

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/341297826>

INTERPRETACIÓN VISUAL DE IMÁGENES SATELITALES: CUENCAS HÍDRICAS Y CALIDAD DE AGUA

Article in *Geografía y Sistemas de Información Geográfica* · May 2020

CITATIONS

0

READS

576

3 authors:



Julieta Anselmo

National University of Luján

6 PUBLICATIONS 12 CITATIONS

SEE PROFILE



Leonardo A. Di Franco

National University of General Sarmiento

16 PUBLICATIONS 57 CITATIONS

SEE PROFILE



Claudia Feijoó

Instituto de Ecología y Desarrollo Sustentable (INEDES CONICET-UNLu)

65 PUBLICATIONS 1,514 CITATIONS

SEE PROFILE



Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG). Revista digital del Grupo de Estudios sobre Geografía y Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica (GESIG). Programa de Docencia e Investigación en Sistemas de Información Geográfica (PRODISIG). Universidad Nacional de Luján, Argentina.

<http://www.revistageosig.wixsite.com/geosig> (ISSN 1852-8031)

Luján, Año 11, Número 13, 2019, Sección I: Artículos. pp. 46-67

INTERPRETACIÓN VISUAL DE IMÁGENES SATELITALES: CUENCAS HÍDRICAS Y CALIDAD DE AGUA

Julietta Anselmo¹ – Leonardo Di Franco, L.² – Claudia Feijó³

¹ Licenciatura en Información Ambiental- Universidad Nacional de Luján

² ATIGyAE- Instituto del Conurbano Universidad Nacional de General Sarmiento
PRODITEL- Depto. Ciencias Básicas-Universidad Nacional de Luján

³ Programa de Biogeoquímica de Ecosistemas Dulceacuícolas (BED), INEDES
(CONICET-UNLu). Ruta Nacional 5 y Constitución. 6700 – Luján – Provincia de
Buenos Aires, Argentina

E-mail: janselmo@mail.unlu.edu.ar

RESUMEN

Los sistemas fluviales de la región pampeana en la provincia de Buenos Aires son receptores de los procesos y actividades que se realizan a su alrededor, como el cambio en el uso del suelo, la instalación de industrias y el aumento de la urbanización, acelerando el deterioro de los arroyos. La influencia de la cobertura y el uso del suelo sobre la integridad ecológica de los cursos de agua resultan de suma importancia para el conocimiento del ambiente. Las imágenes satelitales representan una fuente de datos que permite la discriminación de diferentes usos y coberturas. Ante la necesidad de determinar el uso del suelo en cuencas hídricas de 41 arroyos pampeanos para los años 2000-2001 se estableció una metodología basada en la interpretación visual de imágenes satelitales. Fue en este sentido que se descargaron imágenes Landsat 5 TM y se determinó el uso en cada una de las cuencas. Las categorías propuestas para el análisis se correspondieron con agrícola, ganadero, vegetación natural, vegetación forestal, urbano y cuerpos de agua. La metodología propuesta incluyó la utilización del software QGIS 2.4.0 que permitió la discriminación de cubiertas desde el monitor privilegiando la visión sinóptica. Los criterios de interpretación utilizados fueron tonalidad, color, diseño, forma, textura, tamaño y asociación. El uso que se destacó en el área fue el agrícola con 66,43%, que sumado al ganadero, 24,64%, representaron más del 90% del total de la superficie estudiada. Las tecnologías de la información geográfica representaron una herramienta muy eficaz en este campo de acción, cuya potencialidad se aprovecharía aún más con una perspectiva diacrónica, o a partir de complementar con técnicas digitales de extracción de información como la clasificación multispectral.

Palabras clave: Uso del suelo, Interpretación visual, Cuencas hídricas, Ordenamiento territorial.

ABSTRACT

The river systems from the Pampean region in the Buenos Aires province are recipients of the processes and activities that are fulfilled around them, for instance the change of land use, the instalment of industries and the population growth, which take an important role in the deterioration of streams. The influence of the land cover and its use of the ecological integrity of the streams are important for the knowledge of the environment. Satellite imagery represents a data source that allows the discrimination of the different land uses and covers. As it was necessary to determine the land use in watersheds of forty-one Pampean streams between 2000 and 2001, a methodology based on the visual interpretation of satellite imagery was chosen. In this context, Landsat V TM images were downloaded and the determination of the land use in the watersheds was made. The proposed categories for the analysis were agricultural, cattle breeding, natural vegetation, forest vegetation, urban land, and ponds. The chosen methodology included the use of the Quantum GIS 2.4.0 software program which allowed the description of land covers from the screen, permitting the synoptic vision. The criteria of interpretation used were tonality, colour, design, shape, texture, size and association. The highlighted use in the area was the agricultural one with 66,43%, plus the percentage of the cattle breeding, 26,64%. These percentages represented more than the 90% of the total studied surface. The Geographic Information Systems were a useful tool in this area, whose potential would be taken advantage of with a diachronic perspective or complementing it with digital techniques of information extraction as the multispectral classification.

Keywords: land use, visual interpretation, watersheds, territorial ordering

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas la explotación del suelo y de los ecosistemas terrestres se ha incrementado. Estos cambios en el uso del suelo influyen sobre el clima; los ciclos del agua; sobre las emisiones de gases causantes del efecto invernadero; la biodiversidad, así como también afecta a la sociedad y su economía (Paruelo et al., 2005). Y es por ello que en conjunto con las alteraciones climáticas y las modificaciones en la composición atmosférica forman parte del denominado cambio global, cuyas consecuencias exceden el ámbito local o regional. El presente trabajo se realizó en la ecorregión pampeana que ocupa la mayor extensión del territorio de la provincia de Buenos Aires. Un siglo atrás ésta región se encontraba cubierta de pastizales nativos, pero para comienzos del siglo XX las tierras comenzaron a ser utilizadas para la producción agrícola, particularmente cultivos de cereales y semillas, como también para la cría de ganado (Viglizzo et al., 2003). La productividad era sustentable, ya que la utilización de fertilizantes era escasa por sus costos, permitiendo que el territorio conservara sus características ecológicas y morfológicas, con excepción de aquellos cursos de agua cercanos a áreas industriales y urbanas (Feijoó, 2007). A lo largo de los años, y ya para mitad de siglo XX, se comenzó a percibir la erosión y la fragilidad de la tierra por el sistema inadecuado de cultivo y el uso de maquinarias (Viglizzo et al., 2003). A partir de los años '90 se intensificó la producción agrícola extrayendo nutrientes de los suelos, adoptando la siembra directa y

el uso de agroquímicos; junto a ello también creció la población, por lo tanto la urbanización y el desarrollo de industrias. En Argentina el proceso de expansión agrícola ha generado diferentes posturas, por una parte la producción agropecuaria junto a sus sectores industriales y comerciales, celebran la incorporación de nuevas áreas productivas al mapa agrícola del país y los ingresos que estos generan. Por otra parte, las entidades conservacionistas y algunos científicos o especialistas en la temática alertan sobre riesgos para la continuidad de los ecosistemas e incluso sobre la calidad de vida por el mal manejo de herbicidas, insecticidas y otros químicos sobre los suelos (Paruelo et al., 2005). Esta expansión también generó un cambio en el tipo de cultivo, el más importante fue el aumento del cultivo de la soja, un cultivo marginal en la década del '70 que ahora ocupa más de un tercio del área cultivada (Paruelo et al., 2005). Por esos motivos actualmente la expansión agrícola y otras actividades del hombre causan cambios en la cobertura terrestre, afectando las condiciones sociales, económicas y biofísicas (Sajikumar y Remya, 2015).

La Universidad Nacional de Luján investiga esta temática dentro del Programa Biogeoquímica de Ecosistemas Dulceacuícolas a partir de dos proyectos de investigación denominados “Dinámica del fósforo en arroyos pampeanos: patrones espaciales y temporales e implicancias del cambio climático” y “Calidad de agua y comunidades de plantas acuáticas en arroyos pampeanos: 12 años después”. En ambas propuestas resultan claros los estudios multitemporales relacionados con los cambios en la cobertura del suelo. Es por ello que el objetivo principal de este trabajo fue determinar el uso y cobertura del suelo de cuencas en la región pampeana de los años 2000-2001 a partir de la interpretación visual de imágenes satelitales. Teniendo en cuenta ello, los resultados obtenidos aquí se podrán relacionar con diferentes datos del proyecto marco.

Para realizar el estudio se delimitaron las cuencas de 41 arroyos bonaerenses, que fueron seleccionados por Feijó y Lombardo (2007) a partir de la división de los sistemas fluviales propuesta por Freguelli (1956). Para ello se descargaron imágenes satelitales provenientes del satélite Landsat 5 Thematic Mapper (TM) de los años 2000-2001, se les aplicaron diferentes pre-procesamientos para visualizarlas correctamente y se interpretaron a partir de la utilización de diferentes criterios para obtener los usos y coberturas del suelo. Las categorías que comprendió fueron: agrícola, ganadero, vegetación natural, vegetación forestal, urbano y cuerpos de agua. Este trabajo se realizó a partir del manejo de Sistemas de Información Geográfica (SIG), utilizando el programa Quantum GIS 2.4.0 (QGIS) como herramienta de integración. En él se incluyeron los límites de las cuencas en cada caso y se procedió a la interpretación visual.

MARCO TEÓRICO

Cuencas hídricas

Las cuencas hídricas son espacios territoriales delimitados por una línea imaginaria con cuencas adyacentes, esta línea denominada “divisoria de agua” es generada por las partes más altas de sistemas topográficos o formaciones geológicas como cerros, colinas, brechas o montañas que funcionan como barreras naturales determinando el drenaje en cada cuenca (Villaruel Parra, 2003). A través de cada una de ellas confluyen

y desembocan todos los escurrimientos (ríos, arroyos, agua de precipitación o deshielo) a un punto denominado salida de la cuenca; ésta puede ser endorreica, su salida se realiza a un lago, o exorreica, con salida al mar. Las cuencas hídricas son los principales sistemas naturales que se encargan de la recolección y transporte de agua y sedimentos de ríos, arroyos o demás cursos de agua. La cantidad del líquido que fluye a través de ellos depende de las lluvias que se presenten, de la capacidad de absorción de la tierra, de la forma del terreno ya sea plano o inclinado, de la infiltración y saturación del suelo; como también de la transpiración de las plantas, de la evaporación y de otros factores (Villaruel Parra, 2003). Por otro lado, el exceso de uso del agua superficial por parte de los humanos, reduce la cantidad de agua de una cuenca. Éstas también permiten comprender el ciclo del agua e identificar o cuantificar los impactos acumulados por las actividades humanas a lo largo de la red hidrográfica, que afecta a la calidad y cantidad del agua, la capacidad de adaptación de los ecosistemas y la calidad de vida de sus habitantes (Ríos et al., 2013). Las actividades humanas que generan estas modificaciones en las cuencas se deben principalmente al aumento de las urbanizaciones, al crecimiento industrial, al uso de los suelos y la utilización de diversos químicos de forma desmedida en diferentes actividades, contaminando los suelos y aguas de las cuencas (Delgado et al., 2004).

Interpretación visual y geomática aplicada

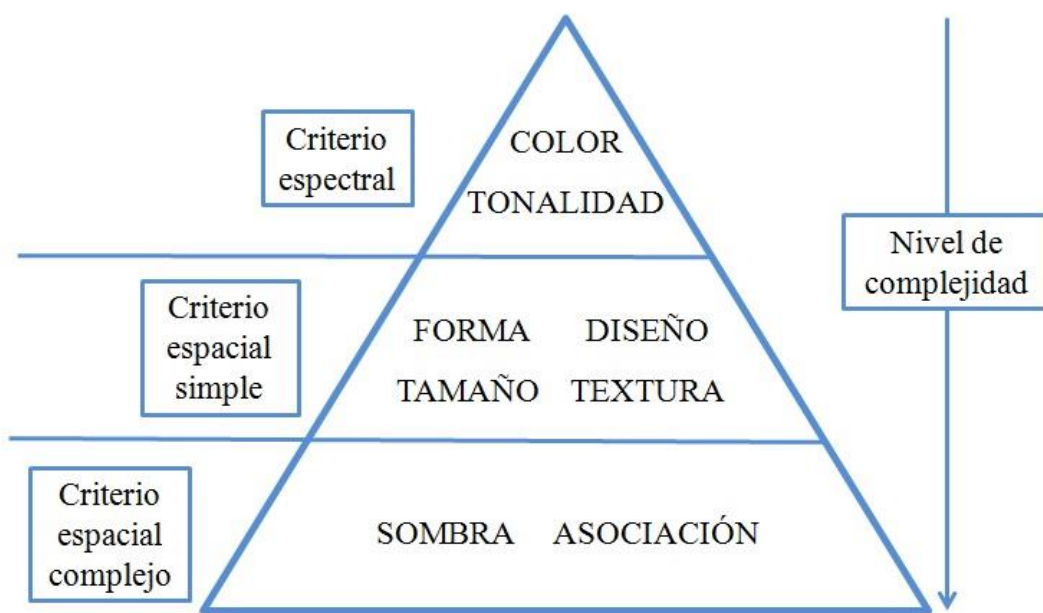
Las técnicas de interpretación visual son utilizadas en diferentes estudios considerando distintas escalas de análisis. En Amuchástegui et al. (2015) se utilizó ésta técnica en imágenes satelitales para obtener el uso del suelo a nivel cuenca entera y en áreas ribereñas de 500 m y de 200 m. Otras disposiciones espaciales también han sido consideradas en Sonoda et al. (2001) donde se evaluó el uso de suelo en círculos de radio creciente centrados en el punto de muestreo en el arroyo. En King et al. (2005) se analizó el impacto del uso del suelo en porciones de tamaño creciente del área de la subcuenca situada aguas arriba de un punto de muestreo y se comparó con el ocasionado por el uso ribereño. Sus conclusiones fueron que la relación entre cobertura de suelo y la calidad ecológica de los arroyos variaba según la disposición espacial considerada. Por otra parte, los estudios pueden ser de forma sincrónica o diacrónica, en el trabajo de Shalaby y Tateishi (2007) se realizó la comparación de uso y cobertura del suelo en la zona costera del noroeste de Egipto entre los años 1987 y 2001 para obtener los cambios de uso y cobertura en ese período de tiempo. Los resultados demostraron que la interpretación visual es de gran eficacia en este tipo de análisis y que, además, puede integrarse con otros métodos.

Para la extracción de información de las imágenes satelitales existen dos técnicas de interpretación, una visual y otra digital. De ellas, la visual posee la capacidad de incorporar a la interpretación de la imagen criterios complejos por parte del intérprete, ya que puede utilizar elementos como la textura o la asociación. Los costos económicos de éste método son bajos, aunque si las áreas a interpretar son muy amplias las horas de trabajo del intérprete se incrementan. El tipo y la cantidad de información que se puede obtener con esta técnica varía según las limitaciones que se presenten, sean estas limitaciones físicas-naturales: la atmósfera, estación del año, hora del día, cambios físicos, cambios biológicos, cambios culturales, catástrofes naturales, entre otras. O limitaciones humanas: conocimientos del tema, experiencia, interés, curiosidad, exigencias de tiempo, método usado, instrumentos, información complementaria, etc. En cuanto al intérprete debe poseer algunos requisitos como: 1) Experiencia en la

técnica de interpretación de imágenes. 2) Un buen conocimiento del tema que analiza, que le permita un óptimo nivel de razonamiento sobre la cuestión estudiada. 3) Interés en profundizar los conocimientos sobre el tema, actualizarse sobre los avances del método y técnicas.

Al abordar la interpretación se incorporan datos espectrales y diferentes criterios que se utilizan de forma integrada para discriminar categorías: color, tono, textura, tamaño, forma, y sombras, entre otros (Chuvieco, 2002). En la Figura N°1 se observa un esquema de la organización de los diferentes criterios según su grado de complejidad.

Figura N° 1. Organización jerárquica de los diferentes criterios para la interpretación visual.



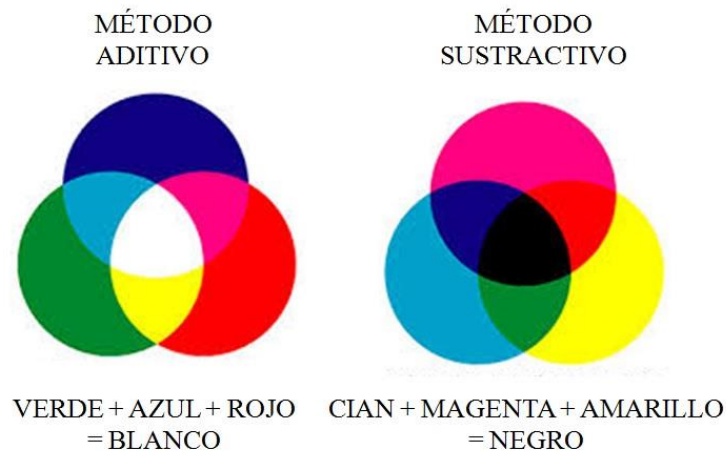
Fuente: Elaboración propia, basado en Chuvieco, 2002.

A continuación, se describen los diferentes criterios mencionados:

Tonalidad: se encuentra relacionada con la intensidad de energía reflejada por la superficie terrestre que es captada por el sensor. Ésta se manifiesta con variaciones de grises que van del blanco absoluto (máxima intensidad de energía reflejada) al negro absoluto (carencia total de energía reflejada).

Color: el ojo humano percibe longitudes de onda entre los 0,38 μm y 0,72 μm , en la denominada región visible. Algo similar ocurre con los sensores, ya que es posible separar las diferentes longitudes y generar productos en color combinándolos de acuerdo a las necesidades. Esta composición del color se realiza a partir de la combinación de tres bandas espectrales con tres componentes color (rojo, verde y azul), y se realiza mediante dos métodos particulares: método aditivo y método sustractivo (Figura N° 2). La teledetección se basa en el método aditivo (R-G-B) que posibilita la generación de diferentes combinaciones.

Figura N° 2. Formación de color con ambos métodos



Fuente: Elaboración propia, basado en Chuvieco 2002.

La composición a color es un proceso donde se asigna a tres bandas de una imagen, uno de los colores primarios del monitor RGB de manera que se los superpone y se visualizan simultáneamente las tres bandas en pantalla. Cada valor de pixel, en cada banda, intervendrá con el porcentaje que le corresponde. Las combinaciones Falso Color son uno de los productos más difundidos en teledetección porque facilitan la interpretación agregando información de las longitudes de onda correspondientes a la región del infrarrojo (Chuvieco, 2002). Dentro de estas combinaciones la más difundida se denomina Falso Color Compuesto Estándar (FCCS), que se obtiene desplazando la representación de las bandas hacia el infrarrojo. Es decir, a la banda del verde, se le asigna el color azul, a la banda del rojo, se le asigna el color verde y a la banda del infrarrojo se le asigna el color rojo. Para realizar interpretaciones de este tipo resulta práctico incorporar una tabla relacionando cada color, y su intensidad, con la cobertura del suelo que le corresponde.

- Rojo-anaranjado: rojo muy oscuro se relaciona con presencia de vegetación muy densa como bosque, monte, forestación, selvas. Rojo más claro o anaranjado refiere a cultivos vigorosos como maíz, soja, girasol en verano o trigo, cebada, avena en invierno. Rojo amarronado corresponde a vegetación arbustiva o natural. Los rosados corresponden a áreas de vegetación poco densas, como pastizales.
- Verde/verde azulado: este color se relaciona con la presencia de suelo en sus distintas variaciones, arados, recién cosechados o con poca cobertura vegetal.
- Azul oscuro/negro: presencia de agua clara en curso como ríos y arroyos, o cuerpos de agua como embalses, lagos y lagunas. También aparecen con este color cuerpos o cursos de agua contaminada con materia orgánica. Aquellas que poseen partículas en suspensión se ven en color cian.

- Grisáceo: corresponde a zonas urbanas con diferente densidad de estructuras construidas, vías de comunicación e incluso lotes cosechados.
- Celeste: relacionado a suelos descubiertos o desnudos, recién cosechados, arados o cultivados y a zonas rocosas.
- Blanco: zonas con mucha reflectancia en todas las longitudes de onda y que se corresponden con áreas nevadas, salinas, arena, nubes.

Diseño: refiere al ordenamiento espacial de los objetos que poseen ciertas características que hacen posible su identificación. Se definen patrones naturales como vías de agua, elevaciones o irregularidades en la superficie terrestre; y patrones culturales como parcelas con diferentes formas rectangulares, triangulares o redondas formando un diseño geométrico. El diseño en grilla corresponde a zonas urbanizadas.

Forma: se definen como las características geométricas de los objetos espaciales que identifican forma individual en una imagen, en la naturaleza no existen los límites netos, salvo en aquello que se distingan rasgos geológicos, por lo tanto se pueden discriminar formas lineales o uniformes que son propios de objetos artificiales, como pueden ser aeropuertos, industrias, cuerpos de agua, entre otros. Las líneas regulares representan vías de comunicación o canales de agua artificiales, y las irregulares son arroyos o ríos naturales.

Tamaño: es determinado según la resolución espacial del sensor y la escala con la que se trabaje, por lo tanto ayuda a la identificación de ciertos objetos. En áreas rurales las parcelas de mayor tamaño corresponden a las ganaderas, las medianas a la agricultura y las más pequeñas a las hortícolas.

Textura: es producida por apariencia de rugosidad o suavidad en una imagen debido al contraste espacial de los elementos que lo componen, como pueden ser cambios frecuentes del tono en una región. El tipo rugoso corresponde a las tonalidades de grises que cambian precipitadamente en una pequeña área de forma uniforme, mientras que la apariencia lisa corresponde a variaciones muy pequeñas de tono generando una imagen más uniforme. Aunque en ocasiones un sector del terreno que a una escala dada parece de textura lisa, a una escala más grande puede ser irregular o rugosa.

Asociación: es una relación del espacio geográfico o de la cubierta con determinado elemento u objeto de su entorno. En ocasiones, cuando se presentan dificultades para la identificación en las imágenes, se tiende a considerar este criterio ya que en un contexto de asociaciones facilita la interpretación, por ejemplo una casa en una zona rural está asociada a un camino de acceso y rodeado por árboles.

Sombra: este criterio resulta importante para separar las sombras de las nubes o cuando el área tiene cambios topográficos muy marcados y puede suceder que un lado de la ladera de una montaña o sierra se encuentre sumamente iluminado mientras que del otro lado se encuentre sombreado.

Como se mencionó, la interpretación se basa en el análisis de los objetos y/o detalles del terreno reproducidos en la imagen. Comprenderá el descubrimiento, localización,

identificación e integración de los mismos, con ello se podrá obtener la información que el intérprete busca para el estudio de un fenómeno.

Uso y cobertura del suelo

Los cambios en el uso y cobertura del suelo son cada vez más relevantes. Estos dos conceptos, en algunas ocasiones, generan confusión ya que se relacionan mutuamente, por este motivo resulta importante definirlos y diferenciarlos. La cobertura hace referencia al aspecto morfológico y tangible del suelo, comprende todos los aspectos que son parte del recubrimiento de la superficie terrestre de origen natural o cultural que sean observados y permitan ser medidos con fotografías aéreas, imágenes satelitales u otros sensores remotos. Mientras que los usos hacen referencia a las acciones, actividades e intervenciones que desarrolla el hombre sobre aquellas cubiertas de forma parcial o permanente, con la intención de cambiarla o preservarla para obtener productos y beneficios, como la ganadería, la agricultura, la minería, etc. En consecuencia, una misma cubierta puede soportar diferentes usos (recolección, silvicultura y caza sobre cubiertas forestales) y un mismo uso puede desarrollarse sobre diferentes cubiertas como excursionismo sobre cubiertas agrícolas, forestales o urbanas (Chuvieco, 2002).

MATERIALES

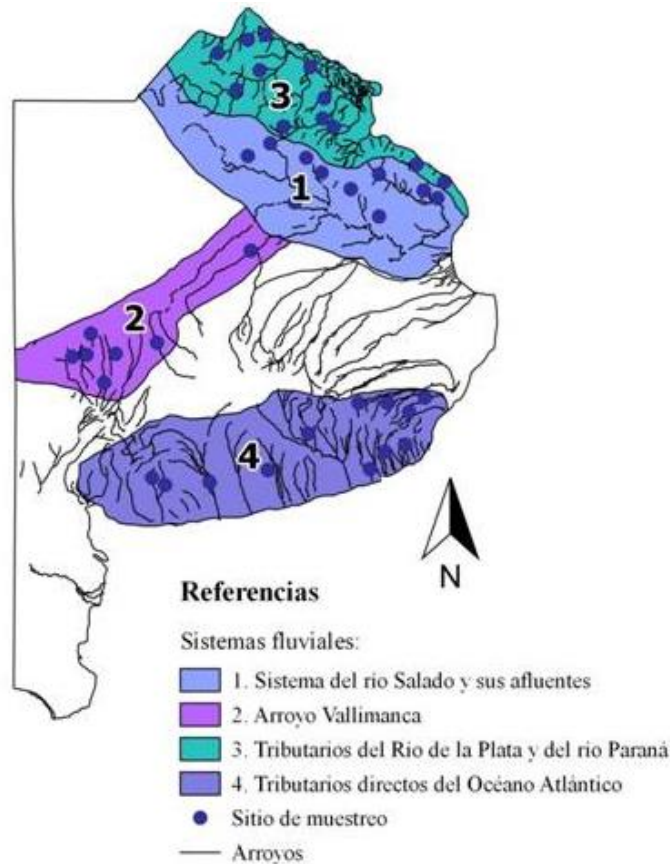
Área de estudio

El área de estudio se encuentra en la provincia de Buenos Aires, que limita con las provincias de Entre Ríos, Santa Fe, al norte con Córdoba, al oeste con La Pampa y al suroeste con Río Negro. Según el Instituto Geográfico Nacional (IGN) de la República Argentina la superficie de la provincia es de 307.571 km² y cuenta con 135 partidos; en el último censo del año 2010 realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC) se determinó que la población fue de 15.625.084 habitantes. La región comprende una extensa llanura con algunas ondulaciones al sur, y posee salida al mar Argentino en una gran extensión al sureste de la provincia.

Frenguelli (1956) consideró a las entidades hídricas de la provincia de Buenos Aires según su carácter morfológico, climatológico y estructural, dividiéndolas en aguas estancadas y aguas corrientes. Las estancadas son las lagunas, lagos y pantanos; en tanto que las corrientes son ríos y arroyos. El autor dividió la red fluvial en cuatro sistemas principales (Figura N° 3):

- 1) Sistemas del río Salado y sus afluentes.
- 2) Arroyo Vallimanca.
- 3) Tributarios del Río de la Plata y del río Paraná.
- 4) Tributarios directos del Océano Atlántico.

Figura N° 3. Provincia de Buenos Aires. Sistemas fluviales. Arroyos seleccionados.



Fuente: Elaboración propia, basado en Frenguelli (1956).

El río Salado y el arroyo Vallimanca presentan muchas analogías, dado que se desarrollan a lo largo de depresiones cuyo fondo está marcado respectivamente por el cauce principal del sistema, dentro de estas depresiones ambos cauces principales presentan un valle muy amplio y ambos describen meandros divagantes; sin embargo, una diferencia que existe entre ellos es la masa de sus caudales, el río Salado posee un caudal superior al del Vallimanca. Los cursos de agua que desembocan al Río de la Plata y al río Paraná poseen una pendiente algo mayor y tienen sus cauces mejor definidos por su morfología, ya que se encuentran encajonados entre barrancas, especialmente un trecho de su parte inferior. Además, las terrazas que ladean sus valles están mejor marcadas y separadas por escalones más altos. Los tributarios que desembocan en el Océano Atlántico en su mayoría corresponden al sector de la pampa bonaerense comprendido entre los dos cordones serranos de la provincia, algunos de ellos poseen cauces más hondos por series de saltos y pequeñas cascadas. Sobre la base de los distintos sistemas fluviales, Feijoó y Lombardo (2007) seleccionaron 41 arroyos con características determinadas, descartando aquellas corrientes que:

- No fueran representativas de las condiciones naturales de la región pampeana, que posean alta pendiente o una densa vegetación en sus riberas.
- Presentaran actividades humanas intensivas cercanas a los arroyos.

- Mostraran un notable nivel de perturbación física en sus márgenes.
- Posean características físico-químicas en sus aguas indicando la posibilidad de que estén contaminadas.

En la siguiente Tabla N°1 se presentan los sistemas fluviales propuestos por Freguelli (1956) y el número de arroyos seleccionados por Feijó y Lombardo (2007) sobre los que se realizó el presente trabajo.

Tabla N° 1. Cantidad de arroyos por sistema fluvial.

Sistema fluvial	N° de arroyos seleccionados
Sistemas del río Salado y sus afluentes	10
Arroyo Vallimanca	7
Tributarios del Río de la Plata y del río Paraná	12
Tributarios directos del Océano Atlántico	12

Fuente: Elaboración propia.

Imágenes satelitales Landsat 5 Thematic Mapper

La selección de datos satelitales se basó, principalmente, en las características espectrales y espaciales, sin embargo, se tuvo en cuenta la posibilidad de registros históricos que permitirían la comparación temporal de los resultados aquí obtenidos. Por ello fueron seleccionadas diferentes imágenes del sensor Landsat 5 TM de la zona de estudio.

Las imágenes satelitales fueron descargadas del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), de Brasil. Estas imágenes poseen un barrido multiespectral cuya franja es de 185 km y una resolución espacial de 30 metros. En la Tabla N° 2 se presentan las imágenes descargadas para el estudio.

Tabla N° 2. Imágenes del Landsat V TM descargadas desde INPE.

Path/Row	Fechas
224/084	24/12/2001
224/085	15/08/2000
224/086	03/11/2000
224/087	23/02/2001
225/084	19/04/2001
225/085	12/12/2000
225/086	12/12/2000
225/087	02/03/2001

226/083	09/03/2001
226/084	22/12/2001
226/085	22/12/2001
226/086	22/12/2001
226/087	06/12/2001
227/086	11/01/2001

Fuente: Elaboración propia.

Coberturas vectoriales

La delimitación inicial de las cuencas hídricas de los 41 arroyos fue tomada del Proyecto “Dinámica del fósforo en arroyos pampeanos: patrones espaciales y temporales e implicancias del cambio climático”. Para su delimitación fueron utilizadas imágenes topográficas provenientes del Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM). Una misión satelital cuyo principal objetivo fue brindar datos topográficos de la superficie terrestre, que permitieron la elaboración de modelos digitales de elevación. En esta ocasión los modelos mencionados brindaron los datos para la delimitación de las cuencas. En la siguiente Tabla N° 3 se detalla el nombre de cada arroyo seleccionado y el sistema fluvial al que pertenece.

Tabla N° 3. Arroyos seleccionados de cada sistema fluvial para el estudio

Sistema fluvial	Nombre de los arroyos
Sistemas del río Salado y sus afluentes	Los Poronguitos
	sin nombre IV
	Cañada Navarro
	Peña
	Saladillo I
	Todos los Santos
	Las Saladas
	Cañada del Tío Antonio
	Saladillo II
Las Garzas	
Arroyo Vallimanca	Las Flores II
	Salado
	afluente Laguna Cochicó
	Pescado
	Guaminí
	Venado
Cura Malal Grande (2do brazo)	
Tributarios del Río de la	Pereyra
	Arias
	Juan Blanco
	sin nombre I

Plata y del río Paraná	Las Flores I
	Cañada Honda
	sin nombre III
	Ramallo (brazo I)
	Pergamino
	Saladillo chico
	Helves
	Los Leones
Tributarios directos del Océano Atlántico	de las Cortaderas
	de las Mostazas
	Indio Rico
	Cristiano Muerto
	de la Carolina
	del Pescado
	El Moro
	Calaveras
	Grande
	Guarangueyú o Crespo
	Vivoratá
	Dulce

Fuente: Elaboración propia.

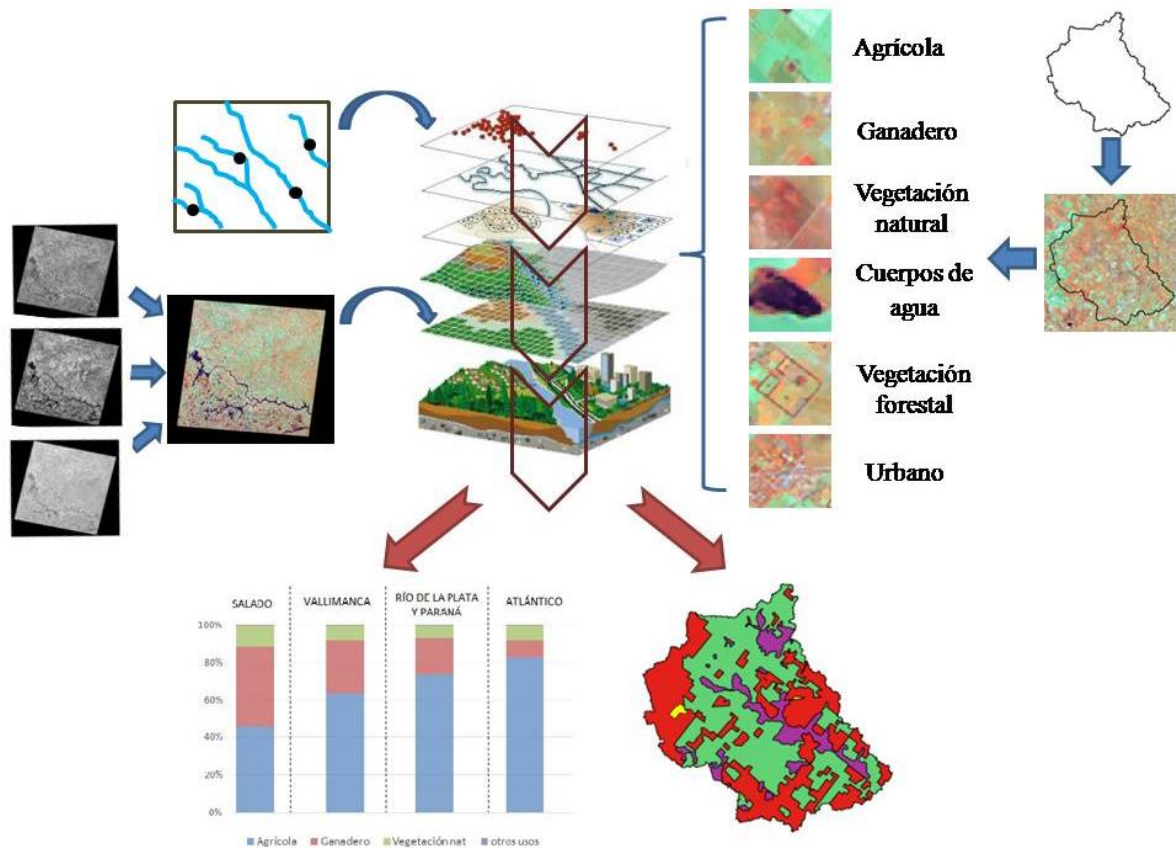
Software Quantum GIS 2.4.0

Teniendo en cuenta la disponibilidad y el desarrollo que presentan actualmente los software libres o de código abierto y ante la necesidad de contar con un programa que permitiera la manipulación de capas temáticas en formato ráster y vectorial, fue seleccionado el Quantum GIS 2.4.0. Esta herramienta permitió la manipulación de las imágenes satelitales, realizar su pre-procesamiento e integrarlas al análisis en complemento con las capas vectoriales. La extendida base de usuarios de este software supone una ventaja ya que ofrece muchas funcionalidades SIG y complementos (Documentación de QGIS2.14).

MÉTODOS

La metodología para realizar el trabajo se basó, principalmente, en la interpretación de imágenes satelitales, para ello fue necesario seleccionar un sitio web, descargar las imágenes y realizar los procesos correspondientes para la visualización en colores, para posteriormente efectuar la interpretación. En el siguiente esquema metodológico, Figura N° 4, se representa el trabajo realizado.

Figura N° 4. Esquema metodológico.



Fuente: Elaboración propia.

Tratamientos digitales

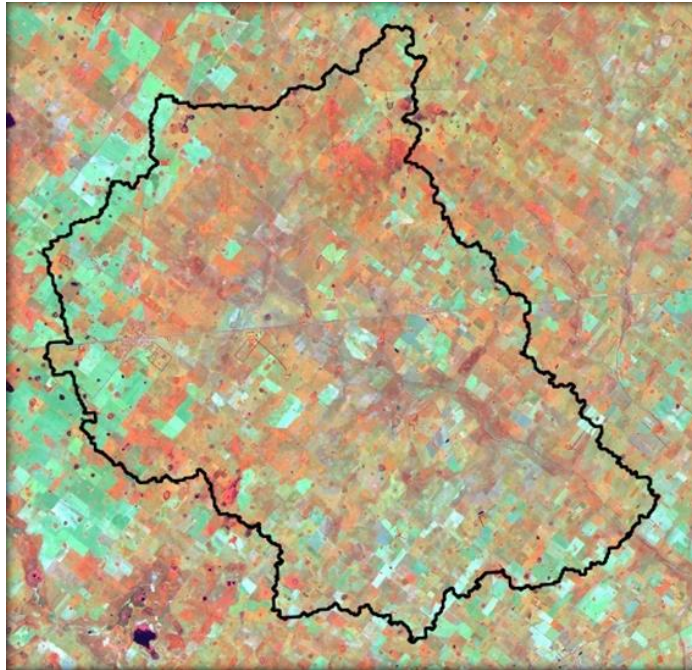
Las imágenes satelitales fueron descargadas de la página web del INPE¹, se completaron los parámetros básicos, y se descargaron las 14 imágenes satelitales mencionadas. Se armaron las 7 bandas de cada una de ellas para representar las imágenes completas. A todas las imágenes se les mejoró el contraste para visualizar los datos originales. Las bandas utilizadas fueron: Rojo (R), Infrarrojo cercano (IRc) e Infrarrojo medio (IRm), y la combinación multibandas utilizada fue 4, 5, 3 /R, G, B, denominado Falso Color Compuesto (F.C.C.) que resultó la composición más utilizada para el estudio de la cobertura del suelo y la realización de cartografía temática, de acuerdo a la bibliografía consultada.

Interpretación visual y clasificación de uso del suelo.

Realizado el pre-procesamiento de cada imagen satelital, se las relacionó con las cuencas y se inició el trabajo a partir de la técnica de interpretación visual (Figura N° 5). También se estableció una escala de trabajo de 1:20.000 a 1:30.000 para discriminar las distintas categorías de usos y coberturas del suelo: agrícola, ganadero, vegetación natural, vegetación forestal, cuerpos de agua y urbano.

¹ Sitio web del INPE: <http://www.inpe.br/>

Figura N° 5. Cuenca del arroyo Los Leones. Combinación de bandas 4, 5, 3 (R, G, B).



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se describe cada categoría de acuerdo al análisis de los diferentes criterios de interpretación visual que se consideraron para su identificación, a modo de ejemplo se presenta en la Figura N° 6, correspondiente a una imagen satelital con combinación de bandas 4, 5, 3 -R-G-B, sobre una parte de la cuenca del arroyo Los Leones y la señalización de cada categoría.

- Categoría de uso del suelo: Agrícola.

Criterios para su interpretación visual: parcelas con *diseño* geométrico de *tamaño* mediano. Con alternancia de *colores* entre rojos, anaranjados, rosados y amarillos de *tonalidades* variables según tipo y estado fenológico del cultivo, y en los casos de suelos cosechados o recién cultivados los *colores* corresponden a celestes. En general son muy homogéneos.

- Categoría de uso del suelo: Ganadero.

Criterios para su interpretación visual: parcelas de mayor *tamaño* con *diseños* geométricos, son más heterogéneas con posibles zonas deprimidas. Poseen variaciones en *color* y *tonalidades* por cada parcela; suelen presentar *colores* de rojos oscuros a claros, anaranjados, amarillos, verdes y celestes. Incluyen parches de agua de *color* negro y vegetación natural o forestal con *formas* irregulares.

- Categoría de uso del suelo: Vegetación natural.

Criterios para su interpretación visual: zonas de *color* rojizas, anaranjado oscuro o incluso amarronadas de *formas* irregulares, aparentan cierta *rugosidad* por su cambio de *tonalidades*. Generalmente se *asocian* a cuerpos de agua, arroyos o zonas deprimidas y no poseen un *tamaño* determinado.

- Categoría de uso del suelo: Vegetación forestal.

Criterios para su interpretación visual: poseen un *color* rojo oscuro o bordó con *textura* rugosa. En algunas ocasiones tienen una *forma* regular casi geométrica porque actúan como cortinas forestales alrededor de parcelas agrícolas, en parcelas correspondientes a la ganadería figuran como parches o montes de *forma* irregular. También pueden estar *asociados* a cuerpos de agua.

- Categoría de uso del suelo: Cuerpos de agua.

Criterios para su interpretación visual: lagunas o arroyos de *formas* irregulares, de *color* negro cuando el agua es limpia; pero cuando presenta partículas en suspensión su *coloración* se torna al cian o azul. Generalmente se encuentran *asociados* en sus márgenes a vegetación natural.

- Categoría de uso del suelo: Urbano.

Criterios para su interpretación visual: las zonas urbanas poseen una *forma* regular con un *diseño* de grilla, de *color* gris o celeste en distintas *tonalidades*.

Figura N° 6. Identificación de los diferentes criterios. Cuenca del arroyo Los Leones.

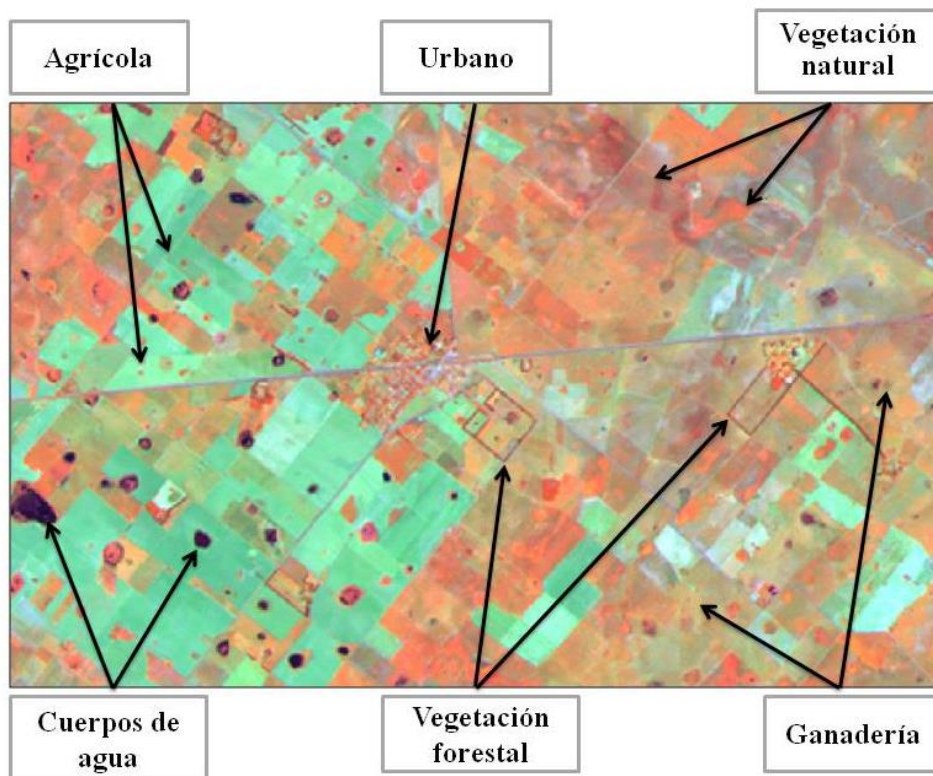


Figura: Elaboración propia.

En la siguiente tabla se sintetiza lo descripto anteriormente.

Tabla N° 5. Tabla síntesis de relación: uso del suelo/criterio de interpretación.

Criterio Uso del suelo	Tonali- dad	Color	Diseño	Forma	Tamaño	Textura	Asocia- ción
Agrícola	Según estado fenológico del cultivo	Cultivo: rojos anaranjados rosados amarillos Cosechado: celestes	Geométrico homogéneo	Regular	Parcelas medianas	-	-
Ganadero	Variable	Rojos oscuros a claros, anaranjados amarillos verdes celestes	Geométrico heterogéneo	Regular	Parcelas grandes	-	-
Vegetación natural	Variable	Rojizas anaranjado oscuro amarronado	-	irregular	-	Rugoso	Cuerpos de agua
Vegetación forestal	Variable	Rojo oscuro bordó	-	Regular: cortinas forestales. Irregular: montes	-	Rugoso	Cuerpos de agua
Cuerpos de agua	-	Negro, azul cian	-	Irregular	-	-	Vegetación
Urbano	Variable	Gris, celeste	Grilla	Regular	-	-	-

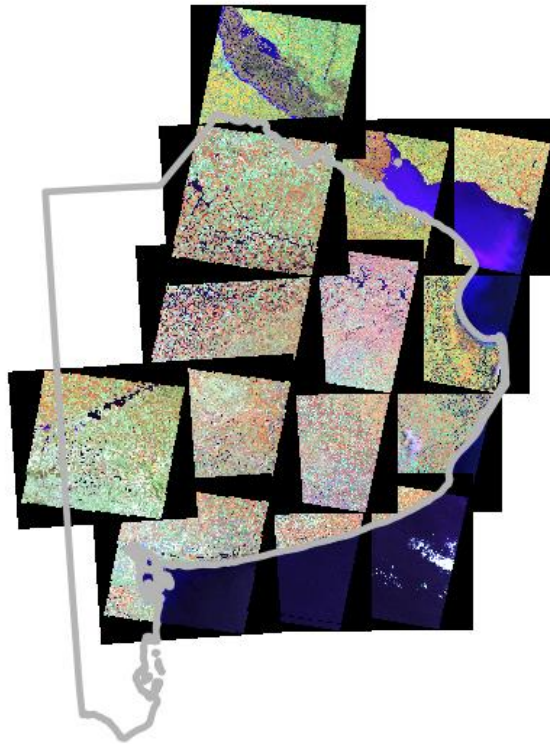
Fuente: Elaboración propia.

Para obtener el área de cada uso diferenciado, en cada una de las 41 cuencas, fue necesario sistematizar las tablas alfanuméricas. En este sentido la distribución de los datos en una tabla, donde las filas representaron las unidades digitalizadas y las columnas las variables involucradas, facilitó el análisis posterior. Obtenidos los resultados en m² se los guardó en archivos formato Excel para realizar los cálculos correspondientes y adquirir los porcentajes de uso del suelo de cada cuenca. Se normalizaron los porcentajes de usos del suelo utilizando la transformación arco seno para obtener la media y desvío estándar de los mismos diferenciados por regiones. Con las comparaciones obtenidas se ilustraron los resultados.

RESULTADOS

En la Figura N°7 se presentan las imágenes satelitales con las que se trabajó. Resulta interesante destacar la superficie ocupada por las imágenes, teniendo en cuenta el tamaño total de la provincia de buenos aires.

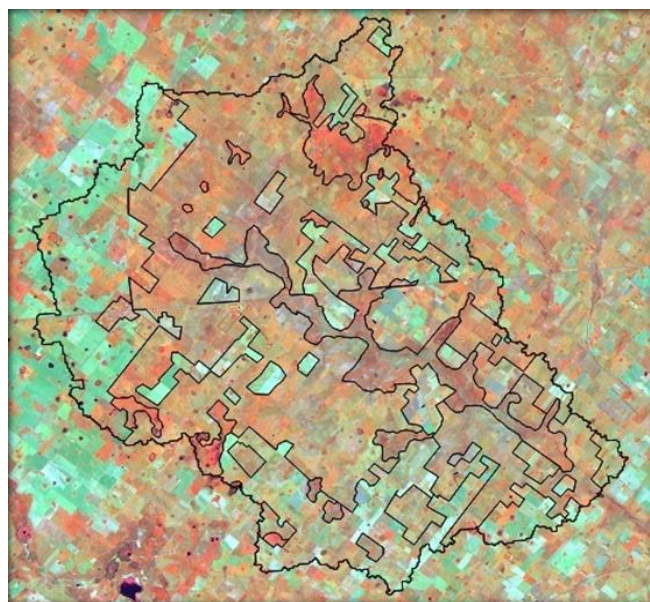
Figura N° 7. Imágenes satelitales Landsat 5 TM procesadas para la interpretación visual de las cuencas.



Fuente: Elaboración propia.

A modo de ejemplo se presenta en la Figura N° 8, la cuenca del arroyo Los Leones interpretada para destacar el grado de detalle obtenido. En ella se aplicaron los criterios nombrados en el marco teórico. El mismo trabajo fue replicado en las 40 cuencas restantes.

Figura N° 8. Cuenca del arroyo Los Leones interpretada.



Fuente:Elaboración propia.

Las categorías más relevantes en cuanto a la superficie obtenida correspondieron al uso agrícola, ganadero y vegetación natural, los restantes (urbano, cuerpos de agua, forestal), no tuvieron relevancia en este estudio dado su bajo porcentaje de cobertura, por lo tanto se agruparon en una cuarta categoría denominada *otros usos*. Se obtuvieron las medias de cada uso del suelo (Tabla N°5), y se realizó el gráfico de barras (Figura N°9).

Referencias de los sistemas fluviales que se presentan en la Tabla N° 5:

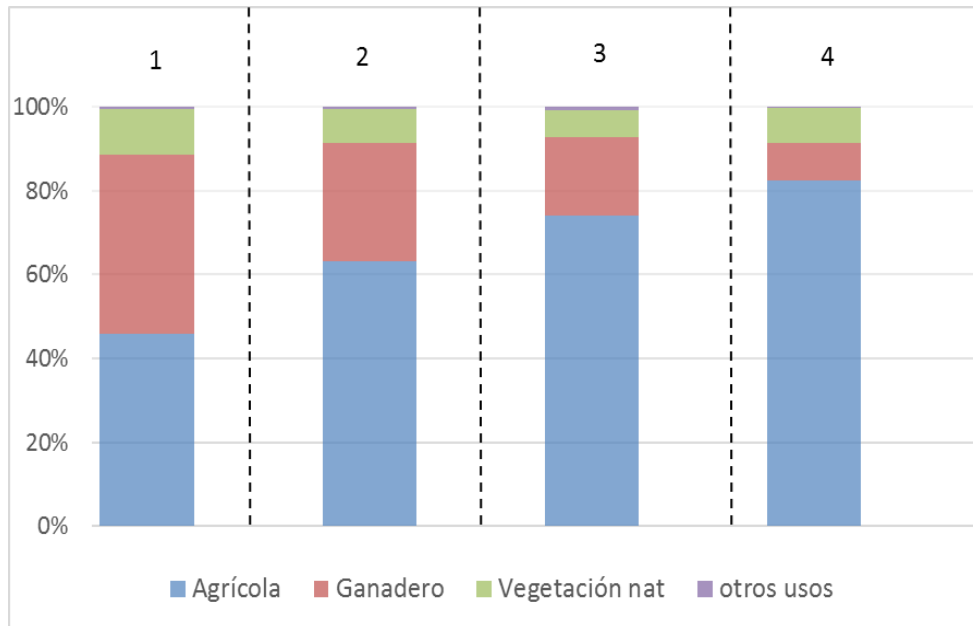
- 1) Sistemas del río Salado y sus afluentes;
- 2) Arroyo Vallimanca;
- 3) Tributarios del Río de la Plata y del río Paraná;
- 4) Tributarios directos del Océano Atlántico.

Tabla N° 5. Medias de uso del suelo expresadas en porcentaje.

Sistema fluvial	Agrícola	Ganadero	Veg. Nat.	Otros usos	TOTAL
1	45,80	42,74	10,89	0,55	100
2	63,34	28,11	7,99	0,53	100
3	73,99	18,73	6,59	0,67	100
4	82,57	8,98	8,21	0,22	100

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 9. Medias de uso de suelo en cada región.



Fuente: elaboración propia.

En el gráfico se evidencia como el uso agrícola supera a los demás usos en todas las regiones, principalmente en las regiones 2, 3 y 4. En el caso de la región 1 los porcentajes de uso agrícola y ganadero son muy similares. La vegetación natural se mantiene muy parecida en todas las regiones y los *otros usos* no poseen relevancia.

CONCLUSIONES

Las llanuras de la provincia de Buenos Aires establecieron el marco geográfico de este estudio y se constituyó a la cuenca hidrográfica como la unidad de análisis espacial. La herramienta de síntesis para analizar e integrar la información proveniente de sensores remotos junto con las coberturas generadas fue el SIG. De esta manera fue posible determinar el uso y cobertura del suelo a partir de la técnica metodológica de interpretación visual de imágenes Landsat 5 TM (2000-2001) en 41 cuencas. La interpretación visual, a pesar de configurar un método subjetivo, se ha demostrado como una herramienta eficaz si se tienen en cuenta recaudos metodológicos previos. Se destacan con esta metodología los usos agrícola, ganadero y vegetación natural, por lo tanto se confirma que el uso dominante en general es el agrícola seguido del ganadero, mientras que la vegetación natural fue similar en todas las regiones, y los *otros usos* fueron mínimos. En este sentido se podrá relacionar los datos obtenidos con los demás objetivos del Proyecto marco, por lo tanto se aprovecharía esta metodología con una perspectiva diacrónica y en relación a otras variables (nutrientes de los arroyos). También se beneficiaría esta técnica de trabajo en complemento de técnicas digitales de extracción de información como la clasificación multiespectral.

Además se confirma lo establecido por los autores Paruelo, et al. (2005), que los cultivos no avanzaron tanto sobre la vegetación natural sino sobre áreas dedicadas a las pasturas o directamente potreros de usos ganaderos, por lo tanto la superficie total de

uso agrícola más el uso ganadero se mantuvo. En tanto Satorre (2005) coincide en que durante los últimos años, las tierras que eran netamente ganaderas han experimentado transformaciones, en beneficio de la agricultura extensiva. Estos cambios en el uso del suelo pueden traer aparejados variaciones en la calidad del agua de los sistemas fluviales pampeanos por el uso de agroquímicos.

En este trabajo la delimitación utilizada en los sistemas fluviales correspondió a la realizada por Frenguelli en el año 1956. Resulta necesaria, para futuras investigaciones, proponer una comparación entre los límites determinados por dicho autor a partir de la inclusión de nuevas tecnologías de la información geográfica, particularmente los modelos digitales de elevación.

El uso del suelo y las consecuencias ambientales y sociales marcan la importancia de planificar cuidadosamente la expansión de las áreas de cultivo para que sean guiados, fomentados, monitoreados y controlados a través de la acción estatal. Las tecnologías de la información geográfica representan, como se demostró aquí, una herramienta con alto potencial en este campo de acción. Resulta necesario asegurar que las decisiones económicas privadas tomen en consideración los costos públicos y los efectos a largo plazo. Por este motivo es fundamental establecer un ordenamiento territorial equilibrado para determinar la combinación de las distintas categorías y considerar los efectos socioeconómicos y ambientales ya que futuros cambios o modificaciones en el suelo pueden ser irreversibles.

BIBLIOGRAFÍA

Amuchástegui, G.; Di Franco, L.; Feijoó, C. (2015) Catchment morphometric characteristics, land use and water chemistry in Pampean stream: a regional approach. DOI 10.1007/s10750-015-2478-8. *Springer International Publishing Switzerland* 2015.

Anselmo, J. H. (2017). Cambios en la cobertura del suelo y relación con los nutrientes de agua en arroyos pampeanos. Tesina de grado. Lic. en Información Ambiental. Universidad Nacional de Luján.

Chuvieco, E. (1996). *Fundamentos de teledetección espacial*. 3ra. Edición revisada. ISBN 84-321-3127-X. Barcelona, España.

Chuvieco, E. (2002). *Teledetección ambiental. La observación de la tierra desde el espacio*. Editorial Ariel, S. A. ISBN: 84-344-8047-6. Barcelona, España.

Di Franco, L. (2006) El aporte de los sensores remotos y los sistemas de información geográfica al estudio de la ecología espacial y la conservación de mamíferos. Informe de Investigación. Licenciatura en Información Ambiental. Universidad Nacional de Luján.

Faigón, M. (2015) Fertilidad y productividad en el suelo pampeano: pasado, presente y futuro. Artículo de Comunicación – Divulgación científica. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Recuperado de: <http://www.conicet.gov.ar/fertilidad-y-productividad-en-el-suelo-pampeano-pasado-presente-y-futuro/>

Feijoó, C. (2007) La destrucción morfológica y biológica de los arroyos pampeanos. Programa de Investigación en Ecología Acuática, Universidad Nacional de Luján. En: *Dimensiones humanas del cambio ambiental en Argentina: hacia la construcción de una agenda científica ambiental interinstitucional*. Resultados del 1º Taller sobre Dimensiones Humanas del Cambio Ambiental en Argentina. E. Tancredi y N. Da Costa Pereira, Coord. Dpto. de Cs. Sociales, UNLu. 1º Ed. www.ihdp-argentina-unlu.edu.ar

Feijoó, C.; Lombardo, R. (2007) Baseline wáter quality and macrophyte assemblages in Pampean streams: A regional approach. *Water Research* 41: 1399–1410.

Frenguelli, J. (1956) *Rasgos generales de la hidrografía de la Provincia de Buenos Aires*. Laboratorio de ensayo de materiales e investigaciones tecnológicas (LEMIT), Buenos Aires.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC). Censo 2010. Recuperado de: http://www.indec.gov.ar/ftp/censos/2010/CuadrosDefinitivos/PIP_Buenos_Aires.pdf

Instituto Geográfico Nacional República Argentina (IGN). Recuperado de: <http://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geografia/DatosArgentina/DivisionPolitica>

King R. S.; Baker, M.E.; Whigham, D.F.; Weller, D.E.; Jordan, T.E.; Kazyak, P.E.; Hurd, M.K. (2005). Spatial considerations for linking watershed land cover to ecological indicators in streams. *Ecological Applications* 15; 137-153

Quantum GIS 2.4.0. Documentación. Extraído de: <http://www.qgis.org/es/site/about/features.html>

Delgado, M. N. G.; Barrenetxea, C. O.; Serrano, A. P.; Blanco, J. M. A.; Vidal, F. J. R. (2004). *Contaminación ambiental: una visión desde la química*. Editorial Paraninfo.

Paruelo, J. M.; Guerschman, J. P.; Verón, S. R. (2005). Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo. Artículo de Revista: *Ciencia Hoy*. Volumen 15 - Nº 87. Pág. 14-23.

Ríos, E.; Cotler Avalos, H.; Gonzalez-Mora, I. D.; Pineda, R.; Alcántar, A. G. (2013) Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión. Repositorio digital: *Sitio argentino de producción animal*.

Sajikumar, N.; Remya, R. S. (2015) Impact of land cover and land use change on runoff characteristics. *Journal of Environmental Management*, 161, 460-468.

Satorre, E. H. (2005) Cambios tecnológicos en la agricultura argentina actual. Artículo de Revista: *Ciencia Hoy*. Volumen 15 - Nº 87. Pág. 24-31.

Shalaby, A.; Tateishi, R. (2007). Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land cover and land-use changes in the Northwestern coastal zone of Egypt. *Applied Geography*, 27, 28-41.

Sonoda, K.; Yeakley, J.A.; Walker, C.E. (2001). Near-stream land use effects on stream water nutrient distribution in an urbanizing watershed. *Journal of the American Water Resource Association* 37: 1517-1532.

Villarroel Parra, A. (2003) Proyecto shetran, manejo de cuencas hidrográficas en Chile: aplicación del sistema hidrológico europeo (shetran) en una Microcuenca cordillerana a problemas de Inundación. Seminario de Título, Biología Ambiental. [http://www.ingenieroambiental.com/4025/tesis%20medio%20ambiente\(3\).pdf](http://www.ingenieroambiental.com/4025/tesis%20medio%20ambiente(3).pdf)

Viglizzo, E. F.; Pordomingo, A. J.; Castro, M. G.; Lértora, F. A. (2003). Environmental assessment of agriculture at a regional scale in the Pampas of Argentina. *Environmental monitoring and assessment*, 87(2), 169-195.

Wetzel G.R. (1981) *Limnología*. Ediciones Omega, S. A. – Casanova, 220 – Barcelona-36.

© Julieta Anselmo; Leonardo Di Franco; Claudia Feijoó.

Anselmo, J.; Di Franco, L.; Feijoó, C. 2019. Interpretación visual de imágenes satelitales: cuencas hídricas y calidad de agua. ***Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GeoSIG)***. 11(13) Sección I:47-67

On-line: www.revistageosig.wixsite.com/geosig

Recibido: 12 de junio de 2018

Aceptado: 20 de enero de 2019