



COMUNICACIÓN TÉCNICA

Análisis de tendencias en el medio físico y de la evolución de geoindicadores a través de fotografías aéreas en la mitad oriental de la Hoja de Valdepeñas de la Sierra (485)

Autor: Andrés García Díaz

Institución: Universidad de Alcalá

e-mail: and.garciad@gmail.com

Otros Autores:

RESUMEN

Este estudio trata sobre la obtención de datos y tendencias de cambio en el medio natural en los últimos 50 años mediante el uso de geoindicadores. Para ello se han estudiado y analizado dos grupos de fotografías aéreas verticales tomadas sobre una misma región en diferentes momentos, y se han realizado diversas salidas de campo para constatar dichos cambios. El área estudiada se sitúa al Oeste de la Provincia de Guadalajara (mitad oriental de la Hoja 485, Valdepeñas de la Sierra). Las fuentes fotográficas de información han sido: las ortofotos tomadas entre 2006 y 2008 de la herramienta IBERPIX (Instituto Geográfico Nacional), y las fotografías áreas del Vuelo Americano de 1956 (Ministerio del Ejército). Mediante este trabajo se ha determinado como geoindicadores útiles del cambio registrado en esta región en dicho periodo las variaciones en la longitud de caminos y en el área cultivada total. Se obtuvo una longitud de los caminos en 1956 de 667 km, y 671 km en las fotografías de IBERPIX. En cuanto a las áreas de cultivo se midieron 6443 Ha en 1956 en contraste a las 2561 Ha de IBERPIX. Puntual y complementariamente se han observado también la pérdida de suelo en olivares y la presencia de especies vegetales específicas.

Palabras Clave: Geoindicador, erosión, fotografía aérea, tendencias

1. INTRODUCCIÓN

Los cambios ambientales en regiones estables en el interior de los continentes son normalmente muy difíciles de observar, más aún a largo plazo, y, sobre todo, de cuantificar. Recientemente se ha propuesto el uso de “geoindicadores” para poder medir estos cambios (Berger e Iams, eds., 1996). Los geoindicadores son medidas (magnitudes, frecuencias, tasas y/o tendencias) de fenómenos y procesos geológicos que ocurren cerca de o en la superficie terrestre, y que están sujetos a variaciones lo suficientemente significativas como para comprender cambios ambientales producidos durante períodos de hasta 100 años. Los geoindicadores evalúan eventos tanto catastróficos como graduales, siempre y cuando éstos se mantengan dentro del marco del período de una vida humana. Este tipo de indicadores describen procesos naturales capaces de cambiar por sí solos, sin necesidad de intervenciones antrópicas directas, aunque existen varias formas de acciones humanas que pueden acelerar, retardar o desviar dichos cambios.

Los geoindicadores son utilizados para evaluar las condiciones de ambientes terrestres y costeros, tanto a nivel local como global, para responder a las siguientes preguntas: ¿qué está ocurriendo con el medio ambiente?, ¿por qué está ocurriendo esto?, ¿por qué es eso significativo?, ¿qué estamos haciendo al respecto? También para corroborar condiciones y tendencias ambientales pasadas para así entender mejor las causas y efectos producidos por causas antrópicas o naturales. Pueden ser aplicados tanto en áreas urbanas como rurales para determinar cambios importantes en el paisaje, de forma tal que puedan ser difundidas en términos sencillos entre planificadores y personas que toman decisiones.

Sin embargo, como se ha dicho, es un campo de reciente creación y se trata de un tema abierto, no existe una única lista de geoindicadores homologados.

Por otro lado, cualquier porción de la superficie continental está sujeta bien al desarrollo de suelos (procesos edáficos, con formación de un regolito *in situ*) o bien a procesos de erosión que consecuentemente ocasionarán el transporte (y local y temporalmente) la sedimentación de los materiales erosionados por diversos agentes geológicos externos (en nuestra región de clima templado, el principal agente geológico será el agua líquida en forma de cauces fluviales). Determinar los procesos de erosión asociados a los cauces y más ampliamente la erosión difusa asociada a muchas laderas es un proceso complicado debido a la ausencia de marcadores que nos permitan establecer comparaciones.

Con el análisis de fotografías aéreas realizadas sobre la misma superficie en momentos diferentes pueden fijarse algunos de estos marcadores: los geoindicadores. Estos van a permitir el análisis de la evolución de las variables que se van a fijar.

El objetivo de este escrito es: conocer la viabilidad del uso de las ortofotos de la herramienta IBERPIX (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea, 2006-2008, Instituto Geográfico Nacional), en comparación las fotografías aéreas del Vuelo Americano del año 1956 (Ministerio del Ejército), para determinar tendencias en el medio e investigar y desarrollar geoindicadores que permitan conocer la calidad ambiental de una zona específica en el centro de España, así como establecer una metodología para ello. Los geoindicadores para la zona de estudio (mitad oriental de la Hoja 485, Valdepeñas de

la Sierra), (Apartado 2.1) no se fijaron en un primer momento sino que primero se realizó un análisis general del área a estudiar para tratar de determinar sus posibilidades y los geoindicadores potenciales.

Asumiendo que el paisaje de la zona de estudio es eminentemente agrícola y forestal, y tras las visitas realizadas, llamó la atención la cantidad de caminos y pistas, y de campos de cultivo abandonados que hay en la zona. Se analizaron cuáles eran las consecuencias a nivel geológico de ambas circunstancias y se determinó fijar geoindicadores para estudiar, conocer y comprender cómo ha sido la evolución de la superficie cubierta por vegetación y la longitud de caminos en los últimos 50 años.

Muchas laderas ocupadas por olivares se asientan sobre materiales terciarios, los cuales, en la zona estudiada, están compuestos principalmente por arenas y conglomerados de cuarcitas y pizarras fácilmente erosionables. Una de las ideas con las que se partía al principio era el estudio de la erosión difusa sobre este tipo de cultivo, dada su extensión e importancia desde el punto de vista erosivo para la zona que se estudia, así como el establecimiento de un geoindicador que ofrezca una idea de la importancia de este problema. A lo largo del trabajo, sin embargo, se ha tenido que modificar esta idea inicial como se explicará en los apartados correspondientes.

2. SITUACIÓN GEOGRÁFICA, GEOLÓGICA, CLIMA Y VEGETACIÓN.

2.1. Situación Geográfica

El área estudiada comprende las hojas 485-IV y II del Mapa Topográfico Nacional de España a escala 1:25000. La superficie final de estudio es algo más pequeña como se comentará en el Apartado 4 (Material y Métodos).

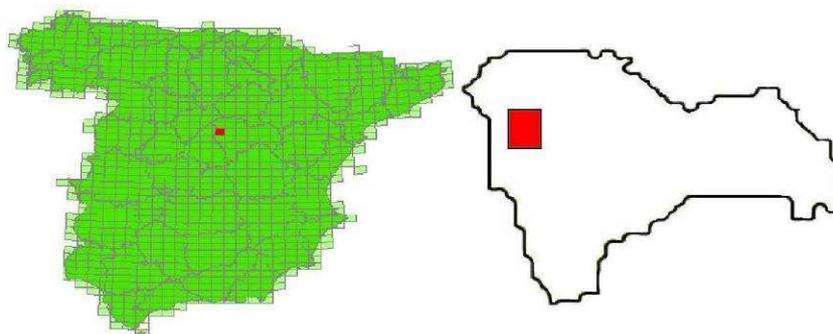


Fig. 1. Situación del área de estudio en España (izquierda) y en la provincia de Guadalajara (derecha).

El área se sitúa íntegramente en la provincia de Guadalajara (Fig. 1) con una gran heterogeneidad de entornos y dominios paisajísticos; abarcando parte de las tres comarcas principales de la provincia: Sierra, Alcarria y Campiña.

El punto más alto es el Pico Cabezas, situado en el extremo noroeste, con una altura de 1.437 m sobre el nivel del mar. La orografía es suave en general, caracterizada por lomas llanas en la parte centro y sur, y con montañas hacia el norte y el oeste sin grandes elevaciones (Fig. 2), situándose la mayoría de cotas entre 800 y 1.100 m.

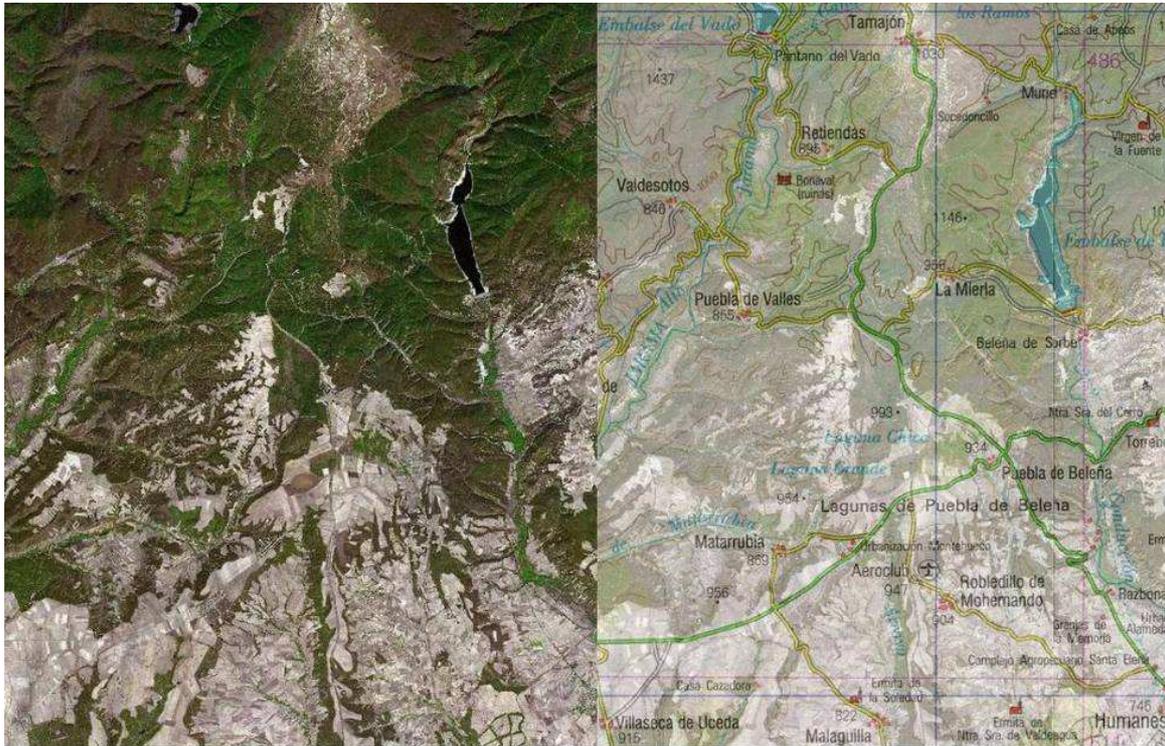


Fig. 2. Mapas de la zona de estudio vistos a partir de la herramienta IBERPIX. A la izquierda fotografía por el Satélite SPOT 5. A la derecha el mismo área con el mapa topográfico superpuesto.

El área está surcada por dos ríos de entidad. El Jarama la atraviesa desde el centro norte, hacia el suroeste, y forma el paraje singular “La Hoz del Jarama” a la altura de Retiendas. El Sorbe, por su parte, la cruza por el extremo este. Ambos ríos poseen un embalse en esta región: el Embalse del Vado (Jarama), de 56 hm³ y el Embalse de Beleña (Sorbe), de 53 hm³. Los dos se encontraban por encima del 80% de su capacidad en el periodo de estudio (www.embalses.net).

Esta es una región con bajo grado de humanización, dado su pasado agrícola y la escasez de desarrollo de los sectores secundario y terciario. La importancia ecológica del entorno queda reflejada en la presencia de varias LIC’s y ZEPA’s como se aprecia en la Figura 3.

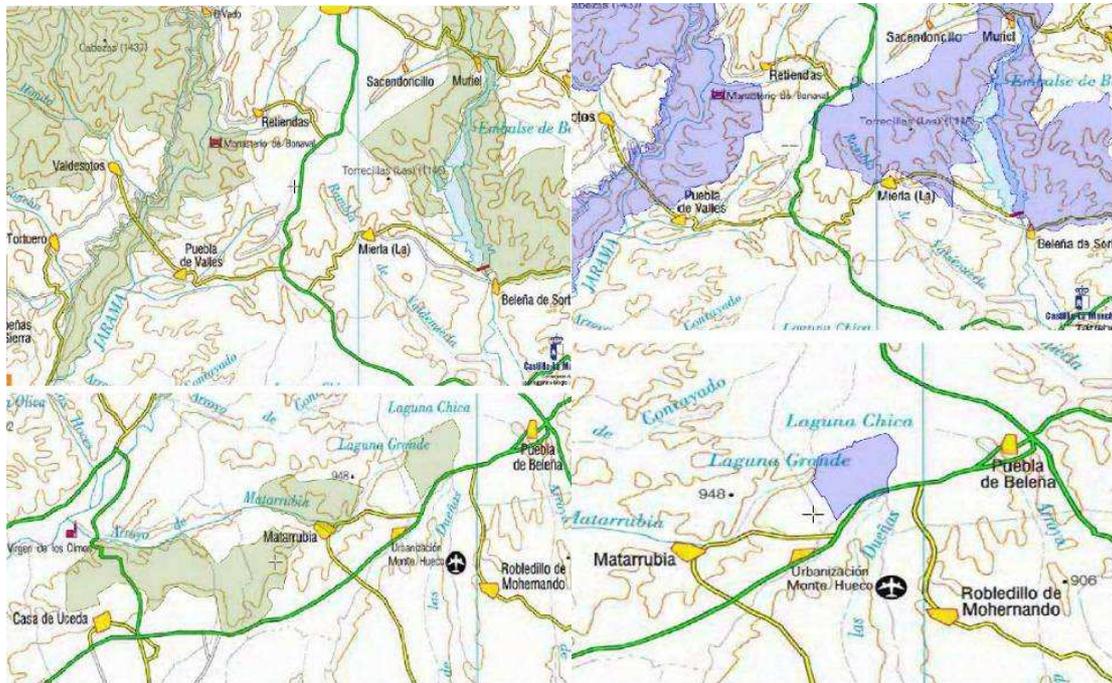


Fig. 3. Capturas de distintas zonas del área de estudio a partir de IBERPIX donde se muestran los LIC's en sombreado verde y las ZEPA's en sombreado azul.

2.2. Encuadre geológico

Desde el punto de vista geológico el área se encuadra en el límite entre el Sistema Central (Macizo Hespérico), compuesto por pizarras y cuarcitas paleozoicas, y la Cuenca del Tajo, compuesta por areniscas, arcillas y conglomerados terciarios. Entre ambas se sitúa una estrecha franja de materiales mesozoicos, triásicos y cretácicos, compuestos por areniscas y arcillas rojizas (Triásico), y arenas, arcillas y margas en la base y calizas, dolomías con algunas intercalaciones margosas a techo (Cretácico). Hay que mencionar también la presencia de materiales del Pérmico limitados por diversas fallas dentro de lo que sería el Sistema Central.

La situación y principales características de la geología de la zona se presentan a continuación y se sintetiza en la Figura 4.

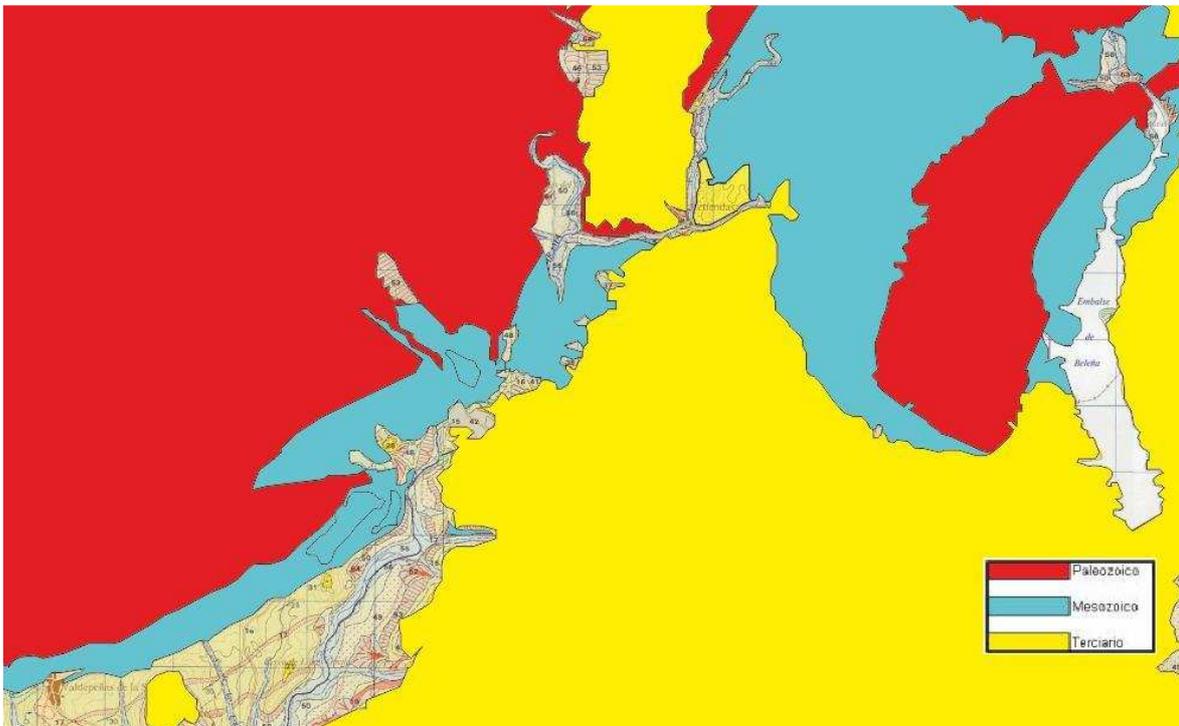


Fig. 4. Mapa sintético de la geología del área de estudio escala 1:50000. Para una correcta orientación, conviene observar Valdepeñas de la Sierra en el extremo suroeste y el Embalse de Beleña en el este.

Las pizarras y cuarcitas del Sistema Central fueron deformadas y metamorizadas durante la orogenia Hercínica; suponen unos afloramientos de materiales muy resistentes y duros frente a la erosión. La orientación de sus principales estructuras tectónicas y estratigráficas es N-S. Según Pérez González et al. 1990. Mapa geológico de España a escala 1:50.000, Hoja nº 485 (Valdepeñas de la Sierra). ITGE, Madrid (de ahora en adelante ITGE, 1990), las unidades geológicas paleozoicas más importantes son las unidades 2, 3, 4, 5 y 7. Se trata pizarras negras homogéneas (Fig. 5), pizarras oscuras, cuarcitas blancas y brechas y conglomerados de pizarra, arenisca y lutitas carbonosas.

Los materiales mesozoicos fueron deformados durante la orogenia Alpina y presentan una orientación N-S, NE-SO a E-O, desplazados en algunos casos por fallas importantes, como en las proximidades de Valdesotos; presentan una estructura suavemente plegada (Tamajón) y más hacia el oeste una disposición en “cuesta” con buzamientos hacia el S y SE de unos 20 a 40°. Las principales unidades mesozoicas según el ITGE son del Cretácico y son sobre todo dolomías tableadas (Fig. 6), dolomías calcarenitas, dolomías, calizas, brechas calcáreas dolomíticas y arenas coaliníferas.

Las rocas terciarias se sitúan discordantes sobre los materiales cretácicos. El Paleógeno lo hace en general mediante una discordancia progresiva, que se observa mejor más hacia el E del área estudiada (sector de Baidés). El Neógeno por su parte se sitúa horizontal sobre todos los materiales anteriores. Tiene lugar una gran cantidad de unidades diferentes que presentan cambios de facies tanto laterales como verticales. Las unidades más importantes desde el punto de vista erosivo son

conglomerados de caliza y dolomía, de pizarra y cuarcita, de pizarras y lutitas rojovioláceas, silíceas (facies roja, Fig. 7), lutitas y arenas finas ocreas, arenas y conglomerados silíceos (facies ocre).



Fig 5. Vista de las pizarras negras de la unidad 5 en un derrubio.



Fig. 6. Paraje de la Hoz del Jarama.



Fig. 7. Conglomerados de cuarcitas en las inmediaciones de Puebla de Valles.

2.3 Climatología

Según la herramienta SIGA, la zona de estudio presenta clima mediterráneo templado continentalizado. En la misma, se dan importantes diferencias en cuanto a la pluviometría que alcanzan el 32% (774 mm en Tamajón y 527 mm en Robledillo de Mohernando). Las localidades con mayor precipitación anual son las situadas en la zona norte y a mayor altitud sobre el nivel del mar. En cuanto a la ETP ocurre al contrario. Sin embargo, las diferencias entre municipios son muy escasas y rondan los 700 mm anuales. Los datos muestran una sequía estival no muy pronunciada, lo que hace pensar que la región está afectada por las tormentas de verano de la vecina Sierra de Ayllón.

Las temperaturas medias anuales varían entre los 11 °C de Tamajón y los 12,9 °C de Robledillo de Mohernando, situándose la media de la zona en 12 °C. En general, los veranos son cálidos a excepción de Tamajón y Tortuero que son más suaves. La media de las máximas del mes más cálido en toda la zona es de 30,5 °C. Como cabía esperar, el municipio situado más al norte y a mayor altitud (Tamajón) presenta el invierno más duro con una media de las mínimas del mes más frío de -0,9 °C; Retiendas y Tortuero también presentan valores medios negativos.

2.4 Vegetación y biogeografía

Según Rivas-Martínez et al. (2002) la zona estudiada se encuentra en la intersección de 3 sectores, todos pertenecientes a la Región climática Mediterránea: 2 de ellos en la provincia Mediterránea-Ibérica-Central (subprovincia Castellana): son los sectores Manchego y Celtibérico-Alcarreño. Así como, en la provincia Mediterránea-Ibérica-Occidental, subprovincia Capertano-Leonesa, sector Guadarrámico. El ombroclima va del seco al subhúmedo según Rivas-Martínez (1983).

Las series de vegetación se sitúan en el piso Supramediterráneo y son:

- Serie supra-mesomediterránea guadarrámica, celtibérico alcarreña y leonesa silicícola de *Quercus rotundifolia* o encina. *Junipero oxycedri-Querceto rotundifoliae sigmetum*. Vegetación potencial encinares.



- Serie supramediterránea castellano-maestreaço-manchega basófila de *Quercus rotundifolia* o encina. *Juniperus thurifera*-*Quercus rotundifolia* sigmetum. Vegetación potencial encinares.
- Serie supramediterránea maestreacense y celtibérico-alcarreña de *Juniperus thurifera* o sabina albar. *Juniperus thurifera* hemisphaerico-*Quercus rotundifolia* sigmetum. Vegetación potencial sabinas albares. En la región objeto de estudio, esta serie sólo aparece en un pequeño enclave al este de Tamajón.
- Serie supra-mesomediterránea castellano-alcarreño-manchega basófila de *Quercus faginea* o quejigo. *Cephalanthus longifolia*-*Quercus faginea* sigmetum. Vegetación potencial quejigares.

Hay dos tipos de vegetación dominante: el matorral de jaras y el bosque de coníferas (pinos de repoblación). Más escasos son los encinares, cuyos mejores ejemplos se encuentran en la zona de Tamajón. Los quejigares están bien representados en la Hoz del Jarama y la franja oeste, entre Valdesotos y Tortuero.

3. ANTECEDENTES

Boardman (2006) estudia y discute la dificultad en el reconocimiento, descripción, cuantificación de la erosión y la información limitada sobre la magnitud y frecuencia de los eventos que causan erosión. En ese sentido, se propone el uso de geoindicadores, los cuales no sólo pueden ser una herramienta de medida (en nuestro caso de la erosión), sino que además se relacionan con las actividades humanas, sus causas y sus efectos. Los geoindicadores pueden ayudar a determinar impactos ambientales, monitorizar ecosistemas de forma continua, seleccionar prácticas de reforestación y determinar condiciones de base previas a toda planeación de explotación minera, cambios en el uso de la tierra o construcción de embalses, vías, canales, obras de desviación de cursos de ríos, etc. (Berger e Iams, eds., 1996).

Se puede consultar una lista de geoindicadores que ofrece Geoindicators Initiative (GEOIN) a través de su página web <http://www.lgt.lt/geoin/>.

Existen geoindicadores para zonas costeras, boscosas, esteparias, desérticas, zonas con actividad kárstica, ríos, etc. Ya se ha indicado que no es una lista cerrada, sino todo lo contrario, diversos autores sugieren que se deben desarrollar geoindicadores específicos en función de las características del área concreta de la Tierra en la que se quiera trabajar y de los procesos que ocurran en ella y quieran ponerse de manifiesto. Así, los geoindicadores han sido usados, entre otras, para evaluar la:

- Degradación del suelo (Zuquette et al., 2003). Utilizándose, entre otros: movimiento de las dunas, acumulación de sedimentos fluviales, deslizamientos, cambios en la cuenca de drenaje, urbanización y daños debidos a la construcción e intrusión salina.
- Sostenibilidad de la urbanización en ciudades tropicales (Avijit Gupta, 2001), que usa geoindicadores como: intensidad y magnitud de las inundaciones,

inestabilidad de laderas, posición de la línea de costa y cambios en el nivel del mar en ciudades costeras, riesgos volcánicos y movimientos sísmicos en ciudades cercanas a límites de placas, cambios en el uso del suelo, cobertura vegetal, etc.

Además, en temas tan diversos como: evapotranspiración multitemporal con SIG (Diodato et al., 2010), degradación del suelo a partir de la erosividad de las lluvias (Busnelli, 2006), desarrollo de manglares (Dahdouh-Guebas, 2008), deslizamiento de tierras mediante teledetección (Canuti y Casagli, 2004), etc.

Por otro lado, aunque el problema de la erosión es conocido y detallado, todavía hace falta un conocimiento cuantitativo del mismo. La mayoría de los estudios disponibles de pérdida de suelo son derivados de modelos o mediante puntos de muestreo y, según Fleskens y Stroosnijder (2007), las diferencias entre los rangos de pérdida de suelo obtenidos varían en un factor de 10000. Hay, por tanto, una urgente necesidad de estimaciones de pérdida de suelo en olivares que incluyan todos los procesos de erosión que tienen lugar en grandes periodos de tiempo.

La combinación de la ausencia de cobertura vegetal causada por el hombre y las pendientes en los olivares junto con las altas intensidades de las lluvias que caracterizan al clima Mediterráneo explica por qué los altos índices de erosión se han asociado con la producción de aceite de oliva (Beaufoy, 2001).

Los agricultores locales están dejando de arar los olivares (Fig. 8), según Gómez et al. (2003) y Álvarez et al. (2007), las mayores pérdidas de suelo se corresponden con este tipo de olivares. Sin embargo, todo apunta a que puede ser más rentable para dichos agricultores el ahorro en combustible que las prácticas de conservación del suelo.



Fig. 8. Olivar explotado sin arar.

Existe una técnica que sirve para obtener rangos de erosión a largo plazo basada en la reconstrucción del nivel del suelo original (Hudson, 1993). Vanwalleghem et al. (2009) proponen calcular la cantidad de suelo perdida a través de la medición de los montículos que se forman en los olivares (Fig. 9). Se trata de medir la altura del montículo de una serie de olivos de cada olivar y anotar las coordenadas con GPS. En laboratorio se hace un modelo que extrapola los datos a toda la superficie del olivar y se usa un perfil para comprobar la profundidad de suelo perdida. Mediante el cálculo de la densidad aparente se puede establecer la masa de suelo perdida y dividirla por los años de cada olivo.



Fig. 9. Formación de montículos en los ejemplares de olivo sometidos a erosión tomada de Vanwalleghem et al. (2009). Esta es la forma de medir la pérdida de suelo en olivares.

La particular geología de la zona de estudio, con multitud de afloramientos del Terciario (ITGE, 1990), y sus característicos conglomerados, hace que el suelo sea débil ante la erosión y que sea particularmente interesante el estudio de la pérdida de suelo en los olivares.

Peres y García-Hidalgo (2006) demostraron la presencia de actividad erosiva en una cárcava en las inmediaciones del área de estudio y bajo los mismos patrones geológicos. La conjunción de: un sustrato fácilmente erosionable, la agresividad de los factores climáticos y una presión ganadera que se remonta varios siglos atrás ha provocado la creación de un sistema de cárcavas en la zona, las cuales, están activas y avanzan a una tasa máxima de entre 0,23 y 0,28 m/año.

Por último, se han estudiado las repoblaciones del área de estudio. Coelho et al. (1994) se centraron en el análisis de la viabilidad del aterrazamiento que se realizó en la repoblación de La Mierla. Hicieron hincapié en que la inversión de los horizontes del suelo resulta dañina a largo plazo en su evolución, y se reducen las perspectivas para la creación de un horizonte "A" estable y bien estructurado. Los resultados son que la acumulación de materiales finos (arcillas) en las terrazas reduce la infiltración y aumenta la escorrentía.

Fitzjohn et al. (1997) describieron los patrones espaciales en la humedad superficial del suelo registrados en una cuenca de una cárcava, bajo condiciones meteorológicas secas y húmedas. La cárcava se sitúa en las inmediaciones de Puebla de Valles, en un bosque de pino salgareño plantado en 1948 que anteriormente era tierra agrícola

(García-Pérez et al., 1995). Zona que el artículo no duda en tildar de típica “badland” caracterizada por un extenso acarreamiento.

El área de estudio aparece en varios artículos de geología y tectónica como por ejemplo el de Vicente et al. (2006), que versa sobre la deformación cenozoica y la evolución topográfica del Sistema Central de España, que no tienen interés directo para este estudio y, por ello, no se comentan más ampliamente.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo realizado ha consistido, por un lado, en la comparación de dos conjuntos de fotografías aéreas: El Vuelo del año 1956 (Ministerio del Ejército), correspondiente a la Hoja 485, Valdepeñas de la Sierra, que fueron cedidas por el Departamento de Geología de la Universidad de Alcalá de Henares; y las ortofotos (pertenecientes al Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), realizadas entre 2006 y 2008) de la herramienta IBERPIX del Instituto Geográfico Nacional descargadas de la página web: <http://www.ign.es/iberpix/visoriberpix/visorign.html> en formato pdf.

Por otro lado, se han realizado varias salidas de campo en las que se han abarcado las zonas más interesantes para el estudio en todos los dominios geológicos del área estudiada. Dado que se partía de una zona amplia (300 km²), previamente se hizo un inventario con los puntos de interés y se trazaron rutas que atravesaran el mayor número posible de estos enclaves (a partir de un primer análisis de las fotografías aéreas). En total se han recorrido 98 km de pistas y caminos (Fig. 10) en los que se tomaron fotografías y datos de campo sobre diversos aspectos para reexaminarlos posteriormente mediante las fotografías aéreas; además, se han realizado entrevistas personales a agricultores y ganaderos locales.



Fig. 10. Trayectos realizados vistos a través de Google Earth 5.1

Desde el principio del trabajo se planteó, entre otros casos, el estudio de los olivares y de la evolución de la superficie de este cultivo, puesto que parece ser un buen indicador de la presencia de procesos erosivos difusos sobre zonas agrícolas (Vanwalleghem et al., 2010). En campo se pudo observar cómo la mayoría de ellos se sitúan en laderas con pendientes pronunciadas (Fig. 11) la evidencia de la presencia de dicha erosión difusa en la base de los troncos (Fig. 8) y el abandono progresivo que sufren. Más aún, tras entrevistas personales a agricultores locales se sabe que en general ya no se aran los olivares a fin de evitar la erosión, lo que se muestra en contradicción con el trabajo de Gómez et al. (2003).

Una vez terminada la fase de campo, examinando los fotogramas, se aprecia la enorme dificultad en la determinación de si un olivar está abandonado o se encuentra en explotación pero se le ha dejado crecer vegetación. De modo que se optó sólo por un estudio superficial de estos olivares para constatar al menos sí podía suponerse en ellos la presencia de procesos erosivos o no; así se visitaron multitud de olivares del área de estudio y se tomaron medidas y fotografías.



Fig. 11. Olivar en el que se puede apreciar la alta pendiente y la pérdida de suelo en la parte baja del tronco.

Finalmente, y con vistas a un análisis en profundidad de los procesos de erosión, se determinó estudiar como principales geoindicadores de cambio en esta zona: 1) la variación de la longitud total de los caminos y 2) la variación de la superficie cubierta por vegetación en la zona.

Reseñar, que la vocación de este trabajo no es el cálculo exacto de variables, sino la constatación de tendencias que evidencien la posible evolución de los geoindicadores.

Durante los kilómetros realizados se pudo ver que pistas y caminos son importantes focos de erosión: alteran la orografía natural de una ladera y constituyen un torrente artificial. Muchos de ellos funcionan como arroyos estacionales y todos los situados en ladera lo hacen como torrentes (Figs. 12 y 13). El arrastre de sedimentos es más que evidente. En un primer momento se pensó que esto era debido a la geología

fácilmente erosionable (ITGE, 1990) de esta zona, en particular por los afloramientos Terciarios. No obstante, al visitar las regiones de materiales paleozoicos (“rocas duras”): el entorno de Valdesotos, Tortuero y el suroeste del Embalse del Vado, se constató que también sobre ese sustrato los caminos son un foco de erosión. Si bien se observó que en menor medida que los caminos de las zonas Terciarias, caminos sobre pizarras con pendientes pronunciadas sufrían de los mismos procesos erosivos. Una vez establecido cómo los caminos son un foco de erosión, y particularmente en la región estudiada debido a su geología, se considera imprescindible una medida del total de longitud acumulada de caminos en los dos grupos de fotografías aéreas.

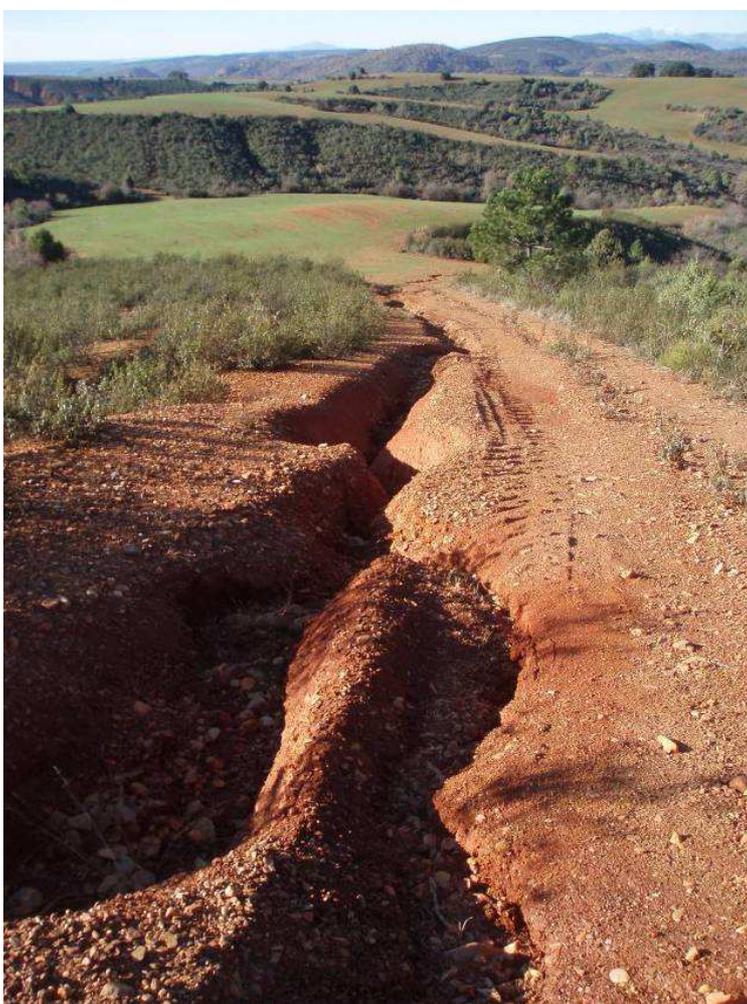


Fig. 12. En la zona de afloramientos terciarios los caminos situados en laderas sufren importantes procesos erosivos.

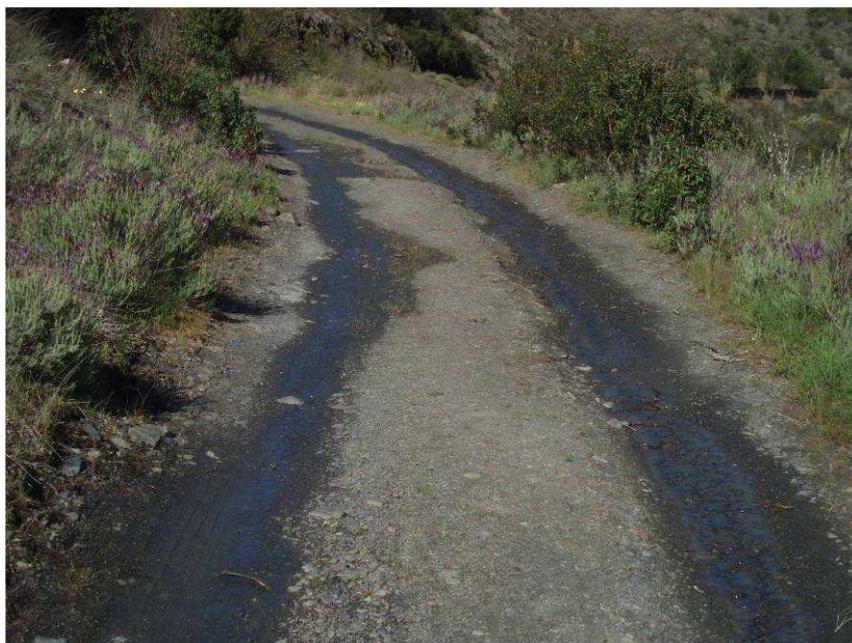


Fig. 13. Muchos caminos funcionan como arroyos estacionales. También sobre materiales paleozoicos.

Por otro lado, el análisis de la superficie de vegetación conlleva diversos problemas. El principal es determinar cuál es una zona vegetada y cuál no; teniendo en cuenta la falta de resolución en las fotos del año 1956 y la cantidad de cultivos abandonados o en estado de semiabandono. Valorando estos aspectos se resolvió estudiar la evolución del área dedicada a cultivos. Esto es así por dos motivos:

1. La casi totalidad de las tierras agrícolas abandonadas son ahora terreno forestal, con lo que el aumento o disminución del área de tierra cultivada da una idea muy cercana al aumento o disminución de la tierra vegetada de forma natural.
2. Mientras las zonas forestales presentan límites difusos y discontinuos; difíciles de analizar fotográficamente, los cultivos son todo lo contrario en este sentido.

Una vez establecidos los geoindicadores a estudiar se ha de determinar el ámbito geográfico que se analizará. Dada la magnitud del área y la exactitud y cantidad de datos a obtener se optó por reducir la zona a otra más pequeña, con los mismos elementos geológicos pertenecientes a la principal, con objeto de poner en práctica la metodología en un área más asequible a dicha cantidad de datos. La zona final de estudio son 235 km² (la inicial 300 km²) y viene esquematizada para ambos grupos de fotografías aéreas en la Figura 14. La zona es la misma por el norte, algo más amplia hacia este y oeste y más corta por el sur, que la original. Posteriormente se comentará los problemas relacionados con la georreferenciación y el solapamiento de imágenes y que dan como resultado dichas tablas.

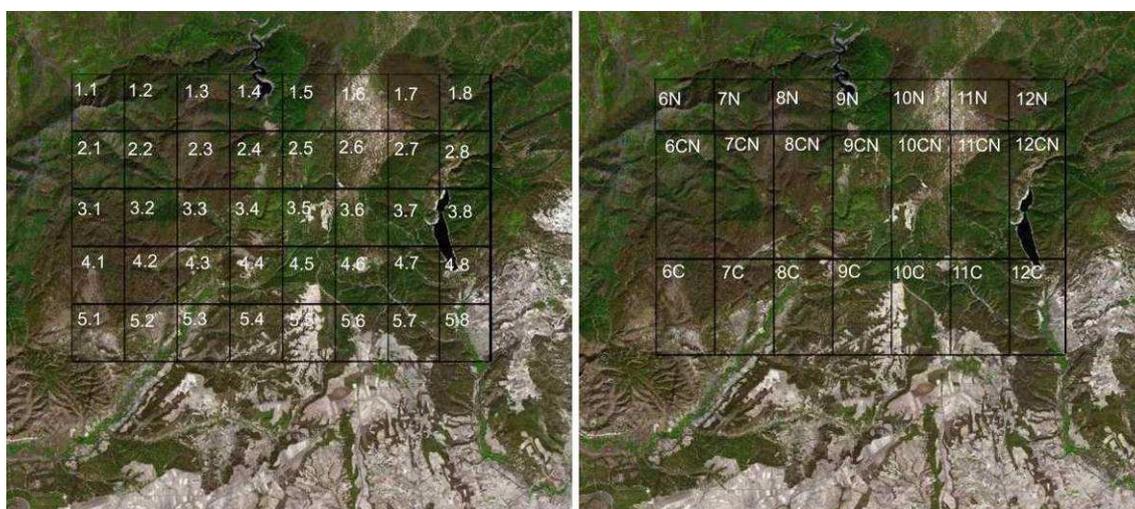


Fig. 14. Vista de la zona de estudio a través de dos imágenes del satélite Spot5 obtenido de IBERPIX y sobrepuestas la localización de las fotografías aéreas estudiadas. Izquierda, ortofotos de 2006-2008 numeradas por filas y columnas. Derecha, fotografías aéreas verticales de 1956 numeradas por pasadas (N, norte; CN, centro-norte; C, centro) y por fotos de izquierda a derecha dentro de la hoja.

El procedimiento presenta un importante problema: adecuar fotografías de distinta procedencia, color, resolución y escala, al mismo área. Esta tarea ha sido compleja y ha finalizado con el resultado que se ve en la Fig. 14; con una diferencia entre ambas del 2,7% en área, lo cual, se apunta como una limitación del método que no estaría carente en otro tipo de mediciones.

Vistos los antecedentes y en base a las herramientas disponibles se pasa ahora a detallar el proceso seguido para la medida de la longitud de los caminos y del área cultivada para ambos grupos de imágenes.

Se descartó el uso de programas informáticos que se basan únicamente en la escala (IMAGEJ), debido a que esta no es simplemente la relación entre el tamaño de un elemento de una fotografía y el tamaño real de ese elemento; también depende de la resolución utilizada para escanear la imagen (Montès et al. 2000). Para las fotos de IBERPIX, en un primer momento, esto no tiene demasiada importancia dado que la escala la fija el propio programa; permanece invariable en todas las imágenes de estudio. Sin embargo, en la obtención de fotografías directa desde IBERPIX, para asegurar que captamos todo el área de estudio, se solapan superficies tanto en el eje x como en el eje y. Esto podría producir una sobreestimación de las longitudes y áreas que vamos a calcular, ya que un mismo tramo de un camino podría ser medido dos veces. La solución de este problema es simplemente prestar mucha atención y solapar adecuadamente los fotogramas de modo que el extremo de uno sea continuado exactamente por el siguiente. El problema surge cuando de cada imagen se secciona una superficie diferente, entonces la escala no es fija.

Las fotografías aéreas del 56 presentan desviación conforme nos alejamos del centro del fotograma, de modo que se tomó sólo la parte central de cada una (suficiente para solapar con la siguiente) y se calculó la escala para cada una. Tras esta operación se pudo observar cómo la variación de la altitud del terreno y del avión con respecto a

tierra provocaba serias variaciones de la escala, las cuales podían llegar al 15%. Con tan importante variación de escala entre fotografías, se optó por un método que se adecuara a la situación. Más aún, el problema de solapamiento que deriva en un cambio de la escala de las fotografías de IBERPIX vuelve a tener lugar con este segundo grupo de fotografías.

Por todo ello se optó por la utilización del programa CARTALINX versión 1.2 que realiza los cálculos pertinentes tras la georreferenciación de las fotografías. Para ello se tomaron los valores máximos y mínimos del eje X y del eje Y de cada una de las fotografías de estudio para adaptarlas a coordenadas UTM 30N. De esta forma, tomando las coordenadas UTM para cada fotografía, el programa CARTALINX georreferencia el archivo y halla la escala por sí mismo de forma exacta. En consecuencia, cada fotografía queda georreferenciada en sus propios términos y escala. Después, con las herramientas del programa se puede calcular tanto la longitud de los caminos como el área cultivada para cada fotografía.

Para la obtención de las imágenes de trabajo en formato informático las fotografías de IBERPIX se consiguen directamente de esta herramienta. Las del vuelo del 56 se escanearon a 200 ppp con la máxima calidad de HP PSC 1510 con el programa HP Image Zone. Los recortes para evitar solapamiento se realizaron con Corel-Photo Paint X5.

5. RESULTADOS

5.1 Introducción

Los resultados obtenidos en el presente proyecto se van a comentar en tres grupos. Por un lado, durante los itinerarios de campo se ha descubierto la presencia de pequeñas manchas de *Quercus petraea*, que no se habían mencionado en esta zona. Por otro lado, se comentará los procesos de erosión difusa asociado a olivares. Por último, nos concentraremos más ampliamente en la cuestión de los geoindicadores, objetivo más específico de este Proyecto.

5.2 Presencia de Quercus Petraea

El roble albar (*Q. petraea*) (Fig 15) es una quercínea muy parecida al *Quercus robur* pero tolerante a condiciones de mayor sequedad. Alcanza su límite meridional en los Sistemas Ibérico y Central formando masas pequeñas y muy dispersas. En la zona de estudio se ha podido detectar en los siguientes enclaves (Fig. 16):



Fig. 15. Detalle de *Q. Petraea* realizado sobre un ejemplar situado en la carretera de Valdesotos al Embalse del Vado.

Como se puede observar en la Fig. 16, los robles albares forman pequeños bosquetes en el entorno de ríos, arroyos y vaguadas en los alrededores de Retiendas y Valdesotos. Su ubicación exacta es la siguiente:

- GR-10 a mitad de camino entre Tamajón y Retiendas (1).
- GR-10 en la Hoz del Jarama en las proximidades de la carretera GU-195 (2).
- En una vaguada muy pronunciada en la pista asfaltada que sube de Valdesotos al Embalse del Vado (3).

A continuación se analiza la evolución de las manchas de roble albar para cada ubicación.

Ubicación (1). Si bien desde el punto de vista ecológico puede haber supuesto un empobrecimiento de la biodiversidad y aumento de presión sobre las especies autóctonas, se ve cómo la situación de degradación del terreno y erosividad ha mejorado con la repoblación con pinares (Fig. 17). Sigue habiendo erosión potencial elevada, pues el lugar se encuentra sobre lutitas rojas y conglomerados de caliza, pizarra y dolomía, pero parece que la repoblación ha cumplido su propósito.

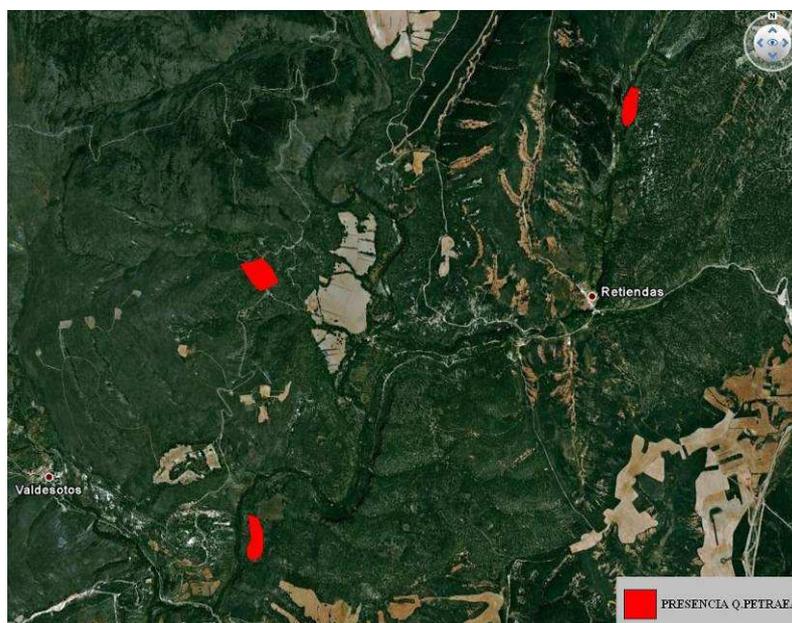


Fig. 16. Presencia de *Q. Petraea* en las inmediaciones de Retiendas y Valdesotos visto a través de Google Earth.



Fig. 17. Zona norte de Retiendas vista a través de las fotografías de estudio en 2006-2008 (izquierda) y 1956 (derecha).

Ubicación (2). Situada en la Hoz del Jarama sobre calizas y dolomías que no presentan ningún problema de erosión.

Ubicación (3). Geológicamente sobre brechas y conglomerados de pizarra (Fig 7). Ha de tenerse en cuenta surcos erosivos que se están formando en las zonas de mayor pendiente pese a que la cubierta vegetal es de un porcentaje cercano al 100%. Respecto al año 1956, se evidencia un aumento en la cobertura vegetal y el porte de la misma (Fig. 18).

Un objetivo posterior a partir de su presencia podría consistir en determinar el estado de salud de las masas de *Quercus petraea* desde el punto de vista del suelo y la

erosión. Por ello, hay que mencionar que para cada una de las ubicaciones se ha podido determinar:

1. Mejora en las condiciones erosivas en la masa arbórea.
2. Ningún problema detectado.
3. Aumento en porte y cobertura vegetal.



Fig. 18. Carretera de Valdesotos al Embalse del Vado en 2006-2008 (arriba) y 1956 (abajo).

5.3 Tasas de erosión difusa (Olivares)

Por las dificultades objetivas de determinar la fecha de plantación de los olivares, y determinar cómo ha sido su uso agrícola, este apartado de la investigación no se realizó en su totalidad. No obstante se pudo constatar lo siguiente:

- La mayor parte de los olivares se cultivaron (Fig. 19) en tierras marginales, con alta pedregosidad y pendiente, en zonas lejanas a los pueblos y mal comunicadas.
- Los olivares que se sitúan sobre laderas, incluso con bajos porcentajes de pendiente (4-5%) (Fig. 20) sufren fenómenos de erosión difusa que podría cuantificarse utilizando la metodología establecida por Vanwalleghem et al. (2009).
- La crisis del sector agrícola y la necesidad de ahorro en combustible está provocando el tratamiento con herbicidas de los olivares en perjuicio de las prácticas de conservación del suelo tradicionales. Este hecho, según Gómez et al. (2003) y Álvarez et al. (2007) da lugar a un aumento de las pérdidas de suelo respecto al tratamiento con arado.

Se puede estimar a partir del método de Vanwalleghem et al. (2009) que en el peor de los casos algunos olivares han sufrido pérdidas de suelo de hasta 30 cm, lo que arrojaría tasas máximas de erosión difusa asociada a estas parcelas de 0,5 cm/año, suponiendo una edad de unos 60 años para dichos olivares. La masa de suelo perdida se obtendría a partir de la densidad aparente del suelo de las parcelas.



Fig. 19. Fotografía que muestra una ladera poblada de olivares abandonados rodeados de surcos y cárcavas.



Fig. 20. El bajo porcentaje de pendiente y la juventud del olivo no impide la formación de un montículo.

5.4 Principales geoindicadores usados

5.4.1 Longitud de caminos

El entorno del Pico Cabezas, tanto en 1956 como en la actualidad apenas sí presenta caminos debido a que se trata de, una zona montañosa con escaso interés. En el 56 sólo había algún camino de acceso a tierras labradas aisladas. En la actualidad con

las grandes repoblaciones se hicieron cortafuegos y caminos de acceso para las máquinas.

Se observa como la franja sur (Tabla I), con mayor número de poblaciones y tierras agrícolas que comunicar, presenta más kilómetros de caminos; esta circunstancia se repite en las fotos del 56.

Las mayores longitudes fueron recogidas en las imágenes 1.6, 4.8 y 5.1 en IBERPIX, todas ellas incluyen algún municipio, los cuales se encuentran rodeados de numerosos caminos para acceder a tierras agrícolas. Esta misma circunstancia tiene lugar en las fotos del 56, sin embargo, dado que cada una de estas imágenes engloba una superficie mucho mayor que la media de las actuales, resulta menos intuitiva la presencia de núcleos poblacionales en ellas.

La densidad de caminos en km/km^2 o km/Ha puede paliar una de las limitaciones del método: la dificultad de referenciar el estudio a dos áreas exactas con una fuente de datos tan diferente. Esta variable se va a usar para observar la evolución del sistema de caminos en el entorno de las poblaciones. Teniendo en cuenta que la imagen que contiene el entorno de Tamajón en una y otra fuente de fotografías es diferente, su superficie también lo es, con lo que dividir entre las mismas la longitud digitalizada será una medida útil cuando se quiere referir a un entorno particular. El resultado de esta operación da una densidad de caminos en el 56 de $5,54 \text{ km}/\text{km}^2$ y $5,20 \text{ km}/\text{km}^2$ en IBERPIX. Aplicado al entorno de Valdepeñas de la Sierra, fotogramas 6C y 5.1 del Vuelo del 56 e IBERPIX respectivamente, da un resultado de $4,26$ y $6,36 \text{ km}/\text{km}^2$.

No se han detectado cambios significativos en la longitud de los caminos. Tras digitalizar una superficie de 235 km^2 la diferencia es de tan sólo $4,2 \text{ km}$ como se puede ver en la Tabla I.

Tirada	Longitud (km)
1	125,43
2	118,47
3	122,21
4	157,57
5	148,18
TOTAL	671,87

Tirada	Longitud (km)
N	119,45
CN	270,65
C	277,57
TOTAL	667,67

Tabla I. Resultados totales de la digitalización de caminos agrupados por tiradas. A la izquierda los de 2006-2008 y a la derecha los de 1956.

Teniendo en cuenta la diferencia de superficie de referencia del 2,7% y un 0,6% en la longitud de caminos se puede asegurar que no hay contrastes significativos entre el sistema de caminos de la zona en los dos momentos estudiados.

Una vez más se acude a la densidad de caminos en km/km^2 para buscar cambios significativos. De esta forma, los $671,87 \text{ km}$ de la actualidad se convierten en $2,85 \text{ km}$ de camino por cada km^2 de superficie. Los $667,67$ son $2,91 \text{ km}/\text{km}^2$ del año 56. Visto lo cual, las diferencias siguen siendo muy pequeñas confirmando lo que apuntaban los datos de longitudes.

5.4.2 Áreas de cultivos

Las zonas montañosas del noroeste, poco aptas para la agricultura, carecen de tierras de cultivo en la actualidad, las pocas que existían en el 56 se han ido abandonando.

La zona con mayor área de cultivos en ambos grupos de imágenes tiene lugar en la zona sur, en las zonas llanas altas (Fig. 21) que, al tener pendientes poco pronunciadas, sufren en menor intensidad la erosión que afecta a la zona. Esto se ve mejor en las imágenes digitalizadas (Fig. 22). Los valles y las laderas quedan cubiertas de vegetación salvaje o con olivares.

Las repoblaciones que tuvieron lugar con posterioridad a las fotos del 56 dan como resultado que, aparte de la zona noreste, distintas regiones, como por ejemplo en entorno del Embalse de Beleña (Fig. 23), hayan abandonado totalmente el uso agrícola a favor de estas repoblaciones de coníferas.



Fig. 21. Imagen 5.4 (izquierda) e imagen 9C (derecha)

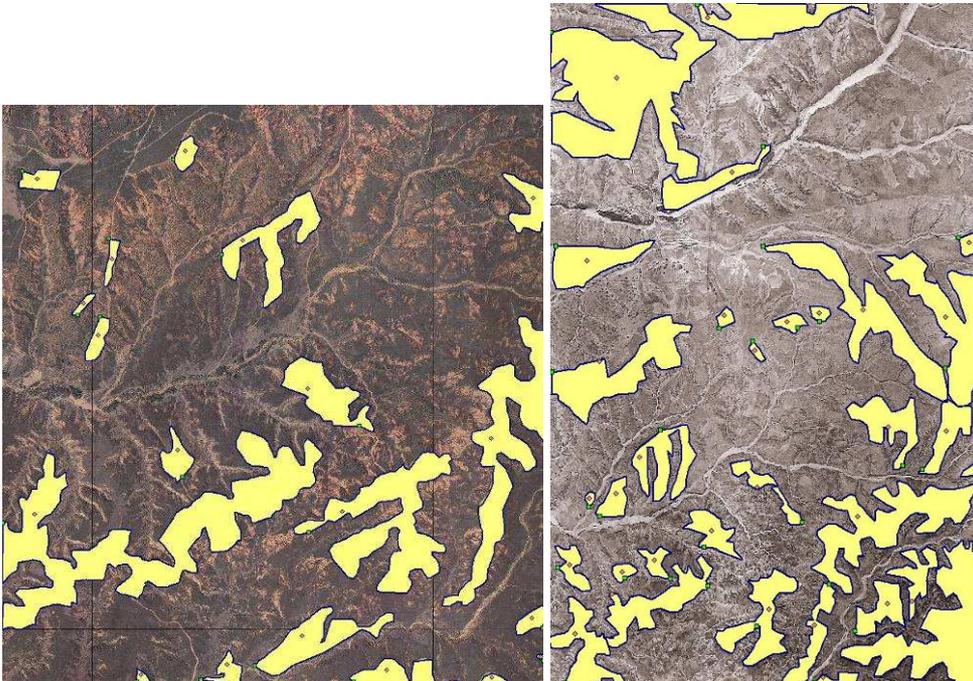


Fig 22. Imagen 5.4 digitalizada con polígonos (izquierda) e imagen 9C digitalizada con polígonos (derecha).



Fig. 23. Fotografías 3.7 (izquierda) y 3.8 (derecha) que muestran las importantes repoblaciones forestales en el entorno del embalse de Beleña.

La superficie cultivada se ha reducido en un 60,25% (Tabla II). La mayor parte de las tierras abandonadas corresponden a los campos labrados aislados de las zonas montañosas junto con las tierras cultivadas en las laderas de los arroyos estacionales. Este descenso tan importante de las hectáreas dedicadas al cultivo indica un gran crecimiento de la superficie cubierta de vegetación. Las tierras de menor calidad situadas en zonas de pendiente y/o más alejadas de los núcleos poblacionales también han sido abandonadas; esta circunstancia se puede observar en el entorno de Tamajón (Fig. 24). En la fotografía 1.6 (Fig. 24, derecha), en la zona sur, se pueden ver las encinas y distintas hileras que antes eran campos de cultivo. El cercano encinar ha ido avanzando conforme estas tierras han dejado de ser rentables.

Tirada	Área (Ha)
1	466,27
2	112,59
3	209,74
4	413,59
5	1359,00
TOTAL	2561,20

Tirada	Área (Ha)
N	1154,35
CN	2275,53
C	3013,96
TOTAL	6443,84

Tabla II. Resultados totales de la digitalización cultivos agrupados por tiradas. A la izquierda los de 2006-2008 y a la derecha los de 1956.

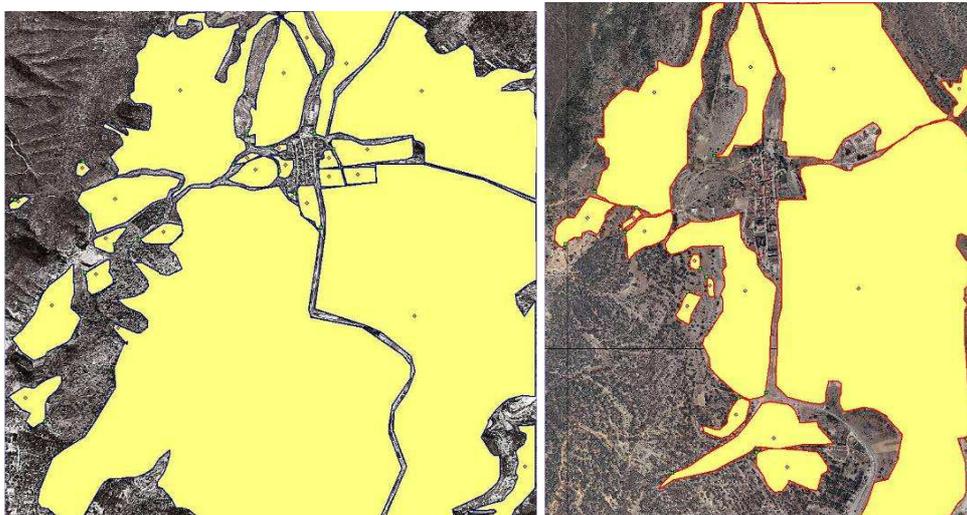


Fig. 24. Imagen 10N digitalizada con polígonos (izquierda); imagen 1.6 digitalizada con polígonos (derecha).

6. DISCUSIÓN

6.1 Presencia de *Q.Petraea*

El examen en diferentes momentos (año 1956 y 2006-2008) de las zonas con manchas de *Quercus petraea* revela que hay una sustancial mejora en cuanto a los riesgos erosivos debido al aumento de la naturalización y cobertura vegetal que se da en los entornos de dichas manchas. La presión de los pinares de repoblación es, en cambio, una nueva amenaza para los bosquetes de roble albar, puesto que estas coníferas se adaptan mejor a las condiciones climáticas (Rivas-Martínez et al. (2002)). El devenir de los robles albares del área de estudio puede estar ligado a la creación del futuro Parque Natural de la Sierra Norte de Guadalajara.

6.2 Tasas de erosión difusa (Olivares)

La existencia de erosión difusa asociada a los olivares genera unas tasas de pérdida de suelo de 0,5cm/año. Tras analizar las condiciones actuales en las que se encuentra este tipo de explotación agrícola se concluye que estas tasas podrían incluso incrementarse debido a la adopción reciente de criterios de conservación del suelo contrarios a los que recomienda la bibliografía consultada (Gómez et al. 2003 y Álvarez et al. 2007).

6.3 Longitud de caminos

El análisis y la comparación de las fotografías aéreas indica claramente que la distribución de la red de caminos de 1956 era bastante diferente de la actual. Sin embargo, los resultados de la variación de la longitud de los caminos arrojan una diferencia mínima. Esta circunstancia puede ser explicada desde varios puntos de vista:

En las zonas montañosas sólo existía algún camino que conducía a tierras de labor aisladas que posteriormente quedaron abandonadas. Por otro lado, zonas de orografía más suave, que ahora son pinares con escasos caminos, eran antes tierras de cultivo que, aunque poco rentables, poseían caminos de acceso.

Las extensas repoblaciones de coníferas hicieron necesario la creación de una nueva red de caminos de servicio (aunque aprovechando algunos más antiguos) y de grandes cortafuegos. Este hecho se suma al auge del turismo rural y muy concretamente de esta región a consecuencia de su cercanía a Madrid y la gran oferta de ocio que ofrece. El aumento del turismo ha provocado la apertura de nuevos caminos y pistas que son usados frecuentemente por senderistas, ciclistas y aficionados a las motos y quads. El establecimiento de reservas de caza, como es la del Sonsaz, ha contribuido a aumentar la longitud de caminos y a mejorar los antiguos; constituyendo algunos auténticas carreteras sobre tierra (Fig. 25).



Fig. 25. Pista en las inmediaciones de la Reserva de Caza del Sonsaz.

El éxodo rural terminó, la gente vuelve a los pueblos, sin embargo no se dedican al sector que siempre sostuvo su economía: el agrícola. Tras entrevistar al Alcalde de

Tamajón, D. Eugenio Esteban de la Morena, se tiene constancia de que tan sólo 2 personas viven del campo en dicha población. No es objetivo de este estudio el debate sobre la viabilidad del sector agrícola en la zona. No obstante, este hecho ayuda a justificar cómo se ha reducido la superficie agrícola (renunciando a las tierras menos productivas) y agrupando parcelas. Esta agrupación se puede ver en la Fig. 26. De esta forma, lo que antes era una franja agrícola, con varias parcelas con sus respectivos caminos de acceso, ahora es una única parcela con un solo camino. El nuevo modelo agrícola (grandes extensiones) ha sustituido al de las pequeñas explotaciones cambiando así el sistema de caminos tan desarrollado de antaño.

El descenso del 60% en la cantidad de área cultivada desde 1956 y en consecuencia la desaparición de multitud de sus caminos asociados ha sido contrarrestado por los caminos de las repoblaciones, la creación de rutas turísticas y los extensos cortafuegos.

En los dos momentos estudiados, la mayor longitud de caminos se sitúa en la zona sur, donde además afloran los sustratos con menor resistencia a la erosión. (Fig 8).

Por otro lado, hay que subrayar datos como los referidos a la densidad de caminos en el entorno de Valdepeñas; 4,26 y 6,36 km/km² para IBERPIX y año 1956 respectivamente. Este hecho podría indicar un desplazamiento en la localización de los caminos, y desde luego la estructura de la red.



Fig. 26. Se aprecia cómo las parcelas en el año 56 (izquierda) eran más pequeñas y numerosas que en la actualidad (derecha) así como el abandono de los cultivos la zona sur y suroeste.

Vale la pena plantearse, tras valorar los resultados, si aparte de no presentar diferencias significativas asociadas a este geoindicador, realmente la erosión producida por la existencia de caminos es ahora mayor o menor. Es decir, ¿son más erosivos los caminos actuales que los del año 56? Los caminos en la actualidad respetan menos las curvas de nivel (cortafuegos) y están sometidos a más agresiones (paso de tractores y vehículos motorizados de ocio). Sin embargo, el mantenimiento en buen estado de caminos en el año 56 sería escaso o nulo.

6.4 Áreas de cultivos

Los periodos de necesidad que tuvieron lugar en la Dictadura Española configuraron un paisaje agrícola en el 56 en el que toda tierra susceptible de ser labrada era cultivada independientemente de su rentabilidad. La emigración a las grandes ciudades con la llegada de la industrialización y el aumento de la calidad de vida fueron provocando el abandono sucesivo de campos de cultivo. En la actualidad el área cultivada no llega al 40% de los terrenos dedicados a la agricultura en 1956 (Tabla II).

La superficie perdida de cultivos ha sido colonizada por jarales, encinares y pinares de repoblación; terreno forestal en definitiva, lo cual se puede apreciar volviendo una vez más sobre las fotos de Tamajón (Fig. 26). Teniendo en cuenta que superficies cubiertas permanentemente de vegetación sufren menos la erosión hídrica, se puede asegurar que los problemas erosivos en este sentido han disminuido en estas zonas dentro del área estudiada.

Este abandono de tierras agrícolas, sin embargo, supuso la existencia de una gran superficie descubierta de vegetación durante un tiempo. En base a las condiciones climáticas y geológicas de la zona, este abandono significa un aumento de la erosión en los primeros estadios de la sucesión ecológica. La mayor parte de las tierras agrícolas se encuentran rodeadas del sistema de cárcavas activas, que avanzan a un ritmo máximo de entre 0,23 y 0,28 m/año (Peres y García-Hidalgo (2006)). Con el abandono de las ayudas al secano (tipo de explotación casi exclusiva en la zona estudiada) de la PAC en 2013, la cantidad de superficie expuesta a la erosión puede aumentar exponencialmente.

6.5 Metodología

La metodología propuesta a través de fotografías aéreas multitemporales ha funcionado correctamente a pesar de sus limitaciones, y constituye un medio útil para observar la evolución tanto de geoindicadores como de determinados elementos (manchas de vegetación de roble albar).

7. CONCLUSIONES

Como principales conclusiones del presente Proyecto Fin de Carrera se pueden obtener:

1. El uso de geoindicadores está en expansión y su utilidad práctica queda demostrada en este estudio.
2. La longitud total de caminos no ha variado en los últimos 50 años, pero sí su localización, distribución y el tipo de camino o pista.
3. El hecho consumado del abandono del sector agrícola se evidencia con un 60% de reducción de la superficie dedicada al cultivo.
4. Se constatan cambios indiscutibles en el área de estudio en los últimos 50 años: la construcción de un embalse, las grandes repoblaciones y el cambio de una economía basada en la agricultura a otra basada en el turismo.

8. BIBLIOGRAFÍA

Álvarez, S., Soriano, M.A., Landa, B.B., y Gómez, J.A. (2007): Soil properties in organic olive groves compared with that in natural areas in a mountainous landscape in southern Spain. *Soil Use and Management*, 23: 404–416.

Beaufoy, G., 2001. The Environmental Impact of Olive Oil Production in the European Union: Practical Options for Improving the Environmental Impact. European Forum on Nature Conservation and Pastoralism. (<http://ec.europa.eu/environment/agriculture/studies.htm#study5>, accessed 28-01-2008).

Berger, A.R. (1996) The geindicator concept and its application: an introduction: In: Berger, A.R. e Iams, W.J. (eds.): *Ge indicators: assessing rapid environmental changes in earth systems*. Balkema, Rotterdam, pp 1–14.

Boardman, J. (2006) Soil erosion science: Reflections on the limitations of current approaches. *Catena*, 68: 73-86.

Busnelli, L. del, Neder, V., y Sayago, J.M. (2006) Temporal dynamics of soil erosion and rainfall erosivity as ge indicators of land degradation in Northwestern Argentina. *Quaternary International*, 158: 147-161.

Canuti, P., Casagli, N., Ermini, L., Fanti, R. y Farina, P. (2004): Landslide activity as a geindicator in Italy: significance and new perspectives from remote sensing. *Environmental Geology*, 45: 907-919.

Dahdouh-Guebas, F. y Koedam, N. (2008): Long-term retrospection on mangrove development using transdisciplinary approaches: A review. *Aquatic Botany*, 89: 80-92.

Fleskens, L. y Stroosnijder, L. (2007): Is soil erosion in olive groves as bad as often claimed. *Geoderma*, 141: 260–271.

Fitzjohn, C., Ternan, J. L., y Williams, A. G. (1998): Soil moisture variability in a semi-arid gully catchment: implications for runoff and erosion control. *Catena*, 32: 55-70

García-Perez, J.D., Charlton, C., y Martín Ruiz, F. (1995): Landscape changes as visible indicators in the social, economic and political process of soil erosion: a case study of the municipality of Puebla de Valles (Guadalajara province), Spain. *Land Degradation Rehabil.* 6: 149-161.

Gómez, J.A., Battany, M., Renschler, C.S., y Fereres, E. (2003): Evaluating the impact of soil management on soil loss in olive orchards. *Soil Use and Management*, 19: 127–134.

Gupta, A. (2002): Ge indicators for tropical Urbanization. *Geomorphology*, Volume 42, Number 7, 736-742.

Hudson, N.W. (1993): Field measurement of soil erosion and runoff. Silsoe Associates

Amphill, Bedford. *FAO Soils Bulletin* 68.

N. Montès, T. Gauquelin, W. Badri, V. Bertaudière, El H. Zaoui (2000): A non-destructive method for estimating above-ground forest biomass in threatened woodlands. Original Research Article *Forest Ecology and Management*, Volume 130, Issues 1-3, Pages 37-46.

Nazzareno D., Michele C., y Gianni B. (2010): GIS-aided evaluation of evapotranspiration at multiple spatial and temporal climate patterns using geoindicators. *Ecological Indicators*, 10: 1009-1016.

Peres Rokhas, A. y García-Hidalgo, J.F. (2006): Morfología, procesos erosivos y evolución reciente en una cárcava cuaternaria: El barranco Haza de la Viña, Uceda (Guadalajara, España). *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, 101 (1-4): 41-50.

Pérez González, A.; Portero, J.M.; Aznar, J.M. y González Lodeiro, F. (1990). Mapa geológico de España a escala 1:50.000, Hoja nº 485 (Valdepeñas de la Sierra). ITGE, Madrid.

Rivas-Martínez, S., Penas, A. y Díaz, T.E. (2002): Mapa Bioclimático de España. *Itinera Geobotánica*, 15 (1), Servicio de Publicaciones de la Universidad de León, León.

Vanwalleghem, T., Laguna, A., Giráldez, J.V. y Jiménez-Hornero, F.J. (2010): Applying a simple methodology to assess historical soil erosion in olive orchards. *Geomorphology*, 114: 294-302.

De Vicente, G., Vegas, R., Muñoz Martín, A., Silva, P.G., Andriessen, P., Cloetingh, S., González Casado, J.M., Van Wees, J.D., Álvarez, J., Carbó, A. y Olaiz, A. (2007): Cenozoic thick-skinned deformation and topography evolution of the Spanish Central System. *Global and Planetary Change*, 58: 335-381.

Zuquette, L.V., Pejon O.J. y Collares J.Q. (2003): Land degradation assessment based on environmental geoindicators in the Fortaleza metropolitan region, state of Ceará, Brazil. *Environmental Geology*, 45: 408-425.