



## **DEGRADACIÓN DE TIERRAS Y TELEDETECCIÓN EN PLANICIES PRÓXIMAS A LA LOCALIDAD DE CENTENARIO, PROVINCIA DE NEUQUÉN**

*Luis A. Bertani<sup>1</sup>*  
*Oscar R. Peña<sup>† 1</sup>*

(Manuscrito recibido el 12 de agosto de 2014, en versión final 1 de julio de 2015)

### **Resumen**

En el presente trabajo se analiza el estado de la degradación de la tierra en un sector de planicies próximas a la localidad de Centenario en la provincia de Neuquén. Para ello se utilizó el procesamiento digital de imágenes satelitales las que fueron analizadas bajo el marco conceptual de la Ecología del Paisaje (Forman y Godron, 1986).

El área de estudio está constituida por antiguas terrazas fluviales del río Neuquén, de edad Pleistoceno que poseen un manto arenoso que constituye el horizonte donde se forman los suelos, que permiten el desarrollo de una vegetación xerofítica, típica de los ambientes áridos de la zona oriental de la provincia. Este lugar se halla expuesto a una intensa actividad humana desde hace más de 50 años, relacionada con la extracción de hidrocarburos. A esto se le debe sumar, dada la proximidad con centros urbanos, la permanente extracción de especies vegetales, para utilizarlas como combustible.

Además de la información obtenida durante las salidas de campo y del análisis de los antecedentes sobre este lugar, la metodología contempla el uso del SIG Idrisi (versión Kilimanjaro) para el tratamiento digital de imágenes satelitales tipo Landsat ETM provistas por la CONAE. Los resultados fueron confrontados con la información obtenida a partir de las distintas salidas de campo y para poder reconocer distintas matrices, parches y corredores, de acuerdo con la propuesta metodológica de la Ecología del Paisaje.

**Palabras clave:** teledetección, ecología del paisaje, planicies, Centenario

---

<sup>1</sup> Departamento de Geografía, Facultad de Humanidades, Universidad Nacional del Comahue.  
Av. Argentina 1400 (8300) Neuquén. [bertani8300@gmail.com](mailto:bertani8300@gmail.com); [oscpa@yahoo.com.ar](mailto:oscpa@yahoo.com.ar)

## **LAND DEGRADATION AND REMOTE SENSING IN PLAINS NEXT TO CENTENARIO CITY, NEUQUÉN PROVINCE**

### **Abstract**

In this paper the status of land degradation is analyzed in a plains sector near Centenario town in Neuquén Province. To carry on this analysis it was used digital processing of satellite images which were analyzed within the conceptual framework of landscape ecology (Forman and Godron, 1986).

The study area comprises the old river terraces of Neuquén River, from a Pleistocene age, which have a sandy mantle that covers them, which usually constitutes the horizon where the soils that allow the development of a xeric vegetation, typical of the arid environments, in the eastern part of the Neuquén Province. This place is exposed to intense human activity for more than 50 years, related to hydrocarbon extraction what should be added, given the proximity of urban centers, the permanent removal of plant species for use as fuel.

In addition to the information obtained during the field trips and the analysis of the background to this, the methodology involves the use of GIS Idrisi (Kilimanjaro version) for the digital processing of Landsat ETM satellite imagery provided by CONAE. The results were compared with information obtained from various field trips, and to recognize different matrices, patches and corridors, according to the methodology of Landscape Ecology.

**Keywords:** Remote sensing, landscape ecology, plains, Centenario

### **Introducción**

Los sensores remotos destinados a la evaluación de los recursos naturales constituyen una técnica cada vez más frecuente por parte de los especialistas de las distintas disciplinas que tienen como objetivo el estudio del territorio. Estas herramientas metodológicas aportan valiosa información sobre la diversidad de patrones espaciales y permite realizar continuos monitoreos sobre el estado de los distintos paisajes.

Si se tiene en cuenta la extensión de la Patagonia, su variada morfología y el predominio de los ambientes naturales, la teledetección resulta un medio apropiado para el estudio de este tipo de territorios con distintos propósitos y a distintas escalas. Las nuevas técnicas otorgan posibilidades de nuevos abordajes metodológicos pero a su vez cada escenario plantea nuevos desafíos, tal como ocurre en este caso donde las características biofísicas específicas de las regiones áridas como ser la escasa cobertura vegetal y la considerable superficie de suelo desnudo, que dificultan muchas veces las tareas de clasificación e interpretación de las imágenes satelitales. Por ello se considera necesaria una permanente puesta a punto

de las metodologías utilizadas, a fin de adaptarlas a las particularidades de cada ambiente.

La ecología del paisaje, en desarrollo durante los últimos años, proporciona un marco teórico para el estudio del paisaje en esta línea. Según Forman y Godron (1986), el paisaje es entendido como “una superficie de terreno heterogéneo compuesta por un conjunto de ecosistemas en interacción, que se repite de forma similar en ella”. Se reconoce la heterogeneidad o variación dentro del paisaje y se presta atención especial a la funcionalidad de cada una de las partes y del conjunto del paisaje.

Los paisajes están compuestos de unidades elementales o ecosistemas distintos, agrupados en configuraciones reconocibles que se visualizan en un mosaico de usos del suelo, de tipos de relieve, distribución del agua superficial, etc. que cubre parte de un territorio. Cada paisaje posee una estructura heterogénea que básicamente está regida por la geomorfología y el clima, pero también por las perturbaciones naturales o no, que se han sucedido a partir de la intervención humana. Como resultado de esto “se produce una verdadera síntesis” (Forman y Godron, 1986) que determinará un paisaje de características únicas con una estructura aparente particular. El estudio de esta estructura aparente, tendrá por tanto una importancia especial para entender el funcionamiento del paisaje y su comportamiento frente a las intervenciones humanas.

La extensión de los paisajes así considerados puede ser variable, desde unas pocas decenas hasta unos miles de km<sup>2</sup>. Las características de cada territorio y los objetivos propuestos para cada caso, pueden hacer cambiar la escala de trabajo. La fotografía aérea y la imagen satelital son de gran utilidad y constituyen valiosas herramientas de análisis ya que pueden brindar, como en este caso información sobre las características particulares de cada unidad de territorio.

Los componentes del paisaje pueden articularse en el espacio de muy diferentes formas, dando lugar a configuraciones o estructuras espaciales diversas. En este sentido, Forman y Godron (1986), distinguen en el paisaje tres tipos de superficies:

- Parches (superficies no lineales que se distinguen por su aspecto de lo que lo rodea);
- Corredores (superficies de terreno estrechas y alargadas que se diferencian por su aspecto de lo que lo rodea); y
- Matriz (elemento del paisaje que ocupa una mayor superficie y presenta una mayor conexión, jugando el papel dominante en el funcionamiento del paisaje. Es el elemento que, por lo general rodea los parches).

Cada uno de estos aspectos tiene implicancias distintas desde el punto de vista ecológico, pero también desde el visual. La combinación de estos tres tipos de elementos, con sus características propias, define la estructura general del paisaje y relacionada con ella, su funcionalidad.

La zona estudiada abarca una superficie de unas 6.300 ha y se localiza a unos 3 km. al noroeste de la ciudad de Centenario en la provincia de Neuquén (Figura 1). Este lugar se caracteriza por la presencia de antiguas planicies del interfluvio de los ríos Limay y Neuquén (Gonzalez Díaz E. y Ferrer J., 1986), cuyas cotas extremas

oscilan entre los 300 m s.n.m. (extremo oriental), a 450 m s.n.m. en el extremo occidental. Los materiales transportados por el río desde su origen, fueron depositados sobre los estratos geológicos preexistentes (sedimentitas del Cretácico Superior), formando un manto de gravas estratificado, de espesores variables, que oscila entre 2 y 6 metros. De esta manera, la acción fluvial ha generado durante el Pliopleistoceno geoformas bajo condiciones climáticas diferentes a las actuales, tales como la sucesión de niveles de terrazas con improntas de paleodrenaje. En el sector estudiado se han identificado al menos cuatro niveles de terraza (T1, T2, T3 y T4), siendo T1 la más antigua (Figuras 2 y 3).

La gran mayoría de los suelos están desarrollados sobre sedimentitas eólicas y son relativamente someros (entre 30 y 70 cm.), sobrepuestos al mencionado manto de grava que presenta escasa matriz arenosa y se halla muy fuertemente cementado por carbonato de calcio en los primeros 50 a 80 cm. El manto de gravas -con tamaño medio, grueso y fino subordinados-, suprayace en forma abrupta a la Formación Río Colorado (Digregorio y Uliana, 1980) compuesta por interestratificaciones de areniscas, limonitas y arcillitas, que en su conjunto tienen espesores muy considerables.

El relieve general es plano a casi plano mientras que si se lo analiza a mayor detalle se pueden apreciar zonas ligeramente deprimidas (por lo general paleocauces) y sectores topográficamente positivos entre dos paleocauces. A nivel microrelieve las geoformas están referidas a la acumulación de sedimentos finos a medios, producto de la acción eólica. Es común la presencia de estos materiales a sotavento de algún resalto topográfico, como ser un escarpe o simplemente un conjunto de matas.

Los diferentes niveles de terrazas se encuentran separados por escarpes de erosión, producidos por la acción fluvial durante el cuaternario. Los niveles de terraza más modernos (inferiores), son los más extensos y mejor conservados, en tanto los más antiguos aparecen generalmente en forma de aislados remanentes producto de la erosión fluvial.

El clima es árido mesotermal (Thorntwaite, 1948). Bajas precipitaciones, moderada amplitud térmica, con altas temperaturas en los meses de verano, lo que determina una intensa evapotranspiración potencial. El viento agudiza aún más la sequedad del ambiente, tanto por su intensidad como por su persistencia.

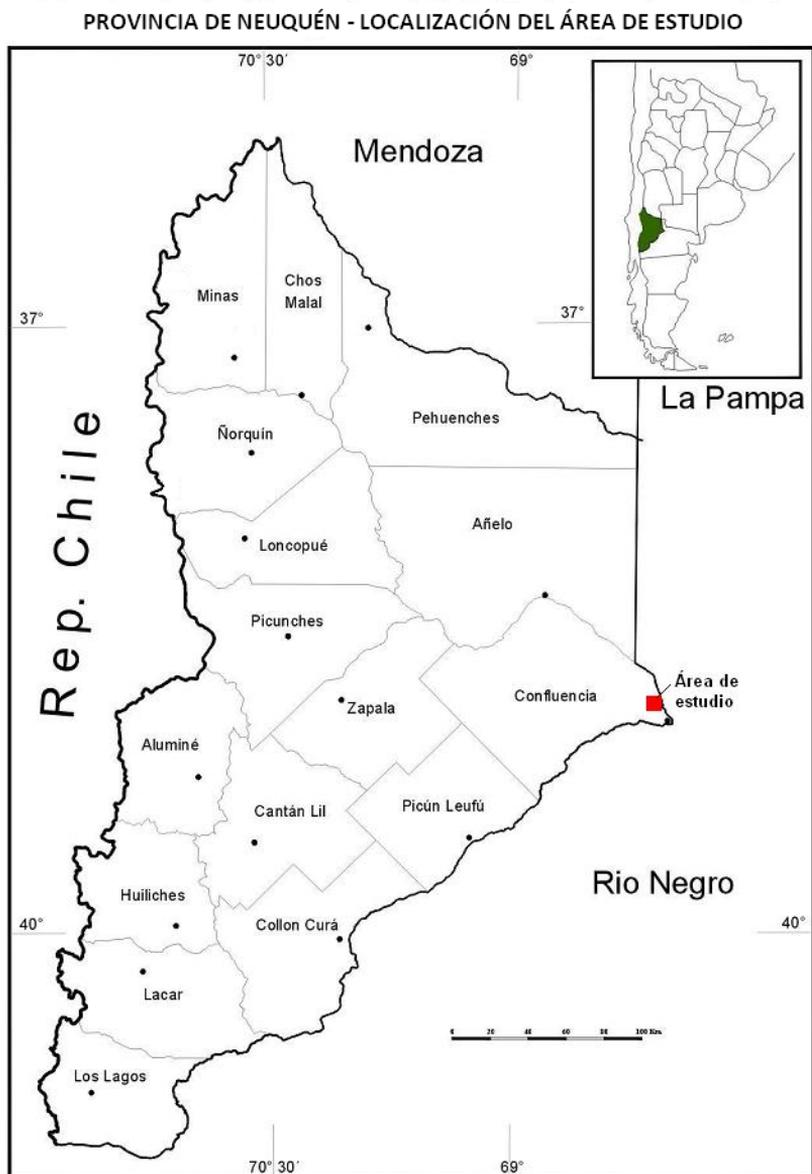


Figura 1. Localización del área de estudio.

De acuerdo a las características climáticas actuales los suelos poseen un balance hídrico negativo, lo que impide, o al menos reduce, la movilización de nutrientes en el perfil. Por ello es frecuente la presencia de sales solubles acumuladas en o muy cerca de la superficie, así como calcáreo y yeso, tanto en formas blandas como cementadas (UNCo, 1996).

El comportamiento climático y los suelos muy poco desarrollados determinan una vegetación arbustiva y rala adaptada a la intensa sequía con especies dominantes como *Larrea cuneifolia*, *Larrea divaricata* y *Atriplex lampa* (Movia y otros, 1982).

Este frágil ecosistema ha soportado durante los últimos años del siglo pasado y el presente, una intensa agresividad en cuanto a su uso. La actividad ganadera ovina y especialmente caprina realizada durante largos años, ha producido la degradación intensa de especies vegetales, en particular las palatables para el ganado. La extracción de madera para combustible -especialmente la *Montea aphylla* (matasebo)-, ha desprotegido el suelo generando sectores sin cobertura, que resultan más proclives a los procesos erosivos.

La explotación de estas áreas para la extracción de hidrocarburos ha intensificado los procesos de erosión a raíz del desmonte que se produce como consecuencia de la construcción de caminos de servicios (picadas sísmicas), playas de maniobras, etc. más allá de existencia de piletas en las que se almacenan los residuos o la denominada “agua de purga”. Además la existencia de estos caminos de servicios ha permitido el ingreso de personas a lugares que de otra manera serían prácticamente inaccesibles. Esto ha favorecido la extracción de especies vegetales muy requeridas como combustible como la *Montea aphylla* (matasebo).

Estas consideraciones obligan a prestar suma atención a esos lugares, en los que no ha habido una planificación previa en el uso de los recursos y el control que ejerce el estado aparece muy diluido, lo que trae como consecuencia que día a día se sigan deteriorando los recursos e incrementando los procesos de degradación de los paisajes.

Teniendo en cuenta estas consideraciones este trabajo tiene como objetivo estudiar los patrones espaciales del paisaje mediante el tratamiento digital de imágenes Landsat ETM y la aplicación de la metodología de la ecología del paisaje, propuesta por Forman y Godron (1986) que brinda las herramientas conceptuales para analizar el comportamiento de la dinámica biofísica en los distintos paisajes.

## Metodología

La secuencia metodológica consistió en el tratamiento digital de imágenes procesadas con el SIG Idrisi versión Kilimanjaro de la Universidad de Clark (USA), más un exhaustivo trabajo de campo que permitió corroborar los resultados obtenidos y obtener información detallada sobre el área. A esto debe sumársele la consulta de los antecedentes sobre la información existente sobre estas planicies.

Para el tratamiento de la imagen satelital, en primer lugar se procedió a georreferenciar la imagen Landsat ETM correspondiente a la escena (Path 230 – Row 087) de fecha 6 de diciembre de 2011. La misma fue referenciada sobre la base de

coordinadas planas Gauss Krüger obtenidas de la carta topográfica Neuquén (3969-17) a escala 1:100.000 y a puntos de control mediante mediciones efectuadas con GPS. En total se obtuvieron 30 puntos de control, lo que permitió un resultado bastante confiable.

Una vez georreferenciada la imagen se estuvo en condiciones de llevar a cabo una clasificación supervisada de la misma.

Para ello, el primer paso en la etapa operacional consistió en la interpretación visual detallada en distintas bandas del visible e infrarrojo y composiciones color y en la estimación de la varianza espectral (comando *texture: Image Texture Calculation*) de la subescena utilizada (combinación de análisis multiespectral y de texturas de algunas bandas).

De acuerdo a estas características, se establecieron zonas de entrenamiento (transectas de tamaños variables, 10000-20000 píxeles tratadas independientemente, de las que se tenía información de la vegetación, tipo de suelo, relieve y procesos principales de degradación. Los paisajes con mayor varianza requirieron una mayor cantidad de áreas piloto o de entrenamiento (8-5) con un número inicial de cluster entre 15 y 20 y un umbral de convergencia entre el 95 y 99 %.

Los realces fueron realizados con el objeto de ayudar a la discriminación visual y espectral de determinadas características y a la clasificación de las subescenas. En este trabajo se generó el siguiente realce utilizando el comando algebra (*Image Algebra*): el Índice de Kauth Thomas (KT) de tres bandas: la banda 1 (SBI: *soil brightness index*) identifica la reflectancia del suelo desnudo, la banda 2 (GVI: *green vegetation index*) representa la cobertura vegetal y/o la actividad biológica y la banda 3 (YSI: *yellow stuff index*) está asociada con el déficit de humedad (Chuvieco, 2002, Sobrino, 2000).

El segundo paso consistió en la clasificación no supervisada (comando *isodata: Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique*), que determina las estadísticas de las clases presentes en las zonas de entrenamiento tratadas independientemente. Posteriormente se unieron los resultados en un único archivo de extensión .sbd para cada subescena clasificándose con los mismos cada área. Las firmas espectrales fueron evaluadas a través del comando *ellipse (Ellipse Evaluation of Signatures)* y la manipulación de las mismas se realizaron utilizando *sigman (Signature Manipulation)* y *diverge (Signature Divergence)*.

Posteriormente se efectuó la clasificación supervisada (comando *maxclas: Clasification with Signatures*) a través del método de máxima probabilidad (*maximum likelihood*). Los resultados se evaluaron en función del conocimiento de censos o puntos de control de campo y de relevamientos previos para cada una de las clases definidas.

La última etapa consistió en la evaluación de la clasificación, obteniendo el umbral (comando *thresh: Classification Thresholding*). Con este procedimiento se ajustó detalladamente la clasificación de las subescenas, generando nuevas clases de píxeles mal clasificados para futuras investigaciones. La cartografía final de cada subescena se mejoró con el comando *scan (GIS Filtering)* con el análisis de la mediana.

## Los paisajes de las antiguas terrazas aluviales

De los resultados obtenidos del tratamiento digital y a través de la utilización de la metodología propuesta por Forman y Godron (1986) se han delimitado tres grandes zonas que han dado como resultado respuestas espectrales diferentes. Se las ha clasificado como **matriz** 1, 2, y 3. La clasificación supervisada permitió identificar en cada una de ellas, parches y corredores de distinta génesis, con características diferenciadas respecto de su interrelación y funcionamiento.

### *1. Matriz 1*

Esta matriz está ubicada en el sector sur de la zona estudiada y es identificada en la imagen por presentar bajos niveles de reflectancia respecto al resto de la imagen. Ello se corresponde con un área donde predomina un manto arenoso proveniente de los bajos ubicados al sudoeste, lugar de donde proceden los vientos dominantes en la región.

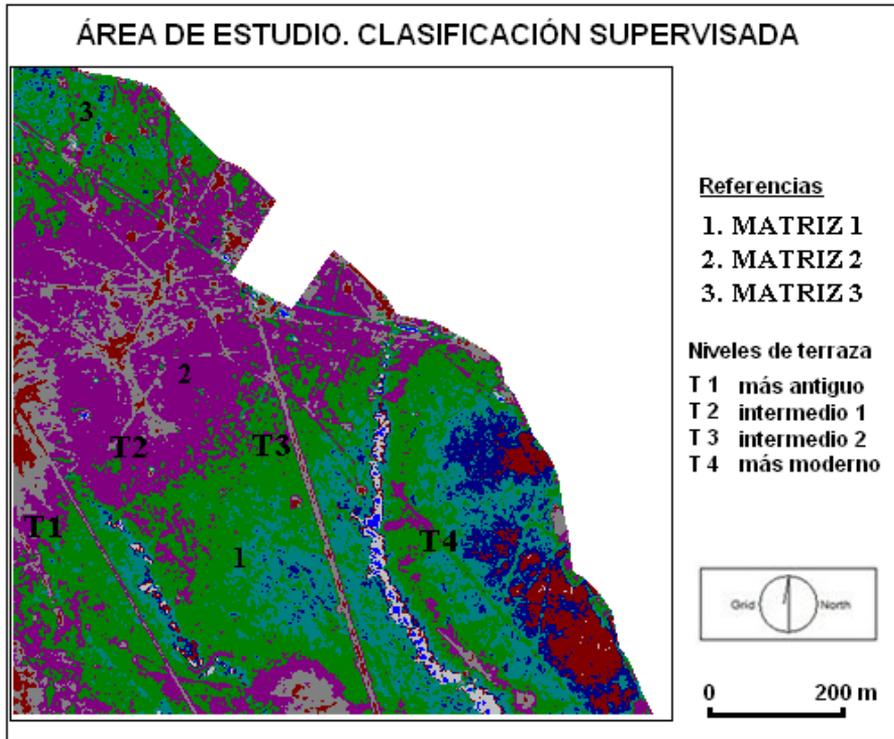
#### *1.1. Parches de matriz 1*

En la zona, una vez formadas las antiguas terrazas fluviales, comenzaron a actuar los procesos locales, como ser los abanicos aluviales formados en los resaltos topográficos que separan los distintos niveles de terraza. En la imagen se evidencia por su forma y por un alto nivel de reflectancia en relación con el entorno, debido a la baja cobertura de vegetación.

La actividad humana ha incidido en el aumento de los procesos de degradación -erosión hídrica laminar y en surcos- como resultado de la destrucción la cobertura vegetal para la extracción de áridos, remoción de especies vegetales, construcción de caminos de servicios y de prospección sísmica y playas de maniobras para la actividad hidrocarburífera (Cancer, 1999).

El efecto del viento, muy importante en la zona desde el punto de vista de la frecuencia e intensidad, sumado a la presencia de pequeñas depresiones ubicadas al oeste y sudoeste, incide en que dominen los procesos de sedimentación en la matriz. Además de esto, durante las distintas salidas de campo pudo verificarse procesos más locales como ser la dominancia de sedimentación en paleocanales que se alterna con sectores donde dominan los procesos de deflación en divisorias de paleocanales. Esto ocurre particularmente en la terraza 4 y en menor medida en la terraza 3.

Teniendo en cuenta que las actividades humanas son significativas se ha procedido a dividir los parches de acuerdo a su origen: los de origen natural y los de origen antrópico (Bertani, 2011).



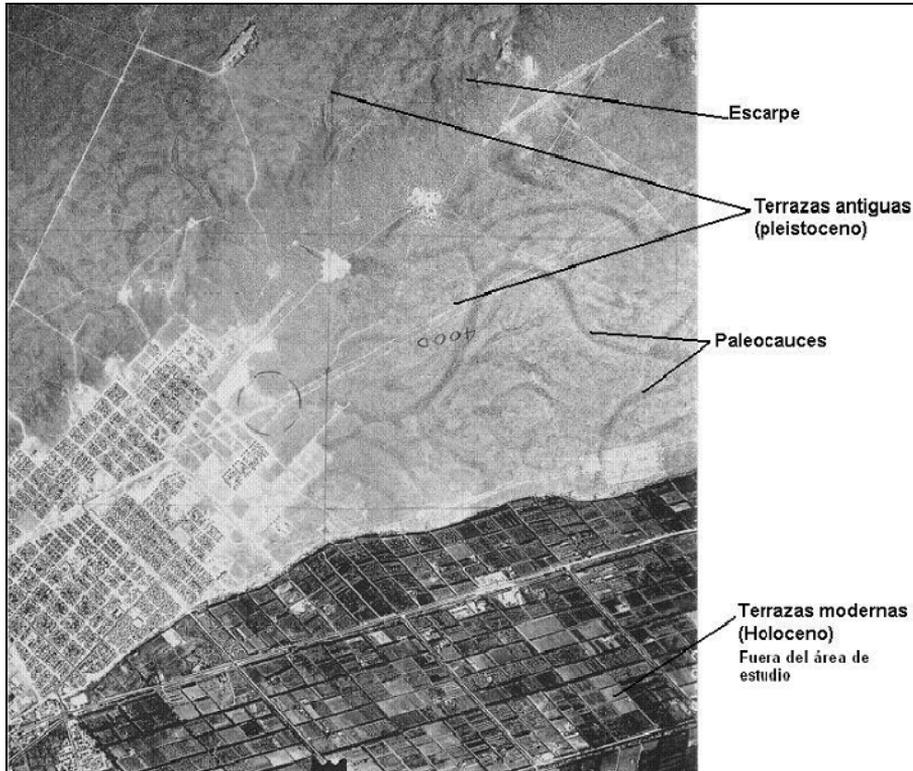
**Figura 2:** Clasificación supervisada de la imagen ETM de la zona estudiada

#### *Parches de origen natural – Paleodivisorias*

Las paleodivisorias son zonas convexas con un relieve de plano a casi plano - entre 0 y 2 % de pendiente-: Se observan montículos de aproximadamente 30 cm de altura y de unos 2 m<sup>2</sup> de superficie, que ocupan un 30 % del área. La mayor parte de la vegetación se encuentra en estos montículos. Las especies que predominan son *Larrea cuneifolia* y *Stipa speciosa*. La cobertura vegetal es de un 35 %, mientras que el resto de la superficie corresponde a suelo desnudo con dominancia de rodados (pavimento del desierto).

La superficie de suelo desnudo presenta un 65 % de rodados de diámetro menor a 6 cm. Los suelos son pardos pálidos, con textura franco arenoso con arenas medias y finas; estructura laminar, con vesículas en los primeros centímetros. Son moderadamente drenados ya que a menos de 100 cm se presenta una limitación por la presencia de un horizonte petrocálcico. Se los clasifica como Petrocalcides árgicos, franco esqueléticos, mixta, (calcárea), méstica (UNCo, 1999). Se observan algunos montículos en torno a las matas degradadas por efecto de la erosión eólica y también vestigios de erosión hídrica (regueros).

La vegetación arbustiva y rala que soportan es responsable de un escaso contenido de materia orgánica en el horizonte superficial, lo que da como resultado que presenten colores claros y débil agregación. La escasa cobertura y el tipo de vegetación -xerofítica y de colores oscuros- inciden en los bajos valores de reflectancia en el espectro visible y en el infrarrojo cercano, que sin embargo se encuentra atenuada por la cobertura de rodados en superficie, predominantemente de origen volcánico, que determina que importantes proporciones de la energía incidente sea absorbida.



**Figura 3:** Foto aérea de las planicies próximas a la localidad de Centenario. Este sector pueden observarse dos niveles de terrazas con paleocauces. Corresponde a la matriz 1.

#### *Parches de origen natural - Paleocanales*

Estas geoformas plano cóncavas, paleocursos meandriformes fluviales, en la actualidad se encuentran colmatados por sedimentos finos de origen fluvial y eólico lo que le imprime desiguales características de suelo y vegetación que en las partes más altas, planicies y paleodivisorias. Se trata de superficies planas a casi planas con

una pendiente entre 0 y 2 % con presencia de montículos que ocupan entre 30 y 40 % del área con alturas entre 35 y 45 cm que cubren una superficie promedio de unos 5 m<sup>2</sup>.

Las especies vegetales dominantes son *Larrea divaricata*, *Atriplex lampa* - zampa- y *Junella aspera*. La cobertura vegetal es de aproximadamente un 40 % y exhibe 3 estratos: el superior dominado por *Larrea*, el medio por *Atriplex lampa* y el inferior por *Junella aspera*. Durante la realización de los trabajos de campo se encontraron gran cantidad de efímeras, dadas las fuertes lluvias acontecidas en esa época.

Dadas las características de este sector con dominancia de procesos de sedimentación eólica, la presencia de rodados en superficie es muy baja - entre 5 y 10 %. Son suelos bien drenados y se los clasifica como Torripsamientos típicos, mixta, (calcárea), mélica (UNCo. 1999). Son pardo en seco, pardo amarillento oscuro en húmedo, areno franco con arenas medias y gruesas, estructura masiva (en el montículo con tendencia a bloques subangulares finos muy débiles). Existe una línea de rodados entre el horizonte A y el C1, estos fragmentos gruesos no presentan carbonatos.

En la imagen satelital estos sectores presentan un mayor nivel de reflectancia que las paleodivisorias tanto en el visible como en el infrarrojo cercano. En el visible como consecuencia de una mayor presencia de suelo desnudo de color claro y en el infrarrojo debido a una mayor cobertura vegetal.

#### *Parches de origen natural – Borde de terraza*

Los sectores ubicados en los bordes de terraza presentan un alto porcentaje de suelo desnudo con cobertura de rodados -pavimento del desierto- que en algunos casos supera el 80 %. Esto está relacionado a procesos de deflación debido a que se trata de una zona muy expuesta a los vientos. La baja cobertura vegetal está vinculada, además de los fuertes vientos, a la escasa profundidad efectiva de los suelos en este lugar. Esto último genera una mayor reflectividad en el espectro visible en relación con los parches anteriores, lo que ha permitido que en la clasificación supervisada, aparezca como una clase claramente definida.

Estos espacios se visualizan en la imagen siguiendo en forma paralela y discontinua a las terrazas 3 y 2, con un ancho que varía entre 200 y 300 metros.

#### *Parches de origen natural – Abanicos aluviales*

Presentan una superficie con escasa pendiente que oscila en el 2 % y su material original es aluvial/eólico. Sobre los abanicos convergentes se observan regueros y pequeñas cárcavas, que durante el período de observación se encontraban bien desarrollados por motivo de las intensas lluvias.

De las observaciones realizadas en distintos sectores del abanico, en su parte apical, media y distal, no existen grandes diferencias en cuanto a la cantidad de rodados en superficie, (3 a 25 %) con un diámetro inferior a los 3 cm. En los regueros prácticamente no aparecen rodados, si en los sectores más altos. El mayor

porcentaje de vegetación se desarrolla sobre montículos que se elevan sobre el nivel de la superficie general unos 30 a 50 cm.

Los abanicos aluviales se identifican fácilmente en la imagen satelital por su forma, posición y altos niveles de reflectancia, especialmente en el infrarrojo. Según la posición del abanico (parte central o sus márgenes) los niveles de reflectividad pueden variar. Esto puede explicarse a raíz de las variaciones fisiográficas del lugar. En las posiciones centrales, donde la profundidad efectiva de los suelos es mayor y la textura predominante es arenosa, aparece como una de las especies vegetales dominantes la *Atriplex lampa* (zampa), que presenta una importante cobertura en un suelo formado a partir de un manto eólico. Esto otorga mayores índices de reflectividad tanto en el visible como en el infrarrojo.

#### *Parches de origen natural – Depresión longitudinal*

Durante las observaciones de campo se advirtió tanto en la terraza 4 como en la terraza 2 una depresión paralela al escarpe que separa estas terrazas. El origen de la misma no es claro, ya que la lógica sugiere un descenso de altura desde el borde de la terraza hacia la parte inferior de la misma. Su origen podría atribuirse a una mayor profundización de los antiguos cauces del río que ocuparon este sector de terraza. Debido a su posición, a sotavento de los taludes que separan los niveles de terraza, en estos sectores predominan los procesos de sedimentación de origen eólico. Por ello las condiciones fisiográficas son similares a las descritas para el parche “abanico aluvial”, por lo que en la clasificación supervisada fueron integradas en una misma unidad.

#### *Parches de origen natural - Talud*

Los diferentes niveles de terrazas se encuentran separados por resaltos topográficos de fuerte pendiente (entre 20 y 30 %) donde predominan los procesos de erosión hídrica. La superficie aparece cubierta con rodados de gran tamaño -entre 3 y 15 cm- y el porcentaje de cobertura de la vegetación es bajo con respecto al resto de la zona (menor al 20 %) predominando *Larrea divaricata* -jarilla- y en menor medida *Chuquiraga rosulata* -chilladora-. En los resultados de la clasificación supervisada esta zona es la más difícil de interpretar ya que no es posible diferenciar (se trata de superficies pequeñas) la reflectancia originada en los rodados, la vegetación y las sombras.

#### *Parches de origen antrópico*

Se trata de zonas donde se produce discontinuidad de la matriz como resultado de las acciones humanas. Esta fragmentación se ha originado tanto por actividades hidrocarburíferas como por la extracción de áridos. Estos parches presentan altos niveles de reflectancia, especialmente los vinculados con extracción de áridos, por superficies carentes de vegetación, con altos porcentajes de suelo desnudo compuesto por fracciones finas.

A pesar que en las distintas bandas de la imagen estos lugares presentan los mayores índices de reflectancia, la clasificación supervisada de la imagen las agrupa

en una misma clase con los parches “abanicos aluviales” y “depresión longitudinal”. Esto constituye una anomalía en los resultados esperados debido a que se trata de dos parches con génesis distinta. Es probable que este tipo de parche se siga incrementando, ya que la depresión longitudinal es un sector con importantes volúmenes de arena, muy demandada para la construcción.

### *1.2. Corredores de matriz 1*

Los corredores están directamente relacionados con las actividades petroleras. Existe en el lugar gran cantidad de picadas sísmicas, algunas en uso y otras que han sido abandonadas, y que son identificadas en la imagen por su **forma recta y alto nivel de reflectancia**. De acuerdo a lo que pudo visualizarse durante las distintas salidas de campo, en aquellas picadas que han sido abandonadas o los caminos en los que se ha desmontado una gran cantidad de superficie, la primera especie colonizadora es la *Atriplex lampa* -zampa-. En cambio en la matriz 2 (ver más adelante), es *Hyalis argentea* -olivillo- la primera especie colonizadora. Esta diferencia está relacionada con el tipo de sustrato: en el primer caso corresponde a remoción de sedimentitas finas, mientras que en el segundo corresponde a un sustrato arenoso.

### *2. Matriz 2*

Se localiza en la zona central del sector estudiado. Se trata de una superficie longitudinal con orientación sudoeste-noroeste que se diferencia del resto por presentar altos valores de reflectancia en todas las bandas de la imagen. La deposición eólica se origina en los bajos hidroecólicos ubicados al oeste y sudoeste y ha dado como resultado condiciones fisiográficas particulares que permiten diferenciarla del resto y justifican caracterizarla como una matriz.

El relieve es plano a casi plano. Presenta montículos de arena de hasta 50 cm de altura que ocupan el 40 % del total del área y en sectores se observa pavimento del desierto en forma discontinua. La cobertura vegetal oscila entre 40 y 60 % dominando *Larrea divaricata* en el estrato superior con una altura promedio de 150 cm. En menor medida aparece *Atriplex lampa* en el estrato medio y en el inferior *Hyalis argentea* y *Senecio subulatus*. Los suelos presentan mayor profundidad efectiva que en la matriz 1, son de textura gruesa. Dentro de este sector se han reconocido parches y corredores originados principalmente por la actividad petrolera.

#### *2.1. Parches*

Sobre el sector oriental -borde de terraza 2-, los tonos marrones que aparecen en la imagen obedecen a los más altos niveles de reflectancia dentro de la misma. Corresponden a sectores desmontados para la construcción de playas de maniobra. En los bordes de las playas aparece *Hyalis argentea* -olivillo- que es la especie colonizadora en esta matriz. Es importante destacar, como se señaló anteriormente, que en toda esta matriz es el olivillo el que primero coloniza las zonas intervenidas.

En las terrazas 2 y 3, aparecen zonas que presentan un relieve plano convexo que en la imagen se visualizan con tonos grisáceos -Figura 2-. La característica

principal son los altos niveles de reflectancia como consecuencia de la ausencia total de rodados en superficie, aunque el tipo y grado de cobertura de la vegetación es similar al de la matriz. El suelo desnudo (de composición arenosa) es el responsable de estos valores.

Lo observado e interpretado en la matriz 2 estaría indicando que los niveles de reflectancia y las categorías identificadas en la imagen no se corresponde con una vegetación climax, sino con un espacio totalmente alterado, fragmentado y modificado por la actividad antrópica. De acuerdo al tratamiento de la imagen pudo establecerse que entre caminos, playas de maniobras y sectores que por el desmonte de vegetación han sido alterados, la superficie total intervenida llega a las 556 hectáreas, lo que representa el 31 % de la matriz.

Cabe aclarar que para una mejor clasificación de la imagen no se consideró un sector de este parche que en la actualidad se encuentra destinado a la actividad agrícola, ya que al tomarlo dentro de la clasificación hubiera determinado clases que no se consideran de relevancia para este trabajo.

### 3. Matriz 3

En el sector noroccidental de la imagen, en la terraza 3 (T 3), se presenta una zona con características similares a la matriz 1, aunque con un mayor grado de fragmentación por actividad antrópica. En este sector los desmontes para su utilización como playas de maniobras y el trazado de picadas sísmicas -que representan los parches y corredores, respectivamente, presentan una mayor densidad respecto a las matrices anteriores. A partir del tratamiento digital se ha determinado que un 35 % de la matriz ha sido alterada por esta actividad. La evolución de este paisaje, teniendo en cuenta las actividades previstas por las empresas que llevan a cabo la explotación hidrocarburífera, tendería a una mayor fragmentación. Sin embargo con la posibilidad de recuperación de la vegetación en estos lugares, se podrían atenuar estos efectos.

## Resultados

De los resultados obtenidos a través del tratamiento digital de la imagen satelital landsat ETM para la evaluación de paisajes en zonas áridas, se ha encontrado que las variaciones y la composición de los materiales han quedado bien reflejados en la clasificación supervisada y en términos generales se obtuvieron aceptables resultados en los niveles de reflectancia en casi todas las bandas.

Estas variaciones se encuentran asociadas a condiciones fisiográficas particulares diferenciales que han sido reflejadas en la discriminación que realizó el sensor para diferenciar las clases obtenidas en la clasificación.

Las variaciones de los niveles digitales para la vegetación no han sido tan significativos dadas sus características xerofíticas y de baja cobertura, que impiden al sensor discriminar distintas comunidades o especies. Sin embargo mediante la aplicación del algoritmo de Kauth Thomas (banda 2 GVI: *green vegetation index*) pudo lograrse aceptables diferenciaciones por niveles de cobertura obteniéndose un

buen realce para la posterior clasificación. No puede decirse lo mismo para el caso de las imágenes de brillo y humedad las que no mostraron, al menos en este estudio, una buena correlación entre lo observado en la imagen y el terreno.

Sin embargo es importante resaltar que este estudio tiene como objetivo la identificación de clases distintas y no la identificación de comunidades vegetales, y este objetivo, se realizó eficientemente a través de la localización de áreas de entrenamiento y su posterior clasificación.

El empleo de la teledetección para el conocimiento de los patrones regionales constituye una permanente búsqueda de los comportamientos espectrales de los elementos presentes en cada imagen. Los resultados obtenidos en este trabajo pueden constituir un aporte en ese sentido y la comparación con estudios realizados en otros sectores de similares características podrá confirmar si las variaciones de las firmas espectrales obtenidas se repiten en esos ambientes.

Más allá del estudio del comportamiento de las variaciones espectrales identificadas en la imagen la situación ambiental en torno a la degradación de tierras en estas planicies plantea un serio interrogante sobre la actuación de los organismos de control ambiental. El 31 % de la superficie de la matriz 2 (556 ha) se encuentra con su vegetación alterada como resultado de la actividad hidrocarburífera. Esta situación requeriría de la aplicación de un plan de manejo que considere el uso sustentable del territorio y la aplicación de un plan de remediación ambiental que considere la gestión ambiental del mismo.

## Bibliografía

- BERTANI, L. (2011). Evaluación geoecológica de los paisajes del Departamento Minas (Provincia de Neuquén), para el estudio de la Degradación de la Tierra. Tesis Doctoral. <http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915.308pp>.
- CANCER, L. (1999). *La degradación y la protección del paisaje*. Cátedra. Madrid. 247pp.
- CHUVIECO, E. (2002). *Teledetección Ambiental*. pp 586. Ariel Ciencia. Barcelona.
- DIGREGORIO, R. E. y ULIANA, M. A. (1980). Cuenca Neuquina, en J. C. E. Turner (Coord.) *Geología Regional Argentina*, 2. 985 – 1032.
- GONZÁLEZ DÍAZ, E. y FERRER, J. (1986). *Geomorfología de la Provincia del Neuquén*. Inédito. Copade. CFI. Buenos Aires. 111 pp.
- FORMAN, R. y GODRON, M. (1986). *Landscape Ecology*. John Wiley and Sons. New York. 620pp.
- MOVIA, C., OWER, G., PÉREZ, C., MOVIA, C. (1982). Estudio de la Vegetación natural de la Provincia de Neuquén. Tomo I. Subsecretaría de Recursos Naturales. Provincia de Neuquén. 137pp. <http://www2.neuquen.gov.ar/copade/publicaciones/Docs/3720/Tomo-I.pdf>
- SOBRINO, J. (2000). *Teledetección*. Ed. J. Sobrino. Valencia. 467pp.
- THORNTHWAITE C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review* 38,1. 55-94.
- UNCo (1996). *Guía de campo sobre evaluación de tierras*. Informe inédito. Depto de Geografía. UNCo. Neuquén. 48 p.
- UNCo (1999). *Recuperación de áreas degradadas por actividad petrolera*. Informe inédito. UNCo. Facultad de Ciencias Agrarias. Cinco Saltos. 214 p.