

Modelos de evaluación agroecológica de tierras: erosión y contaminación en el entorno MicroLEIS

DOI: 10.22403/UQROOMX/TYP09/05

Elvira Díaz-Pereira

*Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura*

María Anaya-Romero

Diego de la Rosa

Evenor-Tech S. L.



RESUMEN

En el ámbito de los sistemas integrados de apoyo a las decisiones medioambientales, la evaluación de suelos se convierte en uno de los elementos esenciales. La información y el conocimiento sobre el medio ambiente y sus recursos se combinan en el uso continuado de las nuevas tecnologías de la información y de la comunicación. Este esquema agroecológico, desarrollado por el Grupo de Evaluación de Suelos del Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (Evenor-Tech, empresa derivada del Consejo Superior de Investigaciones Científicas), responde a una verdadera ingeniería de la información y el conocimiento sobre multitud de variables edáficas, climáticas, de cultivos y manejo agrícola y de atributos socioeconómicos; mediante el desarrollo y aplicación de programas de cómputo, bases de datos, sistemas expertos, simulación dinámica, redes neuronales artificiales, sistemas de información geográfica (SIG) y recursos web, entre otras nuevas tecnologías. En el enfoque propuesto, los modelos de riesgo o vulnerabilidad a la contaminación global (Arenal) o específica (Pantanal) y a la erosión (Raizal) se describen y aplican a casos puntuales de Sevilla y a un escenario de evaluación, como es el caso de Andalucía (concretamente el modelo Pantanal).

PALABRAS CLAVE

Bases de datos, modelos Arenal, Pantanal y Raizal

91

Introducción



El suelo es un recurso natural de vital importancia por sus múltiples funciones ambientales, económicas y sociales. Se considera no renovable comparado con la escala humana, desarrollándose lentamente y demostrando gran variabilidad espacial.

En este sentido, los cambios en la calidad del suelo deben ser monitoreados, en primer lugar, para identificar áreas problemáticas y, en segundo, para asegurar la promoción de prácticas de manejo de tierra que favorezcan la preservación de los múltiples servicios ecosistémicos (Ebert y Welch, 2004).

Por otra parte, el papel del suelo es crucial en la planificación territorial para evaluar su uso óptimo, basado en las potencialidades y limitaciones de las unidades territoriales (Dent y Young, 1981). Se trata de pronosticar la aptitud relativa para un uso específico, mediante el análisis de las características y cualidades de las unidades-tierra (FAO, 1976).

Un criterio fundamental que caracteriza a los estudios de evaluación de suelos es la utilización casi exclusiva de la información por los reconocimientos de los mismos, así como el uso preferente de una resolución temporal mensual de los datos climáticos. Aunque se usa de manera indistinta la expresión evaluación de suelos, son claramente identificables las unidades de estudio: suelo, tierra y campo. En términos generales, para la unidad-suelo sólo se analizan variables de suelo y lugar, la unidad-tierra incluye además los factores climáticos, y la unidad-campo considera también los atributos de manejo agrícola.

En cuanto a las potencialidades de uso en el desarrollo del proceso de evaluación de suelos, resulta prioritario conocer la capacidad general de uso de las tierras, es decir, segregar las mejores tierras agrícolas de aquellas que presentan una aptitud moderada y de aquellas otras que son evidentemente marginales e incluso improductivas.¹ En realidad, los usos agrícolas, forestales y naturales deberían estar íntimamente asociados en dicha clasificación.

Una vez definida la vocación agroecológica de las tierras, el paso siguiente consiste en precisar la capacidad productiva de cada unidad territorial a

¹ Véase ejemplo Land Capability Classification System (Klingebiel y Montgomery, 1961).

nivel de cultivo.² Para ello, es imprescindible precisar los requerimientos edafoclimáticos de los principales cultivos, modelando su desarrollo vegetativo. Además de definir el uso productivo ideal, es igualmente necesario establecer las normas o prácticas de manejo correspondientes. La definición científica de estas prácticas de manejo, como un nuevo límite agroecológico, se ha de hacer también de acuerdo con las particularidades de cada suelo, clima y tipo de utilización. Con la introducción de las prácticas agrícolas se consigue hacer evaluación de suelos en fincas, ofreciendo resultados en verdad útiles para los agricultores (Bouma *et al.*, 1993).

Entre otras potencialidades de uso, son también predecibles para los sistemas de evaluación la fertilidad natural de los suelos,³ la manejabilidad para las labores agrícolas y la regabilidad.⁴

Atendiendo a los riesgos de degradación, la evaluación de suelos se ha de desarrollar considerando asimismo los procesos degradativos de los ecosistemas como principales indicadores de la desertificación. La erosión hídrica es el elemento degradativo más relevante de los suelos, en especial en las zonas mediterráneas. Los riesgos de erosión, sedimentación e inundación se tratan de predecir de forma conjunta o separada, encerrando una gran complicación por los múltiples procesos y variables que interfieren e interaccionan.⁵

Es evidente la creciente importancia de los problemas de contaminación de suelos y aguas por compuestos agroquímicos, ya sean abonos, pesticidas, metales pesados u otros (Stiaglini, 1991). Para ello, el análisis de los niveles de contaminantes en los suelos resulta tan necesario como los correspondientes a los niveles de nutrientes. A su vez, la pérdida creciente de calidad de las aguas de riego, y en especial su mayor contenido en sales solubles, acentúa aún más la gravedad del problema y la urgencia de predecir los riesgos de salinización. Por último, saber de cada suelo su capacidad de tamponamiento para digerir residuos, ya sean urbanos, industriales o agrícolas, resulta tan indispensable como conocer su capacidad agrológica para producir cosechas. Los modelos aquí propuestos constituyen una conjunción de bases de datos/sistema experto

² Véase ejemplo Riquier, Bramao y Cornet (1970).

³ Véase ejemplo Fertility Capability Soil Classification System (Sánchez, Couto y Buol, 1982).

⁴ Véase ejemplo Bureau of Reclamation System (USBR, 1953).

⁵ Véase ejemplo Water Erosion Prediction Project (wepp Project), Flanagan y Nearing (1995).



de evaluación, que calcula las limitaciones para la utilización agrícola de las tierras o su vulnerabilidad a riesgos específicos de degradación, con especial referencia a la región Mediterránea. La erosión y la contaminación agroquímica de suelos se estudian de manera separada mediante modelos informatizados con aplicación de *software* o en línea en Internet.

Dentro del contexto global, las evaluaciones tecnológicas o de ingeniería hacen referencia a la predicción de las propiedades mecánicas o geotécnicas de los suelos. Este tipo de evaluaciones se realizan cada vez con más frecuencia, a partir de los datos de reconocimiento sistemático de los recursos edáficos, sobre todo en la predicción de la compactación, plasticidad y expansión-retracción del suelo.

El objetivo general de este artículo es presentar las descripciones y aplicaciones de los modelos de riesgo o vulnerabilidad a la contaminación global (Arenal) o específica (Pantanal) y a la erosión (Raizal) de MicroLEIS, a casos puntuales de Sevilla y a un escenario de evaluación: Andalucía (caso concreto del modelo Pantanal).

Descripción de MicroLEIS

En la actualidad, un sistema de evaluación de suelos incluye una serie de componentes integrados para desarrollar tareas de inventario, evaluación y planificación del territorio, tal y como considera el sistema MicroLEIS: Microcomputer-based Land Evaluation Information System (De la Rosa, 2003; De la Rosa *et al.*, 2004 y 2009). Estos componentes se pueden agrupar, de acuerdo con la tecnología informática dominante utilizada, de la siguiente forma: bases de datos (De la Rosa *et al.*, 2002), modelación empírica cualitativa, modelación empírica cuantitativa, simulación dinámica, automatización de la aplicación, generación de escenarios y conexión con los sistemas sig/www (figura 1).

Características de MicroLEIS

Las principales características de MicroLEIS son:

- Evaluación agroecológica de tierras a través de las siguientes unidades de estudio: lugar (clima), suelo (sitio+suelo), tierra (clima+sitio+suelo)

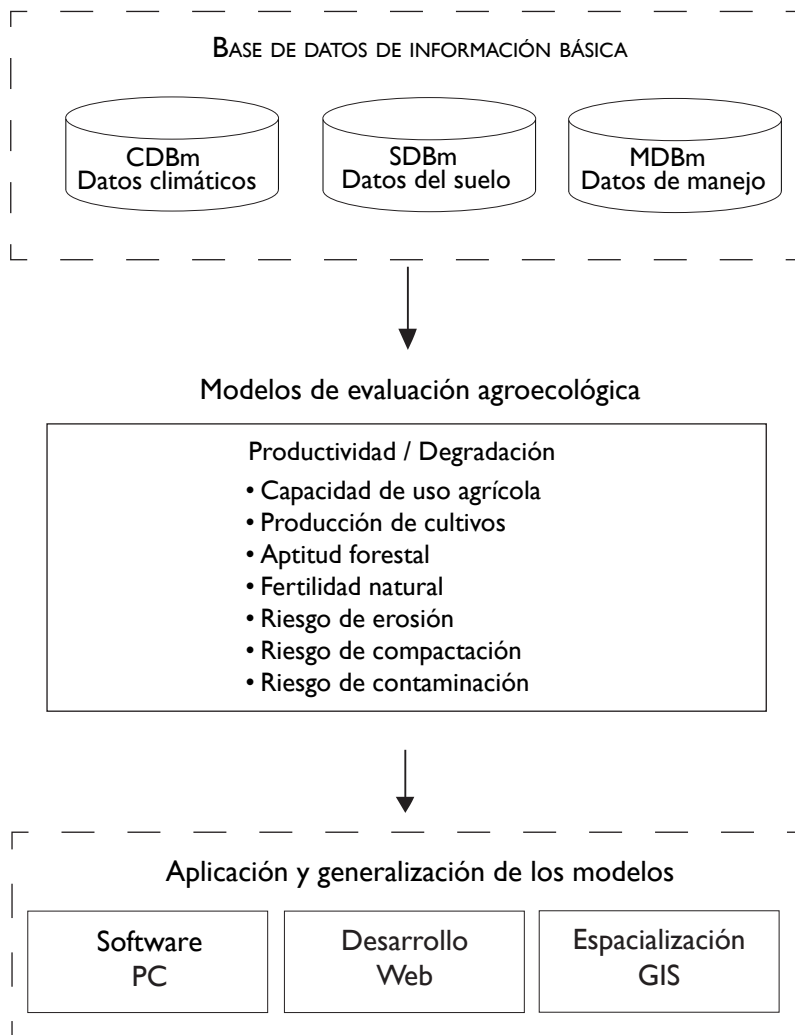


FIGURA 1. ESQUEMA GENERAL DEL DESARROLLO ACTUAL DEL SISTEMA MICROLEIS

- y campo (clima+sitio+suelo+manejo)
- Ingeniería de datos y conocimiento mediante el uso de un conjunto de técnicas en bases de datos georreferenciadas, programas informáticos y modelos booleanos, estadísticos, sistemas expertos y de redes neuronales, aplicación automática y visualización
- Uso de datos agrometeorológicos mensuales e información estándar procedente de los reconocimientos de suelos
- Enfoque agroecológico integrado, que combina datos biofísicos con experiencia agronómica
- Predicción de impactos del cambio global mediante la creación de escenarios hipotéticos
- Generación de datos de salida en un formato exportable a los paquetes SIG (Sistema de Información Geográfica) con extrapolación de conocimientos desde una escala local hasta otra regional, nacional o continental
- Incorporación del concepto de sostenibilidad de uso y de “calidad del suelo” como sistema de apoyo en la toma de decisiones agroambientales a través de un conjunto de herramientas para calcular: estado actual, potenciabilidad/riesgos, impactos y respuestas
- Desarrollo informático en versiones para ordenadores PC, web y SIG

En la figura 2 se muestra la pantalla de entrada a MicroLEIS.



FIGURA 2. PANTALLA DE ENTRADA A MICROLEIS

Desarrollo de MicroLEIS

El sistema MicroLEIS constituye una herramienta para transferir e interpretar la información agroecológica mediante datos ambientales georreferenciados, y se basa en modelos computarizados de evaluación de tierras (De la Rosa *et al.*, 1996). MicroLEIS está integrado por tres módulos: (i) el primero incluye tres bases de datos interactivas de suelos, clima y de manejo; (ii) el segundo engloba 12 modelos de evaluación de aptitud y vulnerabilidad de suelos (cuadro 1) bajo escenario actual y de cambio global. Los resultados derivados de la evaluación de suelos sirven de ayuda en la toma de decisiones para una planificación sostenible del territorio. De forma adicional, permiten establecer medidas de mitigación y adaptación frente a fenómenos de cambio global; (iii) el tercer módulo se refiere a la informatización de los modelos de evaluación y a la espacialización de los resultados. Para ello los modelos se convierten en expresiones que pueden ser comprendidas por una computadora, llegando estos algoritmos a configurar los programas de software. Tal y como se esquematiza en la figura 1, toda la librería de software se encuentra disponible en dos tipos de desarrollo: programas para PC y aplicaciones web.

Los modelos de evaluación de MicroLEIS se explican en detalle en De la Rosa *et al.*, (2004 y 2009). Una versión en CD-ROM de MicroLEIS está incluida en el libro *Evaluación agroecológica de suelos para un desarrollo rural sostenible* (De la Rosa, 2008). Actualmente, la Empresa de Base Tecnológica Evenor-Tech,⁶ como empresa derivada del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), trata de transferir la tecnología MicroLEIS al sector productivo y a la administración pública.

La secuencia con la que se ha abordado el desarrollo de los modelos teóricos es: primero, revisión de la literatura científica sobre el tema (conocimiento); posteriormente, los modelos fueron calibrados utilizando conocimientos de expertos y agricultores (experiencia). A continuación, los modelos fueron recalibrados y validados mediante sucesivas aplicaciones, utilizando datos (información) procedentes de 62 lugares representativos de Andalucía, y de otros 42 lugares de la Unión Europea (Crompvoets, Mayol y

⁶ www.evenor-tech.com.

CUADRO I. MODELOS DE EVALUACIÓN DE MICROLEIS DE ACUERDO A FUNCIONES DEL SUELO Y A ESTRATEGIAS AMBIENTALES CONCRETAS PARA UN PLANEAMIENTO TERRITORIAL SOSTENIBLE.

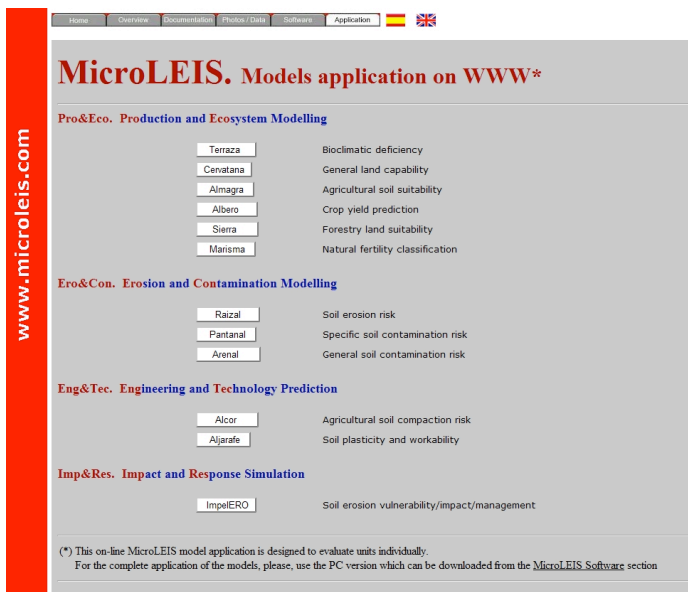
Modelo	Tipo de evaluación (Método modelización)	Estrategia ambiental soportada
<i>Sobre ordenación de usos</i>		
Terraza	Deficiencia bioclimática (Paramétrico)	Cuantificación de deficiencia hídrica y riesgos de heladas
Cervatana	Capacidad general de uso (Cualitativo)	Segregación de tierras con alta capacidad de uso y tierras marginales o con baja capacidad de uso
Sierra	Aptitud relativa forestal (Cualitativo/Red Neuronal)	Restauración de hábitats seminaturales en tierras agrícolas marginales: selección de 6 l especies
Almagra	Aptitud relativa agraria (Cualitativo)	Diversificación de cultivos en tierras con en las mejores tierras agrarias: para 12 cultivos tradicionales
Albero	Producción de cosecha (Estadístico)	Cuantificación del rendimiento del cultivo: para trigo, maíz, y algodón
Raizal	Riesgo de erosión del suelo (Sistema experto)	Identificación de áreas vulnerables a problemas de erosión
Marisma	Fertilidad natural del suelo (Cualitativo)	Diagnóstico sobre la fertilidad del suelo y las necesidades de fertilizantes
<i>Sobre formulación del manejo</i>		
ImpelERO	Erosión/impacto/mitigación (Sistema experto/ Red neuronal)	Diseño de prácticas agrícolas: espaciamiento, número y secuencia de operaciones, tipos de implementos, tratamiento de residuos
Aljarafe	Tempero del suelo (Estadístico)	Optimización del uso de la maquinaria del laboreo
Alcor	Compactación del suelo (Estadística)	Selección del tipo de maquinaria: según peso e inflado de ruedas
Arenal	Riesgo de contaminación (Sistema experto)	Racionalización de la aplicación de <i>inputs</i>
Pantanal	Riesgo de contaminación específica (Sistema experto)	Racionalización de la aplicación de <i>inputs</i> específicos: fertilizantes N y P, residuos y pesticidas



De la Rosa, 1994; De la Rosa, Crompvoets y Mayol, 1995; Loveland, 1995; De la Rosa *et al.*, 1996). La opción de simular predicciones hipotéticas, teniendo en cuenta cambios de clima y manejo, se consideró útil como herramienta para diseñar estrategias de adaptación a cambios climáticos y formular escenarios de uso sostenible de la tierra, modificando las prácticas de manejo agrícola.

Aplicaciones

MicroLEIS, mediante su sección aplicación, permite la conexión en línea de los sistemas de evaluación a través de Internet. Estas aplicaciones web ofrecen extraordinarias ventajas, siendo la principal su mayor disponibilidad y facilidad para el usuario, simplificando además la comprobación y mejora de los modelos. Centrándonos en los modelos de aplicación en la web (figura 3), pasamos a describir brevemente los modelos de erosión y contaminación: Raizal (riesgo de erosión hídrica); Pantanal (riesgo específico de contaminación); y Arenal (riesgo global de contaminación).



www.microleis.com

Home Overview Publications Photo / Data Software Application ES EN

MicroLEIS. Models application on WWW*

Pro&Eco. Production and Ecosystem Modelling

<input type="button" value="Terraza"/>	Bioclimatic deficiency
<input type="button" value="Cervatana"/>	General land capability
<input type="button" value="Almagra"/>	Agricultural soil suitability
<input type="button" value="Albero"/>	Crop yield prediction
<input type="button" value="Sierra"/>	Forestry land suitability
<input type="button" value="Marisma"/>	Natural fertility classification

Ero&Con. Erosion and Contamination Modelling

<input type="button" value="Raizal"/>	Soil erosion risk
<input type="button" value="Pantanal"/>	Specific soil contamination risk
<input type="button" value="Arenal"/>	General soil contamination risk

Eng&Tec. Engineering and Technology Prediction

<input type="button" value="Alcor"/>	Agricultural soil compaction risk
<input type="button" value="Aljarafa"/>	Soil plasticity and workability

Imp&Res. Impact and Response Simulation

<input type="button" value="ImpelERO"/>	Soil erosion vulnerability/impact/management
---	--

(*) This on-line MicroLEIS model application is designed to evaluate units individually.
For the complete application of the models, please, use the PC version which can be downloaded from the [MicroLEIS Software](#) section

FIGURA 3. MODELOS DISPONIBLES EN LA SECCIÓN APLICACIÓN DE MICROLEIS

CUADRO 2. RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE TIERRA, LC (RELACIONADAS CON EL LUGAR, SUELO, Y CLIMA) Y CARACTERÍSTICAS DE MANEJO, MC (RELACIONADAS CON EL CULTIVO, Y PRÁCTICAS DE CULTIVO) UTILIZADAS EN EL MODELO

Modelo raizal: variables de entrada	
<i>Lugar</i>	
LC	Forma del terreno, 21 clases
LC	Pendiente, %
LC	Profundidad de la capa freática, m
<i>Suelo</i>	
LC	Drenaje, siete clases
LC	Textura, 23 clases
LC	Pedregosidad superficial, %
LC	Materia orgánica, %
LC	Saturación de sodio, %
<i>Clima</i>	
LC	Precipitación media mensual, mm
LC	Precipitación máxima mensual, mm
LC	Temperatura media mensual, °C
LC	Latitud, °
<i>Cultivo</i>	
MC	Tipo de utilización de tierra, tres clases
MC	Duración de las hojas, dos clases
MC	Duración del período de cultivo, día
MC	Posición de las hojas, dos clases
MC	Área foliar específica (SLA _{max}), m ² kg ⁻¹
MC	Altura de la planta, m
MC	Profundidad máxima de las raíces, m
MC	Estructura del cultivo, dos clases
<i>Prácticas de cultivo</i>	
MC	Fecha de siembra, dos clases
MC	Tipo de laboreo, cinco clases
MC	Profundidad de laboreo, dos clases
MC	Método de laboreo, dos clases
MC	Espaciamiento entre calles, m
MC	Drenaje artificial, dos clases
MC	Prácticas de conservación de suelo (agua), cuatro clases
MC	Prácticas de conservación de suelo (viento), cinco clases
MC	Tratamiento de residuos, tres clases
MC	Rotación de cultivos, cuatro clases

* *Land characteristics.*

** *Manage characteristics.*



- **Riesgo de erosión hídrica (Raizal).** En el cuadro 2 se exponen, de forma resumida, las características de tierra y manejo como variables de entrada del modelo. En el cuadro 3 se muestra un ejemplo de evaluación mediante el modelo Raizal.

CUADRO 3. EJEMPLO SALIDA DE LA APLICACIÓN WEB
DEL MODELO RAIZAL

Tipo de vulnerabilidad	Clase y subclase de riesgo	
	Erosión agua	Erosión viento
Potencial	V1	V4
Por manejo	V2	V1
Real	V1	V2

Definición de clases y subclases

Clases de vulnerabilidad potencial y real: V1=Nula; V2=Muy baja; V3=Baja; V4=Moderadamente baja; V5=Ligeramente baja; V6=Ligeramente alta; V7=Moderadamente alta; V8=Alta; V9=Muy alta; V10=Extrema.

Clases de vulnerabilidad por manejo: V1=Muy baja; V2=Moderadamente baja; V3=Moderadamente alta; V4=Muy alta

- **Riesgo específico de contaminación (Pantanal).** En el cuadro 4 se resumen las características de tierra y manejo utilizadas en el modelo, y en el cuadro 5 se muestra un ejemplo de salida del modelo.
- **Riesgo global de contaminación (Arenal).** En este modelo, siguiendo un proceso cualitativo de evaluación a través de árboles de decisión, se seleccionaron los siguientes factores o cualidades como criterios de diagnóstico: clima, relieve, suelo e intensidad de manejo. La combinación de estos factores para definir cuatro clases de vulnerabilidad se lleva a cabo a partir de las siguientes características asociadas: precipitación, fisiografía, profundidad de la capa freática, textura, salinidad, pH, capacidad de cambio, sistema de cultivo, drenaje artificial y extracción de agua.



CUADRO 4. RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE TIERRA, LC (RELACIONADAS CON EL LUGAR, SUELO, Y CLIMA) Y CARACTERÍSTICAS DE MANEJO, MC (RELACIONADAS CON EL CULTIVO, FERTILIZANTES, PESTICIDAS, Y OTRAS PRÁCTICAS DE CULTIVO) UTILIZADAS EN EL MODELO

Modelo pantanal: variables de entrada

<i>Lugar</i>
LC Forma del terreno, 21 clases
LC Pendiente, %
LC Profundidad de la capa freática, m
<i>Suelo</i>
LC Drenaje, siete clases
LC Textura, 23 clases
LC Materia orgánica, %
LC pH(H ₂ O)
LC Capacidad de intercambio catiónico, meq/100g
<i>Clima</i>
LC Precipitación media mensual, mm
LC Temperatura media mensual, °C
LC Latitud, °
<i>Cultivo</i>
MC Tipo de utilización de tierra, 11 clases
MC Rotación de cultivos, cuatro clases
MC Utilización de tierra en pendientes, dos clases
<i>Fertilizantes</i>
MC Utilización de fertilizantes con P, tres clases
MC Utilización de fertilizantes con N, tres clases
MC Utilización de estiércol, dos clases
MC Utilización de residuo industrial / urbano, dos clases
MC Fecha de fertilización, dos clases
<i>Pesticidas</i>
MC Utilización de pesticidas, dos clases
MC Persistencia de pesticidas, clases
MC Toxicidad (LD-50) de pesticidas, clases
MC Métodos de aplicación, dos clases
<i>Otras prácticas de cultivo</i>
MC Drenaje artificial, dos clases
MC Nivel artificial del agua subterránea, dos clases
MC Método de laboreo, dos clases

* Land characteristics.

** Manage characteristics.

CUADRO 5. EJEMPLO SALIDA DE LA APLICACIÓN WEB DEL MODELO PANTANAL

	Clase y subclase de riesgo de contaminación			
	Fósforo	Nitrógeno	Metales pesados	Pesticidas
v. pot.	V3	V2	V2	V4g
v. man.	V3	V1	V1	V1
v. real	V4	V1	V1	V2g

La *vulnerabilidad potencial* considera el riesgo biofísico o intrínseco de que la capacidad del suelo pueda ser dañada en una o más de sus funciones ecológicas. La *vulnerabilidad de manejo* considera el riesgo a la degradación que conlleva un tipo de uso y manejo del suelo. La *vulnerabilidad real* considera simultáneamente los riesgos biofísicos y de manejo para una unidad de campo determinada.

Definición de clases y subclases

Clases de vulnerabilidad potencial y real: V1=Nula; V2=Baja; V3=Moderada; V4=Alta.

Clases de vulnerabilidad por manejo: V1=Nula; V2=Baja; V3=Moderada; V4=Alta; V5=Extrema.

Subclases: Vulnerabilidad potencial: f=Fijación de fosfato; r=Escorrentía superficial; l=Grado de lavado; c=Capacidad de adsorción catiónica; d=Desnitrificación; o=Adsorción de pesticidas; g=Biodegradación.

Vulnerabilidad por manejo: i=Manejo de fosfato / arsénico; e=Manejo relacionado con la erosión; j=Manejo de nitrógeno; q=Manejo de metales pesados; t=Manejo de pesticidas.

CUADRO 6. PRESENTACIÓN DE LAS CLASES DE RIESGO DE CONTAMINACIÓN POTENCIAL DE LAS PRIMERAS 15 UNIDADES DE EVALUACIÓN DEL ESCENARIO DE EVALUACIÓN ANDALUCÍA

MICROLEIS: MODELO PANTANAL
Escenario base: Andalucía
Clases de vulnerabilidad potencial a la contaminación

Unidad de evaluación	Localización	Tipos de vulnerabilidad de la tierra			
		P*	N*	M.p.*	Pest.*
F-AL01	Greda- Roja Almanzaro-alto	V1	V2r	V3r	V4or
F-AL02	Pardo-calizo Almanzaro bajo	V1	V2c	V3c	V3g
F-AL03	Rendsina Andarax-Gabor	V1	V2c	V3c	V3g
F-AL04	Salino Campo-Dalías	V1	V3cd	V3cr	V3g
F-AL05	Volcánico Campo-Níjar	V2	V2c	V3c	V3g
F-AL06	Desértico Campo Tabernas	V3r	V2c	V3c	V3g
F-AL07	Pardo-calizo Los Vélez	V1	V3c	V4cr	V3g

continúa

CUADRO 6. PRESENTACIÓN DE LAS CLASES DE RIESGO DE CONTAMINACIÓN POTENCIAL ...
(finaliza)



MICROLEIS: MODELO PANTANAL					
Escenario base: Andalucía					
Clases de vulnerabilidad potencial a la contaminación					
Unidad de evaluación	Localización	Tipos de vulnerabilidad de la tierra			
		P*	N*	M.p.*	Pest.*
F-AL08	Aluvial Río-Nacimiento	V2	V3cd	V3c	V3g
F-CA01	Tierra-negra Campiña	V3r	V4cdr	V4cr	V2r
F-CA02	Bujeo-blanco Campo-Gibraltar	V1	V3cd	V3cr	V1
F-CA03	Rojo Costa	V2	V3cd	V4cr	V4g
F-CA04	Tierra-parda Janda-Aljibe	V1	V4cr	V4cr	V4r
F-CA05	Albariza Rincón-Jerez	V3	V4l	V4cr	V2
F-CA06	Terra-rossa Sierra	V1	V4r	V4r	V3r
F-CO01	Albariza Campiña-alta	V4r	V4lr	V4cr	V4r

P: Fósforo

N: Nitrógeno

M.p.: Metales pesados

Pest.: Pesticidas

Definición de clases y subclases

Clase V1: Nula. Esta unidad no es vulnerable a la degradación química por las actividades agrícolas, y los riesgos de contaminación del suelo y capa freática son muy bajos. Los suelos incluidos en esta clase tienen una capacidad muy alta de retención de compuestos agroquímicos y el lavado de éstos es muy bajo. Estos suelos se desarrollan en formaciones del terciario con material original rico en carbonatos, o en posiciones fisiográficas más recientes con material original profundo y de textura pesada. La intensidad de manejo no se considera como criterio determinante y cualquier sistema de cultivo puede ser implementado. Clase V2: Ligera. Esta unidad presenta baja vulnerabilidad a los compuestos agroquímicos en términos de contaminación de suelo y capa freática. La capacidad de carga de contaminantes en los suelos de esta clase es alta, y el lavado oscila de bajo a moderado. Los cambios de vulnerabilidad debidos a los diversos sistemas de manejo pueden ser importantes. Clase V3: Moderada. Esta unidad presenta una vulnerabilidad moderada a los compuestos agroquímicos en relación con la contaminación del suelo y la capa freática. La capacidad de carga de contaminantes en los suelos representativos es baja, y el lavado oscila de moderado a elevado. Un sistema de cultivo intensivo puede tener un impacto negativo importante en el ecosistema. Clase V4: Severa. Esta unidad es muy vulnerable a la degradación química debido a actividades agrícolas, y los riesgos de contaminación del suelo y capa freática son elevados. La capacidad de carga de compuestos agroquímicos por los suelos de esta clase es muy baja, y el lavado de los mismos es muy alto.

En el cuadro 6 se muestran los resultados de la vulnerabilidad de 15 unidades de evaluación bajo el escenario de evaluación Andalucía.

Algunos suelos arcillosos con alta capacidad de retención y baja permeabilidad son también muy vulnerables debido a la elevada concentración de contaminantes en superficie. El manejo y cantidad de agua de riego, así como los abonos y pesticidas, deben ser cuidadosamente aplicados.

En el cuadro 7 se muestra un ejemplo salida de la aplicación en línea del modelo Arenal.

Cuadro 7. Ejemplo salida de la aplicación del modelo Arenal

Resultados de la evaluación: V2lsc	
Clases de vulnerabilidad	Subclases: factores de clasificación
Clase V1 = Ninguna	l = Forma del terreno
Clase V2 = Ligera	s = Perfil de suelo
	c = Condiciones climáticas

Conclusiones y recomendaciones

1. Raizal, Pantanal y Arenal son modelos completamente operativos en la evaluación del riesgo de erosión hídrica, específica de contaminación y global de contaminación, respectivamente, validados en un entorno mediterráneo de aplicaciones.

Sería muy recomendable el uso de esta metodología en otros escenarios de aplicación (diferentes condiciones climáticas y de manejo a las formuladas) mediante diversos análisis de sensibilidad, calibración y validación.

2. Las aplicaciones web de estos modelos ofrecen todas las ventajas de disponibilidad y facilidad para el usuario, permitiendo las evaluaciones de tierras dentro de un sistema de apoyo a la planificación del territorio.

FUENTES CONSULTADAS

- Bouma, J., et al. (1993). "Using Expert Systems and Simulation Modelling for Land Evaluation at Farm Level: a Case Study from New York State". *Soil Use and Management*, 9, 131-139.
- Crompvoets, J. W., F. Mayol y D. de la Rosa (1994). "An Expert Evaluation System for Assessing Agricultural Soil Erosion Vulnerability", en M. D. Ronsevell y P. J. Loveland (eds.). *Soil Responses to Climate Change*. Berlín: Springer-Verlag (NATO ASI Series), 199-204.
- De la Rosa, D. (2008). *Evaluación agroecológica de suelos para un desarrollo rural sostenible*. Madrid: Mundi-Prensa.
- , (coord.) (2003). *MicroLEIS: Sistema integrado para la transferencia de datos y evaluación agroecológica de tierras. Con especial referencia a regiones mediterráneas* [en línea]. Disponible en: <http://www.microleis.com>
- , J. Crompvoets y F. Mayol (1995). "Risk Modelling: Land Vulnerability Expert System", en P. Loveland (ed.). *ACCESS: Agroclimatic Change and European Soil Suitability (I)*. Bruselas (Reporte técnico), 69-95.
- , et al. (1996). "Land Vulnerability Evaluation and Climate Change Impacts in Andalucía, Spain: Soil Erosion and Contamination". *International Agrophysics*, 10, 225-238.
- , (2002). "A Multilingual Soil Profile Database (*SDBm Plus*) as an Essential Part of Land Resources Information Systems". *Environmental Modelling and Software*, 17, 721-730.
- , (2004). "A Land Evaluation Decision Support System (MicroLEIS DSS) for Agricultural Soil Protection: with Special Reference to the Mediterranean Region". *Environmental Modelling and Software*, 19, 929-942.
- , (2009). "Soil-specific Agro-ecological Strategies for Sustainable Land Use – A Case Study by Using *MicroLEIS DSS* in Sevilla Province (Spain)". *Land Use Policy*, 26, 1055-1065.
- Dent, D. y A. Young (1981). *Soil Survey and Land Evaluation*. Londres: George Allen and Unwin, 278 p.
- Ebert, U. y H. Welch (2004). "Meagniful Environmental Indices a Social Choice

- Approach". *Journal Environmental Economics and Management*, 47, 270-283.
- FAO (1976). *Soils Bulletin 32. A Framework for Land Evaluation*. Roma: Food and Agriculture Organization.
- Flanagan, D. C. y M. A. Nearing (eds.) (1995). *USDA-Water Erosion Prediction Project (WEPP). Hillslope Profile and Watershed Model Documentation*. Indiana: United States Department of Agriculture (USDA)-Agricultural Research Service (NSERL Report 10).
- Klingebiel, A. A. y P. H. Montgomery (1961). *Land Capability Classification*. Washington: USDA-Soil Conservation Services (Agricultural Handbook 210).
- Loveland, P. (ed.) (1995). *ACCESS: Agroclimatic Change and European Soil Suitability (I)*. Bruselas (Reporte técnico).
- Riquier, J., D. L. Bramao y J. P. Cornet (1970). *A New System of Soil Appraisal in Terms of Actual and Potential Productivity (First Approximation)*. Roma: FAO (Mimeo AGL:TESR/7016).
- Sánchez, P. A., W. Couto, y S. W. Buol (1982). "The Fertility Capability Soil Classification System: Interpretation, Applicability and Modification". *Geoderma*, 27, 283-309.
- Stigliani, W. M. (ed.) (1991). *Chemical Time Bombs: Definition, Concepts and Examples*. Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis (Exec. Rep. 16).
- USBR (1953). *Bureau of Reclamation Manual (5). Irrigated Land Use. Part 2, Land Classification*. Washington: Department of the Interior, 132 p.