

Elaboración de un índice de perdurabilidad de sitios arqueológicos en Andalucía

Ismael Vallejo Villalta y Joaquín Márquez Pérez, Dpto. de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional, Universidad de Sevilla

El segundo vector integrante del modelo predictivo –los indicadores de perdurabilidad– se presenta en este capítulo mostrando, en primer lugar, su base conceptual, y a continuación, los aspectos técnicos y metodológicos del estudio referidos tanto a las variables utilizadas –erosión, erodibilidad, series anuales de usos del suelo y pérdidas de suelo, infraestructuras viarias, áreas naturales protegidas, etc.–, como al procedimiento de extracción de diversos índices mediante la explicación de las distintas fórmulas matemáticas utilizadas. Finalmente, se desarrolla una reflexión, primero, sobre los resultados alrededor de cada índice por provincias, segundo, sobre el método de corte utilizado –desviaciones estándar y test de significación estadística– para la creación de los cinco niveles de presentación del índice de perdurabilidad arqueológica y, tercero, una relación de los rasgos principales de cada nivel con respecto a la localización del patrimonio arqueológico y a los usos del suelo involucrados.

DEVELOPMENT OF A DURABILITY INDEX FOR ARCHAEOLOGICAL SITES IN ANDALUSIA

In this chapter, the predictive model's second vector component- the durability indicator- is presented and its conceptual basis explored. Discussed are the technical and methodological aspects related to reference studies, such as the variables used- erosion, erodibility, annual series of land use and soil loss, various infrastructures, protected natural areas, and so on. The process used to extract the indices is also explored via an explanation of the mathematical formulas employed. Finally, the chapter reflects, first, upon the results associated with each index by province; secondly, upon the method used to divide data- standard deviations and statistical significance tests- into the five presentation levels of the archaeological durability index; and finally, upon the relationship between the main features of each level and the location of the archaeological heritage and the land use involved.

INTRODUCCIÓN

En el contexto del Modelo Andaluz de Predicción Arqueológica (MAPA), los indicadores de perdurabilidad hacen referencia a "aquellas variables que inciden en el grado de conservación del Patrimonio Arqueológico, y en la posibilidad de que haya perdurado hasta la actualidad" (FERNÁNDEZ CACHO, MONDÉJAR y DÍAZ IGLESIAS, 2002: 145). Estas variables suelen asociarse, por un lado, a acciones, procesos o condiciones que pueden suponer distintos niveles de agresividad hacia el patrimonio y, por otro, a acciones, procesos o condiciones que, por el contrario, favorecen la pervivencia de los yacimientos.

Entre el primer grupo de variables pueden encontrarse condiciones y procesos naturales tales como el tipo de suelo, humedad ambiental, erosión, sismicidad, etc., o bien, acciones y condiciones de corte antrópico como pueden ser el expolio, el uso del suelo o la contaminación atmosférica (BALDI, 1992; BURILLO, IBÁÑEZ y POLO, 1994; CAMPOS, RODRIGO y GÓMEZ TOSCANO, 1996; MÁRQUEZ, 1999).

En el segundo grupo de variables, aquellas que conllevan un matiz positivo respecto a la conservación, pueden incluirse también diferentes factores de orden natural, como el propio contexto sedimentario y edáfico en el que se inscribe el yacimiento, así como otros que se vinculan a las condiciones de gestión y protección en diferentes ámbitos temáticos como el territorio, el medio ambiente, o la propia esfera patrimonial.

En este capítulo se presentan los resultados de la segunda fase de elaboración de un Índice de Perdurabilidad Arqueológica (IPA). En la primera fase (MÁRQUEZ y VALLEJO, 2004), la variable central manejada fue la transformación del suelo, que incluye aspectos tan importantes como la removilización y pérdida de material en los horizontes más superficiales. Para su caracterización y valoración se emplearon dos fuentes de información principales centradas en los usos y la erosión de suelos. Ambos aspectos inciden sustancialmente en el tipo de transformación del suelo al que se hace referencia, siendo previsible que expliquen una parte considerable del grado de deterioro que puede presentar un yacimiento.

En la segunda fase se han incorporado ciertas novedades. En primer lugar, aún manteniendo la transformación del suelo como variable central, se han añadido nuevas fuentes de información que vienen a mejorar nuestra capacidad de valorar el grado de deterioro potencial al que puede estar sometido un yacimiento: las redes de comunicación viaria y la red ferroviaria de Andalucía. En segundo lugar, se ha considerado una variable que representaría ciertos condicionantes positivos o atenuadores de las condiciones de deterioro: la naturaleza protegida de ciertos espacios de Andalucía, representados en la Red de Espacios Protegidos de la Consejería de Medio Ambiente.

Estas nuevas fuentes de información poseen un conjunto de rasgos comunes: el formato digital, el cubrimiento regional de dicha información y la actualización sistemática de la información. Todos estos rasgos hacen que los índices de perdurabilidad adopten, básicamente, la forma de mapas digitales, con grandes ventajas de cara a la integración de otro tipo de información en este mismo formato, ya sea para el contraste de resultados como para su redefinición y enriquecimiento.

DESCRIPCIÓN DE LAS FUENTES DE INFORMACIÓN EMPLEADAS

Tres son las principales fuentes de información utilizadas. En primer lugar los Mapas de Usos y Coberturas Vegetales del Suelo de Andalucía, elaborados por la Consejería de Medio Ambiente (CMA) con carácter cuatrienal. La cartografía digital seleccionada corresponde a los años 1991, 1995 y 1999, el modelo de datos es vectorial (ARC/INFO), y la escala de la publicación analógica de procedencia es 1:100.000. Cada mapa contiene más de 100 clases de usos de suelo que se obtienen mediante una combinación de técnicas de teledetección y fotointerpretación.

La segunda fuente de información la constituyen los Mapas de Pérdidas de Suelo de Andalucía, elaborados con carácter mensual también por la CMA. Los mapas utilizados corresponden a las estimaciones de pérdidas de suelo anuales correspondientes a los años que van de 1992 a 2002. Esta cartografía digital se presenta en formato raster (GRID ARC/INFO) y su resolución es de 75 m. Cada mapa posee 4 clases de pérdidas de suelo, cuyo significado es el siguiente:

Clases	1	2	3	4
T _n /Ha/Año	0-12	12-50	50-100	> 100

El modelo utilizado para el cálculo de la erosión es la ecuación universal de pérdidas de suelo (EUPS), más conocida en inglés como USLE. Esta ecuación incluye como parámetros básicos la erosividad o agresividad de la lluvia (R), la erodibilidad o resistencia del suelo (K), la pendiente (S) y el grado de protección ofrecido por la vegetación (C).

La tercera fuente de información, referida a las infraestructuras de comunicaciones viaria y ferroviaria, así como a los espacios naturales protegidos, ha sido obtenida a partir del Mapa Digital de Andalucía 1:100.000, elaborado por el Instituto de Cartografía de Andalucía en 1998.

MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO: EL ÍNDICE DE PERDURABILIDAD ARQUEOLÓGICA

La obtención del Índice de Perdurabilidad Arqueológica (IPA) supone la integración de la información anteriormente descrita. Un paso previo en este proceso es la homogenización de los modelos de datos que poseen las diferentes fuentes de información. En este sentido se ha optado por transformar en formato raster (GRID de ArcInfo) toda la información vectorial (usos del suelo, infraestructuras y red de espacios naturales). La resolución espacial elegida es de 75 m.

Posteriormente, a cada uso e infraestructura se le ha asignado un valor de agresividad que oscila entre 1 y 4, según se estime ésta respecto a la transformación del suelo y, por ende, a la perdurabilidad del patrimonio. La clase tejido urbano, correspondiente a núcleos urbanos consolidados, ha sido excluida del análisis, al entenderse que la perdurabilidad de los yacimientos en estos ámbitos responde a factores bien distintos a los que aquí se contemplan.

Respecto a la red de carreteras y de ferrocarriles, se ha optado por integrarla en la información sobre usos, asumiendo su continuidad temporal desde 1991. Así pues, la información sobre deterioro o transformación potencial del suelo queda definida por un Índice de Degradación por Usos y Erosión (IDUE) en el que se integran variables relacionadas con usos, infraestructuras, y erosión del suelo.

Entre las variables compensatorias o atenuantes se encuentran las áreas que conforman la Red de Espacios Naturales Protegidos, tras cuya rasterización se obtiene un Índice de Conservación (ICON).

Finalmente, el IPA se obtiene combinando los dos índices anteriores (IDUE y ICON), de forma que los valores de degradación aparecen atenuados cuando coinciden con las zonas protegidas. La expresión que lo calcula queda como sigue:

$$\text{IPA} = (\text{IDUE} * \text{ICON})$$

donde IDUE representa el Índice de Degradación por Usos y Erosión, e ICON representa el Índice de Conservación.

A su vez:

$$\text{IDUE} = [(\text{IDU}) + (\text{IDE})] * \text{MAXAUsos}$$

donde IDU representa el índice de degradación por usos, IDE es el índice de degradación por erosión, y MAXAUsos supone la máxima agresividad de los usos de la serie de años considerada.

Por lo que se refiere al IDU, la fórmula a aplicar sería la siguiente:

$$\text{IDU} = [(\text{MEDAUsos}) + (\text{DESVAUsos} * 2)]$$

donde MEDAUsos representa la media de la agresividad de los usos, y DESVAUsos su desviación estándar.

El nuevo IDUE ha sido obtenido tras el análisis de los resultados de la aplicación de los tres índices que fueron descritos en la primera fase del estudio: IP1, IP2 e IP3 (MÁRQUEZ y VALLEJO, 2004). Se trata, básicamente, de una combinación

de los índices IP1¹ e IP3², donde se priman los usos sobre la erosión (siendo más lógica la influencia en el deterioro del uso más agresivo frente al uso actual), y se considera la variabilidad de los usos de una forma más relevante.

TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN Y RESULTADOS PARCIALES

El Índice de Degradación por Usos del Suelo

El procedimiento a seguir para la generación del Índice de Degradación por Usos del suelo (IDU) contempla las siguientes fases:

- Homogenización de la leyenda entre las distintas fechas.
- Asignación de valores de agresividad a cada categoría de usos.
- Rasterización de cada mapa.
- Integración de las infraestructuras (red de carreteras y viaria).
- Extracción de estadísticos.

La correspondencia entre clases de usos pertenecientes a distintas fechas ha sido la única dificultad encontrada en este proceso. Aquí se ha tomado como referencia el mapa de usos de 1995, donde se determina una leyenda definitiva para este proyecto de cartografía sistemática. Así, mientras que no ha habido ningún tipo de inconveniente en la comparación de las leyendas de 1995 y 1999, sí existían ciertas discrepancias con el mapa de 1991 y, especialmente, con el de 1987. En este último caso, una leyenda muy poco desagregada ofrecía el inconveniente de tener que considerar varios valores de agresividad para un mismo uso. La certeza de los errores que iban a introducirse llevó a descartar esta fecha para el presente trabajo.

Respecto a la integración de las infraestructuras, la extensión de su área de influencia y las valoraciones de la agresividad fueron las siguientes:

a) La agresividad media por usos del suelo (MEDAUsos)

Tipo de infraestructura	Área	Agresividad
Autovía	150 m	4
Carretera de cualquier orden	75 m	3
Ferrocarril	75 m	4

Una vez obtenidas las capas que indicaban la agresividad de cada uso para los años 1991, 1995 y 1999, fue generada una nueva (MEDAUsos) donde se consignaba el valor medio de esta variable que, lógicamente, oscilaba entre 1 y 4 (figura 175).

¹IP1 = (IDU + IDE) * AUact = [(MEDAUsos + DESVAusos) + IDE] * AUact

²IP3 = (IDU + IDE) = [MEDAUsos + (DESVAusos * 2) + IDE]

AGRESIVIDAD MEDIA POR USOS DEL SUELO

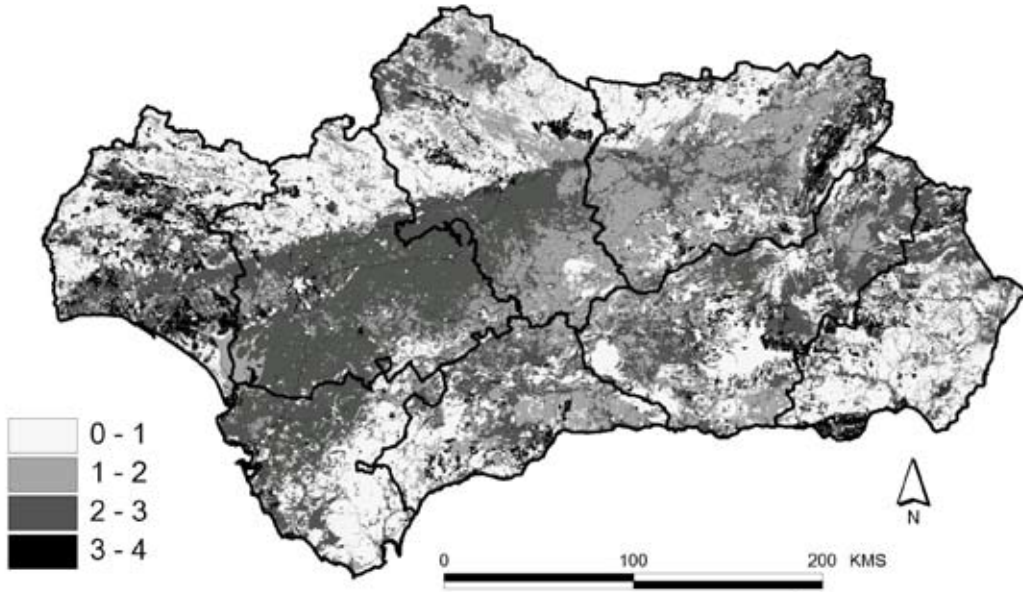


Figura 175. Agresividad media por usos del suelo. Fuente: Elaboración propia

En la figura 175 destacan aquellos ámbitos en los que se han mantenido usos de gran agresividad: repoblaciones y talas forestales (gran parte de la provincia de Huelva y en el extremo oriental de Jaén), actividades mineras (Huelva), la urbanización (parte del litoral), o los cultivos bajo plástico (costa occidental de Almería). Es también importante la incidencia de las prácticas de regadío en gran parte del valle del Guadalquivir.

De cara a una estructuración de esta información, se ha procedido a asignar a cada municipio el valor medio que alcanza en el índice MEDAusos.

AGRESIVIDAD MEDIA POR USOS DEL SUELO POR MUNICIPIOS

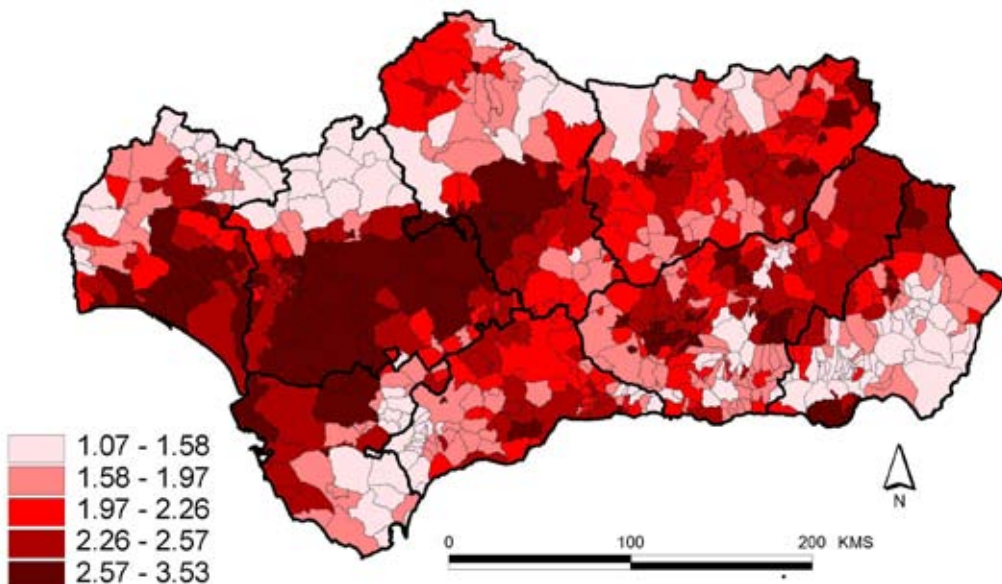


Figura 176. Agresividad media por usos del suelo por municipio. Fuente: Elaboración propia

En la figura 176, donde para la representación cartográfica de la agresividad por usos se ha utilizado una clasificación por cuantiles desagregada en 5 intervalos, destacan aquellos términos municipales con una alta agresividad. Así, por ejemplo, sobresale el valle del Guadalquivir, ya que son numerosos los municipios en los que existen prácticas de regadío en grandes extensiones.

b) La variabilidad de la agresividad por usos del suelo (DESVAusos)

De la misma forma que en el caso de la media de la agresividad de los usos, el cálculo de la desviación estándar se realiza a partir de las 3 fechas disponibles, y permite obtener una idea de cuál ha sido la variabilidad en el comportamiento de los distintos usos en el intervalo de tiempo considerado.

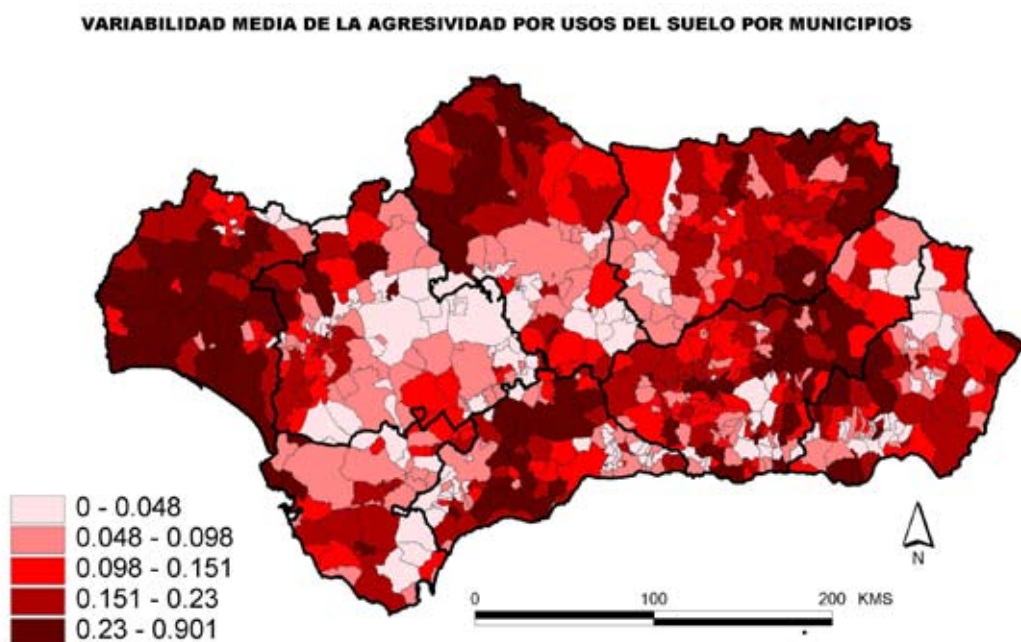


Figura 177. Variabilidad media de la agresividad por usos del suelo por municipios. Fuente: Elaboración propia

En la figura 177 destaca una mayor variabilidad de agresividad por usos en la provincia de Huelva, especialmente en todo su litoral, así como en distintos entornos serranos de Córdoba, Málaga, Granada y Jaén. Sin embargo, el hecho de representar valores medios, enmascara que la mayor parte de las celdillas de la capa correspondiente de desviaciones presenta un valor de desviación nula, lo que indica que el uso, y por tanto su agresividad, se han mantenido constantes en el periodo 1991-1999.

c) El Índice de Degradación por Usos

Los resultados del Índice de Degradación por Usos del Suelo (IDU), que incorpora los dos conceptos anteriores, es decir, a la agresividad media de cada uso suma el doble de su desviación, se presentan expresados como promedios municipales. En la figura 178 puede observarse cómo los más altos valores en el IDU se concentran tanto en el valle del Guadalquivir, como en zonas costeras de Andalucía occidental y, especialmente, en la provincia de Huelva.

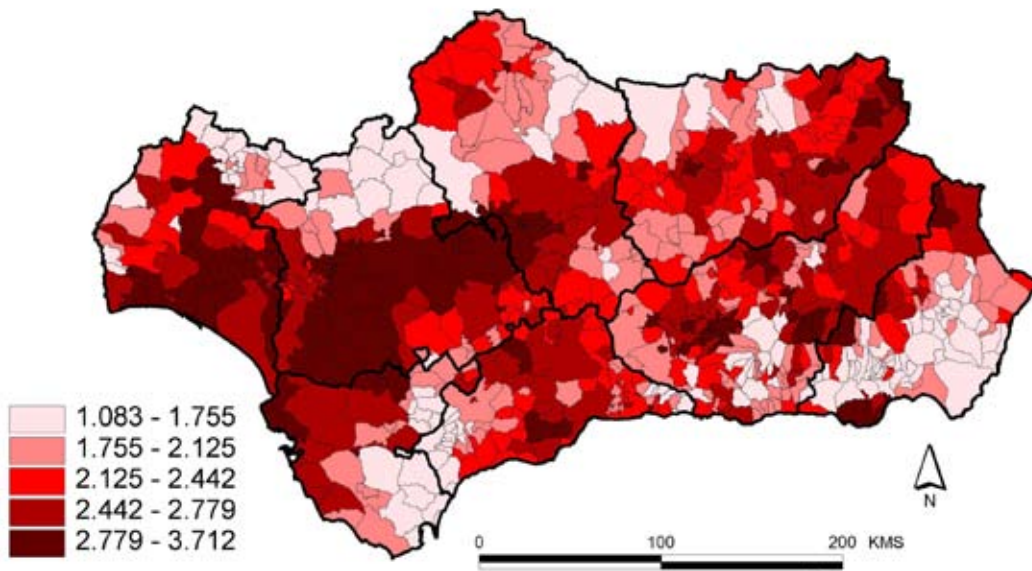


Figura 178. Índice de degradación por usos del suelo por municipio. Fuente: Elaboración propia

El Índice de Degradación por Erosión de suelos (IDE)

En el caso de los datos sobre erosión, las capas disponibles presentan la información clasificada en cuatro intervalos. Así pues, para obtener el valor medio de la erosión en cada celdilla, se ha realizado una media de los distintos valores alcanzados por cada una de ellas en la serie temporal utilizada (1992-2002).

Los resultados obtenidos por el IDE se presentan tanto desagregados a nivel de celdillas (figura 179), como agrupados en función de los municipios andaluces, en cuantiles (figura 180). En la figura 181, por último, se presenta un resumen por provincias.

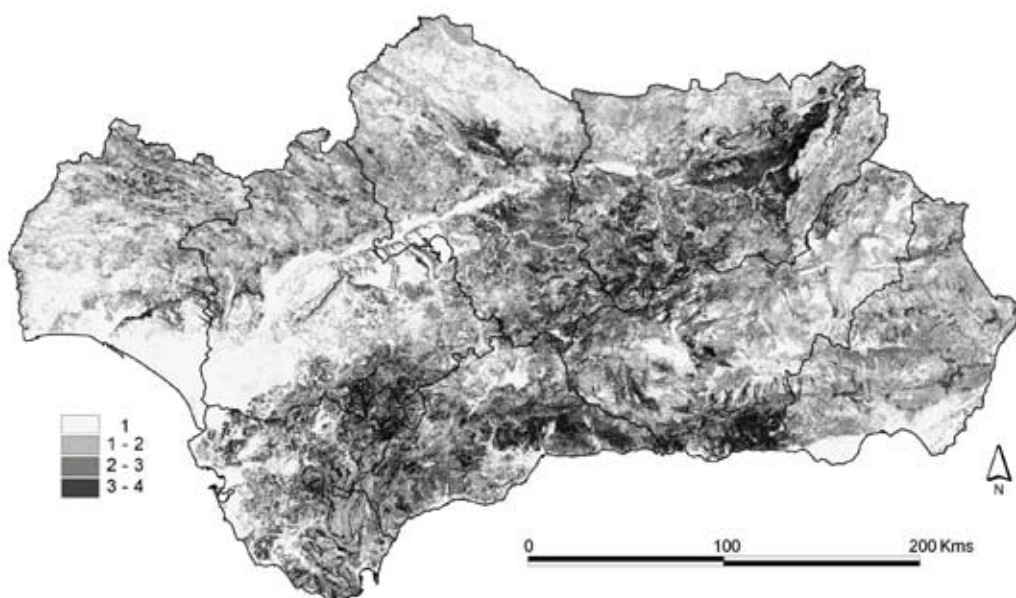


Figura 179. Índice de degradación por erosión del suelo. Fuente: Elaboración propia

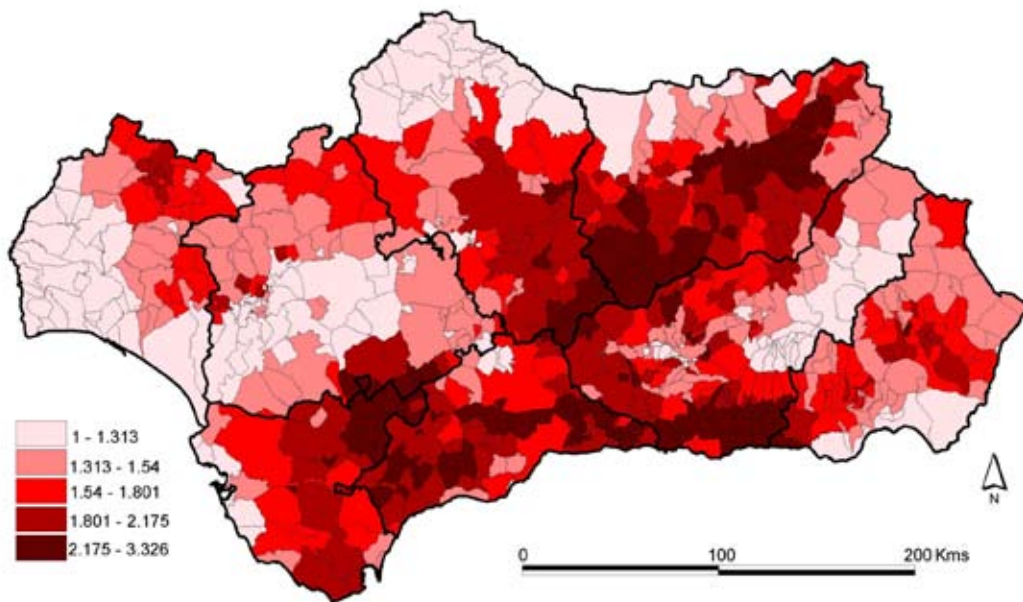


Figura 180. Índice de degradación por erosión del suelo por municipios. Fuente: Elaboración propia

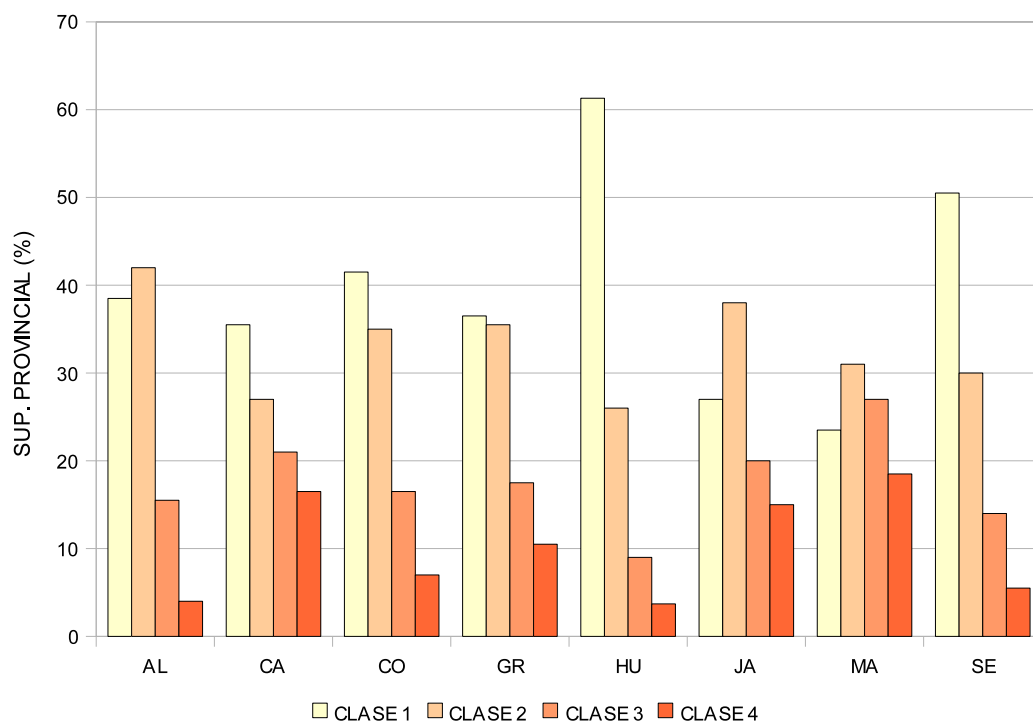


Figura 181. Índice de degradación por erosión del suelo por provincia. Fuente: Elaboración propia

Como puede apreciarse por los resultados obtenidos, se da una especial incidencia de la erosión en los sistemas montañosos de las provincias de Málaga, Jaén, Cádiz y Granada, si bien también resaltan niveles importantes de degradación en las campiñas de Jaén, Córdoba y Cádiz.

RESULTADOS

El Índice de Degradación por Usos y Erosión del suelo (IDUE)

El IDUE representa la integración de aquellas variables que suponen un cierto grado de deterioro potencial del suelo. Equivale, por tanto, a los IP que se realizaron en la primera fase del trabajo, por lo que conviene que se le preste la misma atención que a aquellos.

En primer lugar se presenta la capa que contiene la espacialización pormenorizada de este índice en Andalucía.

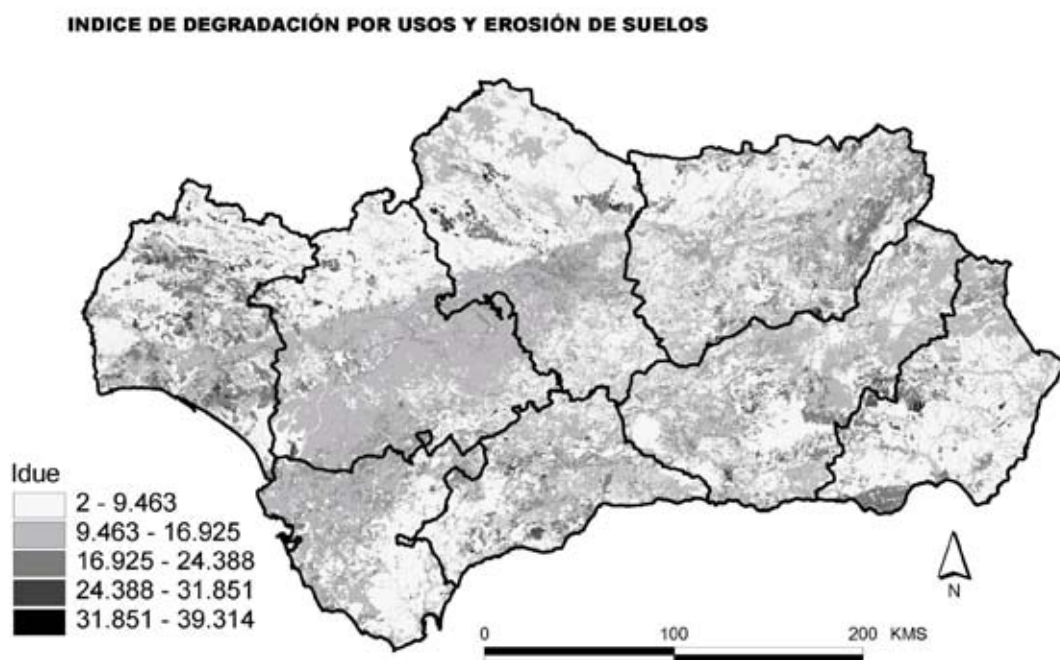


Figura 182. Índice de degradación por usos y erosión del suelo (IDUE). Fuente: Elaboración propia

Como puede observarse, los valores más altos son alcanzados por las provincias de Sevilla y Huelva, mientras que los inferiores corresponden a Córdoba y, especialmente, Almería (a pesar de que la zona de El Ejido obtiene una alta puntuación).

El Índice de Perdurabilidad Arqueológica (IPA)

Para la obtención del IPA se ha aplicado un coeficiente atenuador a todos los valores del IDUE que coincidían con zonas protegidas. Esta atenuación se ha establecido, con carácter general, en un 25% para todas las zonas coincidentes con la Red de Espacios Protegidos (figura 183).

En la tabla 114 se representan las posiciones ocupadas por las provincias en función de la media obtenida en cada uno de los cuatro índices generados en este proyecto (IDUE, IPA, IP1 e IP2). De ella se deduce la existencia

INDICE DE PERDURABILIDAD ARQUEOLÓGICA

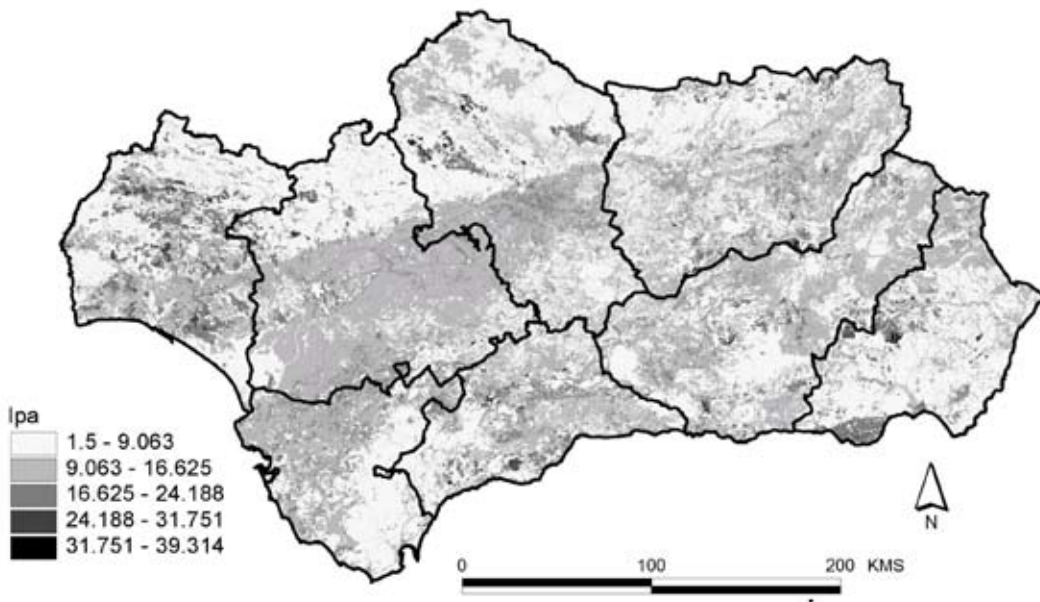


Figura 183. Índice de perdurabilidad arqueológica (IPA) clasificado por intervalos iguales. Fuente: Elaboración propia

	Menor							Mayor
IDUE	SE	HU	MA	GR	JA	CA	CO	AL
IPA	SE	MA	HU	GR	JA	CA	CO	AL
IP1	HU	GR	JA	MA	SE	CO	AL	CA
IP2	JA	MA	GR	HU	CA	SE	CO	AL

Tabla 114. Provincias andaluzas ordenadas de menor a mayor perdurabilidad arqueológica. Fuente: Elaboración propia

de tres provincias (HU, GR, MA) que suelen tomar posiciones de mayor deterioro, frente a otras tres (CA, AL y CO) que presentan posiciones más favorables. Los casos de Sevilla y Jaén resultan algo más confusos, pues tanto IDUE como IPA les asocian valores muy distintos a los dos índices anteriores (IP1 e IP2).

Relación del IPA e IDUE con la localización de los yacimientos

Los siguientes gráficos muestran los porcentajes de superficie que representa cada clase, así como los porcentajes de yacimientos localizados en las áreas correspondientes a cada una. Los gráficos se han elaborado tras clasificar, respectivamente, IDUE e IPA en 5 intervalos iguales. Por último, se indica el porcentaje que representan los yacimientos localizados en relación con el porcentaje de superficie ocupada.

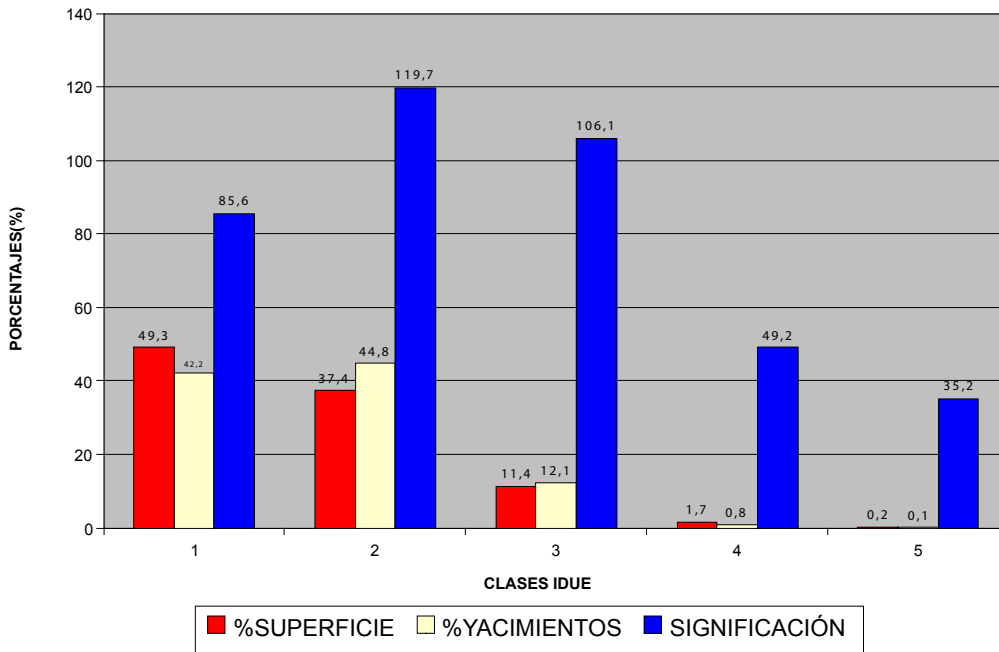


Figura 184. Relación entre clases IDUE y el número de yacimientos.
Fuente: Elaboración propia

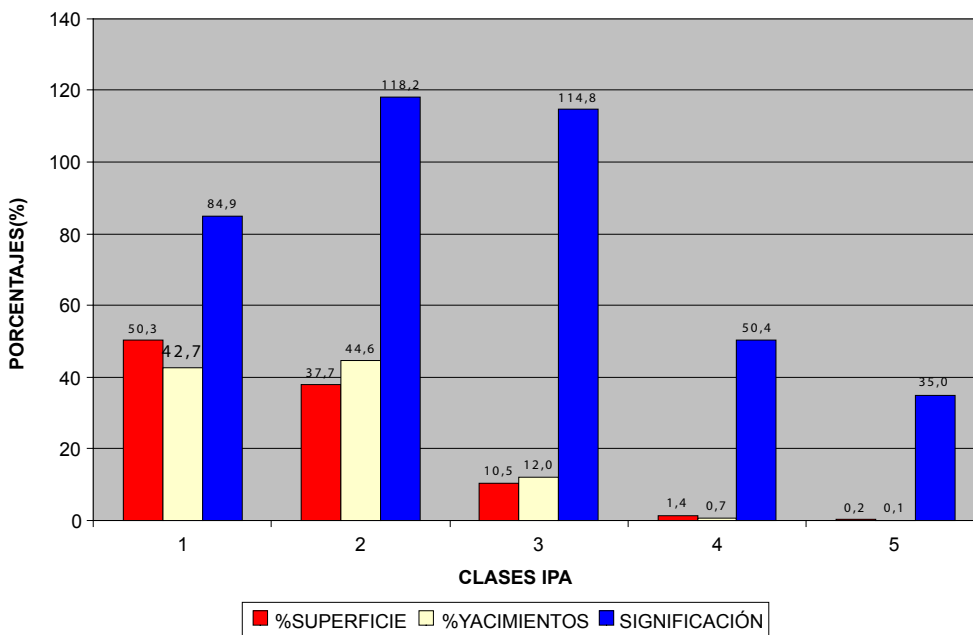


Figura 185. Relación entre clases IPA y el número de yacimientos.
Fuente: Elaboración propia

En ambos casos se aprecia un comportamiento similar respecto a lo que se apreciaba en los IP de la fase primera. La clase 1 suele estar por debajo del 100%, en el sentido de que presentan una alta perdurabilidad, si bien parecen ser ámbitos de menor atractivo para la localización o, quizás, de menos oportunidad de hallazgos. Por el contrario, las clases 2 y 3 ven incrementarse las condiciones de degradación, pero suelen constituir áreas de gran atractivo y donde, además, las actividades humanas han fomentado los hallazgos arqueológicos. Por último, se da una clara caída de los porcentajes de significación en las clases 4 y 5, si bien en ambos casos el número de yacimientos considerados es bastante bajo.

En cualquier caso, debe señalarse la extraordinaria dependencia de las clases IPA respecto del método elegido para la generación de clases a partir de sus resultados. Así, por ejemplo, en el siguiente gráfico se muestran otras clases IPA, establecidas según los intervalos que marcan el alejamiento de la media en desviaciones estándar. Las clases 1 y 2 representan la media menos 2 y 1 desviación, respectivamente, y las clases 3, 4 y 5, la media más 1, 2 y más de 2 desviaciones estándar.

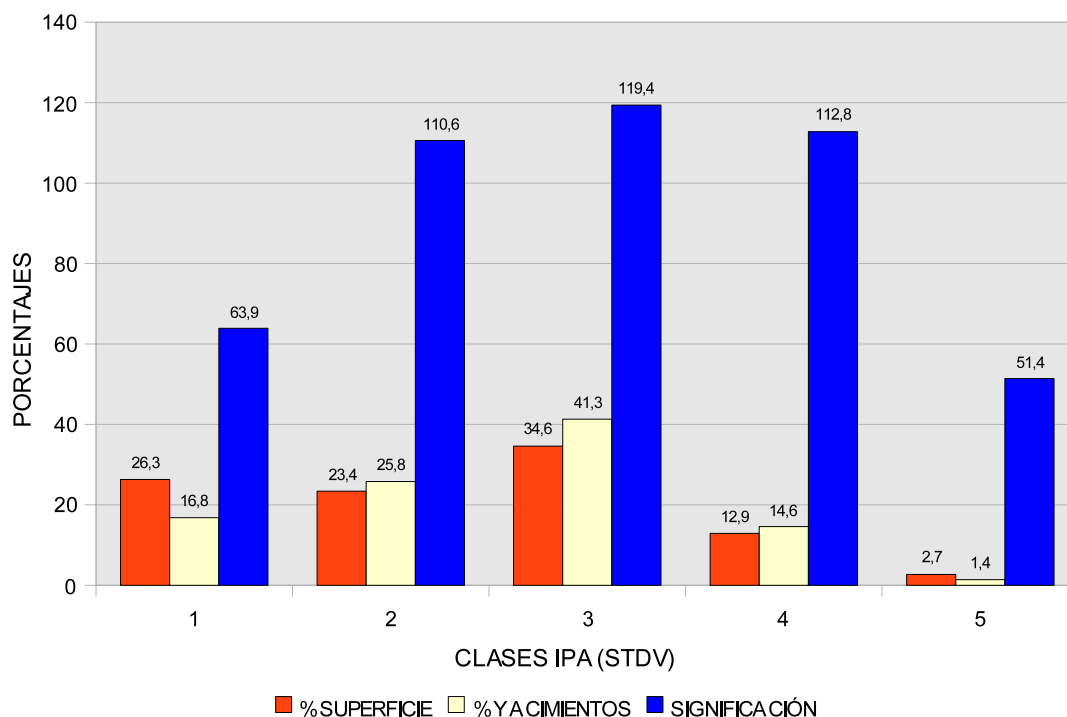


Figura 186. Relación entre la desviación estándar del IPA y el número de yacimientos. Fuente: Elaboración propia

Como puede apreciarse al comparar los dos últimos gráficos y, especialmente, las figuras 183 y 187, la adopción de unas u otras clases modifica sustancialmente el reparto de yacimientos en clases de perdurabilidad. En relación con determinadas políticas de gestión patrimonial, esto implicaría muy diferentes planteamientos, puesto que en esta segunda opción se destaca una mayor exposición de los yacimientos a altas condiciones de deterioro.

INDICE DE PERDURABILIDAD ARQUEOLÓGICA (II)

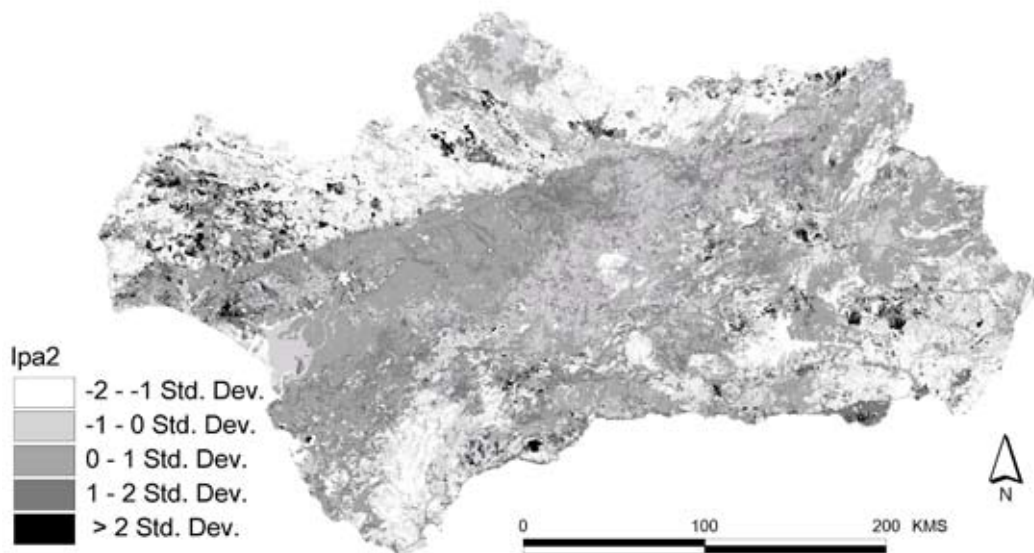


Figura 187. Índice de Perdurabilidad Arqueológica clasificado según desviación estándar. Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

Desde el punto de vista de los resultados finales del presente trabajo, conviene subrayar los puntos siguientes:

a) La consideración del ICON como variable atenuante de las condiciones potenciales de deterioro no parece modificar sustancialmente los resultados finales obtenidos. Este hecho, sin embargo, no debe hacer pensar en la consideración de elevar el peso de este factor, al menos mientras las variables de degradación sigan estando en relación, exclusivamente, con las transformaciones del suelo. Sí podrá ser mejor considerado si se toman en cuenta otra serie de causas de deterioro como pueden ser las de origen puramente humano (expolio, vandalismo...).

b) Los parámetros elegidos para evaluar las condiciones de perdurabilidad, sobre todo en el caso de los usos, presentan una clara relación con las variables de tipo selectivo e, incluso, con las de conocimiento. Así, al considerar las 5 clases obtenidas finalmente se puede concluir:

- La clase 1 representa amplias zonas (50%) de tipo natural en las que se localizan el 42% de los yacimientos. Este hecho hace que se trate de una clase en la que pueden darse unos más bajos condicionantes selectivos, o bien, que por su carácter natural existan condiciones menos idóneas para la ocurrencia de hallazgos arqueológicos fortuitos.
- La clase 2, por el contrario, representa extensas zonas de valles y campiñas (37%), en las que se ubican más de un 44% de los yacimientos. Es evidente que, en este caso, existen más altos niveles de atracción, sobre todo

vinculado a la actividad agraria, al tiempo que la intensa ocupación de estos espacios ha posibilitado un mayor número de hallazgos.

- La clase 3, sin lugar a dudas, presenta un gran interés. En primer lugar, señala la localización del 12% de los yacimientos en zonas sometidas a importantes niveles de deterioro potencial. En segundo lugar, sugiere ámbitos de gran atracción (minería, por ejemplo) y grandes posibilidades de hallazgos.
- Las clases 4 y 5 representan ámbitos muy reducidos (2%), donde apenas se localizan yacimientos, si bien los pocos existentes (1%) podrían estar sometidos a intensos procesos de deterioro ambiental.

Desde un punto de vista general, el presente trabajo vendría a cerrar una primera fase en el desarrollo metodológico del IPA. La continuidad de esta línea de trabajo y la mejora de los resultados obtenidos pasaría por revisar los parámetros empleados e incorporar otros nuevos que puedan considerarse de interés:

1. En primer lugar, resultaría imprescindible garantizar el contraste de los resultados que se obtienen. Para ello existen dos posibilidades básicas: (a) realizar trabajos de campo para comprobar la capacidad o bondad de los índices obtenidos en relación con el deterioro del suelo; o (b) llevar a cabo este mismo trabajo mediante una correlación directa con el estado de conservación de los yacimientos.
2. En este segundo caso, debería iniciarse una línea independiente de trabajo, encaminada a elaborar una metodología sistemática para la asignación de niveles de conservación a los yacimientos arqueológicos. En este sentido, las nuevas tecnologías de adquisición de imágenes pueden contribuir a facilitar este tipo de trabajos (asignación en campo y en gabinete; contraste de opiniones...), al tiempo que mantienen una interesante multifuncionalidad (difusión del patrimonio; inventarios...).