

Dinámica de la agriculturización en el Valle Antinaco Los Colorados en el período 1976-2018

Recalde, Darío Jesús ^{1 2} Zerda, Hugo Raúl ³ Maldonado, Francisco Darío ⁴ Winschel, Cristina Inés ⁵

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – Estación Experimental Agropecuaria Chilecito. recalde.dario@inta.gob.ar Ruta de La Producción Km 7, CP 5360, Chilecito, La Rioja

² Universidad Nacional de La Rioja (UNLaR) – Sede Universitaria Regional Chamental. Castro Barros N° 557, CP 5380, Chamental, La Rioja

³ Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE) - Facultad de Ciencias Forestales. Av. Belgrano (s) 1912, 4200 Santiago del Estero

⁴ Universidad Autónoma de Entre Ríos (UADER). Avda. Ramírez 1143, CP 3100, Paraná Entre Ríos.

⁵ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – Estación Experimental Agropecuaria Hilario Ascasubi, Ruta 3 Km 794, B8142 Hilario Ascasubi, Buenos Aires.

Resumen

El objetivo del trabajo fue caracterizar espacial y temporalmente la dinámica de la agriculturización en el Valle Antinaco Los Colorados, en la Provincia de La Rioja, República Argentina. Para ello se usó una metodología basada en fotointerpretación de imágenes Landsat 2 y 8, donde se analizaron dos momentos: 1976 y 2018. Para evaluar la dinámica espacial y temporal de cambios se clasificaron tres tipos de coberturas (áreas agrícolas, suelos desnudos y vegetación natural), a su vez el método emplea el análisis de una matriz de tabulación cruzada a diferentes niveles para distinguir aquellos cambios producto de transiciones más frecuentes, con el fin de realizar valoraciones más completas de los cambios más significativos ocurridos en el territorio. Esto resultó en un cambio neto de 23529,06 ha de áreas de vegetación natural, 2568,42 de suelo sin vegetación y de 20960,64 ha de tierras agropecuarias, mientras hubo intercambios de 1968,30 ha, 460,98 ha y 12439,71 ha, respectivamente.

Palabras claves: Agriculturización, uso y cobertura de suelo, antinaco Los Colorados, análisis multitemporal

Dynamics of agriculturalization in the Los Colorados Antinaco Valley in the period 1976 to 2018

Abstract

The objective of this work was to characterize the dynamics of agriculturalization spatially and temporally in the Antinaco Los Colorados Valley, in the Province of La Rioja, Argentina. For this purpose, a methodology based on photointerpretation of Landsat 2 and 8 images was used, where two moments 1976 and 2018 were analyzed. To evaluate the spatial and temporal dynamics of changes, three types of land cover were classified (agricultural areas, bare soils and natural vegetation), and the method uses the analysis of a cross-tabulation matrix at different levels to distinguish those changes resulting from more frequent transitions, in order to make a more complete assessment of the most significant changes that have occurred in the territory. This resulted in a net change of 23529.06 ha of areas of natural vegetation, 2568.42 ha of soil without vegetation and 20960.64 ha of agricultural land, while there were exchanges of 1968.30 ha, 460.98 ha and 12439.71 ha, respectively.

Keywords: Agriculturalization, land use and cover, antinaco Los Colorados, multi-temporal analysis

Introducción

El proceso de “agriculturización” es el uso creciente y continuo de las tierras para cultivos agrícolas asociado a cambios tecnológicos, intensificación ganadera, expansión de la frontera agropecuaria hacia regiones extra-pampeanas y la tendencia de la agricultura hacia el desarrollo de producciones orientadas al monocultivo. La expansión agrícola, que se ha sostenido a través del tiempo mediante el aumento de la superficie sembrada, la mayor eficiencia de producción y los rendimientos, encierran grandes heterogeneidades. Los recursos naturales renovables son la base de la actividad económica en las regiones áridas y las distintas prácticas de explotación que se realizaron durante años han determinado que los ecosistemas actuales presentan un mosaico de estados de deterioro, con una productividad diferente a la situación original con dominancia de procesos degradantes.

En el Valle Antinaco Los Colorados, este proceso tuvo una particular dinámica a partir de los efectos producidos por la Ley Nacional de Desarrollo Económico N.º 22021 implementada en la Provincia de La Rioja en el período comprendido entre 1980 y 2009, en los sectores industrial, agropecuario y turístico. En este sentido, se diferencian dos etapas de cambios: la primera, caracterizada por la radicación de empresas industriales, denominada promoción industrial y, la segunda, por la radicación de empresas agrícolas, ganaderas y turísticas (Pedraza, 2014).

Sobre el análisis de la modificación del ambiente, se puede mencionar que el cambio del uso y cobertura de la tierra es uno de los principales procesos asociados a las modificaciones ambientales derivadas de las actividades humanas sobre el planeta, con especial referencia a transformaciones que afectan de manera directa al ecosistema terrestre. Tal situación altera los ciclos biogeoquímicos, especialmente del carbono y del nitrógeno, así como también el ciclo hidrológico y los balances de energía entre la superficie y la atmósfera que afectan el clima local y regional (Vitousek, 1994; Pielke et al., 2002; Foley et al., 2005). En particular, la deforestación, tomada como el reemplazo de bosques naturales por áreas cultivadas o con pasturas implantadas, es uno de los cambios más drásticos debido a que trae problemas de degradación del suelo tales como pérdida de nutrientes, productividad, fertilidad, etc.

En esta línea, Hinojosa Castro y Plata Rocha (2015), mencionan que el cambio de uso de suelo a nivel mundial para cultivos, pastizales, plantaciones y áreas urbanas se ha expandido en las últimas décadas, acompañados por grandes aumentos en el consumo de energía, agua y fertilizantes, junto con pérdidas considerables de biodiversidad. Dichos cambios han permitido a los humanos apropiarse de una proporción cada vez mayor de los recursos del planeta, pero también socavar la capacidad de los ecosistemas para sostener la producción de alimentos, mantener los recursos de agua dulce y forestal, regular el clima y la calidad del aire, y disminuir la incidencia de las enfermedades infecciosas.

Asimismo, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) presentó el informe 2018 sobre “El Estado de los Bosques del Mundo” y reveló que América Latina es una de tres regiones donde continúa la deforestación.

Entre 1990 y 2015, la superficie forestal del planeta disminuyó del 31,6 % de la superficie terrestre mundial al 30,6 %, aunque el ritmo de pérdida se ha ralentizado en los últimos años, ya que a 2010 se había llegado con un 30,8% de bosques. La mayor parte de esta pérdida tuvo lugar en países en desarrollo. América Latina perdió el 1,25 % de sus bosques entre 2010 y 2015 (FAO, 2018) y menciona que, en esos años, Argentina fue uno de los 10 países con la tasa de deforestación más alta del mundo: cada año desaparecía el 1,1 % de su superficie boscosa. Actualmente, ese índice bajó a la mitad y es del 0,5 %, pero sigue siendo alto si se lo compara con el promedio mundial, que es del 0,08 %. Y además ocurre un fenómeno muy marcado: desde 2008 y hasta 2016, el 78 % de los desmontes se concentraron en solo cuatro provincias: Santiago del Estero, Chaco, Formosa y Salta deforestaron 1.880.884 hectáreas de las 2.398.078 que se perdieron en las 16 provincias que monitorea el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación porque son las que abarcan las cuatro regionales forestales más amenazadas, que son el parque chaqueño y en menor medida yungas, selva paranaense y espinal.

Las zonas más afectadas del mundo son las de tierras áridas y semiáridas, que cubren el 47% de la superficie terrestre. En estas zonas la degradación de tierras causada por la acción humana produce el fenómeno de desertificación, un término usado no para describir la propagación de los desiertos sino su creación. La desertificación afecta al 47% de las tierras de cultivo de secano, el 23% de los paisajes de pastizales y el 30% de las tierras de regadío en las zonas de tierras áridas por acción antrópica (Gutman, 1988). Aunque a menores escalas, los oasis bajo riego cobran importancia en este punto, ya que no han sido la excepción al haber sufrido deforestación en pos de habilitar tierras para la agricultura, sobre todo cultivos de importancia local/regional, tales como Olivo, Nogal y Vid en el Valle Antinaco Los Colorados.

La percepción de la deforestación como problema ambiental en Argentina ha crecido notablemente en los últimos años (Gasparri, 2010). Sin embargo, el proceso de reemplazo de bosques nativos no es reciente en un país con una fuerte base económica y cultural asociada a la agricultura y la ganadería. Históricamente, la deforestación en el subtrópico argentino se ha dado de diferentes maneras asociadas al desarrollo de las economías regionales. En el Valle Antinaco Los Colorados existe una alteración permanente en los bosques nativos que data de 1850, aproximadamente, con una historia de explotación de leña para abastecer al ferrocarril, a la demanda minera del cerro Famatina a principios de siglo XX y madera para estructura de viñedos (Rojas, et al., 2014). Esto implica un gran detrimento local en la vegetación del valle, profundizado en los parches agrícolas a partir de finales de los años sesenta y que ha progresado hasta nuestros días.

A diferencia de otras regiones de la provincia de La Rioja, este valle tuvo un crecimiento poblacional continuo en el siglo XX que pasó de 7.967 habitantes en el año 1895, a 35.000 en 2001. La situación social del Valle de Antinaco Los Colorados deviene de su principal actividad que es la agricultura, la que se caracterizaba por la acumulación de agua de precipitaciones en terrenos llamados bañados al inicio de las lluvias de primavera y verano. Con mínimas tareas de arado y siembra, cosechaban zapallo, maíz y poroto al promediar el verano y en zonas más cercanas a los pueblos se realizaban cultivos de maíz, alfalfa, trigo y hortalizas.

A comienzos de 1930, se produjo el ingreso de inmigrantes, principalmente italianos, asociado a un hecho de vital importancia que fue la fundación de la Cooperativa de “Colonia Caroya” en la provincia de Córdoba, la que expandió sus cultivos hacia el Valle Antinaco Los Colorados, que dedicó importantes superficies al cultivo de vid para vinificar y se construyeron bodegas. A partir de 1968, comenzó una notable ampliación de la superficie cultivada del departamento Chilecito a través de un programa de colonización, a través del cual se habilitaron 6.658 nuevas hectáreas (ha) distribuidas a lo largo del Valle de Antinaco Los Colorados en diferentes etapas. La superficie de los lotes osciló entre 25 y 31 ha cada uno con perforaciones que permitieron la irrigación de los cultivos. Las nuevas tierras asignadas por la colonización significaron una notable expansión con respecto a la superficie disponible en agricultura con anterioridad a la puesta en marcha de este proceso. La superficie cultivada del departamento Chilecito era de 3094 ha en 1969 produciéndose un crecimiento paulatino hasta superar 6000 ha en 1988 (Cubiló et al., 2015).

En la década de los 90', entró en vigor el sistema de beneficios impositivos en tres de las cuatro provincias de la Región: San Juan, San Luis y La Rioja, que impactó en la dinámica, tendencia, perfil y equilibrio geográfico que caracterizaba a la estructura productiva de la región. El sistema estaba regulado por la Ley 22021, el decreto 804/96 y sus modificatorias, que fueron cambiando el sistema en su alcance y extensión. La ley se basa en diferimientos impositivos y exenciones para el impuesto a las ganancias, bienes personales e IVA en todas las inversiones productivas, inclusive agrícolas, radicadas en La Rioja, Catamarca, San Luis y San Juan (Zuleta, 2009).

En los últimos tiempos, este proceso de expansión de la superficie cultivada indujo a inversionistas provinciales y extra provinciales para emprender grandes explotaciones agropecuarias, a partir de los beneficios impositivos previstos en esa norma. El avance vitivinícola y olivícola motivado, entre otras razones, por el dinamismo del precio de las exportaciones agroindustriales y las leyes de diferimiento impositivo, impulsaron un avance de la frontera agropecuaria sobre importantes áreas de bosque de estos territorios. Este nuevo sector empresarial, de origen extra-agrario en su mayoría, registra las mayores superficies cultivadas de la historia del valle (Rojas, et. al., 2014. Cubiló, et. al., 2015).

En este ámbito, los datos de teledetección son particularmente útiles debido al costo y al tiempo asociados con los métodos de encuesta tradicionales. Y a pesar de las mejoras en la caracterización de la cobertura terrestre posible gracias a los satélites de observación terrestre (Loveland et al., 1999), las coberturas territoriales mundiales y regionales y, en particular, los usos de la tierra están mal enumerados (IPCC, 2000). A pesar de ello, los científicos reconocen que la magnitud del cambio es grande. Los cambios de uso del suelo no sólo presentan cambios negativos, ya que algunos beneficiosos están relacionados con el aumento de los rendimientos de alimentos y fibras con efectos para la salud, el bienestar y la riqueza de los pueblos (Lambin y Geist, 2006). Así es como toma importancia caracterizar la cobertura terrestre, el uso del suelo y sus cambios espacio-temporales, para entender cuáles son sus fuerzas conductoras, así como sus consecuencias, especialmente en el contexto de los cambios ambientales globales, el crecimiento rápido de la población, predecir la dinámica de los ecosistemas y el incremento de las demandas hacia la sustentabilidad del ambiente y como base para diseñar mejores políticas y estrategias de conservación y manejo sostenible.

Estas técnicas se han convertido en alternativas viables a los métodos convencionales de levantamiento y mapeo en tierra. La teledetección y los sistemas de información geográfica son una herramienta poderosa y efectiva para evaluar la dinámica espacial y temporal de las trayectorias del paisaje (Boori y Voženílek, 2014).

De esta manera, estos datos proporcionan información multitemporal valiosa de los procesos y patrones de cambio de la cobertura del suelo. En este contexto los sistemas de información geográfica son útiles para mapear y analizar estos patrones. Además, la cobertura sinóptica retrospectiva y consistente de los satélites es particularmente útil en áreas donde los cambios han sido rápidos. Por otra parte, dado que los archivos digitales de datos con sensores remotos brindan la oportunidad de estudiar los cambios históricos en el uso y cobertura de la tierra, se puede evaluar el patrón geográfico de dichos cambios en relación con otros factores ambientales y humanos y, adicionalmente, las estadísticas precisas y completas de las trayectorias de cambio de la cubierta terrestre son útiles para diseñar estrategias de desarrollo sostenible y planificación (Jensen et al., 2005).

Teniendo en cuenta lo mencionado y que no hay registros de estudios directamente relacionados con la detección espacial de la evolución de la agriculturización en el valle Antinaco Los Colorados, es de importancia regional y provincial la determinación del avance de la agricultura que sirve como base para estudios posteriores del uso y cobertura de suelo.

El objetivo del presente trabajo es caracterizar espacial y temporalmente la dinámica de la agriculturización en el Valle Antinaco Los Colorados, ocurrida en los últimos 42 años (1976-2018), para que sirvan como insumo o herramienta de planificación y ordenamiento para los tomadores de decisiones.

Área de estudio

La base del estudio es el Valle Antinaco Los Colorados, en la Provincia de La Rioja. Este valle tiene una superficie aproximada de 7.500 km² y se localiza al oeste de la mencionada provincia; tiene una extensión aproximada de norte a sur de 150 km, mientras que de este a oeste ronda los 65 km (Figura 1). Está enmarcado por dos cadenas montañosas paralelas con dirección predominante norte-sur, siendo la Sierra del Velasco (4.100 msnm) al este y la Sierra del Famatina (6.100 msnm) al oeste. El clima del valle es desértico, seco, cálido y con notable amplitud térmica anual. Las lluvias son escasas y concentran el 75% de las precipitaciones en el verano (diciembre-marzo), con una marcada estación seca en invierno. Los promedios anuales de precipitación oscilan entre 100 y 200 mm y los máximos y mínimos promedios de temperaturas son 25°C y 10°C, respectivamente (Varela et al., 2010). Los principales ríos que surcan el valle provienen de la Sierra de Famatina.

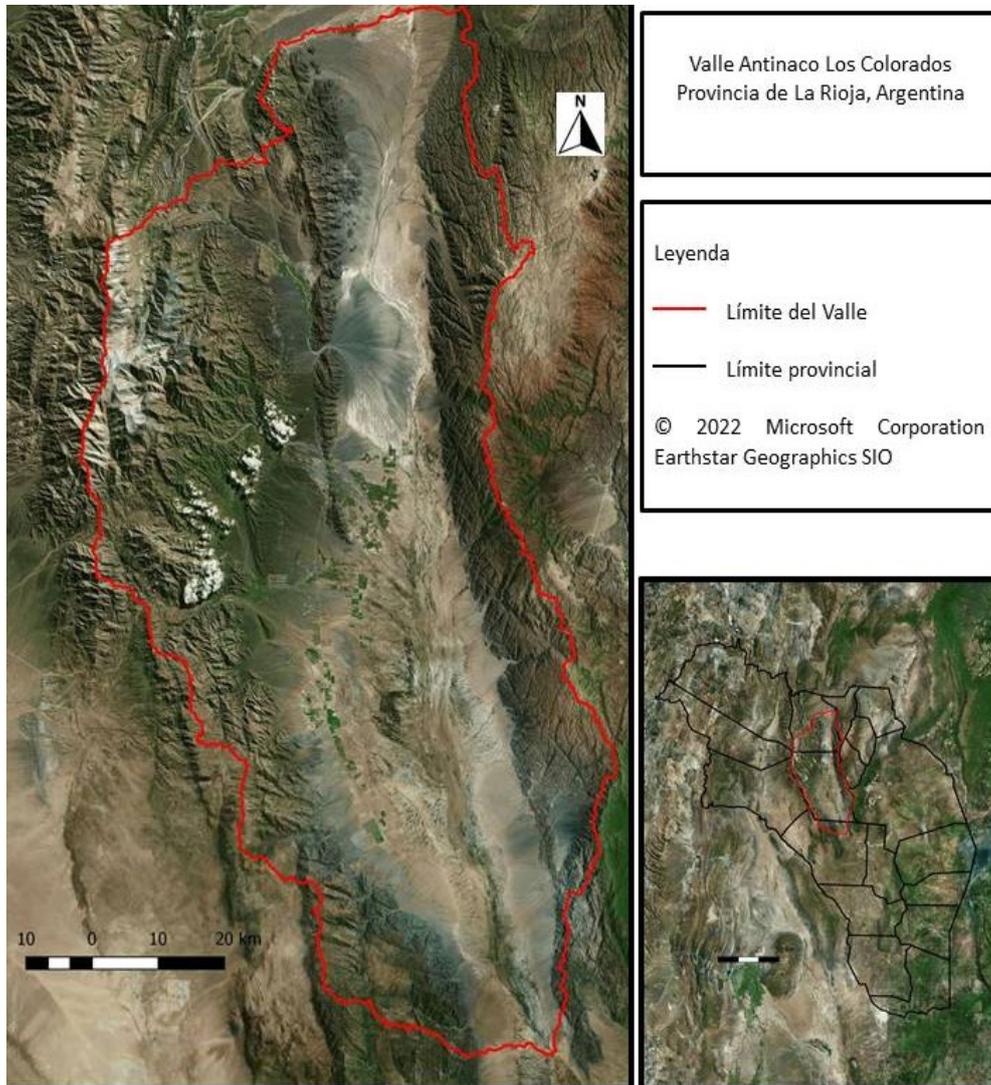


Figura 1. Ubicación del Valle Antinaco Los Colorados en la Provincia de La Rioja

Fitogeográficamente se localiza en la región del Monte, la cual abarca alrededor de 460.000 km² (Morello, 1958; Cabrera, 1976), y está ubicada dentro de la zona árida templada argentina, extendiéndose desde los 24° 35' hasta los 44° 2' S y desde los 62° 54' a los 69° 5' O (Roig, et al., 2009).

Esta unidad se extiende desde la provincia de Salta al norte, las zonas centrales de las provincias de Tucumán, Catamarca y La Rioja, las zonas centro-orientales de las provincias de San Juan, Mendoza y del Neuquén, centro-oeste de La Pampa, nordeste de las provincias de Río Negro y del Chubut, el extremo sur de Buenos Aires y el extremo sudoeste de San Luis. El clima de esta unidad está caracterizado por la escasa variación de temperatura de norte a sur y por la aridez, ya que las precipitaciones no superan los 200 milímetros anuales. La vegetación predominante es la estepa de tipo arbustiva xerófila y halófila, acompañada, en algunas áreas donde la napa freática es poco profunda, por bosques de Algarrobos. Las especies más características son las jarillas y el retamo.

Como han mencionado Le Houérou (1999) y Abraham et al. (2009), el oeste de la provincia de La Rioja es considerado una zona árida que depende del aporte nivo-glacial de los ríos que descienden de las montañas que circundan el Valle Antinaco Los Colorados y del agua subterránea que se ha acumulado progresivamente a partir de la misma fuente, para el desarrollo agrario y otras actividades sociales (Rojas et al., 2014).

Metodología

El trabajo se realizó a partir de estudios cuantitativos y descriptivos, basados en un análisis multitemporal y de cartografía digital (Volante, 2014; Winschel, 2017; Fan et al., 2008; Boori, Voženílek, 2014). Para ello se observó la dinámica de los principales cultivos del área por medio de la cuantificación y distribución espacial de la expansión de la superficie cultivada y los desmontes para agricultura.

En el análisis del avance de la agriculturización se determinó la dinámica de cambios ocurrida en la cubierta biofísica del suelo desde 1976 hasta 2018. Para ello se realizaron mapas temáticos del área de estudio de 1976 y 2018 en una escala de trabajo 1:100.000 y con una superficie mínima mapeable 16 ha.

Las imágenes satelitales utilizadas del año 1976 fueron obtenidas por el Satélite Landsat 2 que llevaba a bordo el sensor MSS (Multi-spectral Scanner Sensor). En tanto que las imágenes de 2018 fueron obtenidas por el sensor OLI (Operational Land Imager) del satélite Landsat 8. Todas se descargaron del sitio del United States Geological Survey <https://earthexplorer.usgs.gov/> en cuyo sitio web se conseguían imágenes Landsat Collection1 Level-1 y Landsat Collection1 Level-2 (on demand).

En el caso de Level-1, que significa calibrado radiométricamente y ortorectificado a través del uso de puntos de control terrestre (GCP) y datos del modelo de elevación digital (DEM) para corregir el desplazamiento del relieve. Estos productos de nivel 1 son de la más alta calidad, adecuados para análisis de series de tiempo a nivel de píxeles (USGS, 2019). Sin embargo, falta la corrección radiométrica y atmosférica para este tipo, que son las obtenidas para el año 1976.

Asimismo, para las imágenes Landsat 8, el Servicio Geológico de EE. UU. (USGS) ofrecía a pedido, productos de reflectancia superficial que proporcionan una estimación de la reflectancia espectral de la superficie, tal como se mediría a nivel del suelo en ausencia de dispersión o absorción atmosférica. La interfaz bajo demanda de EROS Science Processing Architecture (ESPA) corrige imágenes de satélite para efectos atmosféricos para crear productos de datos de Level-2, para cuyo objetivo se aplican algoritmos de calibración radiométrica y corrección atmosférica a los productos de datos Landsat de nivel 1.

Las imágenes obtenidas fueron:

Landsat Collection1 Level-1, 1976:

LM02_L1TP_248080_19760314_20180424_01_T2

LM02_L1TP_248081_19760314_20180424_01_T2

Landsat Collection1 Level-2, 2018 (on demand):

LC082310802018100501T1-SC20191210184233

LC082310812018100501T1-SC20191210184254

LC082320802018101201T1-SC20191210184252

Procesamiento y análisis de datos

El nivel de procesamiento 1 a través del uso del complemento Semi-Automatic Classification (SCP) en QGIS y de la corrección DOS (Dark Object Subtraction) o substracción de objeto oscuro aplicados a las imágenes de 1976, son una familia de correcciones atmosféricas basadas en imagen (Chávez, 1996) y explica que la suposición básica es que en la imagen algunos píxeles están completamente en sombra, y sus radiancias recibidas en el satélite se deben a la dispersión atmosférica (efecto bruma). Esta suposición se combina con el hecho de que muy pocos elementos en la superficie de la Tierra tienen un color negro absoluto, por lo tanto, una reflectancia asumida de uno por ciento es mejor que un cero por ciento. Es importante mencionar que la exactitud de las técnicas basadas en imagen es generalmente menor que las correcciones basadas en medidas físicas, pero son muy útiles cuando mediciones atmosféricas que puedan mejorar la estimación de la reflectancia de la superficie terrestre no están disponibles.

Luego de las correcciones, se realizaron los mosaicos de imágenes por año a través del uso del software QGIS y sus softwares asociados: SAGA GIS y GRASS GIS, para posteriormente efectuar el corte a nivel cuenca utilizando como molde la capa vectorial de la cuenca obtenida precedentemente.

Teniendo en cuenta que la resolución espacial de las imágenes Landsat MSS de 1976 conseguidas tienen una resolución espacial de 60 m, se realizó un remuestreo a 30 m para hacerlas compatibles con las imágenes de los sensores TM y OLI, utilizando el método de vecino más cercano para cuyo método se eligen aquellos píxeles cuya distancia entre su centro y el punto localizado en la nueva imagen sea el menor. En otras palabras, el valor del píxel de la nueva celda será equivalente al valor más próximo en distancia respecto de la imagen inicial.

Los valores de celdas del nuevo ráster son valores iguales al ráster inicial, por lo que no se generan nuevos datos o valores intermedios. Al no generar valores medios o derivados de los originales, este tipo de interpolación puede ser recomendable cuando se trabaja ráster de atributos cualitativos y no cuantitativos. Por ejemplo, el caso de capas basadas en temáticas de usos de suelo en lugar de capas vinculadas con densidades, altitudes o cualquier otro aspecto numérico (Cover, Hart, 1967).

Los mapas temáticos describen tres grandes categorías de coberturas de suelo que adoptan el criterio de clasificación del Land Cover Classification System (LCCS) de la FAO: a) áreas con vegetación natural, cobertura del suelo que comprende los tipos fisonómicos de pastizales, arbustales y bosques en sus distintas expresiones y estados; b) suelos sin vegetación, que engloba áreas naturales, (ej.: salinas, playas de río, suelo desnudo y ambientes acuáticos) y artificiales (ej.: peladares peridomésticos o “puestos”, áreas urbanas, construcciones y caminos); y, por último, c) tierras agropecuarias que son aquellas transformaciones evidentes del paisaje natural realizadas con fines de producción agropecuaria (Di Gregorio y Jansen, 2000) cuyos resultados se elaboraron a partir de clasificaciones visuales de mosaicos de imágenes del satélite.

La interpretación visual comenzó a partir de la detección de parcelas agropecuarias superiores a 16 ha sobre el mosaico del año 1976, utilizando combinación de bandas en falso color 4-5-3 (R-G-B) para maximizar el contraste entre la vegetación natural y las áreas desmontadas o suelo desnudo (Chuvienco, 2015). El mapa obtenido se comparó con el mosaico del período 2018 y se detectaron las parcelas correspondientes a ese período y así sucesivamente hasta finalizar con los mapas de tierras agropecuarias según la aproximación metodológica de Cohen et al. (1998, 2002), en la que indica que a cada mosaico MSS, TM y OLI se le aplicó la transformación de Tasseled Cap (Kauth y Thomas, 1976; Crist y Cicone, 1984), la que reduce la información original de 6 bandas expresada en niveles digitales, a 3 bandas con significado biofísico, brillo, verdor y amarillo en productos MSS, mientras que en los productos TM y OLI expresan brillo, verdor y humedad, que resultan muy útiles para la detección de coberturas vegetales y suelo desnudo.

Esta metodología demostró ser eficiente para detectar cambios en la cubierta vegetal producida por grandes perturbaciones tales como deforestación, fuego o remoción total de la vegetación natural, y se basa en el supuesto relevante de que el ruido asociado a las diferencias radiométricas entre imágenes de diferentes fechas es mínimo, en relación a la señal producida por la remoción o reemplazo del bosque por otro tipo de cubierta (Cohen et al., 1998, 2002).

Posteriormente, se realizaron los análisis de cambio de cobertura de suelos a través del complemento SCP en QGIS, de los cuales se obtuvieron los mapas y las matrices de cambio de usos.

La manera más práctica de analizar los cambios de uso de suelo es realizar mapas del tiempo 1 y del tiempo 2; a partir de estos mapas de variación de categoría de cobertura de suelo de los años 1976 y 2018 se desarrolla una matriz de tabulación cruzada con el objeto de examinar la transformación para identificar las transiciones más importantes y luego investigar los procesos que generan esas transiciones. La matriz tradicional de tabulación cruzada o matriz de transición sigue el formato de la Tabla 1, donde las filas muestran las categorías del tiempo 1 y las columnas muestran las categorías del tiempo 2. La notación P_{ij} denota la proporción del paisaje que experimenta una transición de la categoría i a la categoría j donde el número de categorías es J . Las entradas en la diagonal indican persistencia, por lo que P_{jj} denota la proporción del paisaje que muestra la persistencia de la categoría j .

Las entradas fuera de la diagonal indican una transición de la categoría i a una categoría j diferente. En la columna Total, la notación P_{i+} denota la proporción del paisaje en la categoría i en el tiempo 1, que es la suma de todos los j de P_{ij} . En la fila Total, la notación P_{+j} denota la proporción del paisaje en la categoría j en el tiempo 2, que es la suma de todos los i de P_{ij} . Usualmente las matrices de tabulación cruzada ofrecen información hasta este punto, no obstante, los análisis llevados a cabo con estos datos podrían llevar a entendimientos erróneos acerca de la dinámica de los cambios de uso del suelo. Por este motivo, se agrega información para ganar un conocimiento más profundo concerniente a los procesos potenciales que determinan un patrón de cambio de cobertura del suelo (Pontius et al., 2004).

Tiempo 1	Tiempo 2						6	7
	1	2	3	4	5			
1		Clase 1	Clase 2	.....	Clase n		Total T_1	Pérdidas (L_{ij})
2	Clase 1	P_{11}	P_{12}	.....	P_{1n}		P_{1+}	$P_{1+} - P_{11}$
3	Clase 2	P_{21}	P_{22}	.....	P_{2n}		P_{2+}	$P_{2+} - P_{22}$
4	.....	.....	.....	.....	.....		.....	.....
5	Clase n	P_{n1}	P_{n2}	.....	P_{nn}		P_{n+}	$P_{n+} - P_{nn}$
6	Total T_2	P_{+1}	P_{+2}	.....	P_{+n}		P	
7	Ganancias (G_{ij})	$P_{+1} - P_{11}$	$P_{+2} - P_{22}$	.....	$P_{+n} - P_{nn}$			

Tabla 1. Modelo de matriz de transición utilizada para la comparación de cambios de usos de suelo. Fuente: Pontius et al., 2004.

De esta manera, la fila 7 denominada ganancia bruta (G_{ij}), indica la proporción del paisaje que experimentó un aumento entre el tiempo 1 y el tiempo 2, es decir, la diferencia entre la columna de totales de la fila 6 y lo que permaneció estable. En lo que respecta a la columna 7, esta corresponde a la pérdida bruta (L_{ij}) que tuvo cada categoría entre T1 y T2, es decir, la diferencia entre Total T1 y los valores de la diagonal principal.

Es posible analizar los cambios producidos en el área de estudio por medio de los índices propuestos por Pontius et al. (2004):

Pérdidas brutas por categoría: total de la categoría para el periodo Tiempo 1 menos la persistencia de esa misma categoría (Ecuación 1).

$$L_{ij} = P_{i+} - P_{jj} \quad (1)$$

Ganancias brutas por categoría: total de la categoría para el periodo Tiempo 2 menos la persistencia de la misma categoría (Ecuación 2).

$$G_{ij} = P_{+j} - P_{jj} \quad (2)$$

Cambio neto total: valor absoluto de la variación neta para todas las categorías j . Denota el máximo de la ganancia y la pérdida menos el mínimo de la ganancia y la pérdida. Es el cambio después de que todas las pérdidas y ganancias se han compensado para calcular la cantidad de Intercambios. Una forma sencilla de cálculo es la diferencia entre los valores totales de cada categoría en cada periodo de estudio (Ecuación. 3).

$$D_j = \text{MAX}(P_{j+} - P_{jj}, P_{+j} - P_{jj}) - \text{MIN}(P_{j+} - P_{jj}, P_{+j} - P_{jj}) = |P_{+j} - P_{i+}| \quad (3)$$

$$D_j = |T_2 - T_1|$$

Intercambio total: denotado como S_j , son dos veces el mínimo de las ganancias y las pérdidas de todas las categorías j . Cada celda (píxel) que gana se empareja con una celda que se pierde y se crea un par de celdas que permutan o intercambian (Ecuación 4).

$$S_j = 2 \times \text{MIN}(P_{j+} - P_{jj}, P_{+j} - P_{jj}) \quad (4)$$

Cambio total o bruto por categoría: se puede expresar como la suma de la variación neta y el intercambio o la suma de las ganancias y pérdidas (Ecuación 5).

$$P_j = D_j + S_j = \text{MAX}(P_{j+} - P_{jj}, P_{+j} - P_{jj}) + \text{MIN}(P_{j+} - P_{jj}, P_{+j} - P_{jj}) \quad (5)$$

Resultados y discusión

Producto de la metodología aplicada con imágenes de satélite y SIG, se obtuvieron dos mapas con las coberturas de suelo para 1976 y 2018, los cuales representarían la base para el análisis de cambios ocurridos por efecto de la agriculturización (Figura 2).

		2018				
1976		ÁREAS VEGETACIÓN NATURAL	SUELO SIN VEGETACIÓN	TIERRAS AGROPECUARIAS	TOTAL 1976	PÉRDIDAS
	ÁREAS VEGETACIÓN NATURAL	90,992	0,251	2,912	94,155	3,163
	SUELO SIN VEGETACIÓN	0,027	4,422	0,003	4,452	0,030
	TIERRAS AGROPECUARIAS	0,101	0,110	1,183	1,393	0,211
	TOTAL 2018	91,120	4,783	4,097		3,403
	GANANCIAS	0,128	0,361	2,914	3,403	

Tabla 3. Matriz de transición expresada en porcentaje del área de estudio para el período 1976-2018

De estas matrices se pueden analizar los datos fuera de la diagonal principal, ya que permiten identificar patrones dominantes y sistemáticos presentes en los análisis de cambios. Analizada la tabla de esta forma, se observa que en la zona ocurrieron 6 transiciones entre categorías que tienen en cuenta ganancias y pérdidas (Tabla 4). Asimismo, en la tabla 5, se pueden apreciar los valores de transición entre categorías.

1	Áreas vegetación natural a Suelo sin vegetación.
2	Áreas vegetación natural a Tierras agropecuarias.
3	Suelo sin vegetación a Áreas de vegetación natural.
4	Suelo sin vegetación a Tierras agropecuarias.
5	Tierras agropecuarias a Áreas vegetación natural.
6	Tierras agropecuarias a Suelo sin vegetación.

Tabla 4. Transiciones entre categorías.

	Superficie 1976	Superficie 2018	Diferencia 1976-2018	Ganancias	Pérdidas	Intercambio	Cambio Neto	Cambio Total
Áreas vegetación natural	730059,21	706530,15	-23529,06	993,15	24522,21	1986,30	23529,06	25515,36
Suelo sin vegetación	34518,87	37087,29	2568,42	2798,91	230,49	460,98	2568,42	3029,4
Tierras agropecuarias	10804,32	31764,96	20960,64	22596,03	10804,32	12439,71	20960,64	33400,35

Tabla 5. Valores de transición entre categorías en hectáreas.

En la Figura 3 se presentan gráficamente las pérdidas y ganancias totales de las categorías definidas y se pueden observar las pérdidas de vegetación natural y el aumento de las tierras agropecuarias.

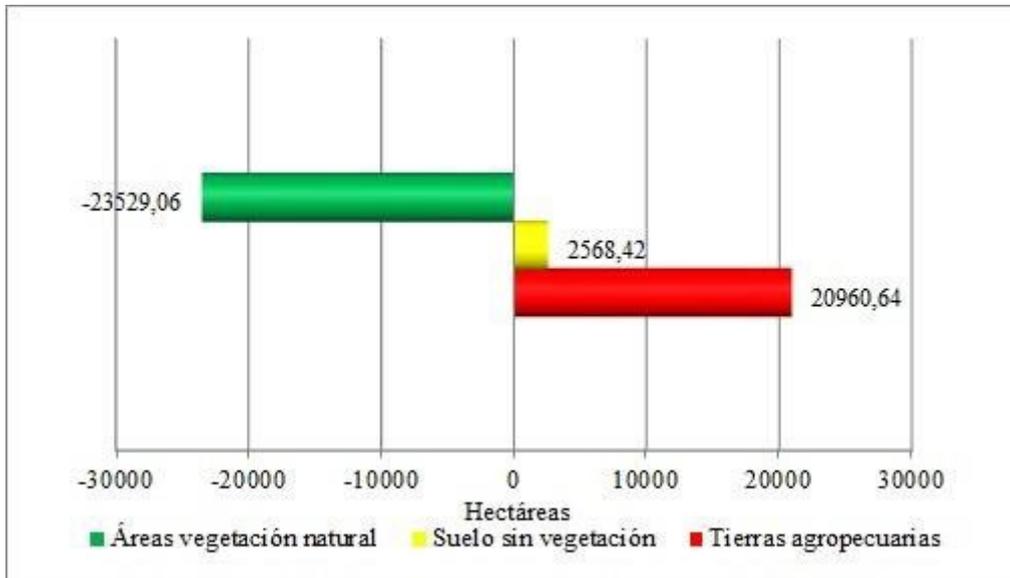


Figura 3. Cambios por categorías.

En la figura siguiente (Figura 4) se presentan las superficies que sufrieron intercambios, los que están dados por la dinámica de pérdidas y ganancias en el tiempo que sufre cada categoría de uso y cobertura.

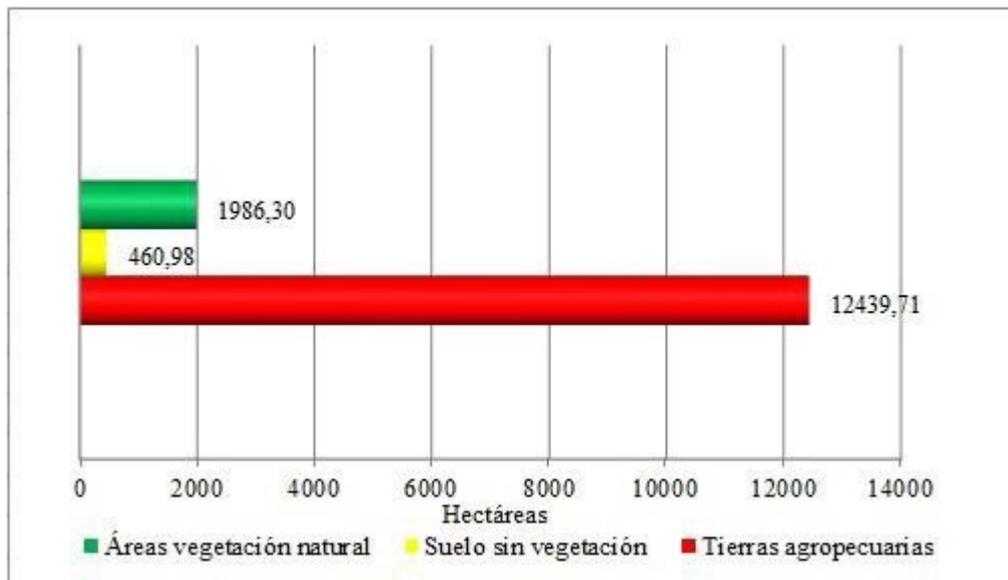


Figura 4. Intercambios por categorías

En la figura siguiente (Figura 5) se presentan las ganancias y pérdidas totales por categoría; a la izquierda las pérdidas por categoría y a la derecha las ganancias. Se puede observar en esta figura la alta frecuencia de pérdidas en el área de vegetación natural y la baja frecuencia de ganancias, las ganancias en suelo sin vegetación, y las ganancias en tierras agropecuarias y menores pérdidas.

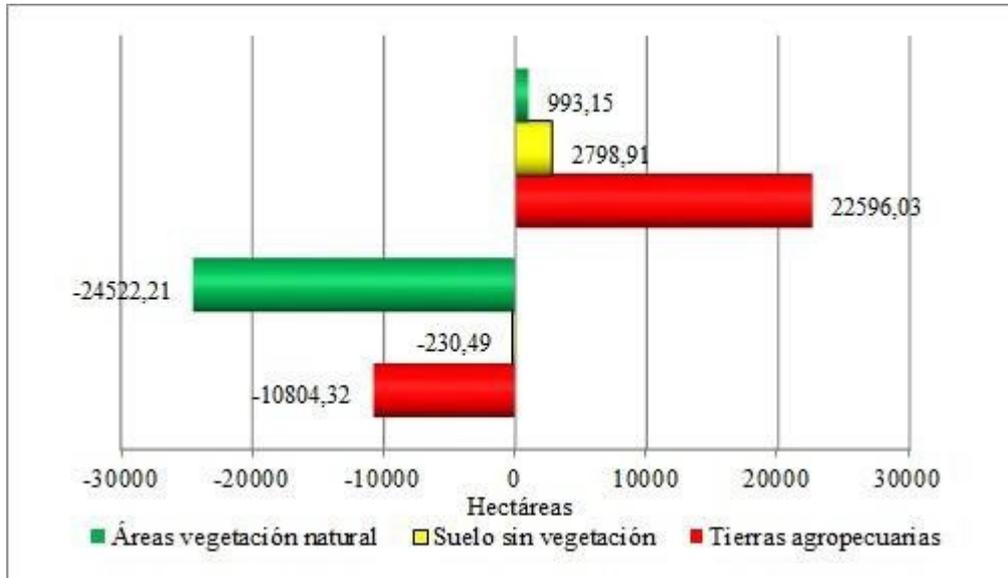


Figura 5. Ganancias y pérdidas por categorías.

En la figura siguiente (Figura 6) se presentan la frecuencia de las transiciones que ocurren indistintamente dentro de cada categoría, cambios totales.

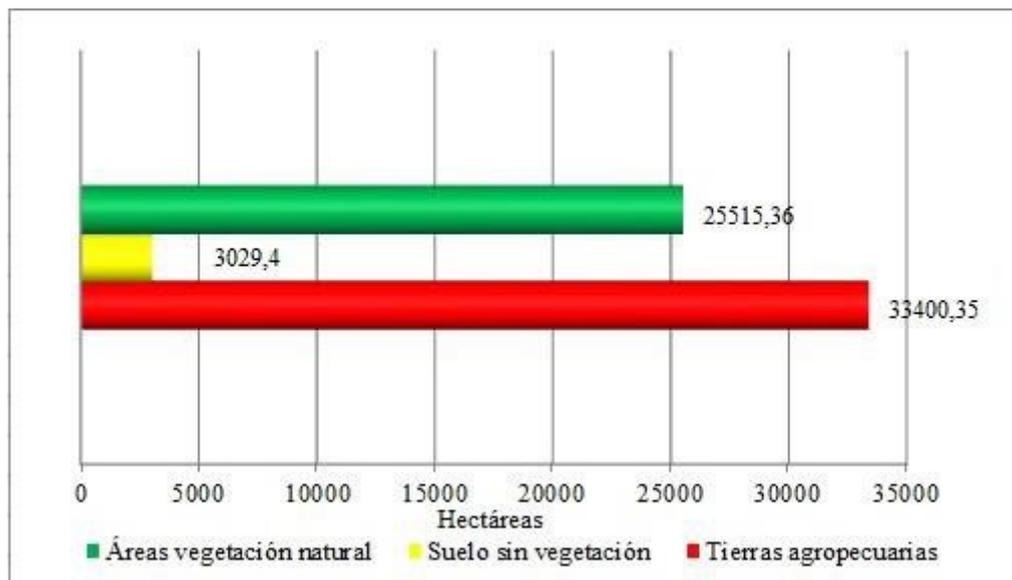


Figura 6. Cambio total por categorías.

Finalmente, en las figuras anteriores se pueden observar los cambios por categorías (Figura 3) que indican las diferencias totales presentadas para cada una de las categorías en el período estudiado. Asimismo, se pueden apreciar los intercambios producidos (Figura 4) en el intervalo de años observados, mientras que las ganancias y pérdidas por categoría se pueden apreciar claramente en la Figura 5 y, por último, el cambio total por categorías está presentado en la Figura 6.

Conclusiones y recomendaciones

Se concluye que desde 1976 existe un aumento de la superficie ocupada por tierras agropecuarias; sin embargo, y tras ver la evolución de las tres categorías, se puede mencionar que hubo cambios tanto con pérdidas de esta clase en beneficio de suelo sin vegetación, así como también de suelo sin vegetación en beneficio de tierras agropecuarias (intercambios); aunque se concibe que el ítem con mayores pérdidas es la de “áreas con vegetación natural”, que presenta una merma constante de superficie frente a las otras dos categorías.

Se recomienda usar la matriz de transición para la previsión por un programa de modelado espacial como Dinámica EGO (Dinámica EGO, 2022).

Se recomienda aumentar la resolución temporal y analizar el período en subperíodos para determinar las tendencias antes y después de los 90 y los diferimientos impositivos.

Referencias

Abraham, E. Del Valle H. Roig, F. Torres, L. Ares, J. Coronat, F. Godagnone, R. 2009. Overview of the geography of the Monte Desert biome (Argentina), en: *Journal of Arid Environments*, 73, 144–153.

Boori M. Voženílek, V. 2014. Remote Sensing and Land Use/Land Cover Trajectories. *J Geophys Remote Sensing* 3: 123. doi:10.4172/2169-0049.1000123

Cabrera, A. 1976. *Regiones fitogeográficas argentinas*. Buenos Aires, Editorial Acme.

Chávez, J. 1996. Image-Based Atmospheric Corrections - Revisited and Improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 62. 1025-1036.

Chuvieco, E. 2015. *Teledetección ambiental. La observación de la tierra desde el espacio*. Barcelona, España

Cohen, W. Fiorella, M. Gray, J. Helmer, E. Anderson, K. 1998. An efficient and accurate method for mapping forest clearcuts in the Pacific Northwest using Landsat imagery. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 64(4): 293–300.

Cohen, W. Spies, T. Alig, R. Oetter, D. Maiersperger, T. Fiorella, M. 2002. Characterizing 23 Years (1972-95) of Stand Replacement Disturbance in Western Oregon Forests with Landsat Imagery. *Ecosystems* 5(2): 122–137.

Cover, T.; Hart, P. 1967. Nearest neighbor pattern classification, in *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 13, no. 1, pp. 21-27, doi: 10.1109/TIT.1967.1053964.

Crist, E. Cicone, R. 1984. A physically-based transformation of thematic mapper data - the TM Tasseled Cap. *IEEE Trans Geosci Remote Sensing* 22: 256–263.

Cubiló, M. López, T. Cano, R. Recchioni, L. 2015. *La agricultura campesina y empresarial en el Valle Antinaco – Los Colorados de la Provincia de La Rioja*. ARTÍCULOS - Abordajes UNLaR – ISSN 2346-8998. – Volumen 1 – Número 5 - Primer Semestre. La Rioja. Argentina.

Di Gregorio, A. Jansen, L. 2000. *Land Cover Classification System (LCCS): Classification Concepts And User Manual*. FAO Environment and Natural Resources Service Series, No. 8 – FAO, Rome.

Dinamica EGO, 2022. <https://csr.ufmg.br/dinamica/>, página visitada el 04 de Abril de 2022.

Fan, F. Wang, Y. Wang, Z. 2008. Temporal and spatial change detecting (1998-2003) and predicting of land use and land cover in Core corridor of Pearl River Delta (China) by using TM and ETM+ images. *Environmental monitoring and assessment*. 137. 127-47. 10.1007/s10661-007-9734-y.

FAO. 2018. *El estado de los bosques del mundo - Las vías forestales hacia el desarrollo sostenible*. Roma. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

- Foley, A. DeFries, R. Asner, G. Barford, C. Bonan, G. Carpenter, S. Chapin, S. Coe, M. Daily, G. Gibbs, H. Helkowski, J. Holloway, T. Howard, E. Kucharik, C. Monfreda, C. Patz, J. Prentice, I. Ramankutty, N. Snyder, P. 2005.
- Global Consequences of Land Use. *Science* (New York, N.Y.). 309. 570-4. 10.1126/science.1111772.
- Gasparri, N. 2010. Efecto del cambio de uso de la tierra sobre la cobertura vegetal y dinámica de biomasa del chaco semiárido argentino. Thesis in Población & Sociedad pp 187-190.
- Gutman, P. 1988. Desarrollo rural y medio ambiente en América Latina. Ediciones Centro Editor de América Latina. Buenos Aires, Argentina. 136p.
- Hinojosa Castro, G. Plata Rocha, W. 2015. Change Analysis of Land Use and Urban Growth in the Municipalities of Culiacan and Navolato, Sinaloa, Mexico Using Statistical Techniques and GIS” published by Journal of Geographic Information System, Vol.7 No.6.
- Jensen J., Hodgson M., Tullis J., Raber G. 2005. Remote Sensing of Impervious Surfaces and Building Infrastructure. In: *Geo-Spatial Technologies in Urban Environments*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp 5-21.
- Kauth, R. Thomas, G. 1976. The Tasselled Cap. A graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat. p. 13. In *Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data*. LARS Symposia. Data; 6 June–2 July 1976. West Lafayette. Purdue University, Indiana.
- Lambin, E., Geist, H., Rindfuss, R. 2006. Introduction: local processes with global impacts. In: Lambin, E.F. and H. J. Geist (ed.). *Land-use and land-cover change*. Springer. Berlin, Heidelberg. Germany. pp- 1-8.
- Le Houérou, H. 1999, Estudios e investigaciones de las zonas áridas y semiáridas de Argentina. Informe Interno. Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas (IADIZA), Mendoza, 228 p.
- Morello, J. 1958. La Provincia Fitogeográfica del Monte. Buenos Aires: Opera Lilloana. 55p.
- Pedraza, M. (2014). Beneficios tributarios, impacto económico en la provincia de La Rioja 1980-2009. Actas de las XXXIV Jornadas Nacionales de Administración Financiera, Valle Hermoso, Córdoba, Argentina.
- Pielke, R. Marland, G. Betts, R. Chase, T. Eastman, J. Nilsson, J. Niyogi, D. Running, S. 2002. The influence of land-use change and landscape dynamics on the climate system: Relevance to climate-change policy beyond the radiative effect of greenhouse gases. *Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences*. 360. 1705-19. 10.1098/rsta.2002.1027.
- Pontius, R. Shusas, E. McEachern, M. 2004. “Detecting important categorical land changes while accounting for persistence”, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, no. 101, pp. 251–268.
- Rojas, F. Prieto, M. Villagra, P. Álvarez, P. 2014. Deforestación y actividades productivas en los valles del oeste de La Rioja y Catamarca, desde mediados del siglo XIX hasta la actualidad. *Boletín de Estudios Geográficos* N° 103 – 2014 – ISSN 0374-618.
- Varela, R. Jaime, G. 2010. Nota sobre la estructura poblacional de árboles en la llanura de Los Mogotes Colorados, La Rioja, Argentina. *Lilloa*. 47, 1-2 (dic. 2010), 118–122.
- Vitousek, P. 1994. Beyond global warming: ecology and global change. *Ecology* 75:1861–1876.

Volante, J. 2014. Dinámica y consecuencias del cambio en la cobertura y el uso del suelo en el Chaco Semi-Árido. Tesis presentada para optar al título de Doctor de la Universidad de Buenos Aires, Área Ciencias Agropecuarias. Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano. Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires.

Winschel, C. 2017. Integración por medio de geotecnologías de la información ambiental en estudios de degradación de los suelos para los partidos de Villarino y Patagones, Provincia de Buenos Aires- Argentina, Tesis Doctoral.

Zuleta, G. 2009. Informe Final, Proyecto: Estrategias para la promoción del desarrollo regional en el marco de regiones concertadas, capítulo Región Cuyo. <http://biblioteca.cfi.org.ar/wp-content/uploads/sites/2/2009/01/48858.pdf>, página visitada el 04 de Mayo de 2017.