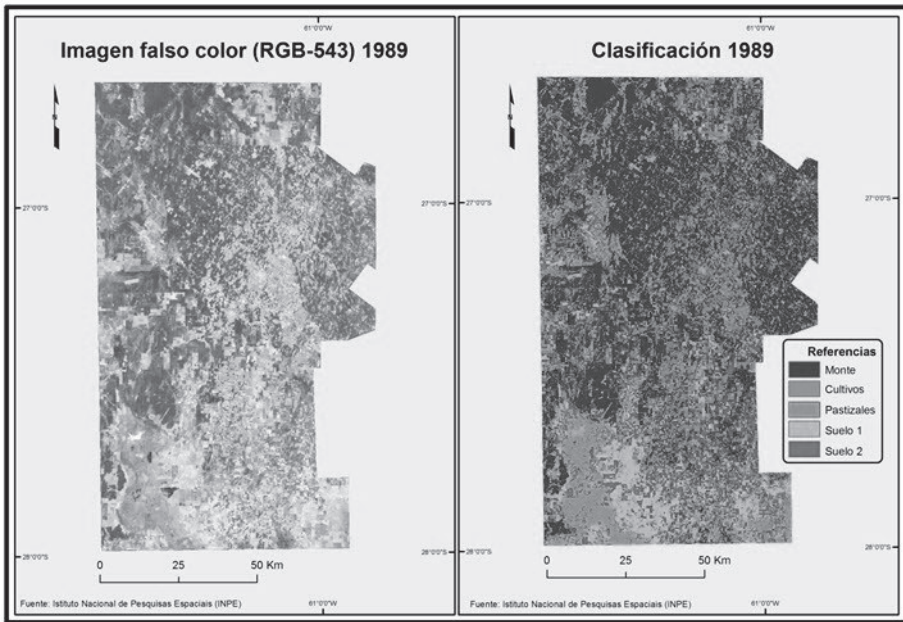


Figura 3. Imagen 1989 en falso color (RGB-543) y clasificada.
Fuente: Elaborado por Insaurrealde (2012) sobre la base de INPE.

El estado de las coberturas para el año 2010

Mediante la interpretación visual de la imagen en falso color RGB-543 del año 2010 (Fig. 4) se advierte la presencia de áreas agrícolas que se extienden de este a oeste dentro del área de estudio con parcelas pequeñas al este y de gran tamaño al oeste, mientras que las áreas con bosque nativo se hallan disminuidas y fragmentadas, reconociendo su presencia al noroeste. Al suroeste se evidencia una zona con humedales y cuerpos de agua y también áreas con suelos desnudos, mientras que en el sureste se observa la presencia de las sabanas de palmeras y pastizales. Con los resultados de la clasificación de la imagen se aprecia una clara disminución en la cobertura de monte y su reemplazo por cubiertas de suelo 1 y 2, como de cultivos y pastizales. También se observa mayor distribución de la cubierta cultivos, que ocupa claramente sectores al oeste del área de estudio. Los pastizales se localizan principalmente en la porción de los Bajos Sudchaqueños, mientras que las cubiertas de suelos 1 y 2 en el centro oeste.

Esta imagen se observan las mayores transformaciones espaciales en comparación con la situación inicial (1989). Los principales cambios en las coberturas se dan en el monte con un importante descenso en su cobertura y un aumento de las superficies con suelo 1 y 2. Esto se relaciona con una tendencia ascendente en

las superficies destinadas a la agricultura, observada a partir del análisis estadístico de la evolución de los principales cultivos en el Chaco. Aunque se trata de una estadística a nivel provincial, pone a la luz un importante aumento de las superficies destinadas a los cultivos, que formarían parte de lo observado en esta porción del espacio chaqueño pudiendo existir otras áreas que también hayan experimentado cambios en las coberturas relacionadas con el aumento de las superficies agrícolas.

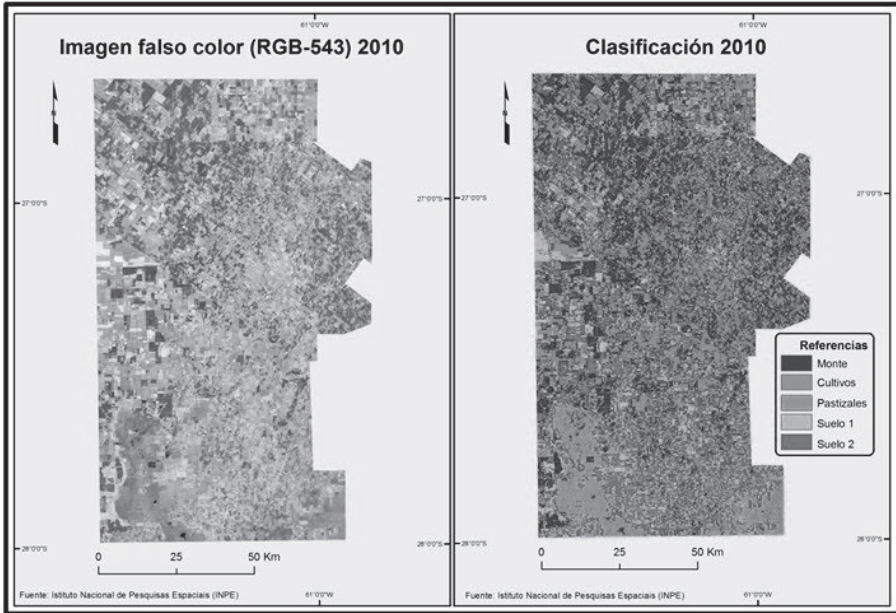


Figura 4. Escena 2010 en falso color (RGB-543) e imagen clasificada de la misma
Fuente: Elaborado por Insaurralde (2012) sobre la base de INPE

La variación de las coberturas entre los períodos 1989-2010

Si se consideran los dos años de referencia (Fig. 5) se puede observar la transformación del territorio en el suroeste chaqueño. Una comparación entre las imágenes en falso color RGB-543 permite advertir cómo el parcelamiento avanzó hacia el oeste, con la presencia de grandes extensiones de suelo desnudo, lo que nos indica que, posiblemente, corresponden a campos que se encuentran preparados para realizar alguna actividad agrícola. En un inicio (1989) la agricultura se localizaba particularmente al este del área de estudio, pero 21 años después (2010) esta actividad avanzó hacia el oeste, hasta el límite con Santiago del Estero.

También se observa en estas imágenes la presencia de cultivos que se caracterizan por presentar, para el año 1989, pequeñas extensiones y localizarse, parti-

cularmente al este del área de estudio, pero para el año 2010 se observa que estas parcelas son más frecuentes en ese sector y con superficies de mayor extensión.

Para tener una clara visión de la evolución de la superficie dedicada a los cultivos se deben sumar a los suelos desnudos (preparados para los cultivos) con los cultivos observados, logrando de ese modo una aproximación a la magnitud del avance agrícola. Está claro que en una clasificación se puede incurrir en errores y, más aún al tratarse de una no supervisada, pero como se ha señalado anteriormente, en todos los pasos del proceso de obtención de las clases se ha tratado de minimizarlos, mediante métodos de control, a través del análisis de las firmas espectrales, como del NDVI y la interpretación visual de las imágenes.

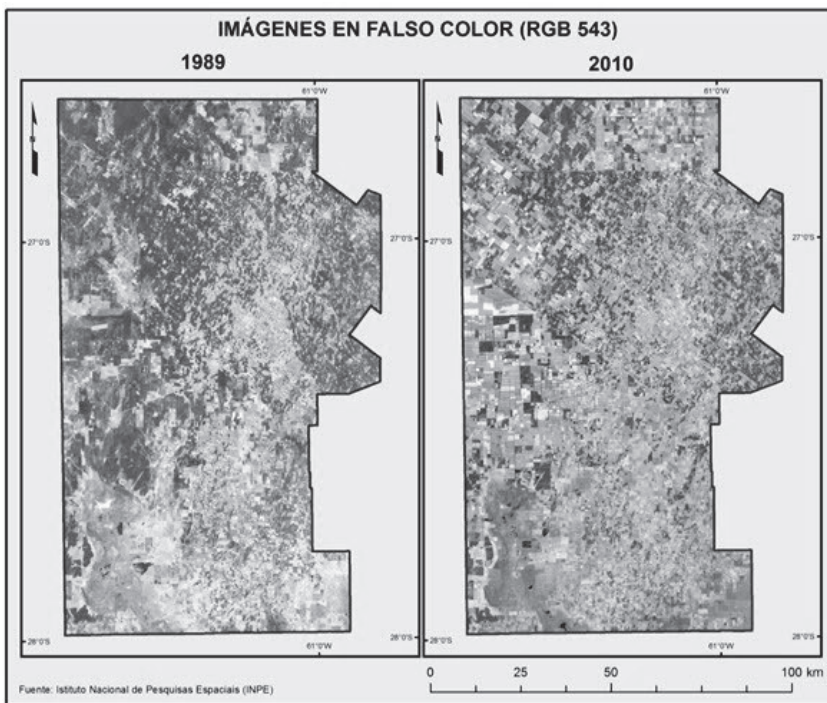


Figura 5. Escenas en falso color (RGB-543) años 1989 y 2010.

Fuente: Elaborado por Insaurrealde (2012) sobre la base de INPE

Las imágenes clasificadas (Fig. 6) resumen lo que anteriormente se describía. La cubierta de monte se ve reducida y en su reemplazo aparecen suelos 1 y 2. Los cultivos que predominaban al este del territorio pasan a ocupar superficies al oeste reemplazando principalmente cubiertas de monte y de pastizales. Estos últimos, particularmente en la porción de los Bajos de Sudmeridionales y su continuación hacia el este, mantienen cierta estabilidad, sin presentar alteraciones marcadas.

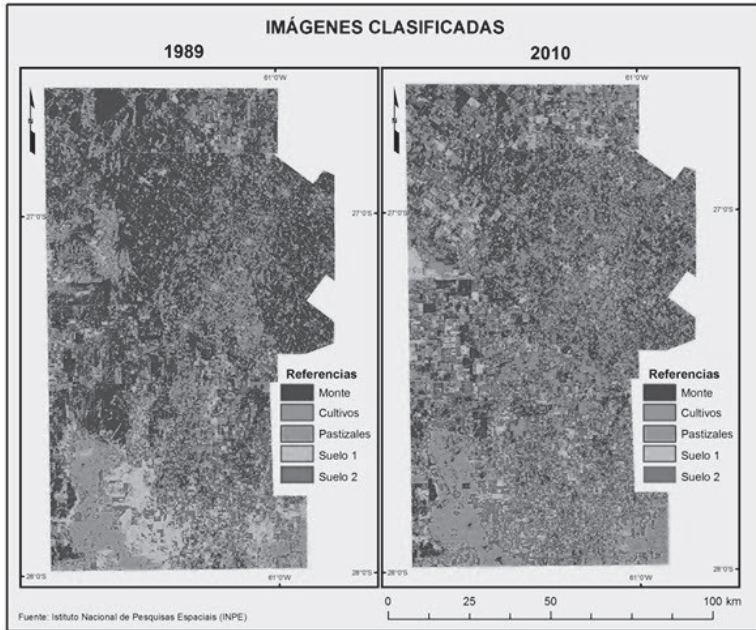


Figura 6. Imágenes clasificadas de los años 1989 y 2011. Fuente: Elaborado por Insaurralde (2012) sobre la base de INPE

El aumento de las superficies destinadas a los cultivos y la reducción de los bosques

Si se aísla la cubierta de monte para los dos años de estudio (Fig. 7) mediante un análisis visual, rápidamente identificaremos una clara tendencia descendente en las superficies de esta cobertura. Varios autores, como Derewicki (2000), Adámoli (2008) Zarrilli (2010) y otros, han señalado esta disminución en la superficie de los montes nativos, preocupándose por el avance agrícola y la tala indiscriminada.

En la sucesión de las escenas se aprecian dos momentos diferenciados; uno inicial, en el que existía una determinada proporción de monte en el área de estudio y una escena más actual, en donde se evidencian profundos cambios, resultado del mencionado avance agrícola hacia el oeste, favorecidos por condiciones económicas y tecnológicas como por factores naturales, principalmente las mayores precipitaciones en el sector.

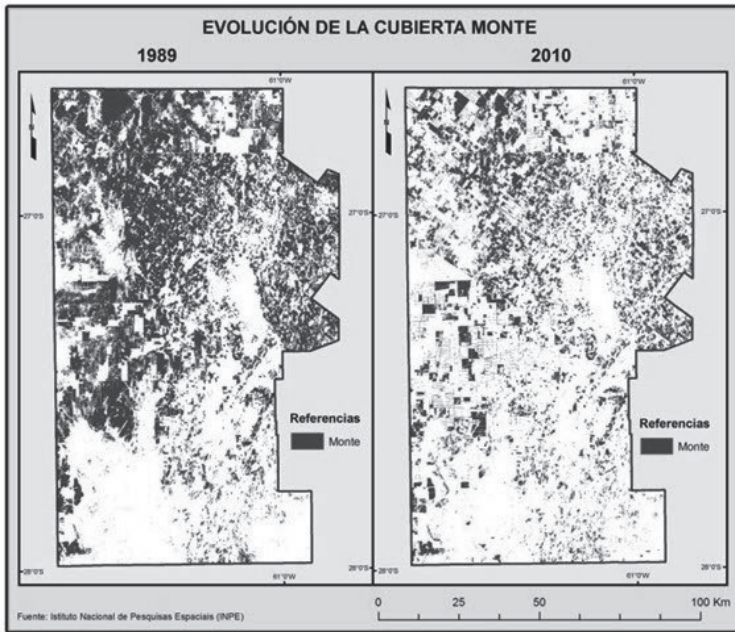


Figura 7. Evolución de la cubierta monte entre los años 1989 y 2010. Fuente: Elaborado por Insaurrealde (2012) sobre la base de INPE.

Determinación de cambios en las cubiertas clasificadas entre los años 1989 y 2010

La clasificación cruzada (*cross-tab*) es una técnica estadística comparativa para datos cualitativos, como por ejemplo, las imágenes clasificadas (Eastman, 2003; 2012). Con ella se puede contabilizar las superficies de cambio o permanencia de las cubiertas, a su vez se puede conocer tanto el origen como destino (pérdida y ganancia) de esa porción de cobertura en su evolución temporal. En dicha tabla se comparan las clasificaciones de los años 1989 y 2010 y se determina la permanencia o variación de las cubiertas clasificadas, tomando como unidad mínima el píxel. En la tabla I se puede observar la matriz cruzada expresada en píxeles. La lectura puede hacerse tanto en el sentido de las columnas como de las filas. Los totales expresados en fila corresponden al año 1989, mientras que los apilados en columnas al 2010.

1989/2010	monte	cultivo	pastizales	suelo 1	suelo 2	Total 2010
monte	<i>1.893.605</i>	17.858	391.135	88.987	43.671	2.435.256
cultivo	344.485	<i>146.258</i>	282.966	311.481	155.971	1.241.161
pastizales	947.960	139.492	<i>1.078.632</i>	634.820	490.728	3.291.632
suelo 1	1.063.511	293.749	852.897	<i>1.071.412</i>	786.411	4.067.980
suelo 2	402.113	152.787	369.756	470.462	<i>350.465</i>	1.745.583
Total 1989	4.651.674	750.144	2.975.386	2.577.162	1.827.246	<i>12.781.612</i>

Tabla I. Tabulación cruzada para las imágenes 1989-2010 expresadas en unidades de pixel. Fuente: Elaborado por Insaurralde (2012) sobre la base de INPE.

De la lectura y análisis de la tabla I se puede concluir que una importante cantidad de píxeles permanecen sin cambios, estos corresponden a la diagonal puesta en negrita y cursiva, mientras que por fuera se expresan las variaciones de las diversas coberturas. En general se observa que existen, por un lado, variaciones importantes en las cubiertas de monte, cultivo y suelo 1 y, por otro lado, variaciones leves en las cubiertas de pastizales y de suelo 2. Así, el monte mantuvo sin cambios un total de 1.893.605 píxeles entre 1989 y 2010, con una pérdida total de 2.216.418 píxeles, un 47,64 % aproximadamente. La cubierta de cultivos mantuvo sin cambios un total de 146.258 píxeles y varió en total unos 491.017 píxeles, es decir, unos 65,46 % de aumento. Por su parte, la cubierta de pastizales mantuvo sin cambios un total de 1.078.632 píxeles y cambió en total unos 316.246 píxeles, con un 10,62 % de aumento. La cubierta de suelo 1 mantuvo sin cambios un total de 1.071.412 píxeles y cambió en total de 1.490.818 píxeles, lo que representa un 57,84 % de variación positiva. Por último, la cubierta de suelos 2 mantuvo invariable un total de 350.465 píxeles y presentó cambios con un total de 81.663 píxeles, un 4,46 % de variación negativa.

Para una mejor comprensión de los valores obtenidos de la tabulación cruzada, los píxeles son ajustados a hectáreas. La tabla II muestra los valores de la matriz expresados en hectáreas, donde aquellos que se encuentran en la diagonal (negrita y cursiva) corresponden a las superficies de las cubiertas que permanecen sin sufrir cambios, mientras que los valores ubicados a sus márgenes corresponden a las variaciones hacia otras cubiertas.

Si se considera la cubierta de monte se observa que posee un total de 418.650 ha para el año 1989 mientras que para el 2010 es de 219.172 ha, es decir que entre ambos años redujo su superficie un 47,64 % (unas 199.478 ha). La tabulación en el sentido de las columnas muestra que 31.004 ha de monte han pasado a ser cultivos, mientras que esta cambió a pastizales 85.316 ha, unos 95.716 ha a suelo 1 y 36.190

ha a suelo 2. Con respecto a la cubierta de cultivos, presentaba un total de 67.511 ha en el año 1989 y 111.704 ha en 2010, lo que representa un aumento de 65,46 %. Debe tenerse en cuenta que existen cubiertas que por su naturaleza presentan mayor grado de dinamismo, como los cultivos, pues estos pueden presentar algún sembradío en el momento de captura de la imagen y rápidamente transformarse en suelo 1 o 2 cuando se realiza la cosecha. Por otra parte, esta cubierta mantuvo sin cambios 13.163 ha y el resto ha variado a monte con 1.607 ha, pastizales con 12.554 ha, suelo 1 con 26.437 ha y suelo 2 con 13.750 ha. La cubierta de pastizales presentaba para el año 1989 un total de 267.785 ha y de 296.247 ha para el 2010, aumentando un 10,62 %. Pero además, esta cubierta varió a monte 35.202 ha, a cultivo 25.467 ha, a suelo 1 76.761 ha y a suelo 2 unas 33.278 ha. La cubierta suelo 1 presentaba un total de 231.945 ha para el año 1989 y de 366.118 ha para el año 2010, con un aumento de 57,84 %. Esta se transformó en monte unos 8.009 ha, en cultivo 28.033 ha, en pastizales 57.134 ha y en suelo 2 unas 42.342 ha. La cubierta de suelo 2 presentaba un total de 164.452 ha en 1989 y 157.102 ha en el año 2010, con una leve reducción de 4,46 %. Esta cubierta varió a monte 3.930 ha, a cultivo 14.037 ha, a pastizal 44.166 ha y a suelo 1 unas 70.777 ha.

1989/2010	monte	cultivo	pastizal	suelo 1	suelo 2	Total 2010
monte	<i>170.424</i>	1.607	35.202	8.009	3.930	219.172
cultivo	31.004	<i>13.163</i>	25.467	28.033	14.037	111.704
pastizal	85.316	12.554	<i>97.077</i>	57.134	44.166	296.247
suelo 1	95.716	26.437	76.761	<i>96.427</i>	70.777	366.118
suelo 2	36.190	13.750	33.278	42.342	<i>31.542</i>	157.102
Total 1989	418.650	67.511	267.785	231.945	164.452	<i>1.150.343</i>

Tabla II. Tabulación cruzada para las imágenes 1989-2010 expresadas en ha.
Fuente: Elaborado por Insaurrealde (2012) sobre la base de INPE.

Se confeccionaron dos mapas para una mejor visualización de los resultados, uno de cambios y otro de permanencia de las cubiertas clasificadas, ambos presentados en la figura 8. En el primer mapa, para la cubierta de suelos 1 se observa que donde antes existía otra cubierta (monte, pastizales, suelo 2 o cultivos) ahora existe esta (suelo 1). La misma lectura debe hacerse para el resto de las cubiertas en este mapa. En el segundo mapa se presentan las cubiertas que han permanecido sin variaciones durante el período considerado. Es decir que si tomamos como ejemplo la cubierta de monte, se observa que permanece estable (1989 a 2010) en diferentes porciones del espacio. En muchos casos se observa que poseen formas geométricas, con lo cual se deduce que son campos que no han sido modificados de su condición natural o primigenia. Algo similar sucede con la cubierta de pastizales, fundamentalmente en el sector de los Bajos de Chorotis cercanos a la localidad

homónima, donde se reconoce que estas áreas se mantienen como tales a lo largo de 20 años de comparación. Esto responde a la dificultad de transformar un área con cuerpos de agua en áreas de cultivos, pero sí existe la posibilidad de emplear estas superficies para otras actividades como la ganadería.

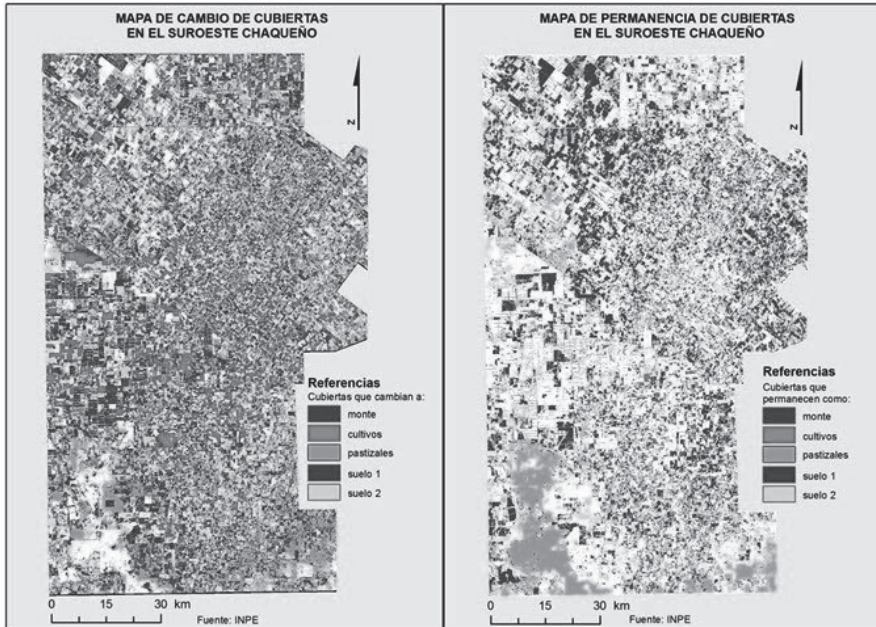


Figura 8. Mapas de cambio y permanencia de las cubiertas en el suroeste chaqueño.
Fuente: Elaborado por Insaurralde (2012) sobre la base de INPE.

Para poder tener una visión de la magnitud de los cambios y permanencias en las cubiertas, en la tabla III se presentan las superficies en hectáreas que, para cada cubierta, se mantienen como tal o varían a otras. Aquellas que presentan mayores superficies de permanencia corresponden al monte con 170.424 ha, seguido por la de pastizales con 97.076 ha, suelo 1 con 96.427 ha, suelo 2 con 31.542 ha y, finalmente, cultivo con 13.163 ha.

En el caso de las cubiertas con variaciones se observa que la categoría de monte con un total de 199.478 ha y suelo 1 con 134.173 ha, presentan las mayores superficies con cambios. En total las superficies que han permanecido sin cambios desde 1989 hasta 2010 suman 408.633,48 ha, mientras que aquellas que han experimentado modificaciones suman un total de 413.656 ha.

Cubiertas	Superficies de las cubiertas que permanecen (en ha)	Superficies de las cubiertas que cambian (en ha)
Monte	170.424	199.478
Cultivo	13.163	44.193
Pastizales	97.077	28.462
Suelo 1	96.427	134.173
Suelo 2	31.542	7.350
Total	408.633	413.656

Tabla III. Cubiertas que permanecen y cambian a otras cubiertas en el suroeste chaqueño. Fuente: INPE. Elaborado por Insaurrealde (2012) sobre la base de INPE.

Consideraciones finales

La realización de este trabajo permite plantear algunas consideraciones finales referidas a los cambios espaciales ocurridos en el suroeste chaqueño para el período analizado.

El Chaco, al igual que en diferentes regiones del país, presentó grandes transformaciones en el sistema productivo con la consecuente modificación del espacio geográfico. En un principio el algodón y posteriormente la soja fueron los cultivos más importantes en aproximadamente 20 años (1989-2010). Con ambos y su progresivo avance hacia el oeste, en un proceso de expansión agrícola, el espacio geográfico se fue transformando rápidamente. Particularmente con el cultivo de soja, la ocupación se realizó sobre áreas agrícolas que anteriormente se dedicaban al algodón y además sobre el monte nativo, empleando los desmontes como práctica necesaria para el acrecentamiento de las superficies cultivables. Se llegó a cuantificar mediante técnicas de Teledetección la reducción de un 47,64 % de montes en el área de estudio, lo que representa unas 199.478 ha, en donde 131.906 ha de esta cubierta pasaron de ser un área con monte a una con suelos desnudos o con poca vegetación (suelo 1 y 2, dedicadas, probablemente, a uso agropecuario). Si bien con el algodón se dieron los primeros pasos hacia la expansión agrícola, es con el cultivo de la oleaginosa que se acentúan las transformaciones favorecidas por el corrimiento de la isohieta de 800 mm hacia el oeste. Se trata de un período con precipitaciones superiores a las normales que favorecieron la incorporación del cultivo de la soja (Insaurrealde, 2012).

El monte corresponde a la cobertura de mayor transformación observable en las imágenes analizadas con un 47,64 % de variación. Esta inicialmente presentaba un importante desarrollo, especialmente sobre los departamentos ubicados al

norte del área de estudio (General Belgrano, 9 de Julio y Chacabuco) pero hacia el período final de estudio vio reducida su superficie notablemente. En la actualidad existen grandes extensiones de espacios destinados a la agricultura, los cuales representan cubiertas de cultivos y suelos desnudo (1 y 2).

Otra cubierta que, a diferencia de la anterior, no presentó grandes cambios es la de pastizales. A grandes rasgos, mantuvo en 2010 la misma disposición espacial que presentaba en el año 1989, sin registrar cambios relacionados con actividades agrícolas, lo que podría explicarse debido a las limitaciones hídricas que estas superficies poseen y, probablemente, el aprovechamiento que se hace de estos espacios está vinculado a actividades ganaderas. Se observa que estos pastizales describen la forma de los Bajos de Chorotis, porción deprimida con presencia de pastizales y cuerpos de agua.

Las cubiertas de suelos (1 y 2) suelen estar asociadas a campos de cultivos o de pastoreo, debido a que para llevar adelante prácticas agropecuarias es necesario contar con espacios desmontados y preparados para tales fines. Al igual que la cubierta de cultivos, esta es sumamente variable, debido a que al momento de obtener la imagen puede aparecer sin cultivo, pero rápidamente pueden incorporarlo a través de la siembra. Si se compara la situación entre 1989 y 2010, se podrá observar que existió un 57,84 % de aumento en la superficie de la cubierta de suelo 1, mientras que se registró un descenso de 4,46 % de superficie para la cubierta de suelo 2. La cubierta de cultivos es, sin dudas, la más variable de todas y, por las mismas razones explicadas anteriormente según el momento de captura de la información, puede presentar un aumento como una disminución de las superficies.

Por otra parte, se debe señalar que la expansión agrícola se realizó sobre un ciclo húmedo que abarcó desde 1990 hasta 2000 (Insaurralde, 2012). Posteriormente si bien existieron buenas condiciones de humedad, paulatinamente estos valores de precipitación fueron descendiendo, particularmente entre 2000 y 2010, con lo cual se reinstala un problema tratado por otros autores como Adámoli (2008) y Zarrilli (2010), que genera preocupación: la posibilidad de un retroceso de la isohieta de 800 mm, provocando que aquellos campos que se encuentran en áreas marginales, con déficit de humedad y sobre suelos con restricciones que van desde moderadas a severas, sean afectados seriamente por sequías intensas u otro tipo de inconvenientes, que, potencialmente, puede originar procesos de degradación u otros impactos ambientales.

Es oportuno señalar que las transformaciones evidenciadas mediante sensores remotos, responden a la situación histórica de un determinado momento y lugar y, por lo tanto, cuanto mayor sea el período de estudio, es probable que mayores sean los cambios observados. En este estudio se ha destacado el monitoreo del recurso forestal, en una porción de la provincia del Chaco que experimentó -y lo continúa haciendo- transformaciones espaciales, evidenciadas mediante los

cambios de coberturas. Esto desata el debate sobre la conservación, protección o restricción al uso de los recursos forestales, como al cuidado de otros recursos naturales, como los suelos. Particularmente, el avance de la agricultura hacia nuevos espacios, de forma no controlada, es uno de los factores que determina la reducción y fragmentación de los bosques, sin posibilidades de conservación de sitios particulares, como el Bosque de los Tres Quebrachos.

Bibliografía

ADÁMOLI, Jorge., TORRELLA, Sebastian. A., y GINZBURG, Ruben. La expansión de la Frontera Agrícola en la Región Chaqueña: Perspectivas y Riesgos Ambientales. En: Otto T. Solbrig y Adámoli Jorge (Coord.). *Agro y Ambiente: una agenda compartida para el desarrollo sustentable*. Foro de la cadena agroindustrial Argentina, 2008, pp. 1-33. Disponible en: <http://www.foroagroindustrial.org.ar/medio.php> (18 noviembre 2010).

BALL, Geoffrey. H., HALL, David. J. ISODATA, a novel method of data analysis of pattern classification. Technical Report. [En línea]. Stanford Research Inst. Menlo Park, California, 1965. Obtenido de <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?Location=U2&doc=GetTRDoc.pdf&AD=AD0699616> (1 agosto 2011).

BRODERSHON, Victor, VALENZUELA, Cristina, y SLUTZKY, Daniel. *Dependencia interna y desarrollo: El caso del Chaco*. Resistencia: Librería De La Paz. 2009, 236 p. ISBN: 978-987-1224-83-8.

CHANDRA Giri. P. Ed. *Remote sensing of land use and land cover. Principles and applications*. Londres: CRC Press. Taylor and Francis Group. 2012. 425 págs. ISBN: 978-1-4200-7074-3

CHUVIECO, Emilio. *Fundamentos de Teledetección espacial*. España: Madrid RIALP, 1990, 454 págs. ISBN: 84-321-2680-2

CHUVIECO, Emilio. *Teledetección Ambiental: la observación de la tierra desde el espacio*. España: Barcelona, Ariel, 2002, 534 págs. ISBN: 84-344-8047-6.

DEREWICKI, José Valentín. *Quebracho: árbol de hierro*. Argentina: Resistencia, Meana Impresores 2000, 295 págs. ISBN: 987-43-2674-3.

EASTMAN, Ronald. J. (RAVELO, Andrés C. Ed.) *IDRISI Kilimanjaro. Guía para SIG y procesamiento de imágenes*. Córdoba: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Córdoba. 2003, 291 págs.

EASTMAN, Ronald, J. (RAVELO, Andrés C.Ed.). IDRISI Kilimanjaro. Guía para SIG y procesamiento de imágenes. Córdoba: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Córdoba. 2012, 321 págs.

FONSECA ROSELLÓ, José A., REGO, Lissy. M. (2009). La teledetección en el manejo de riesgos de desastres. Sus impactos en la sociedad. *Santiago*. [En línea]. Cuba: Universidad del Oriente. N° 118. Disponible en: <http://ojs.uo.edu.cu/index.php/stgo/article/view/1530/1087> (23 febrero 2012).

FRAU, Carlos Mena., VALENZUELA John G., ROJAS Yony O., MORALES HERNÁNDEZ Yohana y MONTECINOS GUAJARDO Rodrigo. Teledetección y Sig en el Ámbito Forestal: Experiencias en Chile. *Ambiência*. [En línea] Brasil: Guarapuava. UNICENTRO-SEER. 2006. Vol 2, n° 3, 171-185 pp. Disponible en: http://revistas_unicentro.br/index.php/ambiencia/article/viewArticle/265 (24 marzo 2012).

INSAURRALDE, Juan Ariel y CAMPO, Alicia María. La variabilidad temporal de las precipitaciones en el suroeste chaqueño, desde 1955 a 2009. *IX Jornadas de Nacionales de Geografía Físicas*. Bahía Blanca. Buenos Aires, 2012, pp. 73-82 ISBN 9789871648320.

MANGHI, Eduardo, STRADA, Mabel, MONTENEGRO, Celina, BONO, Julieta., PARMUCHI, María Gabriela, GASPARRI, Ignacio. Mapa Forestal Chaqueño. Actualización año 2004. [En línea] Argentina: Dirección de Bosques de la Provincia del Chaco Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. 2004. Disponible en: http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/UMSEF/File/2004_chaco_deptos.pdf (26 mayo 2010).

MANOILOFF, Raúl Oscar. El cultivo del algodón en el Chaco entre 1950 y nuestros días: la etapa de crisis. Resistencia, Chaco, Argentina. Meana Editores. 2001. 540 págs. ISBN: 987-43-3584-0

MANOILOFF, Raúl Oscar. La crisis del algodón en el Chaco y los cultivos alternativos. Corrientes, Argentina: Moglia S.R.L. 2005. 307 págs. ISBN: 987-05-0175-3

MARLENKO, Natalia. Interpretación Visual. En: Navone Stella Maris, *Sensores Remotos aplicados al estudio de los Recursos Naturales*. (Primera ed.). Buenos Aires, Argentina: Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires, 2003, págs. 63-78.

MARLENKO, Natalia. Usos de la Tierra. En: Navone, Stella Maris, *Sensores Remotos aplicados al estudio de los Recursos Naturales*. (Primera ed.). Buenos Aires, Argentina: Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Buenos Aires. 2003. págs. 99-121

MONTENEGRO Celina., STRADA Mabel, PARMUCHI María G., GASPARRI Ignacio, BONO Julieta. Mapa Forestal Chaqueño. Actualización año 2002. [En línea] Argentina: Dirección de Bosques de la Provincia del Chaco Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. 2003. Disponible en: http://www.medioambiente.gov.ar/archivos/web/UMSEF/File/2002_chaco.pdf (23 noviembre 2010).

NAVONE, Stella Maris. Sensores Remotos aplicados al estudio de los Recursos Naturales (Primera ed.). Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Buenos Aires. 2003. 190 págs. ISBN: 950-29-0736-1

PÉREZ CARRERA Alejo, MOSCUZZA Carlos Hernán y FERNÁNDEZ CIRELLI, Alicia. Efectos socioeconómicos y ambientales de la expansión agropecuaria. Estudio de caso: Santiago del Estero Argentina. *Ecosistemas* [En línea] Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Veterinarias, 2008, pp. 5-17. Disponible en: <http://www.monocultivos.com/conceptos/ArgentinaSEsteroSoja.pdf> (15 enero 2011).

PINILLA Ruíz Carlos. Elementos de teledetección. Madrid, España: Ra-ma. 1995. 313 págs. ISBN: 84-7897-202-1.

REBORATTI, Carlos. Un mar de soja: la nueva agricultura el Argentina y sus consecuencias. *Revista Geográfica Norte Grande* [En línea]. Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile. 2010. N°45. Disponible en: http://www.geo.puc.cl/html/revista/PDF/RGNG_N45/art05.pdf (22 marzo 2012).

ROMERO Francisco. Sacristan. La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. *Revista científica de la Sociedad Española de Acuicultura, Agua TIC*. [En línea]. Madrid: Universidad Complutense de Madrid. 2006. N° 24. Disponible en: http://www.revistaaquatic.com/aquatic/pdf/24_02.pdf (14 enero 2012)

SANTOS PRECIADO, José. M.; MATESANZ, David. C. Los SIG raster en el campo medioambiental y territorial. Ejercicios prácticos con IDRISI y MiraMoon. Madrid, España: UNED editorial, 2006, 430págs. ISBN: 978-84-362-5303-0.

SCHOWENGERDT Robert. A. Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing. USA: ELSEVIER Third Edition, 2007. 515 págs. ISBN: 978-0-12-369407-2

TONATTO Javier, FERNÁNDEZ DE ULLIVARRI Juan, ALONSO Juan M. y ROMERO Eduardo R. Teledetección de quema de cañaverales en la provincia de Tucumán (Argentina) mediante sistema MODIS. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán*. [En línea] Tucumán: Estación Experimental Agroindustrial “Obispo Colombes” (EEAOC). 2008 Tomo 85 (1), pp 31-35. Disponible en: <http://www.>

scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-30182008000100005&lng=es&nrm=iso (22 agosto 2012).

TORRE GERALDI, Alejandra H.. El cultivo de la soja en el Chaco. Problemática productiva del sector agrícola provincial, en el marco de su inserción en el clúster oleaginoso argentino. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2004*. [En línea] Chaco: Universidad Nacional del Nordeste. 2004. Disponible en: <http://www.unne.edu.ar/Web/cyt/com2004/1-Sociales/S-008.pdf> (18 agosto 2010).

VIGLIZZO, Ernesto F., y JOBBÁGY, Esteban. Expansión de la Frontera Agropecuaria en Argentina y su impacto Ecológico Ambiental. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Buenos Aires, Disponible en: http://gea.unsl.edu.ar/pdfs/FRONTERA_cp12_28_oct_2010.pdf (25 noviembre 2010).

ZARRILLI, Adrián G. ¿Una agriculturización insostenible? La provincia del Chaco, Argentina (1980-2008). *Historia Agraria, revista de agricultura e historia rural*. [En línea] España: Universidad de Murcia. 2010. N° 51, pp. 143-176. ISSN: 1139-1472. Disponible en: http://www.historiaagraria.com/info_articulo.php?id=523 (16 mayo 2011).

ZARRILLI, Adrián G. Historia, ambiente y sociedad. La explotación forestal de los bosques chaqueños argentinos (1895-1948). *Diálogos Revista Electrónica de Historia*. [En línea] Costa Rica: Universidad de Costa Rica. 2004. Año 4, volumen 2. Disponible en: <http://dialogos-ojs.historia.ucr.ac.cr/index.php/Dialogos/article/view/150/148> (25 junio 2010).

ZHILIN Li, CHEN Jun y VALTSAVIAS Emmanuel. (eds.) *Advances in Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. London. Taylor and Francis Group. 2008. Págs. 527. ISBN: 0415478057.

Fecha de recepción: 3 de octubre de 2012

Fecha de aceptación: 12 de noviembre de 2012