

LA HIDROCLIMATOLOGÍA E IMPACTOS AMBIENTALES: *degradación ambiental y desertificación*

Prof. Dr. Rafael Boluda
Universitat de Valencia – España
boluda@uv.es.

Prof. Dr. Carlos Gil de Carrasco
Universidad de Almería - España.
cgil@ual.es.

Prof. Dr. Vladia Pinto Vidal de Oliveira
Universidade Federal do Ceará.
vlpinto@ufc.br

RESUMEN

Actualmente se asume que el proceso de la desertificación es el resultado de la combinación de un número considerable de factores climáticos, geográficos, topográficos, hidrológicos, edáficos, bióticos que interactúan con las actividades humanas negativamente sobre el medio ambiente a diferentes escalas. Este proceso constituye un problema medioambiental de primera magnitud que se acentúa y se agrava en las zonas semiáridas. El suelo es un elemento muy importante de los ecosistemas que cumple una serie de funciones básicas edioambientales y socio-económicas que está a su vez influenciado por los factores ambientales. En efecto, de la misma manera que determinados cambios climáticos influenciados por la actividad humana provocan el proceso de la desertificación, los cambios en las propiedades del suelo causados por la intervención humana conllevan mecanismos de la pérdida de sus funciones ecológicas básicas, siendo un síntoma claro de su degradación, de la pérdida de la calidad ambiental y de la desertificación en extensas áreas del Planeta. En el presente trabajo se sostiene la idea de que los estudios dedicados a la evaluación de la degradación y la calidad del suelo a partir de sus indicadores, es una metodología válida para caracterizar áreas degradadas susceptibles al proceso de la desertificación, así como para promover acciones que ayuden a combatirla.

Palavras chave: desertificación, zonas semiáridas.

ABSTRACT

At the moment it is assumed that the process of the desertification is the result of the combination of a considerable number of climatic, geographical, topographical, hydrological factors, edaphics, biotics that interact with the human activities negatively on the environment to different scales. This process constitutes an environmental problem of first magnitude that is accentuated and it is increased in the semi-arid areas. The floor is a very important element of the ecosystems that completes a series of environmental and socio-economic basic functions that is in turn influenced by the environmental factors. Indeed, in the same way that certain climatic changes influenced by the human activity cause the process of the desertification, the changes in the properties of the soil caused by the human intervene bear mechanisms of the loss of their basic ecological functions, being a clear symptom of their degradation, of the loss of the environmental quality and of the desertification in extensive areas of the Planet. Presently work is sustained the idea that the studies dedicated to the evaluation of the degradation and the quality of the soil starting from its indicators, it is a valid methodology to characterize susceptible degraded areas to the process of the desertification, as well as to promote actions that you can help to combat it.

Key words: desertification, semi-arid areas.

Introducción

Como es sabido, cambios climáticos dramáticos acaecidos en el pasado, han favorecido, en ciertas áreas del planeta, la conversión de tierras boscosas en desiertos y viceversa. Esto ocurrió a diferente escala cronológica, es decir, hace entre centenares y miles de años. Un ejemplo serían las últimas glaciaciones (BOLLE, 1999; BERGER, 1991). También es conocido el hecho de la desaparición de diferentes civilizaciones por cambios climáticos, sobreexplotación de los recursos y degradación del suelo. Uno de los casos más conocidos es el de Mesopotamia, la tierra que se encuentra entre los ríos Tigris y Éufrates

y que ha sido el hogar de numerosas civilizaciones a lo largo de la historia. El 18 de mayo de 2001, los científicos del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) hicieron públicos los resultados de un estudio que muestra que, en las últimas décadas, entre el 85 y el 90% de las marismas que se encontraban en las proximidades de la desembocadura de los dos ríos han desaparecido, convertidas en un desierto como consecuencia de la construcción de presas y del drenaje de estas zonas para almacenar agua que permita obtener suelos dedicados al cultivo. Entre 1925 y 1975, el desierto del Sahara creció, sobre todo hacia el sur, en cerca de 645.000 km² y, en algunas zonas de Sudán, el límite meridional del desierto se trasladó 310.000 km² entre 1958 y 1975. Este avance fue más importante en la década de los 60 y principios de los 70, a causa de los períodos de intensa sequía que afectaron la zona del Sahel. Las Naciones Unidas estimaron en 1991 que la erosión destruye entre el 0,2 y el 0,5% de las tierras de cultivo del mundo cada año. Sin embargo, al mismo tiempo que la degradación del suelo avanzaba a pasos de gigante, la producción mundial de alimentos continuaba aumentando gracias a la combinación del uso de fertilizantes, la expansión del regadío y la aparición de nuevas variedades de cereales más productivas, avances que han enmascarado los efectos de la erosión y degradación de los suelos (RUBIO, 2000; YASSOGLOU, 2002).

Hoy se asume que el proceso de la **desertificación** es el resultado de la combinación de un número considerable de factores climáticos, geográficos, topográficos, hidrológicos, edáficos, bióticos que interactúan con las actividades humanas negativamente sobre el medio ambiente a diferentes escalas. Este proceso constituye un problema medioambiental de primera magnitud que se acentúa y se agrava en las zonas semiáridas. Por ello, el estudio de la desertificación es una de las aproximaciones más utilizadas para evaluar la degradación de las zonas semiáridas y en los últimos 20 años ha sido motivo de la realización de muchos estudios científicos destacando los llevados a cabo en la Europa Mediterránea y África. La UNEP (1992) define la desertificación como el proceso de degradación de los ecosistemas terrestres resultante de múltiples factores (relieve, suelo, hidrología, vegetación y actividad biológica), incluyendo las variaciones climáticas y las actividades humanas en áreas de clima árido, semiárido y seco subhúmedo. No obstante, algunos autores critican el hecho de que los programas llevados a cabo durante este tiempo para paliar los efectos de la degradación ambiental y contra la desertificación, en sus respectivos países, no han conseguido los objetivos propuestos (CHEN Y TANG, 2005); por lo que se hacen necesarios cambios de estrategias y más estudios a largo plazo.

El suelo es un elemento muy importante de los ecosistemas que cumple una serie de funciones básicas medioambientales y socio-económicas (Blum, 1990-2002; Boluda, 1993-99; Recatalá et al., 2002) que está a su vez influenciado por los factores ambientales. Así pues, el estudio de la degradación y calidad del suelo puede ser una aproximación válida para evaluar el proceso de desertificación (SÁNCHEZ et al., 1994-97-98; MOLINA et al., 1999). En efecto, de la misma manera que determinados cambios climáticos influenciados por la actividad humana provocan el proceso de la desertificación, los cambios en las propiedades del suelo causados por la intervención humana conllevan mecanismos de la pérdida de sus funciones ecológicas básicas, siendo un síntoma claro de su degradación, de la pérdida de la calidad ambiental y de la desertificación en extensas áreas del Planeta (YU et al., 1998; SÁNCHEZ et al., 2000). El objetivo de este trabajo es sostener la idea de que los estudios dedicados a la evaluación de la degradación y la calidad del suelo a partir de sus indicadores, es una metodología válida para caracterizar áreas degradadas susceptibles al proceso de la desertificación, así como para promover acciones que ayuden a combatirla. En efecto, muchos autores utilizan esta aproximación para evaluar la calidad ambiental y luchar contra la desertificación de la tierra con vistas al desarrollo sostenible (BLUM, 1990-2002; COLOMER et al., 1995; DORAN Y PARKIN, 1994-96; DORAN et al., 1997; CONFORTH, 1999; SÁNCHEZ et al., 2000; JONSON et al., 2001; RECATALÁ et al., 2002; SHRESTHA et al., 2005 entre otros).

Degradación, Calidad del Suelo y Desertificación

La UNEP en 1982 define la degradación del suelo como la disminución de la capacidad actual y/o

potencial que tiene el suelo para producir bienes o servicios debido al resultado de uno o más procesos degradativos.

La pérdida de la productividad de los ecosistemas debida a la degradación del suelo por un manejo inadecuado se estimó, a nivel mundial en el año 1996, en 272 millones de Mg de alimentos por año. Es urgente el uso de tecnologías y manejo apropiado del suelo para evitar su degradación y la pérdida de su productividad (LAL, 2000).

Estudios recientes relacionados con la degradación de las zonas áridas y semiáridas y las posibilidades del suelo de actuar como sumidero de C para paliar el aumento de CO₂ en la atmósfera, muestran la necesidad de evitar la degradación del suelo ya que su potencial para secuestrar el C es de gran importancia para el desarrollo de mecanismos que actúen como sumideros de este gas del efecto invernadero (CDM, Clean Development Mechanism) (LAL, 2002-04a-04b).

La degradación del suelo puede ser física, química y biológica. Entre los procesos de degradación física más importantes en las zonas áridas y semiáridas podemos destacar la erosión hídrica y la erosión eólica. Dentro de la degradación química la acidificación, salinización, alcalinización, contaminación y laterización. Y en el tercer tipo, cabe destacar la pérdida de la actividad biológica relacionada muy directamente con la pérdida de la materia orgánica del suelo y las actividades humanas.

La **erosión hídrica** constituye el principal proceso de degradación que afecta a los suelos (RUBIO et al., 1990; RUBIO, 2000), y representa una de las formas más completas de degradación que engloba tanto la degradación física del suelo como la química y la biológica. Tradicionalmente se ha asociado, junto con la deforestación, como uno de los mecanismos más graves que favorecen la desertificación de las tierras áridas y semiáridas. Los problemas de erosión de suelos pueden considerarse de los más graves por su repercusión sobre el paisaje, la productividad vegetal o el ciclo hidrológico. La erosionabilidad del suelo, o susceptibilidad del mismo a los procesos erosivos, depende de una serie de propiedades intrínsecas entre las que destacan los contenidos en materia orgánica, tipo de textura, y también la forma y estabilidad de los agregados que resultan de la unión de las distintas partículas del suelo. De estos tres factores destaca de manera especial la materia orgánica del suelo ya que su presencia va a determinar la forma y estabilidad de los agregados y en suma la resistencia del suelo a ser erosionado. Además, la erosionabilidad de un suelo puede ser modificada por diversas situaciones de impacto ambiental. Así, el fuego destruye la materia orgánica y hace disminuir la estabilidad de los agregados. Las partículas finas (arcillas y limos) que los constituían producen un efecto de sellado superficial que dificulta la infiltración, y aumenta el agua que corre por la superficie (escorrentía) erosionando el suelo. La teledetección y el estudio de la reflectividad del suelo entre otras técnicas y parámetros son útiles para la evaluación y el seguimiento de este tipo de degradación del suelo (BOLUDA et al., 1993; SOBRINO et al., 1993-97; SHRESTHA et al., 2005).

La eliminación de la vegetación para la puesta en cultivo altera el equilibrio natural, dejando la superficie del suelo expuesta a los agentes erosivos e interrumpiendo el aporte de restos vegetales al suelo. El suelo recibe menos aportes por parte de las plantas cultivadas a la vez que se produce una rápida mineralización del humus, favorecida por la acción de laboreo y por las altas temperaturas. Se inicia así un proceso de disminución progresivo del contenido en materia orgánica que provoca un rápido deterioro de la fertilidad y estructura del suelo, con lo cual se disminuye la infiltración y aumenta la escorrentía incentivándose los procesos erosivos. En general, cualquier fenómeno que favorezca la escorrentía produce un aumento en la erosionabilidad. El arrastre en las capas superficiales del suelo deja al descubierto los horizontes inferiores, que suelen tener unas características más desfavorables. Así, en el caso de la sierra de Uruburetama en el semiárido brasileño, Oliveira y Carrasco (2003) han puesto de manifiesto que la destrucción del bosque en la Mata Seca provoca la formación de costras ferruginosas (Figura 01) debido al aumento de la sequedad del suelo y la mineralización rápida de la materia orgánica; asimismo, el pisoteo del ganado en determinados Planosoles desencadena la destrucción de la estructura del suelo compactando el horizonte subsuperficial, todo lo cual favorece la escorrentía y la erosión hídrica.

El problema de la **salinización** de los suelos, es decir, de enriquecimiento en sales, pueden estar provocados por procesos de salinización secundaria, como son: las prácticas de riego en condiciones inadecuadas de drenaje, el empleo de aguas con elevados contenidos en sales, generalmente subterráneas

o provenientes de efluentes urbanos e industriales, y el manejo de fracciones de lavado bajas. El mecanismo de salinización primaria es inherente al propio suelo, y conlleva la presencia de sales solubles precipitadas, que pueden actuar como centros de redistribución de las mismas, llevando a la acumulación de sales en el suelo.



Figura 01 - Foto de la formación de costras ferruginosas desarrollando bajo cultivo de frutales en antigua área de Mata Seca en la Sierra de Uruburetama.

La contaminación supone otro de los aspectos más importantes en la degradación química de los suelos. La calidad de un suelo, es decir, la capacidad para desarrollar una serie de funciones, puede verse afectada negativamente por la contaminación. La contaminación puede definirse como el aporte de un elemento o de un compuesto químico desde el exterior del lugar, que provoca un aumento respecto a la concentración inicial, lo que produce efectos desfavorables, tanto por su acción desactivadora, como si provocan un aumento excesivo de la actividad (PORTA et al., 2003). La sobreexplotación del suelo con fines productivos y el uso excesivo de fertilizantes y productos fitosanitarios se traduce en una pérdida de aptitud para el uso (GIMENO-GARCÍA et al., 1996; BOLUDA et al., 1998; GAMÓN et al., 2003; GIL et al., 2004) o lo hace inutilizable a no ser que se le someta a un tratamiento previo.

El proceso de la desertificación se asocia también con la degradación biológica del suelo porque los microorganismos intervienen directamente en la formación de sus agregados y por tanto, pueden ser útiles en la rehabilitación de zonas afectadas por la desertificación (ALLEN, 1989; AZCÓN y BAREA, 1997; IRANZO et al., 2001; REQUENA et al., 2001).

Los cambios operados en la sociedad actual han hecho aumentar considerablemente los tipos de residuos, (definiendo estos como materiales generados en actividades de producción y consumo, que no alcanzan ningún valor económico), su cantidad y peligrosidad, de manera que resulta ineficaz la práctica de abandonarlos o incorporarlos al suelo de forma incontrolada.

Por todo lo anterior, a partir de los años 80, tanto en Europa como en Estados Unidos, hay un cambio de situación y percepción sobre el suelo, que pasa de ser tratado de una dimensión exclusivamente de productividad, en la que se confiere importancia a sus cualidades para el cultivo y la producción, a ser considerado bajo una dimensión más amplia, en la que se le percibe como un elemento del ecosistema, que tiene más funciones, además de la de ser soporte y fuente de nutrientes de las plantas y cultivos. En síntesis, estas funciones son (BLUM, 1990-2002; BOLUDA, 1993-99):

- PRODUCTIVIDAD: producción de biomasa, suministrando alimentos, energía renovable y materias

primas como base para la vida humana y animal;

- MANTENIMIENTO DE LA CALIDAD AMBIENTAL, ya que actúa como filtro, medio tampón y transformador para proteger el medio ambiente de la contaminación, especialmente a las aguas subterráneas y a la cadena alimentaria;

- PRESERVACIÓN Y MEJORA DE LA SALUD de plantas, animales, y en último término la salud humana;

- SOPORTE FÍSICO para el desarrollo de las actividades socioeconómicas e infraestructuras;

- FUENTE DE MATERIAS PRIMAS, suministrando agua, arcilla, arena, gravas, minerales y otros;

- MEDIO PROTECTOR DE LA HERENCIA CULTURAL que contiene en forma de evidencias arqueológicas y paleontológicas.

En definitiva, las tres funciones básicas que deben ineludiblemente ser consideradas y tratadas en la evaluación de la calidad del suelo son la productividad, el mantenimiento de la calidad ambiental y preservación y mejora de la salud de las plantas, animales, y la salud humana.

Todavía no existe un consenso claro sobre el concepto de calidad del suelo, si bien cada vez es más aceptado el concepto propuesto por la SSSA (Sociedad Americana de Ciencia del Suelo) (1995) “La capacidad de un tipo específico de suelo para funcionar, dentro de los límites de ecosistemas naturales o gestionados, en el sostenimiento de la productividad vegetal y animal, en el mantenimiento o mejora de la calidad del aire o agua, y en el soporte de la calidad humana y hábitat”. En este contexto, la calidad pasa de ser sinónimo de productividad a ser un reflejo del estado general medio ambiental o, en otras palabras, a ser el exponente de la capacidad del suelo para funcionar correctamente en el presente y en el futuro.

Precisamente, la ventaja del concepto propuesto por la SSSA estriba en el reconocimiento explícito de las funciones básicas del suelo en el medio ambiente. Así pues, para evaluar la degradación del suelo es imperativo determinar la calidad de un suelo. Para ello deberemos plantearnos dos estrategias. La primera, será el seleccionar los parámetros capaces de expresar la calidad del suelo, y la segunda, obtener referencias que permitan cuantificar el nivel, o grado, de calidad del suelo. Centrándonos en el primer punto, si se consideraran las funciones ecológicas del suelo descritas anteriormente, su calidad debería depender de un gran número de propiedades físicas, químicas y biológicas. Los mejores indicadores serán aquellos parámetros que nos señalen las propiedades del suelo más sensibles a la degradación medioambiental, lo cual está directamente relacionado con el proceso de desertificación (YU et al., 1998; CORNFORTH, 1999; MOLINA et al., 1999; SÁNCHEZ et al., 2000; JOHNSON et al., 2001; CHEN y TANG, 2005; SHRESTHA et al., 2005).

Indicadores de la Degradación del Suelo y de la Desertificación

Considerando los conceptos de degradación y calidad del suelo, sus funciones básicas, así como sus conexiones con el proceso de la desertificación, anteriormente expuestos, parece posible definir indicadores para funciones específicas del suelo desde aspectos como producción de biomasa, capacidad de filtrado, poder amortiguador y soporte de las actividades humanas, reserva genética, desarrollo de infraestructuras y fuente de materias primas. Analizando todas estas funciones, parece claro que podríamos distinguir diferentes parámetros del suelo desde el punto de vista de la evaluación de la calidad del suelo para una función específica. Sin embargo, el problema deriva de que el suelo realiza sus funciones simultáneamente y no separadamente. Así pues, la calidad del suelo debe ser tomada en cuenta bajo el punto de vista del manejo y consideraciones ambientales, específicas para un tipo de suelo y bajo circunstancias concretas para un uso dado. Por ello, y teniendo en cuenta la existencia de un número elevado de diferentes unidades

de suelos a pequeña escala, esta aproximación debe llevarse a término con cuidado (BLUM, 2002).

Para evaluar la calidad del suelo teniendo en cuenta todas sus funciones, se utilizan los indicadores de calidad. En términos generales, un indicador es un parámetro o conjunto de parámetros capaz de ser medido cuantitativamente, que relaciona condiciones, cambio de calidad o cambio de estado de los elementos de un ecosistema. Proveen información simple y sintética del estado y las tendencias de procesos medioambientales complejos que es más significativa que aquella asociada a un solo parámetro. Así pues, los indicadores de la desertificación para el suelo serán aquellos atributos del suelo que se utilizan para analizar y evaluar cómo el proceso de desertificación afecta a su calidad ante una situación dada, definida por aquellas funciones del suelo que tienen más relevancia en dicha situación.

Los indicadores de calidad medioambiental e índices se han incrementado dada su aplicación para el desarrollo de políticas y toma de decisiones. Desafortunadamente, la aplicación de algunos índices ha sido desarrollada con poca consideración y muchos de ellos resultan redundantes en sus correlaciones (YU et al., 1998). Otro problema con el que nos encontramos a la hora de recopilar diferentes parámetros indicadores ambientales que permitan la evaluación y el seguimiento del proceso de la desertificación, es la falta de integración y estandarización. Así, los indicadores utilizados son dispares. En algunos casos, esto se debe a que factores como la variabilidad climática o la diversidad de la vegetación, condicionan la disponibilidad de agua y/o la cantidad de materia orgánica presente en el suelo, etc. Dado el alto grado de posibilidades, en razón del gran número de propiedades susceptibles de ser investigadas, para la selección del índice más apropiado debería tenerse en cuenta una serie de condiciones. En general se admite que los indicadores deben ser sencillos, fáciles de medir, cuantitativos, sensibles a los cambios y directamente relacionados con las funciones ecológicas básicas que desempeña el suelo (YU et al., 1998; CORNFORTH, 1999; RECATALÁ et al., 2002).

Los indicadores para la identificación y el seguimiento del proceso de desertificación deben cumplir las siguientes condiciones:

- Ser sensibles y responder a las predicciones debidas a las variaciones en el manejo del medioambiente;
- Que las propiedades seleccionadas representen los diferentes procesos edáficos susceptibles del proceso de desertificación que actúan en el suelo;
- Que los indicadores elegidos sean aquellos que actúan en los pasos finales de la degradación del suelo;
- Que sean científicamente válidos;
- Fáciles de medir y económicos;
- Accesibles a los diferentes especialistas;
- Componentes de los datos existentes;
- Tienen que mostrar disponibilidad para soportar la toma de decisiones; y
- Aceptados internacionalmente.

Una vez considerados los criterios que deben cumplir los indicadores, el siguiente paso es elegir aquellos atributos del suelo que deben tenerse en cuenta para evaluar el proceso. Doran y Parkin (1996), proponen un conjunto de propiedades del suelo inherentes a los tres tipos de degradación que se pueden encontrar. Así, los parámetros físicos incluyen: granulometría, contenido de agua y densidad aparente. Los químicos: pH, materia orgánica, CE, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, P extraíble, C total, y N total. Y como parámetros biológicos: C y N de la biomasa microbiana y N potencialmente mineralizable. Existe un mínimo de atributos que pueden ser requeridos en una situación dada. Para obtener ese mínimo de parámetros (“minimum data set”) se utilizan técnicas estadísticas. De entre ellas el análisis de componentes principales (CPA) es una buena aproximación para resolver esta cuestión (YU et al., 1998).

Doran y Parkin (1994) describen la forma de obtener un índice de calidad del suelo que puede ser utilizado para obtener información acerca de: 1) producción sostenible, 2) calidad medioambiental y 3) salud de animales y hombre. Proponen un índice de calidad constituido por seis elementos:

Dónde, SQE1 es la producción de alimentos, SQE2 es la erosión, SQE3 la calidad del agua subterránea, SQE4 es la calidad del agua superficial, SQE5 es la calidad del aire, y SQE6 es la calidad de los alimentos.

De acuerdo con estos autores, la ventaja de esta aproximación es que las funciones del suelo pueden ser evaluadas sobre la base de criterios establecidos para cada elemento de un ecosistema dado (DORAN et al., 1997).

Finalmente, hay que señalar que los relativamente recientes avances tecnológicos en los campos de la informática, GPS, teledetección y sistemas de información geográfica ofrecen nuevas oportunidades para la elaboración de estudios cartográficos así como para la evaluación y el seguimiento de la desertificación en las zonas vulnerables o afectadas por el proceso. No obstante, es necesario obtener indicadores fiables para unir la información proporcionada por los satélites y explotar todas sus posibilidades.

Consideraciones Finales

Los suelos cuentan en su haber con una prolongada e intensa presión humana, que junto con los factores formadores: clima, material geológico, topografía, organismos y tiempo, han intervenido en la configuración de sus características actuales. Los suelos de las áreas áridas y semiáridas, se sitúan entre los más intensamente utilizados de los diferentes hábitats terrestres, y en algunos casos, el saldo final ha sido su pérdida irreversible.

Estos suelos, afectados por procesos de desertificación, se desarrollan en zonas con periodos muy secos durante una gran parte importante cada año. Como consecuencia, la falta de humedad en el suelo, o los bajos niveles de la misma, constituye probablemente el factor más importante en la génesis y degradación de los mismos.

Dentro de este contexto, y con la finalidad básica de analizar esta problemática en su conjunto existe una corriente científica en los últimos 10 años encaminada a la utilización de indicadores de la degradación y de la calidad del suelo para la elaboración de metodologías y modelos capaces de proporcionar herramientas útiles para paliar y luchar contra el proceso de la desertificación en las zonas más vulnerables.

La utilización de los indicadores de calidad contribuye a: la obtención de información relevante del medioambiente y del suelo para el análisis y evaluación de su calidad; la unificación de los esfuerzos para mantener y restaurar la calidad del suelo; la evaluación de las prácticas de manejo del suelo y sus acciones; el análisis de las relaciones entre la calidad del suelo y otros recursos naturales, y el establecimiento de las estrategias más adecuadas para el manejo del suelo y la toma de decisiones.

Como se desprende de lo dicho a lo largo de este trabajo, y teniendo en cuenta el carácter multidisciplinar del tema, las metodologías existen pero queda mucho por hacer, siendo necesario promover y adoptar medidas y programas científicos y socio-políticos para que se lleven a cabo planes efectivos en la lucha contra la degradación del suelo y la desertificación. Con la realización de estos planes, se deben alcanzar objetivos que favorezcan el desarrollo sostenible y aseguren el mantenimiento del recurso suelo y en suma la producción de alimentos y la calidad medioambiental para las generaciones futuras.

Bibliografía

ALLEN, E. B. The restoration of disturbed arid landscapes with special reference to mycorrhizal fungi, **Journal Arid Environment**, 1989. 17: 279-286.

AZCÓN, R.; BAREA, J. M. Mycorrhizal dependency of a representative plant species in Mediterranean shrublands (*Lavandula spica* L.) as a key factor to its use for revegetation strategies in desertification-threatened areas. **Applied Soil Ecology**, 1997. 7: 83-92.

BERGER, A. Milankovitch effects on long-term climatic change. 29-46. En: Climate change and impacts: A general introduction. FANTECHI, R.; MARACCHI, G.; ALMEIDA-TEIXEIRA, M. E. (eds). **Comission**

of the European Communities. Luxemburgo, 1991.

BLUM, W. E. H. The challenge of soil protection in Europe. **Environmental Conservation**. 1990. 17: 72-74.

BLUM, W. E. H. Soil quality indicators based on soil functions. I: 149-152. En: RUBIO, J. L.; MORGAN, R. P. C.; ASINS, S.; ANDREU, V. (eds). **Man and soil at the third millenium**. Geoforma Ediciones-CIDE. Logroño. Vol I, 2002. 1115 pp.

BOLLE, H. J. Impacte of climate variability on desertification processes. I, 41-86. En: **Mediterranean Desertification. Research results and policy implications**. BALABANIS, P.; PETER, D.; GHAZI, A.; TSOGAS, M. (eds). European Comission. Directorate-General. Bruselas, 1999.

BOLUDA, R. La contaminación del suelo. 394-433. En: LLOPIS, A. (ed). **Medioambiente y salud**. Fundación Cañada Blanch. Valencia, 1993.

BOLUDA, R. La contaminación del suelo. 196-231. EN: SANCHO, J.; SORIANO, M. A.; PÉREZ, R.; ESTEFANO, A. (eds). **Curso de conservación y degradación de suelos. Indicadores de la degradación: suelo, clima y vegetación**. U P V. Valencia, 1999.

BOLUDA, R.; GÍMENO-GARCÍA, E.; SÁNCHEZ, J. An example of a "hot spot" for a chemical time bomb: Albufera natural park (Valencia, Spain). Preliminary studies. 385-394. En: **The soil as a strategic resource: Degradation processes and conservation measures**. RODRÍGUEZ, A., JIMÉNEZ, CC., TEJEDOR, M.L. (eds). Geoforma Ediciones. Logroño, 1998.

BOLUDA, R.; COLOMER, J.M.; MORELL, C.; SÁNCHEZ, J. Estudio de las curvas de reflectividad y su relación con las propiedades de los suelos en una zona semiárida (Castilla La Mancha, España). 3:1248-1255. En: **El estudio del suelo y de su degradación en relación con la desertificación**. GALLARDO, J. F. (ed). SECS-MAPA. Salamanca, 1993.

CHEN, Y.; TANG, H. Desertification in north China: background, anthropogenic impacts and failures in combating it, **Land Degradation & Development**, 2005. 16: 367-376.

COLOMER, J.C.; MORELL, C.; SANCHEZ, J.; BOLUDA, R.; ARTIGAO, A. A study of soil degradation within the E.F.E.D.A. project. 447-456. En: **Environment and quality of life. Desertification in a European context: physical and socio-economic aspects**. FANTECHI, R.; PETER, D.; BALABANIS, P.; RUBIO, J. L. (eds). European Comisión, Directorate-General. Bruselas, 1995.

CORNFORTH, I. S. Selecting indicators for assessing sustainable land management, **Journal of Environmental Management**, 1999. 56: 173-179.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. En: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F. (eds.) **Defining soil quality for a sustainable environment**. SSSA Spec. Publ. 35: 3-21. SSSA, Madison, WI, 1994.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. 25-38. En: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (eds.) **Methods for assessing soil quality**. SSSA Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI, 1996.

DORAN, J. W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M. A. Soil health and sustainability, **Advances in Agronomy**, 1997. 56: 1-54.

GAMÓN, M.; SAÉZ, E.; GIL, J.; BOLUDA, R. Direct and indirect exogenous contamination by pesticides of rice-farming soils in a Mediterranean wetland, **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, 2003. 44 (2): 141-151.

Gil, C.; BOLUDA, R.; RAMOS, J. Determination and evaluation of cadmium, lead and Nickel in greenhouse soils of Almeria (Spain), **Chemosphere**, 2004. 55 (7): 1027-1034.

GIMENO-GARCÍA, E.; ANDREU, V.; BOLUDA, R. (19996). Incidence of heavy metals in the application of inorganic fertilizers to rice farming soils (Valencia, Spain). 491-493. En: **Fertilizers and Environment**. RODRIGUEZ BARRUECO, C. (ed). Kluwer Academic Publishers. The Netherlands, 1996.

IRANZO, M.; SAINZ-PARDO, I.; BOLUDA, R.; SÁNCHEZ, J.; MORMENEO, S. The use of microorganisms in environmental remediation. In. **Annals of Microbiology**, 2001. 51:135-143.

JOHNSON, C. K.; DORAN, J. W.; DUKE, H. R.; WIENHOLD, B. J.; ESKRIDGE, K. M.; SHANAHAN, J. F. Field-scale electrical conductivity mapping for delineating soil condition, **Soil Science Society of**

American Journal, 2001. 65: 1829-1837.

LAL, R. Soil management in the developing countries, **Soil Science**, 2000. 165 (1): 57-52.

LAL, R. Soil carbon sequestration in China through agricultural intensification, and restoration of degraded and desertified ecosystems, **Land Degradation and Development**, 2002. 13: 469-478.

LAL, R. Carbon sequestration in soils of central Asia, **Land Degradation and Development**, 2004a. 15: 563-572.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security, **Science**, 2004b. 304: 1623-1627.

MOLINA, M. J.; LLINARES, J. V.; SORIANO, M. D. **La degradación de las propiedades del suelo en dos sistemas agroforestales de la Comunidad Valenciana**. Geoforma Ediciones. Logroño, 1999 83 pp.

OLIVEIRA, V. P. V de.; GIL, C. Sectorización jerarquizada del paisaje: el ejemplo de la sierra de Uruburetama en el semiárido brasileño (Ceara-Brasil), **Mercator.**, 2003. 3: 113-130.

PORTA, J.; LÓPEZ-ACEVEDO, M.; ROQUERO, C. **Edafología para la agricultura y el medio ambiente**. Mundi Prensa. Madrid, 2003. 929 pp.

RECATALÁ, L.; FABBRI, A. G.; ZINCK, J. A.; FRANCÉS, E.; SÁNCHEZ, J. (2002). Environmental indicators for assessing and monitoring desertification and its influence on environmental quality in Mediterranean arid environment. I: 897-910. En: RUBIO, J. L.; MORGAN, R. P. C.; ASINS, S.; ANDREU, V. (eds). **Man and soil at the third millenium**. Geoforma Ediciones-CIDE. Logroño. Vol I, 2002. 1115 pp.

REQUENA, N.; PÉREZ-SOLIS, E.; AZCÓN-AGUILAR, C.; JEFFRIES, P.; BAREA, J. M. Management of indigenous plant-microbe symbioses aids restoration of desertified ecosystems, **Applied and Environmental Microbiology**, 2001. 67 (2): 495-498.

RUBIO, J. L. **Third International Congress of the European Society for Soil Conservation**. Man and Soil at the Third Millennium. Valencia. ESSC, 2000.

RUBIO, J.L.; SÁNCHEZ, J.; MOLINA, M.J.; BOLUDA, R.; FORTEZA, J. **Planificación de los usos del suelo y lucha contra la desertificación**. Valencia. Jornadas sobre Investigaciones en el Ámbito del Proyecto LUCDEME, 1990.

SÁNCHEZ, J.; BOLUDA, R.; MORELL, C.; COLOMER, J.C.; ARTIGAO, A. Assessment of soil degradation within the EFEDA area. 2:387-396. En: **Mediterranean Desertification. Research results and policy implications**. BALABANIS, P.; PETER, D.; GHAZI, A.; TSOGAS, M. (eds). European Comission. Directorate-General. Bruselas, 2000.

SÁNCHEZ, J.; BOLUDA, R.; MORELL, C.; COLOMER, JC; ARTIGAO, A. Degradation index of desertification threatened soils in the Mediterranean region. Application in Castilla-La Mancha (Spain). 441-448. En: **The soil as a strategic resource: Degradation processes and conservation measures**. RODRÍGUEZ, A., JIMÉNEZ, CC., TEJEDOR, M.L. (eds). Geoforma Ediciones. Logroño, 1998.

SANCHEZ, J.; BOLUDA, R.; MORELL, C.; COLOMER, J.C.; ARTIGAO, A.; TÉBAR, J.I. Assessment of soil degradation in desertification threatened areas: A case study in Castilla-La Mancha (Spain). En: **EFEDA-II Subgrup II: vegetation, soil physics, inventory and impacts**. FINAL REPORT: "Desertification processes in the Mediterranean area and their interlinks with the global climate". SANTA OLALLA MAÑAS, F. (ed), 1997.

SANCHEZ, J.; BOLUDA, R.; ARTIGAO, A.; MORELL, C.; COLOMER, J.C.; GUARDADO, R. Suelos. 97-142. En: **Desertificación en Castilla-La Mancha**. El proyecto EFEDA. SANTA-OLALLA, F. M. (ed). Colección Estudios, Universidad de Castilla-La Mancha. Murcia, 1994.

SHRESTHA, D. P.; MARGATE, D. E.; van der MEER, F.; ANH, H. V. Análisis and classification of hyperspectral data for mapping land degradation: An application in southern Spain. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 2005. 7: 85-96.

SOBRINO, P.; GRACÍA-COLLADO, A.J.; SOBRINO, J.A.; BOLUDA, R. Corrección atmosférica de imágenes LANDSAT-5 TM. Aplicación al estudio edafológico en la comarca La Plana de Requena-Utiel. 191-194. En: **Teledetección aplicada a la gestión de recursos naturales y medio litoral marino**. HERNÁNDEZ, C.; ARIAS, J. E. (eds). Asociación española de teledetección y Universidad de Santiago de

Compostela. Santiago, 1997.

SOBRINO, P.; BOLUDA, R.; CASELLES, V. Aplicación del sensor thematic mapper del satélite landsat-5 al estudio de la erosionabilidad del suelo en la comarca la Plana de Requena-Utiel (Valencia, España). 3:1408-1416. En: **El estudio del suelo y de su degradación en relación con la desertificación**. GALLARDO, J. F. (ed). SECS-MAPA. Salamanca, 1993.

UNEP (United Nations Environment Programme). **World atlas of desertification**. Edward Arnolds. Sevenoaks, 1992.

YASSOGLU, N. Soil Degradation and Desertification. I : 165-176. En: RUBIO, J. L.; MORGAN, R. P. C.; ASINS, S.; ANDREU, V. (eds). **Man and soil at the third millenium**. Geoforma Ediciones-CIDE. Logroño. Vol I. 2002. 1115 pp.

YU, C. C.; QUINN, J. T.; DUFOURNAUD, C. M.; HARRINGTON, J. J.; ROGERS, P. P.; LOHANI, B. N. Effective dimensionality of environmental indicators: a principal component analysis with bootstrap confidence intervals. **Journal of Environmental Management**, 1998. 53: 101-119.

Trabalho enviado em setembro de 2005

Trabalho aceito em fevereiro de 2006