

Aplicación web para el cálculo de un índice de calidad del suelo de olivar en prácticas docentes

Víctor Aranda¹, Julio Calero¹, Arturo Montejo² y José María Serrano²

¹Dpto. de Geología, ²Dpto. de Informática, Universidad de Jaén. Campus Las
Lagunillas s/n, 23071, Jaén
jschica@ujaen.es

Resumen

Hasta la fecha, se han estudiado diferentes índices y medidas de la calidad del suelo, basándose en factores cuantitativos. Pero, hasta donde sabemos, ninguno considera factores de tipo cualitativo (ordinales o nominales). Éste fue el principal objetivo del proyecto de innovación docente en que se enmarca el presente trabajo. Como resultado del mismo, se desarrolló una aplicación web para ser usada en prácticas de laboratorio y mediante la cual calcular dichos índices de calidad a partir de muestras de suelos.

INTRODUCCIÓN

En Andalucía, y particularmente en la provincia de Jaén, existe una fuerte implantación del manejo convencional en los suelos dedicados al cultivo de olivar, con el consiguiente riesgo que esto supone de malas prácticas agrícolas. Esta situación supone a la larga un generalizado e inevitable descenso en la calidad de estos suelos, que ha de ser evaluada con precisión por sus importantes repercusiones económicas y ambientales.

El objetivo del presente trabajo es la definición de un índice numérico mediante el cual evaluar cuantitativamente la calidad de los suelos del olivar de Jaén a partir de parámetros obtenidos en las prácticas de ciertas asignaturas. Éstos incluyen descriptores morfológicos que, por sus características (naturaleza cualitativa, estimación imprecisa), son habitualmente desechados en la definición de índices numéricos. Asimismo, otro objetivo a cubrir es que los alumnos se familiaricen con tales conceptos, recogiendo la metodología como parte del programa de prácticas en diversas asignaturas.

A continuación, se definen las bases científicas y docentes para la elaboración del índice propuesto y se describe la herramienta web desarrollada. Por último, se exponen las conclusiones alcanzadas, así como las líneas futuras asociadas al proyecto.

BASES CIENTÍFICAS

El uso convencional de los suelos de olivar supone una pérdida progresiva de la calidad del suelo [1], que se puede estimar cuantitativamente mediante propiedades del suelo (*Indicadores de la Calidad del Suelo*, ICS), convenientemente normalizadas y ponderadas. En la **Tabla 1** se indican algunos de los ICS propuestos por diferentes autores.

Un buen ICS ha de cumplir [4]: 1) correlacionarse con un gran número de funciones físicas, químicas o biológicas del suelo; 2) ser fácil de medir; y 3) responder a los cambios en el manejo. [9] distingue entre los siguientes tipos:

- **Indicadores de la función física del suelo** (fertilidad física): nos informan sobre la capacidad del suelo para proporcionar un ambiente físico adecuado para el crecimiento de la raíz del olivo.
- **Indicadores de la función química del suelo** (fertilidad química): se refieren a la capacidad del suelo para retener y suministrar a una tasa adecuada a las necesidades del cultivo los elementos nutritivos necesarios, como pueden ser nitrógeno, fósforo y potasio (NPK), o microelementos (hierro, cobre, zinc, boro, etc.).
- **Indicadores de la función biológica del suelo** (fertilidad biológica): relacionados con la eficacia con la que los organismos del suelo descomponen los restos vegetales incorporados al suelo.

Tabla 1. Indicadores usados por diversos autores para medir la calidad del suelo.

Autores	Indicadores usados		
	Físicos	Químicos	Biológicos
Karlen et al. (1994)	Estabilidad de agregados, Porosidad, Densidad aparente, Agua útil	pH, Conductividad eléctrica, CO total, N total	Respiración, Biomasa microbiana, Biomasa de Lombrices de tierra
Wang & Gong (1998)	Profundidad del suelo, Textura, Pendiente	CO total, N total, P, K, CEC, pH	
Hussain et al (1999)	Estabilidad de agregados, Porosidad	K, pH, CO total	
Glover et al. (2000)	Estabilidad de agregados, Porosidad	CO total, N total, CEC	Biomasa microbiana
Andrews et al. (2002)	Estabilidad de agregados	CO total, Conductividad eléctrica, pH, Zn	
Kang et al. (2005)		CO total, N total, K, Nitratos, Amonio	Biomasa microbiana, Actividad enzimática (deshidrogenada)
Lee et al. (2006)	Estabilidad de agregados, Densidad aparente	CO total, N total, P, K, Cu, Zn, pH	Biomasa microbiana
Mohanty et al. (2007)	Estabilidad de agregados, Densidad aparente, Resistencia a la penetración	CO total	
Masto et al. (2007)	Densidad aparente, Agua útil	pH, Conductividad eléctrica, CO total	Biomasa microbiana, Biomasa del cultivo
Erkossa et al. (2007)	Estabilidad de agregados, Porosidad, Densidad aparente, Agua útil	CO total, pH	Biomasa microbiana
Gómez et al. (2009)	Estabilidad de agregados, Densidad aparente, Conductividad hídrica.	CO total, N total, P, K, CEC, pH	Biomasa microbiana, Respiración microbiana
Marzaioli et al. (2010)	Profundidad del suelo, Textura, Estabilidad de agregados, Densidad aparente, Conductividad hídrica, Agua útil	CO total, N total, P, K, CEC, pH, NH_4^+ , EC_{25} , microelementos	

En su mayoría, los ICS se determinan mediante análisis en laboratorio y son de carácter cuantitativo (medidos en escalas numéricas). Hasta la fecha, no sabemos de la existencia de un índice que aproveche datos morfológicos de campo, debido a su carácter cualitativo (medidos en escalas no numéricas, nominales u ordinales). Sin embargo, éstos son fáciles de estimar, resultando imprescindibles en la comprensión de la génesis del suelo [5] y en la clasificación

de los horizontes y perfiles [3,8]. Creemos que no deberían desestimarse y que pueden ser empleados como ICS, mediante una adecuada transformación a escala numérica.

Nuestra propuesta para el índice de calidad de suelo de olivar (ICSO) es el tratamiento de la información no numérica mediante técnicas avanzadas de Escalamiento Óptimo (Categorical Principal Component Analysis, CatPCA).

En la **Tabla 2** se recogen las principales variables morfológicas que se usarán como indicadores de las distintas funciones del suelo y sus relaciones con los indicadores analíticos de laboratorio más usuales.

Tabla 1. ICS morfológicos empleados y su relación con ICS analíticos.

Indicador morfológico	Indicadores analíticos con los que se relaciona		
	Físicos	Químicos	Biológicos
Color		CO total, N total, K, P, Conductividad eléctrica, Caliza activa	Relación C/N
Textura	Estabilidad de agregados, Porosidad, Densidad aparente, Agua útil	CEC, P, K	
Estructura	Estabilidad de agregados, Porosidad, Densidad aparente, Agua útil	CO total, N total, pH	Actividad enzimática, Biomasa microbiana.
Consistencia	Resistencia a la penetración		
Porosidad morfológica	Densidad aparente, Agua útil	Eh, redoximorfía.	
Raíces	Resistencia a la penetración, Densidad aparente	pH, Eh, Caliza activa, presencia de contaminantes.	

BASES DOCENTES

A continuación, se comentan brevemente los programas de prácticas de las asignaturas, correspondientes a diferentes titulaciones impartidas en la Universidad de Jaén, y en la **Tabla 3** se resumen los indicadores recogidos en cada una de ellas.

- **Principios de Edafología (Lic. Biología).** Se estudian los componentes y propiedades del suelo, así como los factores y procesos formadores, con un tema final dedicado a la clasificación de suelos. En el programa de prácticas se cubren el Análisis Granulométrico, análisis de Conductividad eléctrica y PH, y del Carbono Orgánico Total y Carbonato Cálcico equivalente. En la excursión de campo se recogen muestras de suelo de olivar y se estudian los indicadores morfológicos.
- **Geoquímica y Edafogénesis (Lic. Ciencias Ambientales).** Sus objetivos generales son: Conocer los conceptos de geoquímica y de génesis de suelos, analizar la distribución y el comportamiento de los elementos químicos en la tierra, abordar el estudio de los procesos geoquímicos del suelo. Se aprovechó la salida al campo y la práctica "Descripciones morfológicas de muestras de suelos" para recoger indicadores de tipo morfológico susceptibles de ser aprovechados en el cálculo del ICSO.
- **Gestión y Conservación de Suelos y Aguas (Lic. Ciencias Ambientales).** Objetivos generales: 1) Estudio de los procesos que provocan

la pérdida de la fertilidad natural de los suelos. 2) Análisis de los mecanismos que conllevan la pérdida de agua del suelo. 3) Desarrollo de técnicas de manejo sostenible de suelos que lo preserven de su degradación, y a su vez, preserven el agua del suelo. En el programa de prácticas en laboratorio se incluye: Análisis granulométrico, análisis de la Conductividad eléctrica y el pH, y del Carbono Orgánico total y el Carbonato cálcico equivalente. En la excursión de campo se estudian los indicadores morfológicos.

- Suelos Agrícolas (Lic. Ciencias Ambientales). Incluye el estudio de componentes y propiedades del suelo, así como de los factores y procesos formadores, con un tema final dedicado a la clasificación de suelos. En prácticas se estudia el cálculo de la Densidad aparente del suelo, de la relación Carbono/Nitrógeno, y de la Caliza activa. En la excursión al campo se recogen muestras de suelo de olivar ecológico y se estudian los indicadores morfológicos.

- Clasificación y Evaluación de Suelos (Lic. Ciencias Ambientales). Sus objetivos generales son: 1) Estudio de las clasificaciones de suelos a escala mundial, así como de las relaciones entre ellos y con la edafogénesis. 2) Análisis de los patrones de distribución de suelos en el paisaje. 3) Evaluación del recurso natural suelo para distintos usos. En la excursión de campo se obtienen indicadores de tipo morfológico.

- Suelos de Olivar (Máster en Olivicultura y Elaiotecnia). Los objetivos generales son proporcionar al alumno una base sólida tanto teórica como práctica, de la aplicación de la edafología en el ámbito de la olivicultura. En prácticas se llevan a cabo el análisis granulométrico, cálculo de la conductividad eléctrica y pH, y del carbono orgánico total, carbonato cálcico equivalente y la caliza activa. En la excursión de campo se recogen muestras de suelo de olivar y se estudian los indicadores morfológicos.

Tabla 3. Resumen de los ICS obtenidos en las prácticas de cada asignatura

Asignatura	Indicadores obtenidos	
	Morfológicos	Analíticos
Principios de Edafología	Relieve (topografía, fisiografía, pendiente), material original, Textura, Estructura, Color, Consistencia, Raíces y Poros	Conductividad eléctrica, pH, CO total, CaCO ₃ equ., Granulometría
Geoquímica y Edafogénesis	Relieve (topografía, fisiografía, pendiente), material original, Textura, Estructura, Color, Consistencia, Raíces y Poros	Conductividad eléctrica, pH, CO total, CaCO ₃ equ., Granulometría
Gestión y Conservación de Suelos y Aguas	Relieve (topografía, fisiografía, pendiente), material original, Textura, Estructura, Color, Consistencia, Raíces y Poros	Conductividad eléctrica, pH, CO total, CaCO ₃ equ., Granulometría
Suelos Agrícolas	Relieve (topografía, fisiografía, pendiente), material original, Textura, Estructura, Color, Consistencia, Raíces y Poros	N total, CO total, CaCO ₃ equ., Caliza activa, DATF
Suelos de Olivar	Relieve (topografía, fisiografía, pendiente), material original, Textura, Estructura, Color, Consistencia, Raíces y Poros	N total, CO total, CaCO ₃ equ., Caliza activa, DATF, Granulometría
Clasificación y Evaluación de Suelos	Relieve (topografía, fisiografía, pendiente), material original, Textura, Estructura, Color, Consistencia, Raíces y Poros	

DESCRIPCIÓN DE LA APLICACIÓN E INTRODUCCIÓN DE DATOS

Para llevar a cabo los objetivos prácticos de las asignaturas arriba comentadas, se desarrolló una página web (ver **Figura 1**), a la que se accede desde la siguiente URL:

<http://wwwdi.ujaen.es/~jmserrano/web-pid/isco/>

Dicha página consta de varias secciones, entre las que se incluye un guión detallado de la práctica, acceso a materiales complementarios, y unos formularios mediante el cual introducir los datos previamente recopilados. Los campos de dichos formularios se agrupan en:

- Códigos: identificadores para la base de datos (alumno, asignatura).
- Atributos numéricos: Todos los ICS analíticos, las coordenadas UTM, la altitud y los códigos de descripción de color. Para éstos se usa el sistema Munsell [6], que describe cada color en función de Hue (Matiz), Value (Luminosidad) y Chroma (Intensidad), como se recomienda en [2]. Los atributos de color, aún siendo numéricos son tratados como categóricos. El resto de campos numéricos se recogen en las unidades indicadas (% en peso, dSm-1, etc.).
- Atributos categóricos: El resto de variables, tanto datos generales del perfil como ICS morfológicos. Se emplearon las categorías propuestas en [2].

Los datos recogidos se almacenan (posteriormente se exportan a una hoja de datos, p.e., en SPSS) y con ellos se calcula el ICSO correspondiente, devolviendo un informe del resultado. A partir de la hoja de datos se realiza el ajuste del modelo mediante CatPCA (Categorical Principal Component Analysis [7]). Se logra así un escalamiento óptimo de las variables categóricas, normalización y discretización de las variables numéricas y, finalmente, el cálculo de los factores en un Análisis de Componentes Principales (PCA).

De entre los múltiples parámetros ajustables de CatPCA, el más importante es el número de componentes principales categóricos (dimensiones) del modelo. Se seleccionó un modelo con 2 dimensiones por su alto porcentaje de explicación de la varianza (75%) y su coherente sentido edafológico. Las variables más significativas (**Tabla 4**) explican casi el 70% de la varianza del modelo. Se puede entonces derivar la fórmula para el Índice de Calidad del Suelo de Olivar (ICSO), como la siguiente:

$$ICSO = \frac{\sum_{js} [ICS_j * a_{js}]}{\sum_{js} [ICS_{jmax} * a_{js}]}$$

donde ICS_j es un valor determinado para el indicador de calidad del suelo j (numérico o categórico), a_{js} es la carga factorial del mismo indicador en el componente s y ICS_{jmax} es el valor más alto de todo el rango de la escala para el indicador j . En consonancia con la interpretación del modelo, se emplean para esta fórmula las cargas factoriales (a_{js}) expuestas en la **Tabla 4**.

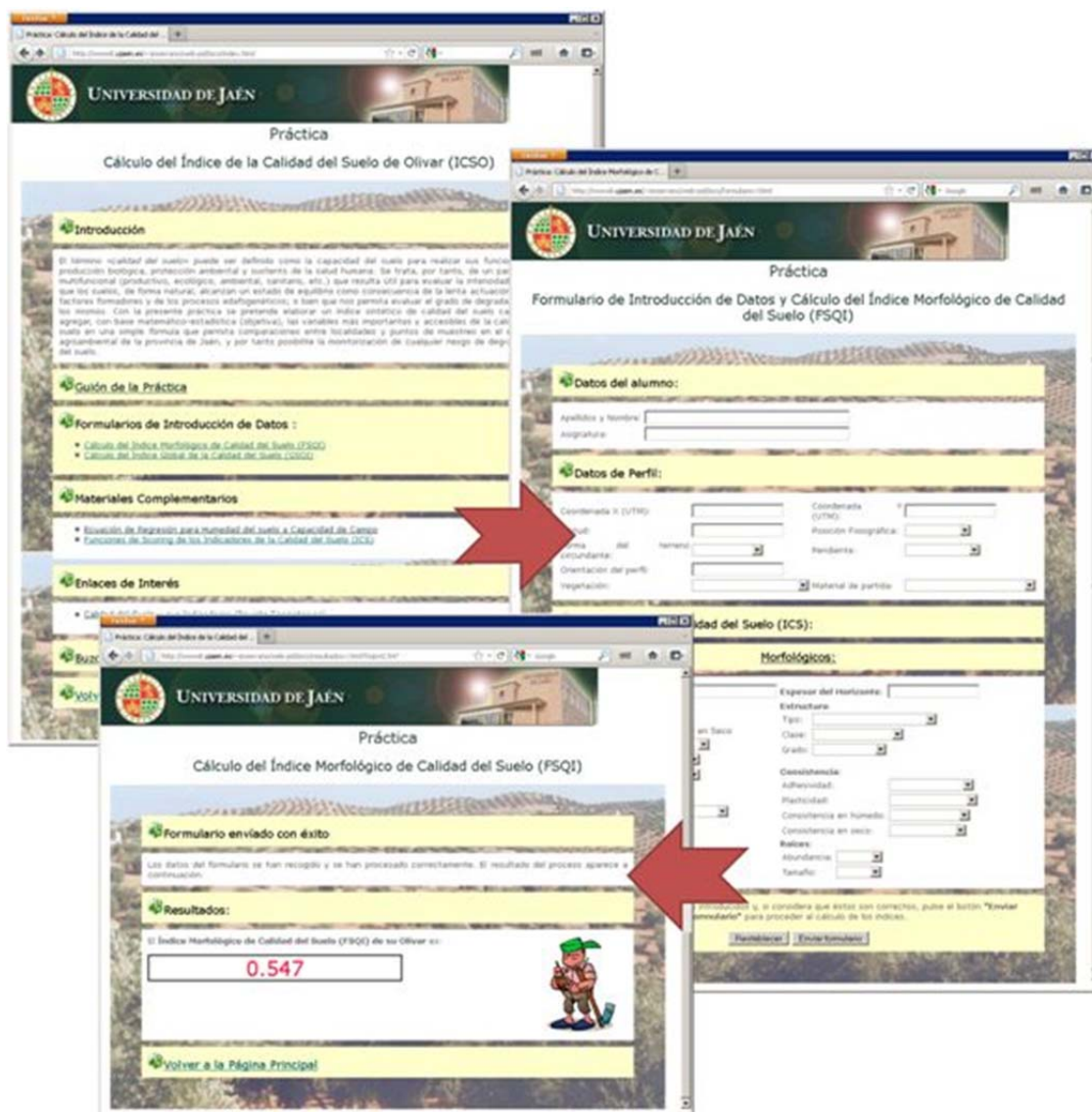


Figura 1. Aspecto de la interfaz de la aplicación web.

Tabla 4. Cargas factoriales más significativas y porcentaje de la varianza que explica cada ICS seleccionado

Indicador	Carga factorial (valor absoluto)	% Varianza
Hue húmedo	,807	7,01
Croma húmedo	,595	3,758
Hue seco	,804	6,543
Croma seco	,696	4,958
Profundidad horizonte	1,952	46,249
Total de la varianza explicada:		69 %

Nuestra propuesta permite valorar la importancia de cada propiedad, sobre el porcentaje de la variabilidad total de los suelos de la provincia de Jaén, y detectar aquéllos que están más alejados del “suelo natural” (valores de ICSO más bajos) y, por tanto, sobre los que habrá que actuar con mayor urgencia

(adoptando, por ejemplo, métodos de cultivo ecológicos).

CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

Se ha habilitado una herramienta web con las siguientes características:

- Operativa, el Índice de Calidad del Suelo de Olivar (ICSO) permite discriminar entre suelos degradados (de baja calidad) y bien conservados (de alta calidad).
- Fácilmente accesible y comprensible para el alumno. Éste asimila y maneja de forma natural el concepto clave de ICS morfológico y analítico. De igual forma, el valor resultante para el ICSO (entre 0 y 100%) es intuitivo y fácil de interpretar, sin necesidad de entrar en los aspectos matemáticos subyacentes.
- Aprovecha al máximo la actividad docente, por el uso exhaustivo de datos de las prácticas y excursiones del área de Edafología, integrando actividades formativas tales como sesiones de laboratorio, campo o seminarios.
- Potencia el aprendizaje autónomo a varios niveles. Gracias al material presente en la página, el alumno podrá avanzar en la interpretación del ICSO, y en el conocimiento de la metodología matemática (CatPCA).
- Finalmente, cabe destacar el potencial en cuanto a transferencia de conocimiento de la herramienta, ya que puede ser puesta a disposición de otros investigadores y expertos con el objeto de analizar más en profundidad los datos recopilados.

Restan aún por cubrir otros objetivos que, resumidamente, son los siguientes:

- Asegurar la robustez en la integración del sistema, para evitar pérdidas de datos.
- Añadir material complementario y nuevos enlaces que permitan al interesado la profundización en la interpretación del índice.
- Realizar un seguimiento pormenorizado del uso del sistema, comprobar los puntos débiles desde el punto de vista didáctico y técnico del índice, y subsanarlos.
- Por último, tenemos especial interés en comprobar el uso de esta herramienta dentro de la asignatura “Edafología” (Grado en Ciencias Ambientales). Desde nuestro punto de vista, puede ser el lugar óptimo para encuadrar esta herramienta de carácter TIC.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se encuentra adscrito al Proyecto de Innovación Docente “Elaboración de una herramienta web para el cálculo de un Índice de la Calidad del Suelo de Olivar (ICSO) a partir de datos obtenidos en prácticas docentes” (PID15B). V Convocatoria de Proyectos de Innovación Docente, Universidad de Jaén (2009-2011).

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Bastida F, Zsonay A, Hernández T, García C (2008) Past, present and future of Soil Quality indices: A biological perspective.
- [2] FAO (1977) Guía para la descripción de perfiles de suelos. FAO, Roma.
- [3] FAO (2006) World reference base for soil resources 2006. 2nd edition. World Soil Resources Reports, 103. FAO, Rome.
- [4] Gregorich EG, Drury CF, Baldock JA (2001) Changes in soil carbon under long-term maize in monoculture and legume-based rotation. *Canadian Journal of Soil Science*, 81(1): 21–23.
- [5] Harden JW (1982) A quantitative index of soil development from field descriptions: examples for a chronosequence in central California. *Geoderma*, 28: 1–28.
- [6] Munsell Color Company, Inc. (1990) Munsell Soil Color Charts. Baltimore, USA.
- [7] Meulman JJ, Heiser WJ (1999) SPSS Categories 10.0. SPSS Inc., Chicago.
- [8] Soil Survey Staff (1998) Keys to Soil Taxonomy. SMSS Technical Monograph, 17. 8th. ed. U.S. Government Printing Office, Washington D.C.
- [9] Velásquez E, Lavallo P, Andrade M (2007) GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. *Soil Biology and Biochemistry*, 39: 3066–3080.