



INDICADORES DE CALIDAD AMBIENTAL DE SUELOS MEDITERRÁNEOS

Planificación sostenible del medio y servicios ecosistémicos

Ponente: Dr. Manuel M. Jordán Vidal

Catedrático de Edafología y Química Agrícola

[E-mail: manuel.jordan@umh.es](mailto:manuel.jordan@umh.es)

Índice

1. Introducción.
2. Marco Conceptual.
3. Factores Formadores y Características Edáficas.
 - 3.1. Factores formadores
 - 3.2. Características edáficas
4. Calidad y Multifuncionalidad del Suelo
5. Evaluación de la Calidad del Suelo
 - 5.1. Indicadores de la calidad edáfica
 - 5.2. Organización y uso de los indicadores
 - 5.3. Escalas de evaluación de la calidad del suelo
6. Metodología Propuesta para la Evaluación de la Calidad de Suelos
- 7.- Consideraciones finales.

A vertical cross-section of soil layers. From top to bottom, the layers are: a thin green topsoil layer, a thick reddish-brown layer, a thick blue-grey layer, and a thin light green layer at the bottom. A white arrow-shaped box with a black border is centered in the reddish-brown layer, containing the text '1. Introducción'.

1. Introducción

El suelo es la capa superior de la superficie terrestre que funciona como soporte y sustento de la mayor parte de actividades que acontecen en la biosfera.

Desde los comienzos de la cultura occidental, los griegos identificaron a este elemento junto con el fuego, aire y agua como uno de los cuatro pilares básicos de nuestro sistema natural (Rubio y Recatalá, 1998)

Pese a su papel crucial en el soporte y funcionamiento de los ecosistemas, su percepción real se ha mantenido generalmente en un segundo plano frente a otros componentes del sistema natural

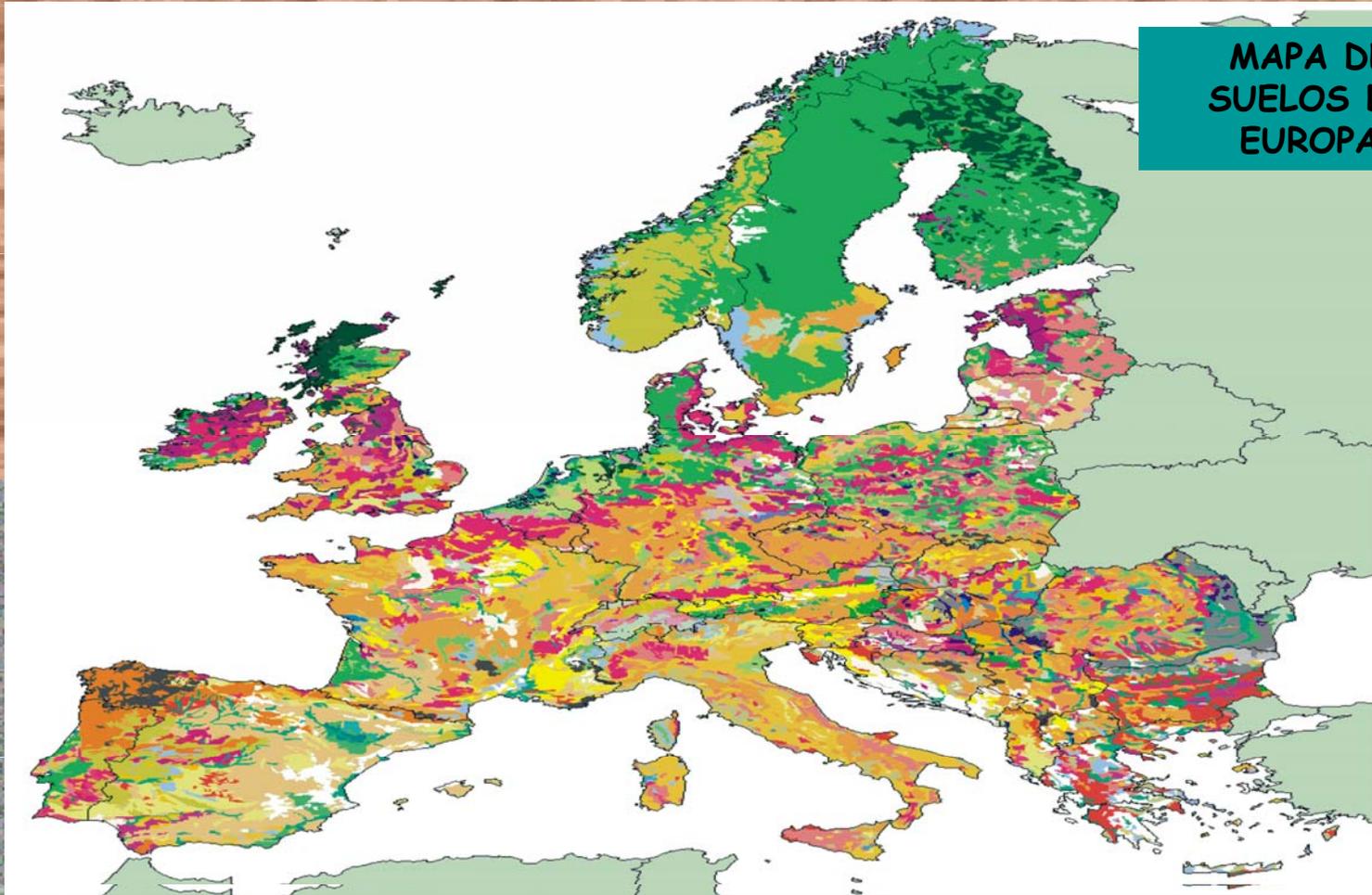
En la década de los años 90, va surgiendo un reconocimiento creciente de que las funciones realizadas por el suelo van más allá de la correspondiente al crecimiento y desarrollo de las plantas.



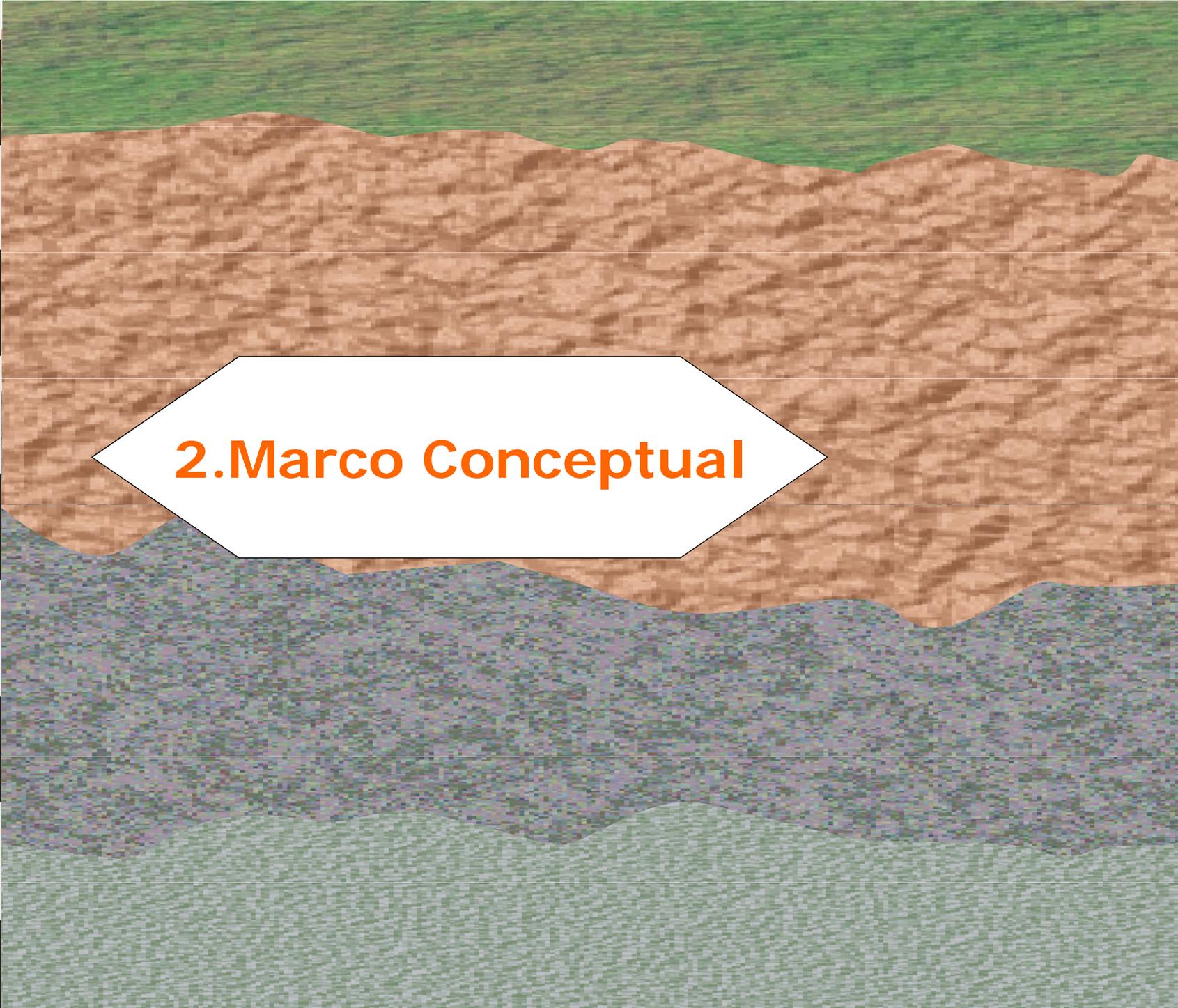
La percepción del concepto de calidad del suelo va incorporando otras funciones del suelo, como la protección y mantenimiento de la calidad del medio ambiente.

Escuelas edafológicas europeas establecen los principios básicos sobre una ciencia propia del suelo, a principios del siglo XX, considerándolo sistema natural dinámico (Porta, 1990)

Calidad Ambiental de Suelos



MAPA DE SUELOS DE EUROPA

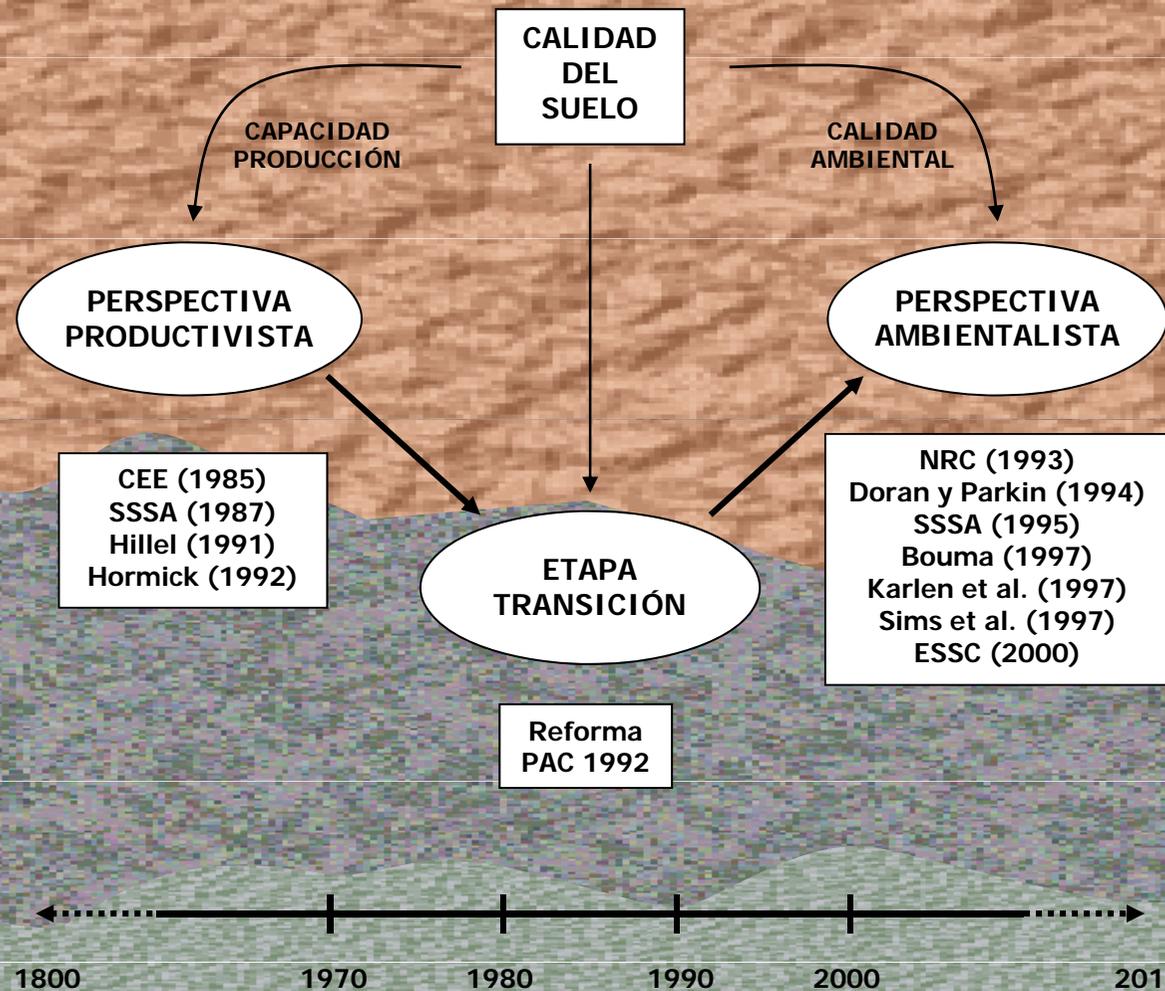


2.Marco Conceptual

Los suelos son sistemas naturales que mantienen interrelaciones con los otros componentes de los ecosistemas terrestres



Evolución conceptual del término *calidad del suelo*

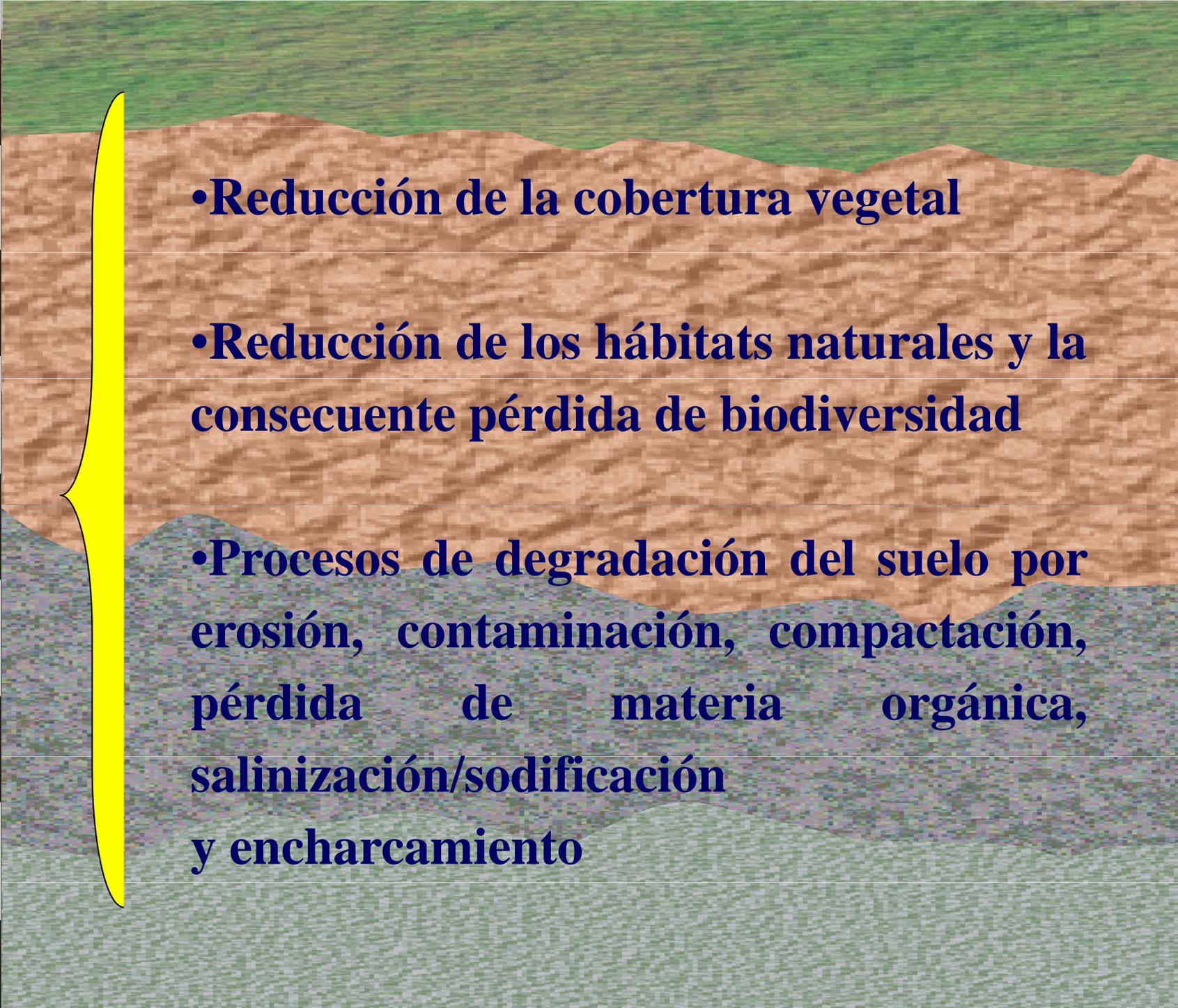


1970-1990: Evolución del concepto de calidad desde la perspectiva productivista hacia una perspectiva ambientalista

Hasta 1992:

Intensificación de la agricultura

- **Enriquecimiento de nutrientes en las aguas superficiales y subterráneas con los consiguientes procesos de eutrofización y contaminación.**
- **Descenso de las reservas hídricas tanto en cantidad como en calidad**

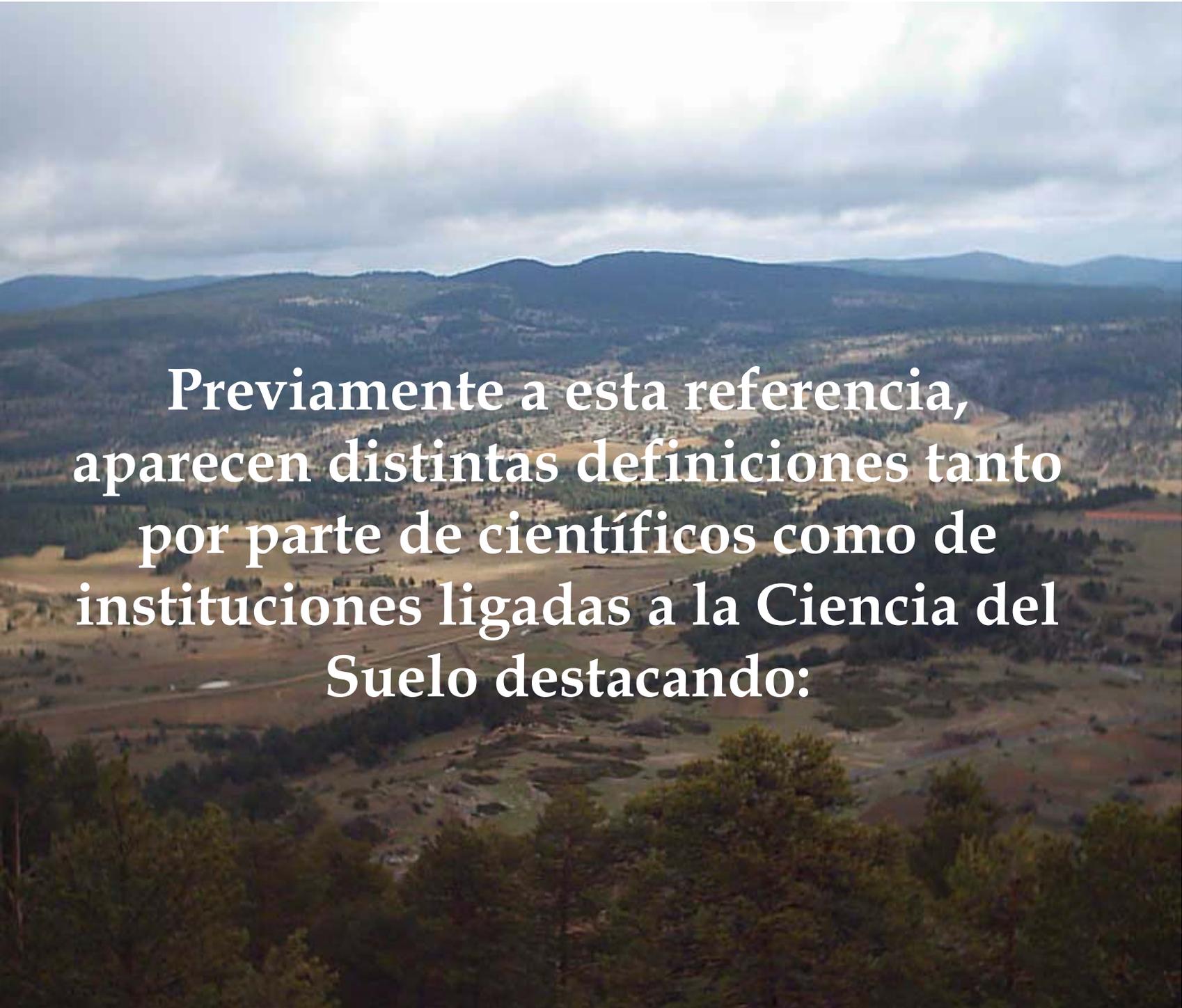
- 
- The diagram shows a cross-section of soil layers. From top to bottom, there is a green layer (vegetation), a brown layer (topsoil), a greyish-blue layer (subsoil), and a light green layer (groundwater table). A yellow bracket on the left side highlights the brown and greyish-blue layers.
- **Reducción de la cobertura vegetal**
 - **Reducción de los hábitats naturales y la consecuente pérdida de biodiversidad**
 - **Procesos de degradación del suelo por erosión, contaminación, compactación, pérdida de materia orgánica, salinización/sodificación y encharcamiento**

1992: Reforma de PAC.

- **Compatibilidad entre producción y conservación de la biodiversidad**
- **Reducción del uso de fertilizantes, mayor control de pesticidas y la disminución de carga ganadera por hectárea.**
- **Conversión de áreas agrícolas marginales en otros usos.**

El concepto de *calidad del suelo* se extiende intensamente en la década de los 90 (**National Academy of Sciences** publica en 1993 el libro titulado *Soil and Water Quality*):

Capacidad del suelo para promover el crecimiento de las plantas y prevenir la contaminación del aire y del agua mediante su poder amortiguador sobre contaminantes potenciales como agroquímicos, residuos orgánicos y contaminantes industriales.



Previamente a esta referencia,
aparecen distintas definiciones tanto
por parte de científicos como de
instituciones ligadas a la Ciencia del
Suelo destacando:

“Calidades del suelo: atributos inherentes de los suelos que se infieren de las características del suelo o de observaciones indirectas” (SSSA, 1987)

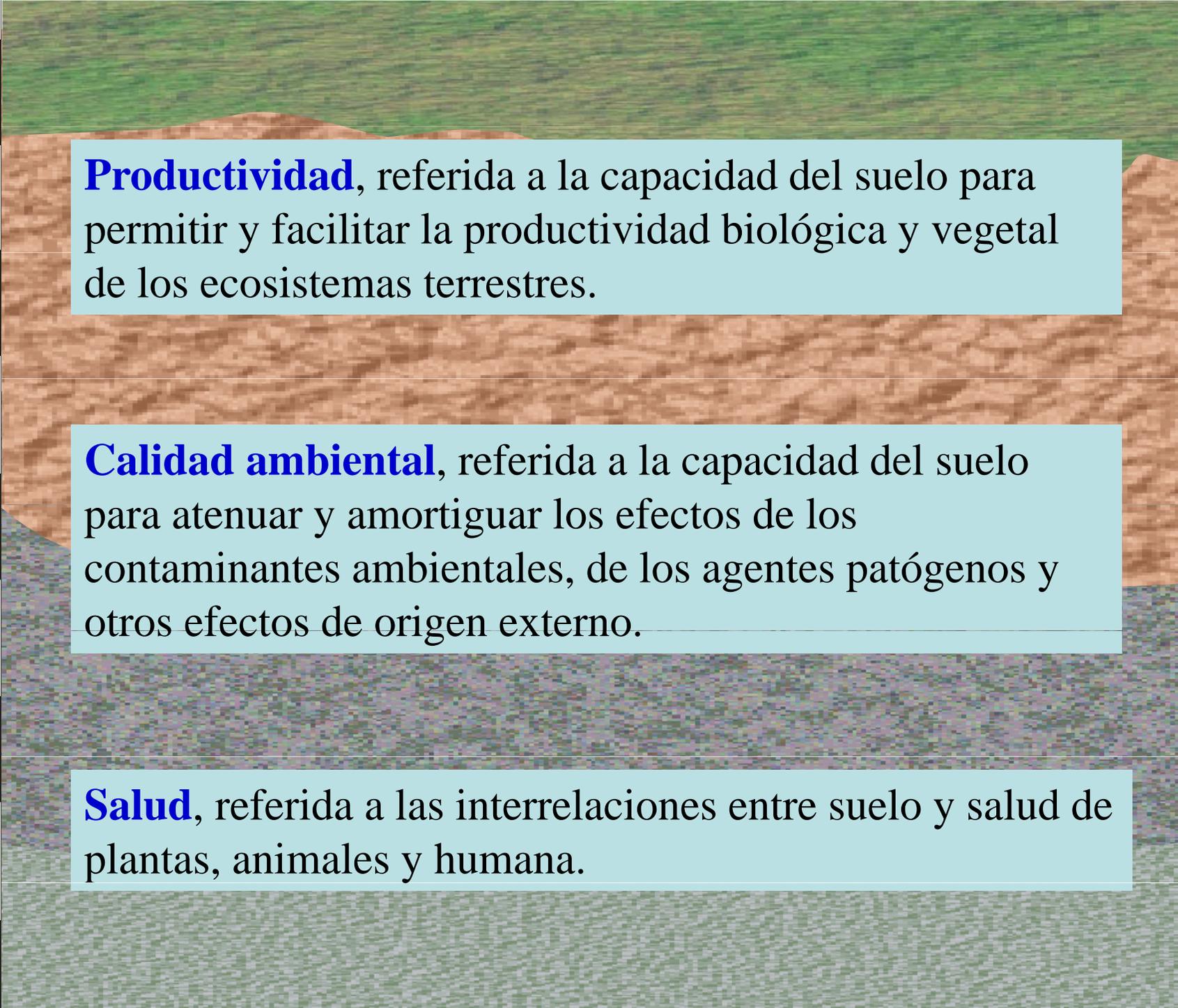
“La habilidad del suelo como soporte para el crecimiento de los cultivos en la que influyen factores como grado de facilidad de labranza, contenido en materia orgánica, cambios de pH, etc.” (Power y Myers, 1989)

“ La capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema interactuando positivamente con el ambiente externo a ese ecosistema”, (Larson y Pierce, 1991)



CALIDAD DE SUELO:

Capacidad de un suelo para funcionar dentro de los límites del ecosistema, para sostener la productividad biológica, mantener la calidad ambiental, y promover la salud de las plantas y los animales. (Doran y Parkin, 1994)



Productividad, referida a la capacidad del suelo para permitir y facilitar la productividad biológica y vegetal de los ecosistemas terrestres.

Calidad ambiental, referida a la capacidad del suelo para atenuar y amortiguar los efectos de los contaminantes ambientales, de los agentes patógenos y otros efectos de origen externo.

Salud, referida a las interrelaciones entre suelo y salud de plantas, animales y humana.

Disyuntivas entre perspectiva productivista y ambientalista

➤ ¿Cuáles son las propiedades y los procesos físicos, químicos y biológicos asociados con suelos de calidad y de no-calidad?

➤ ¿Cómo se puede caracterizar y gestionar, bajo una aproximación metodológica satisfactoria, la calidad del suelo en relación con los impactos sobre el suelo por los distintos sectores socioeconómicos?.

➤ ¿Cómo se debería evaluar la calidad de los suelos intencionadamente enmendados con residuos urbano-industriales?

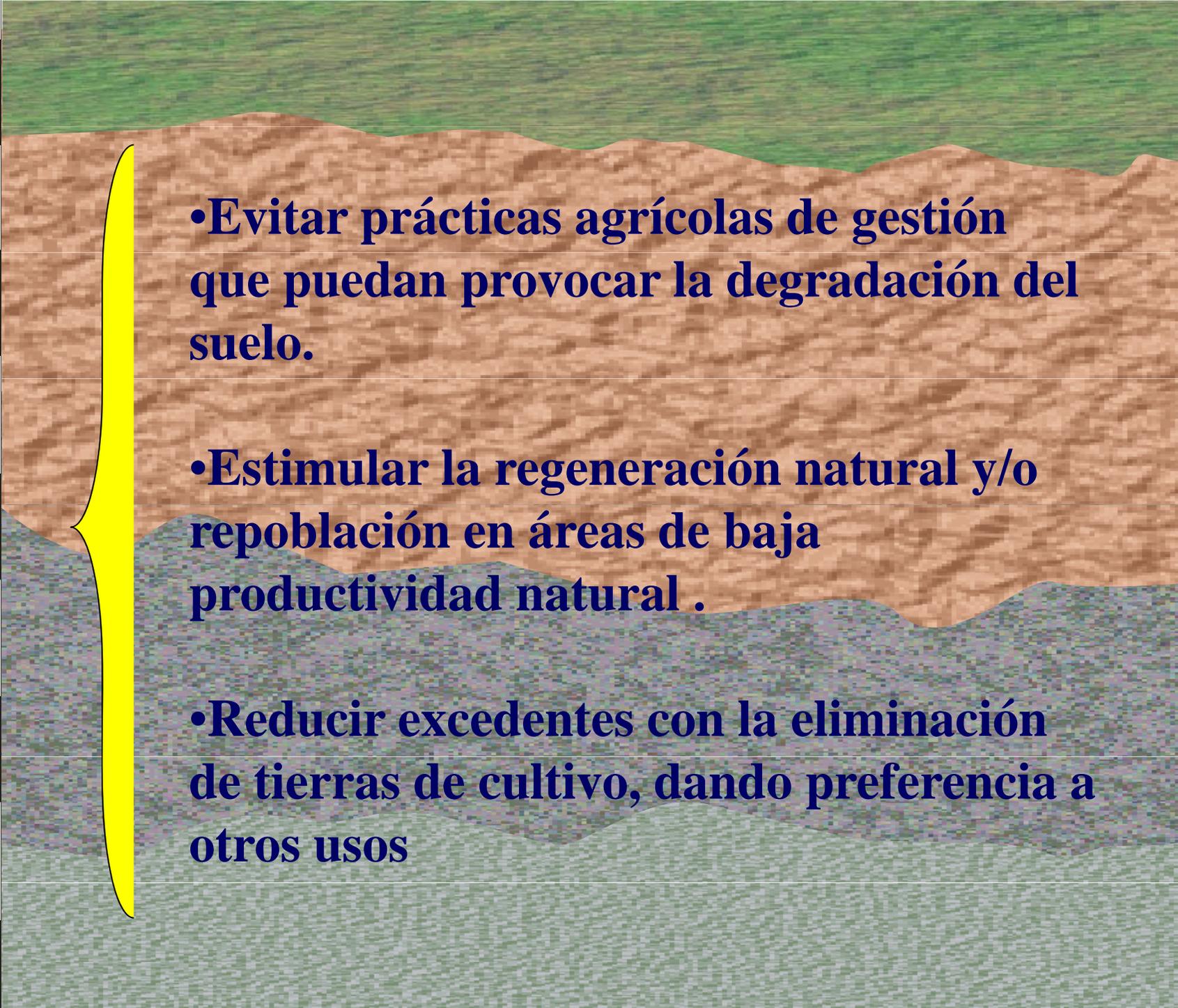
➤ ¿Qué avances fundamentales en conocimiento básico de la Ciencia del Suelo se necesita para mejorar nuestra habilidad y capacidad para evaluar la calidad ambiental del suelo?.

➤ ¿Cómo puede la comunidad científica de la Ciencia del Suelo jugar un mayor y más influyente papel en el debate para conceptualizar y evaluar adecuadamente la calidad ambiental del suelo?



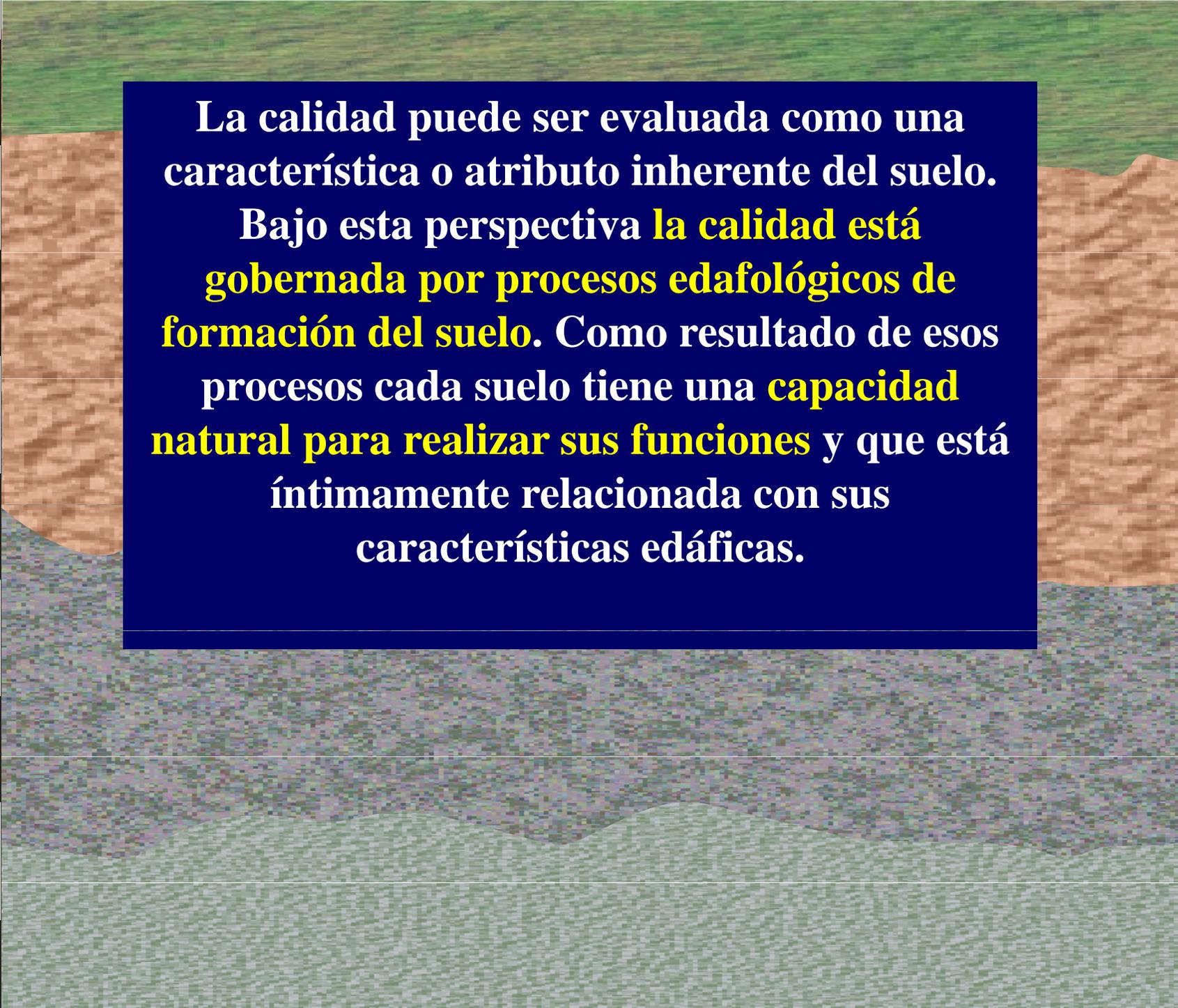
La respuesta a estas cuestiones, resulta clave y esencial para conceptualizar y evaluar la calidad del suelo, de manera que resulte eficaz para la conservación y el mantenimiento de los recursos edáficos.



- 
- Evitar prácticas agrícolas de gestión que puedan provocar la degradación del suelo.
 - Estimular la regeneración natural y/o repoblación en áreas de baja productividad natural .
 - Reducir excedentes con la eliminación de tierras de cultivo, dando preferencia a otros usos



3. Calidad, Factores Formadores y Características Edáficas.

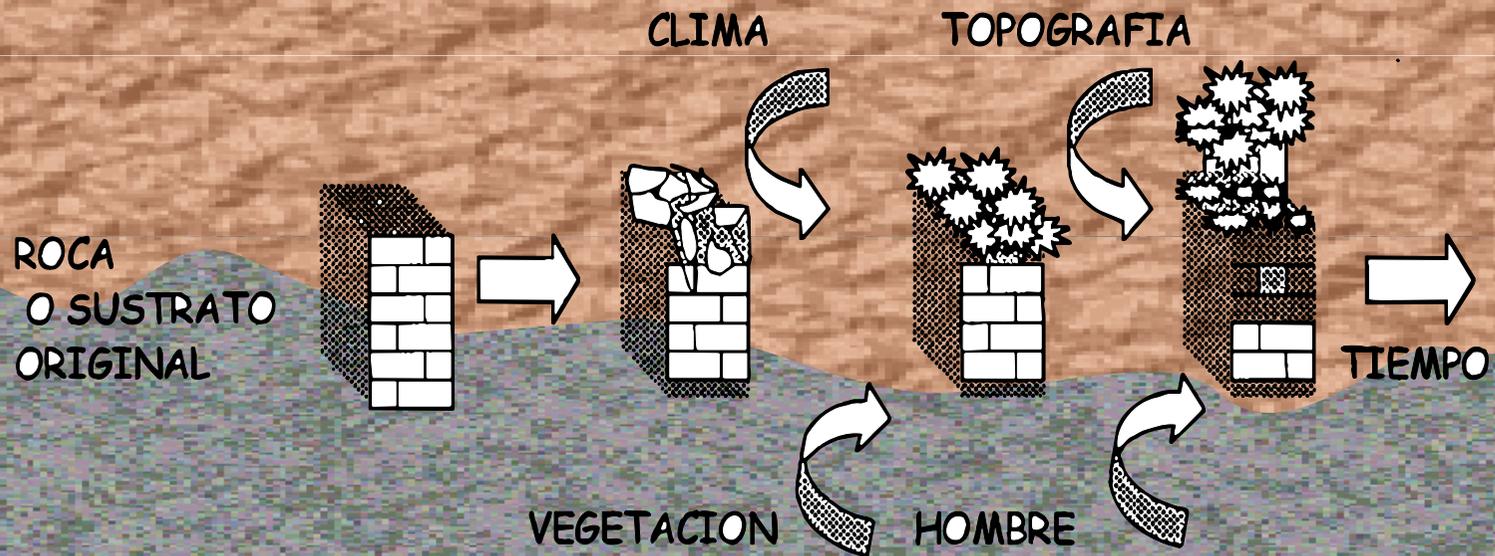


La calidad puede ser evaluada como una característica o atributo inherente del suelo. Bajo esta perspectiva **la calidad está gobernada por procesos edafológicos de formación del suelo**. Como resultado de esos procesos cada suelo tiene una **capacidad natural para realizar sus funciones** y que está íntimamente relacionada con sus características edáficas.

3.1.- FACTORES FORMADORES.

Los comienzos de las formaciones edáficas se remontan probablemente al período Silúrico, hace unos 350 m.a.

FACTORES BÁSICOS DE LA GÉNESIS Y EVOLUCIÓN DE LOS SUELOS



Formación de suelos

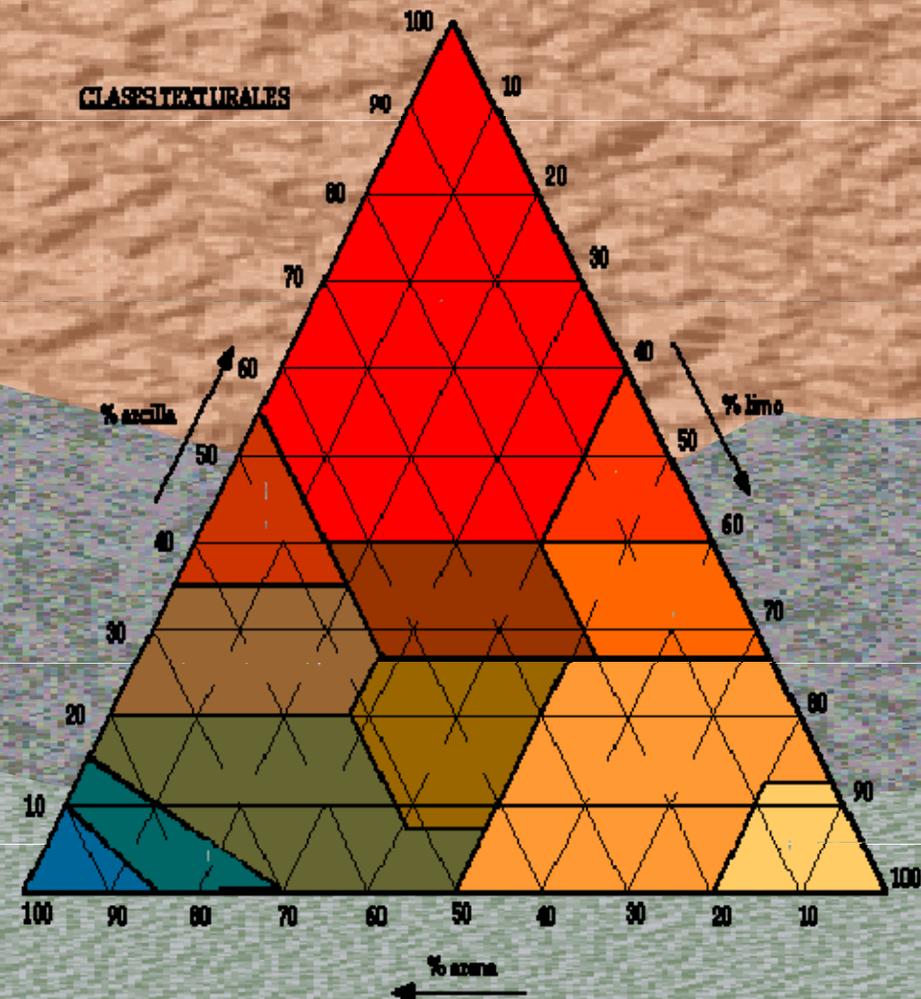
3.2.- CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS

La vulnerabilidad del suelo ante impactos o presiones, tanto naturales como antrópicas, depende de un conjunto de variables que son el resultado de la continua interacción del material originario con los factores de génesis y evolución que se acaban de citar.

Textura

La textura del suelo es una de las propiedades más importantes de cada horizonte

Los suelos con abundancia de fracciones finas son más activos químicamente, tienen más capacidad amortiguadora y de retención de agua. La textura influye en el movimiento de los flujos de calor, agua y aire que acontecen tanto en el interior como en el exterior del perfil.



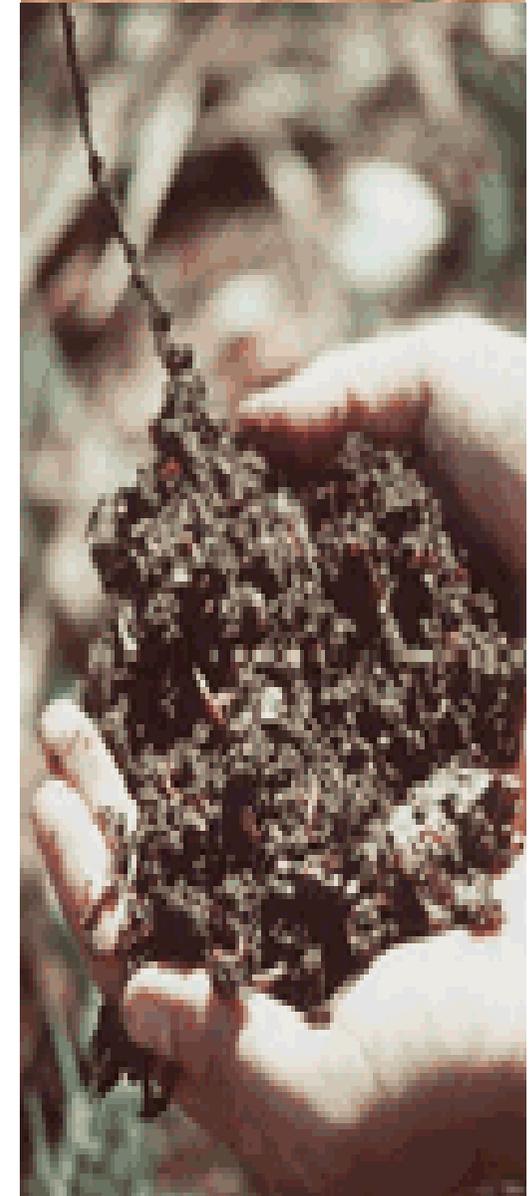
En relación con la erosión hídrica, los suelos con alta proporción de limo tienden a ser muy erosionables.



Materia Orgánica

La materia orgánica del suelo engloba todos los residuos animales y vegetales en distintos estadios de descomposición.

El papel de la materia orgánica sobre la dinámica y propiedades del suelo es múltiple: constituye la fuente de energía para los microorganismos del suelo, proporciona una importante fuente de nutrientes y contribuye a la génesis y estabilidad de la estructura del suelo.



El contenido en *materia orgánica* del suelo decrece con la profundidad, a excepción de las turberas o en los Podsoles, por ello, la influencia de la materia orgánica se ejerce fundamentalmente en los horizontes superficiales, repercutiendo en las pautas de infiltración, productividad agraria o estabilidad ante procesos degradativos.



Estructura del suelo

La estructura del suelo se refiere al estado de agregación de las partículas individuales que componen el suelo, tanto minerales como orgánicas.

Es necesario la presencia de **coloides** **floculados** que aglomeren las partículas elementales para formar agregados del suelo.



La unión de estos agregados elementales, debido a los coloides floculados u otros agentes cementantes, da lugar a los *microagregados del suelo*.

La estructura repercute en propiedades tan importantes como la:

- *capacidad de reserva de agua,*
- *intercambios gaseosos,*
- *compactación o*
- *la resistencia a la erosión*

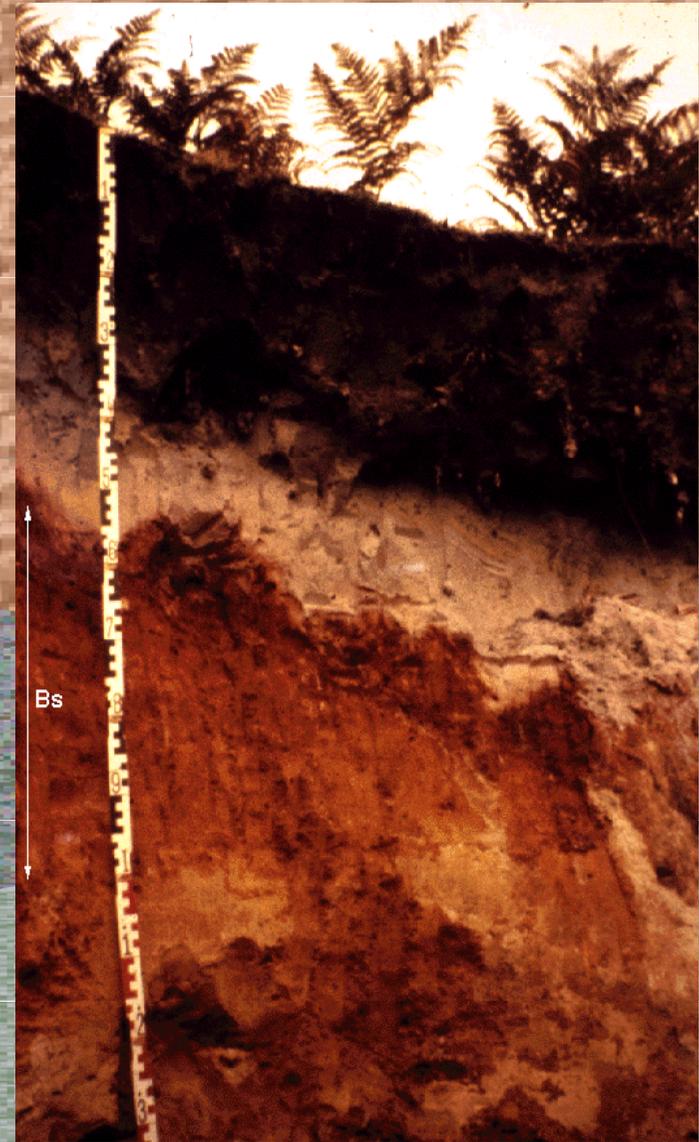


Capacidad de Retención de Agua

La capacidad de almacenamiento de agua en el suelo está determinada por la cantidad y tamaño de sus poros.

Estos, a su vez, dependen de la textura, estructura y contenido en materia orgánica.

Estos factores dan lugar a una amplia variedad de regímenes hídricos edáficos.



Porosidad

La porosidad es el porcentaje de volumen total no ocupado por partículas sólidas. La abundancia y tamaño de los poros regulan la aireación y el movimiento del agua en el suelo. El porcentaje de poros y su tamaño es un factor de gran incidencia en diversos procesos de degradación:

- *Anegamiento*
- *Compactación*
- *Erosión*
- *Deficiencia hídrica*

pH del Suelo

La reacción del suelo es un parámetro de gran importancia y consecuencias en el funcionamiento del mismo. Su influencia puede ser directa sobre procesos químicos o microbiológicos, o bien indirecta influyendo a través de otras

p. Ej. Sobre la cantidad y calidad de la materia orgánica.

El pH del suelo influye en el nivel de toxicidad de algunos elementos como **Al**

La reacción del suelo influye decisivamente en procesos microbiológicos de tanta trascendencia como son la **mineralización** y **humificación** de restos vegetales incorporados, así como en la dinámica y transformación de muchos nutrientes, ejerciendo una poderosa influencia en la fertilidad del suelo.

Otras características muy importantes, y con clara relación a la degradación son:

■ Profundidad efectiva del suelo: influye en las reservas hídricas, en la tolerancia a la erosión, infiltración.

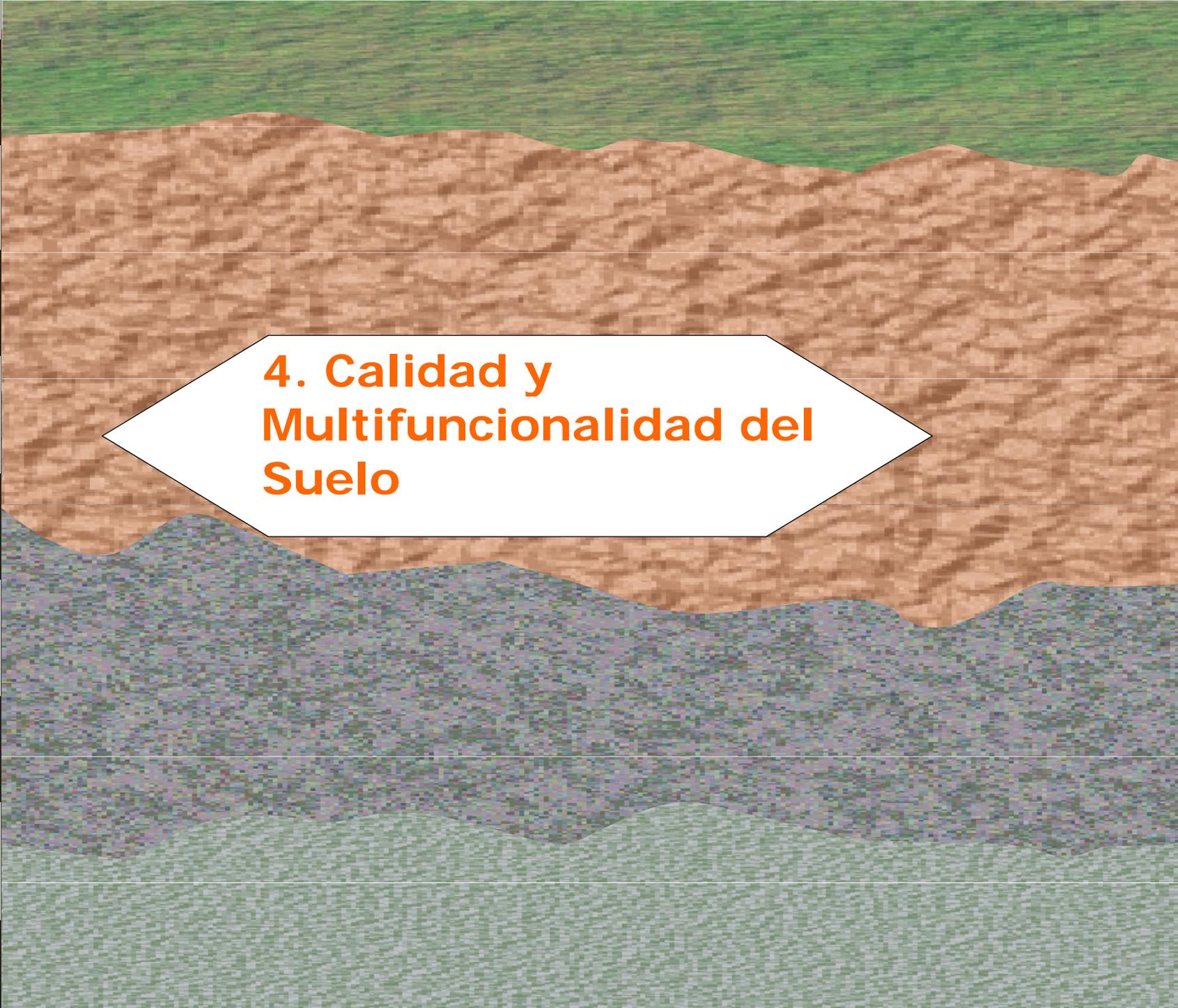
■ Contenido en carbonatos: influye en la reacción del suelo, estructura y disponibilidad de nutrientes.

■ Cohesión: muy ligada a los niveles de humedad.

También se debe estudiar:

- **Permeabilidad.**
- **Plasticidad.**
- **Drenaje interno.**
- **Presencia de pedregosidad y afloramientos rocosos.**





**4. Calidad y
Multifuncionalidad del
Suelo**

PRINCIPALES FUNCIONES DEL SUELO:

- ❖ **Producción de biomasa**
- ❖ **Filtrado, amortiguación y transformación de sustancias**
- ❖ **Hábitat biológico y reserva genética**
- ❖ **Medio físico**
- ❖ **Fuente de Materias primas**
- ❖ **Medio histórico**

Producción de Biomasa

El suelo es el sustrato de una amplia variedad de plantas, animales y microorganismos que viven en el mismo contribuyendo a crear un medio que resulta básico para la producción primaria de los ecosistemas.



Filtrado, Amortiguación y Transformación de Sustancias.

Esta función se refiere a:

Los procesos de movimiento, transporte y transformación de flujos de sustancias y energía

Conjunto de mecanismos internos del suelo que influyen para la génesis, evolución y diferenciación del perfil del suelo

Función para regular el intercambio de componentes en la atmósfera, cobertura vegetal, hidrosfera y ecosistemas

Función de filtrado, retención y liberación de sustancias químicas, infiltración y drenaje del agua de lluvia, sumidero de gases, etc.

Hábitat Biológico y Reserva Genética.

• El suelo proporciona hábitat para numerosos organismos y microorganismos. La relación entre la variación del suelo y la diversidad y distribución de las plantas superiores es la más estudiada.





Necesidad urgente de dedicación de mayores esfuerzos y apoyos a la investigación de la ecología y fauna y flora edáficas, para desvelar el papel de los organismos edáficos en los ciclos de los elementos y en la transformación de materia y energía en el contexto del ecosistema.

■ La reserva genética del suelo se constituye en una importante reserva potencial para procesos biotecnológicos en los campos de la industria farmacéutica y producción agroalimentaria.



Aplicación de esta información para desarrollar metodologías de bio-remediación.

Medio Físico

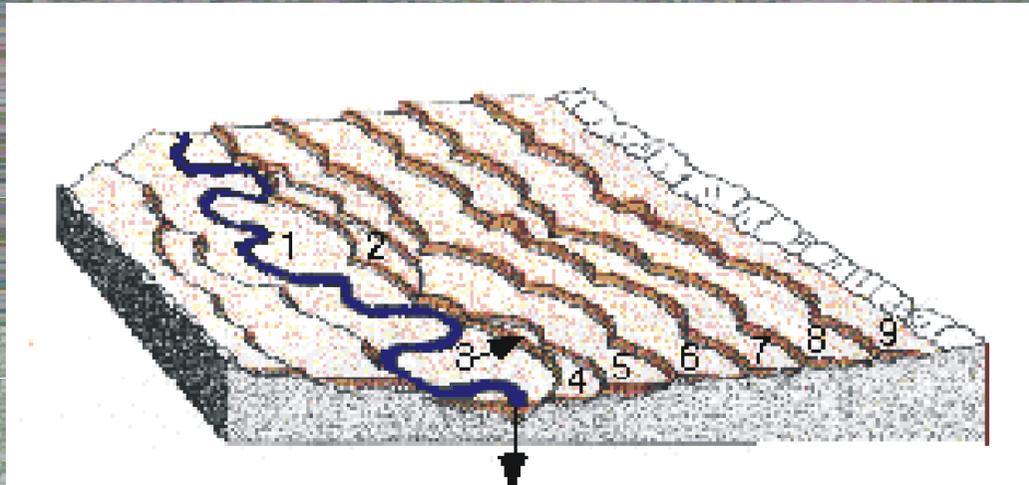
Esta función se refiere a la producción de bienes y servicios. El suelo se constituye en soporte para el desarrollo de infraestructuras

El suelo en el entorno de las ciudades, bajo secano o regadío, alcanza un gran valor económico cuando se convierte en urbanizable para actividades industriales, zonas residenciales o para infraestructuras turísticas.



Estos cambios en el uso del suelo son generalmente llevados a cabo sin tomar en consideración la calidad y productividad del mismo.

P. Ej. Fluvisoles sobre formaciones aluviales están siendo eliminadas por expansión urbana o industrial.



Fuente de Materias Primas

El suelo puede proporcionar múltiples recursos para numerosas actividades.



La extracción de turba, grava, arena, arcilla, rocas y minerales, etc es una importante y creciente función económica del suelo.

Medio Histórico

El suelo presenta los yacimientos arqueológicos y paleontológicos, registrando el momento de abandono del lugar tras la adición de nuevos materiales, que darán lugar a un nuevo suelo.





El **suelo** se constituye en el **testimonio** en el que quedan registrados procesos de evolución del paisaje, procesos climáticos, sucesos catastróficos, impactos antrópicos, etc, que pueden **aportar datos importantes** para el conocimiento científico de diversos **aspectos históricos** ligados al medio ambiente o a su utilización por las comunidades humanas.

A vertical cross-section of soil layers. From top to bottom, the layers are: a thin green layer (topsoil), a thick brown layer (subsoil), a blue-grey layer (clay or silt), and a light green layer (bedrock or parent material). A white hexagonal text box is centered in the brown layer.

**5. Evaluación de
la Calidad del Suelo**

5.1.- INDICADORES DE LA CALIDAD EDÁFICA

La utilidad de los indicadores consiste en que proporcionan información sintética y simplificada sobre el estado de un proceso, pero con un significado que va más allá de aquél directamente asociado a un parámetro individual.

Por ejemplo:

La facilidad que tiene un suelo al paso de agua a través de su perfil puede medirse a través de un parámetro individual como la **permeabilidad**.

Sin embargo, cuando utilizamos la permeabilidad como indicador de un proceso como la **erosión hídrica del suelo**, tiene un significado que va más allá de la mera expresión de mayor o menor facilidad para que el agua se infiltre en el suelo.

Numerosos autores:

Larson y Pierce, 1991

Griffith et al., 1992

Alexander y McLaughlin, 1992

Rasad y Coen, 1992

Doran y Parkin, 1994 y 1996

Han propuesto indicadores basados en características y propiedades del suelo para evaluar la calidad del mismo.

Un procedimiento razonable para seleccionar los indicadores relevantes para una situación dada consiste:

1. Identificar todas las propiedades y características del suelo relacionadas con las funciones del suelo implicadas en la **evaluación de su calidad**.
2. Aplicar **análisis de componentes principales** para ajustar la propuesta con aquellos indicadores que resulten realmente para el caso de estudio, evitando redundancias de información, que además de dificultar el proceso de interpretación y evaluación, pueden encarecer el estudio.

Indicadores de Calidad:

- **Visuales**
- **Físicos**
- **Químicos**
- **Biológicos**

- **Medibles objetivamente y científicamente**
- **Preferentemente cuantitativos**
- **Fáciles y de efectivo coste de medir**
- **Adaptados a la problemática y condiciones particulares de la situación en que se aplican**
- **Sensibles a los cambios ambientales de la situación**
- **Simple en concepto y accesibles para la evaluación del suelo por gestores o especialistas del suelo**
- **Capaces de permitir la formulación y aplicación de directrices para la adecuada gestión del suelo**

Larson y Pierce recomiendan una combinación de atributos, físicos y químicos:

- Disponibilidad de nutrientes
- Carbono orgánico
- Textura
- Capacidad de retención de agua
- Estructura
- Profundidad de enraizamiento
- pH.

Griffith et al. (1992) comentan que el **Servicio Forestal Americano de la USDA** utiliza estándares de calidad del suelo, entre los que se incluyen:

- ❖ **Cobertura edáfica**
- ❖ **Porosidad del suelo**
- ❖ **Contenido materia orgánica**

Alexander y McLaughlin (1992) sugieren que los cambios en la estructura del suelo son particularmente importantes para evaluar cambios en la calidad de suelos forestales y de pradera, y proponen utilizar :

- La densidad aparente
- La resistencia a la penetración

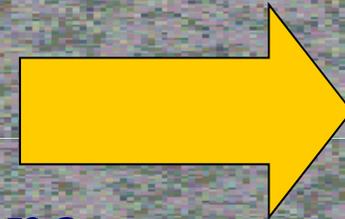


Arshad y Coen (1992) proponen indicadores físicos y químicos de calidad del suelo como:

- profundidad efectiva del suelo,
- capacidad de almacenamiento de agua disponible,
- densidad aparente,
- resistencia a la penetración,
- conductividad hidráulica,
- estabilidad de agregados,
- contenido en materia orgánica,
- disponibilidad de nutrientes,
- pH,
- conductividad eléctrica y sodio intercambiable.

Doran y Parkin (1994) proponen un conjunto de características físicas, químicas y biológicas del suelo para ser incluidas como indicadores básicos de la calidad del suelo, siendo las siguientes:

- ✓ **textura del suelo**
- ✓ **profundidad de enraizamiento,**
- ✓ **densidad aparente e infiltración**
- ✓ **capacidad de retención de agua,**
- ✓ **agua disponible**
- ✓ **temperatura del suelo**
- ✓ **carbono orgánico y nitrógeno
totales**
- ✓ **pH**



- 
- ✓ conductividad eléctrica
 - ✓ nitrógeno mineral
 - ✓ contenido en fósforo,
 - ✓ potasio,
 - ✓ **biomasa microbiana**
 - ✓ nitrógeno potencialmente mineralizable,
 - ✓ **respiración del suelo**
 - ✓ **relación entre biomasa y carbono orgánico total**
 - ✓ **relación entre respiración y biomasa**

La ventaja de esta última propuesta estriba en que incorpora indicadores relativos a la actividad biológica del suelo

Indicadores Bioquímicos

Investigadores del CEBAS (CSIC) afirman que los indicadores bioquímicos son los que van a resultar más sensibles a los cambios que se producen en suelos del sudeste de la Península Ibérica, sometidos a procesos de degradación y proponen el uso de indicadores de :



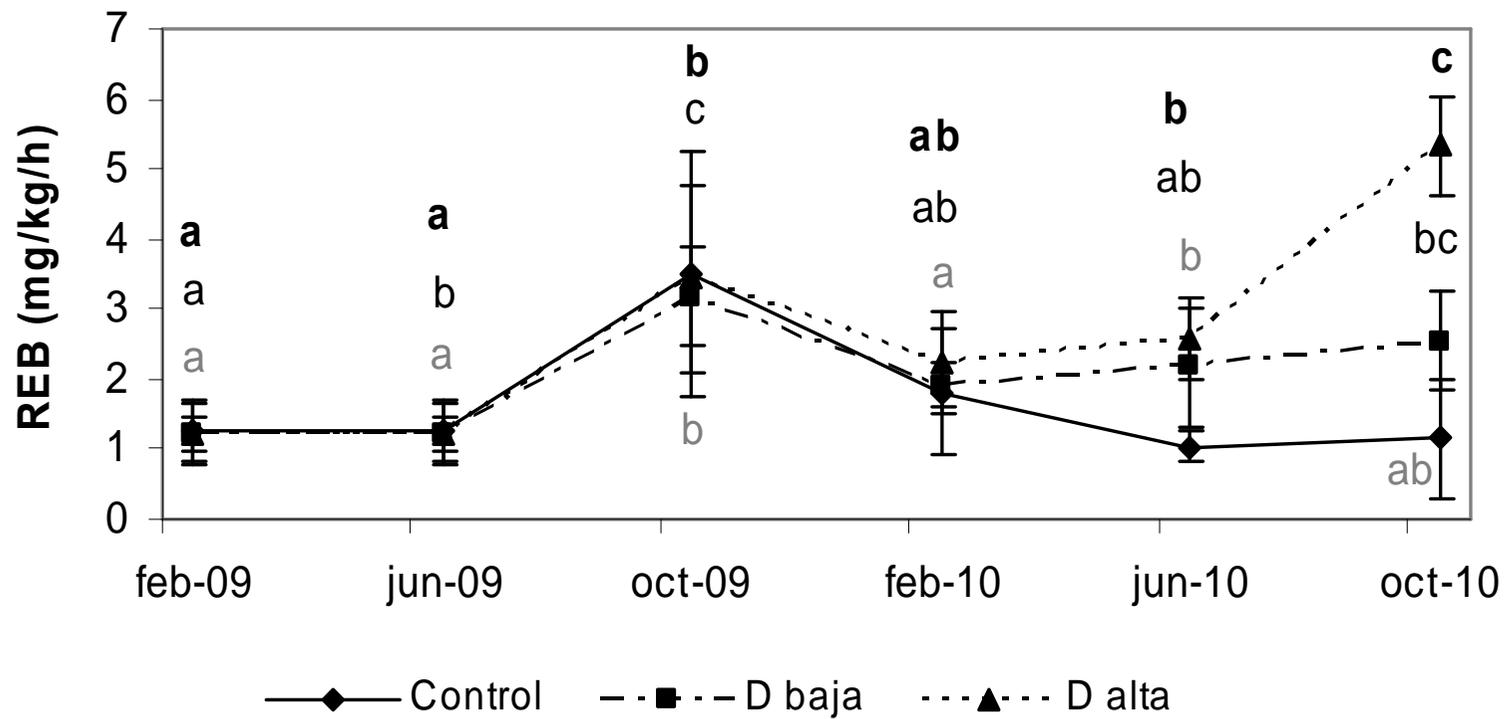
Actividad microbiana



Actividades enzimáticas

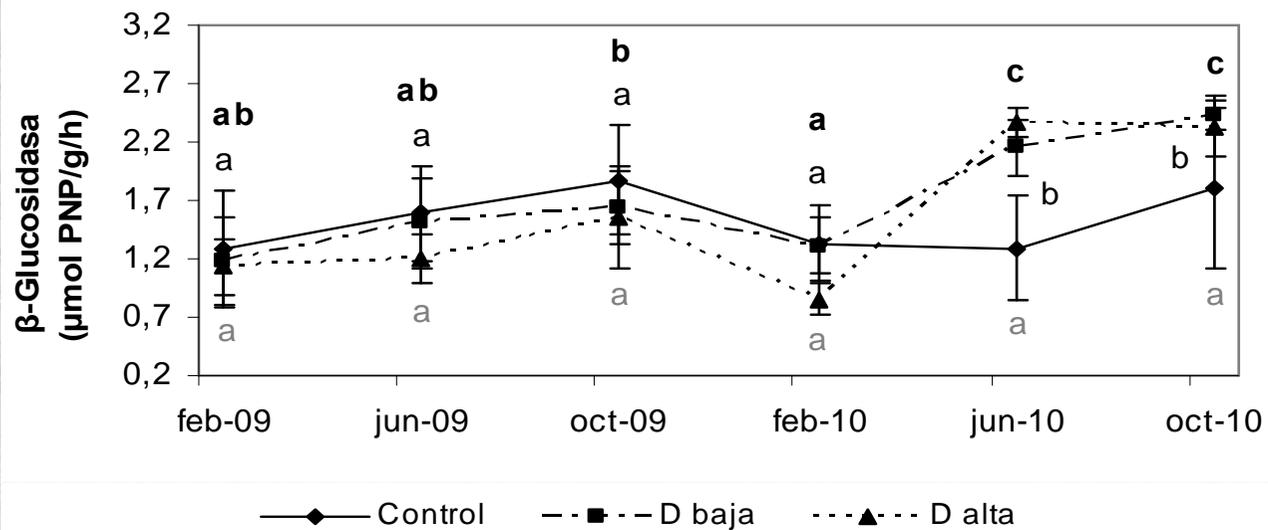
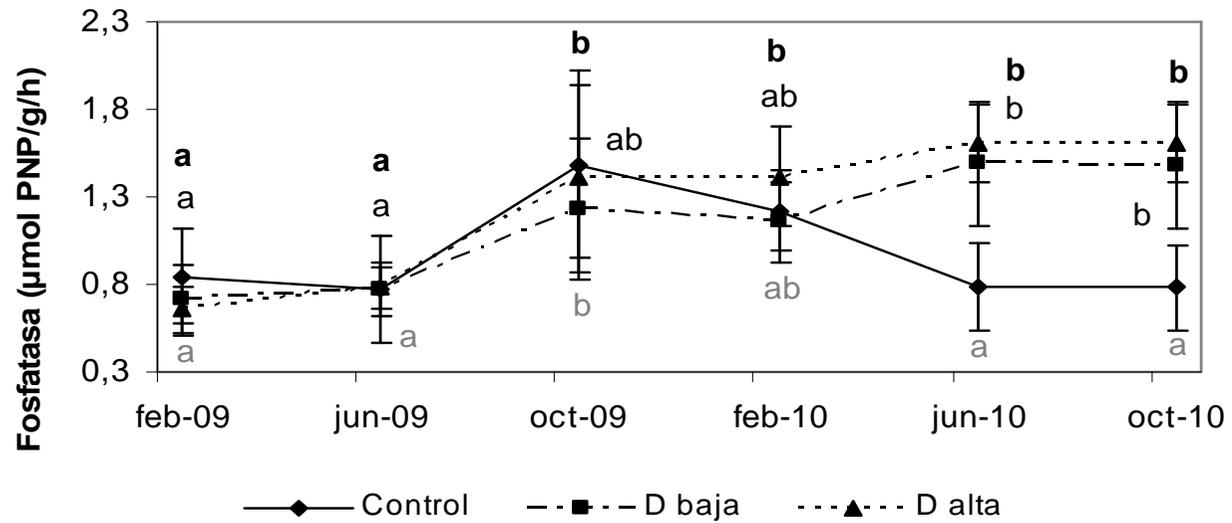
Tipo de propiedad	Parámetro
Física	Textura del suelo Densidad aparente e infiltración Estabilidad de agregados Capacidad de retención de agua Humedad y temperatura
Química	pH Conductividad eléctrica Carbono orgánico total Fracciones de carbono lábiles Contenido mineral N, P, K total y extraíble
Biológica y Bioquímica	Carbono de biomasa microbiana Respiración del suelo Relación C biomasa microbiana/ COT qCO₂ : Relación respiración/ C de biomasa microbiana Actividades enzimáticas N (ureasa; proteasa)/ P (fosfatasa)/ C (β-glucosidasa)

Evolución respiración edáfica basal con el tiempo



Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre muestreos (Control – Dosis baja – Dosis alta)

Calidad Ambiental de Suelos



5.2.- Organización y uso de los Indicadores

La aplicación de un conjunto de indicadores, por gestores del suelo, se ve facilitada si tales indicadores se organizan en un esquema o marco de trabajo ("**framework**"). Uno de los esquemas de evaluación ambiental (**Dumanski y Pieri, 1996**) que resulta útil, para organizar indicadores de calidad del suelo, es el denominado esquema de:

Presión-Estado-Respuesta

Este esquema proporciona un mecanismo de **retroalimentación**, permitiendo una aproximación dinámica en la evaluación y seguimiento de la calidad del suelo.

Bajo este esquema los indicadores se clasifican en indicadores de :

- **Presión**
- **Estado**
- **Respuesta**

La medida de los *indicadores de estado* permite conocer la condición del suelo respecto a las propiedades asociadas, previamente seleccionadas como relevantes para el caso de estudio.

La medida en el *tiempo* de estos indicadores permite detectar cambios en tales propiedades debido, por ejemplo, a procesos de degradación. (p.ej. *salinización*).

Ejemplos Indicadores

(medida regular conductividad eléctrica)

La medida regular de la conductividad eléctrica en un suelo sometido a regadío, en una zona árida o semiárida, con baja calidad de agua, por llevar sales disueltas, permitirá detectar el proceso de **salinización** del suelo y su intensificación por el continuo aporte de agua.

Si se conocen otros aspectos implicados en el caso como es la **tasa de extracción de agua para regadío** (indicador de presión) y el **grado de control de utilización** de esa agua para riego por políticas y programas, entonces la tendencia de intensificación del proceso de salinización del suelo, y por tanto, de **pérdida de calidad**, puede ser analizada y evaluada.

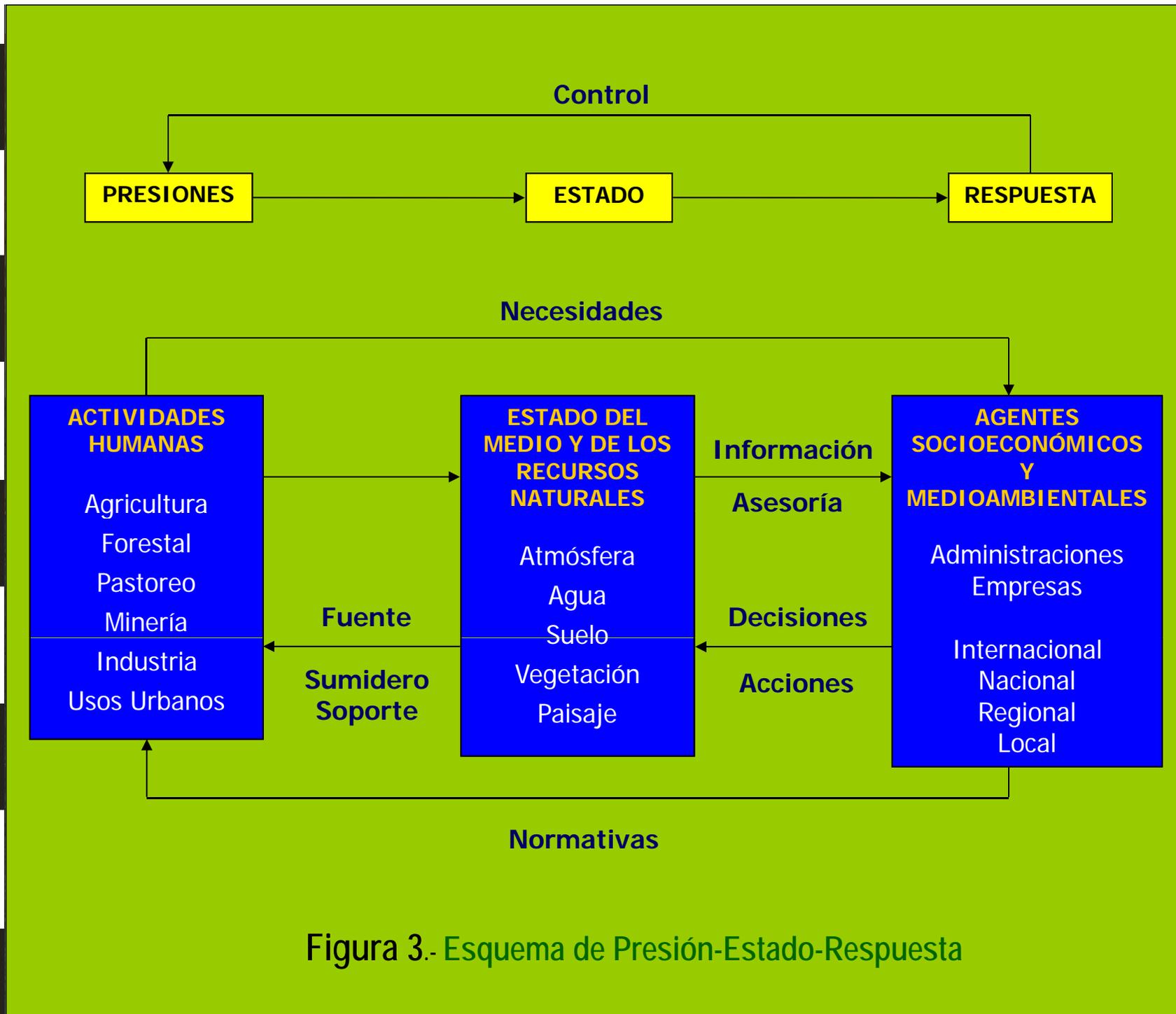
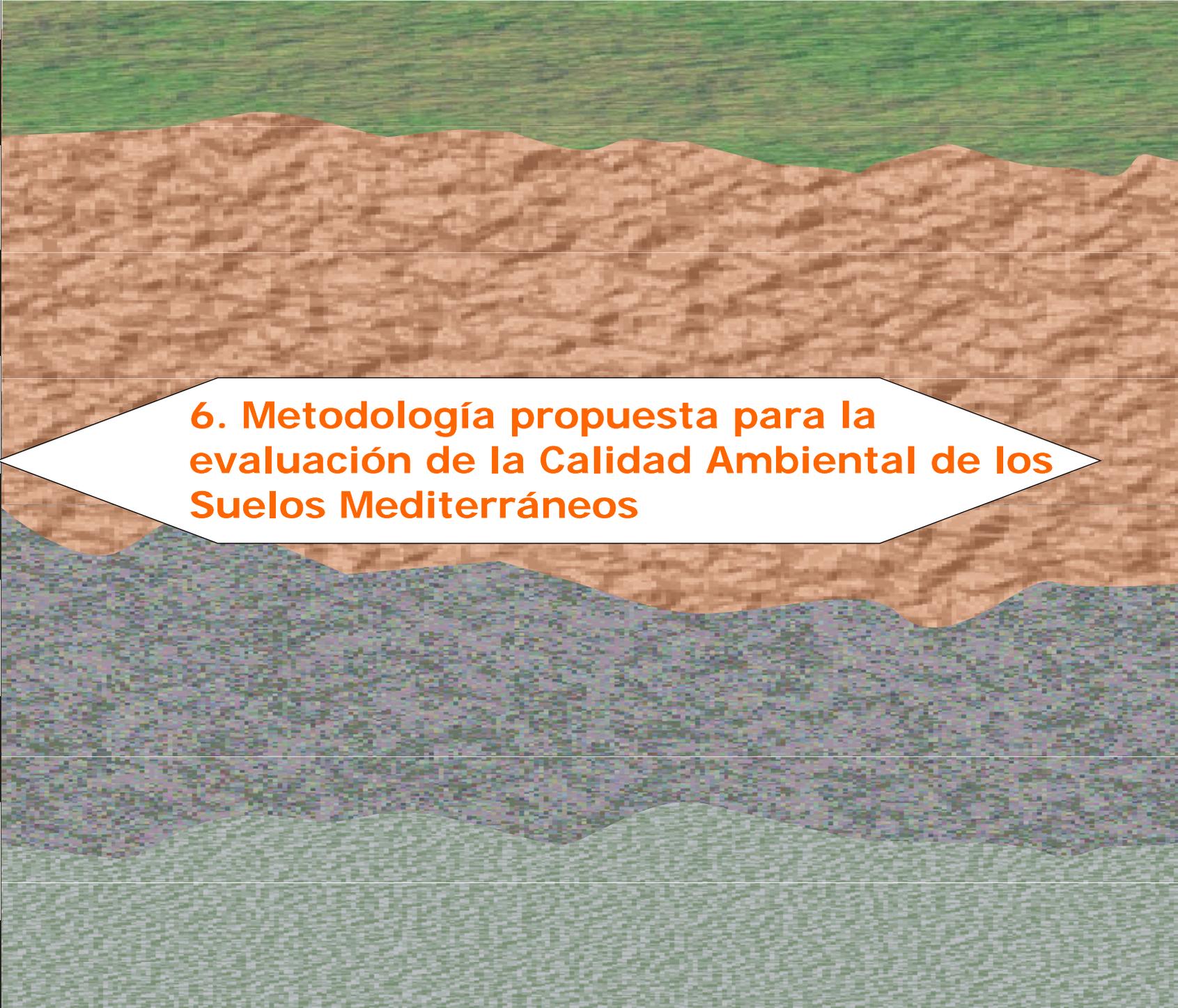


Figura 3.- Esquema de Presión-Estado-Respuesta

Escalas de Evaluación de Calidad del Suelo

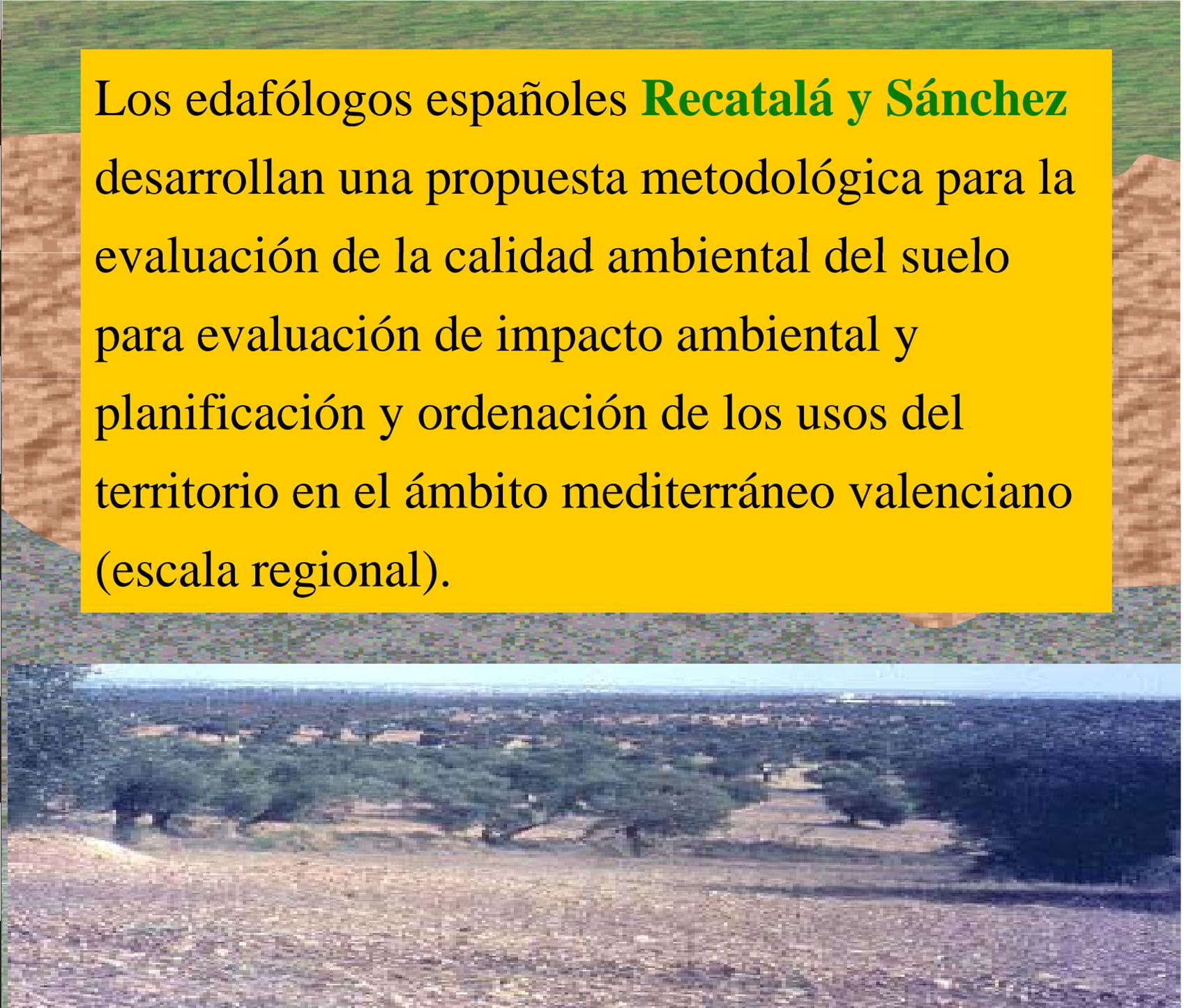
- Como una característica o atributo inherente del suelo: **procesos edafológicos**.
- Como la condición del suelo para funcionar completa y adecuadamente en un uso específico.

- Escala puntual “**POINT SCALE**”.
- Escala de parcela o campo “**PLOT SCALE**”.
- Escala provincial, regional, nacional e internacional.

A vertical cross-section of soil layers. From top to bottom, the layers are: a thin green topsoil layer, a thick reddish-brown layer, a thick blue-grey layer, and a thin light green layer at the bottom. A white callout box with a black border is positioned in the center, containing orange text. The background has a vertical brown bar on the left with a black and white checkered pattern.

6. Metodología propuesta para la evaluación de la Calidad Ambiental de los Suelos Mediterráneos

Los edafólogos españoles **Recatalá y Sánchez** desarrollan una propuesta metodológica para la evaluación de la calidad ambiental del suelo para evaluación de impacto ambiental y planificación y ordenación de los usos del territorio en el ámbito mediterráneo valenciano (escala regional).



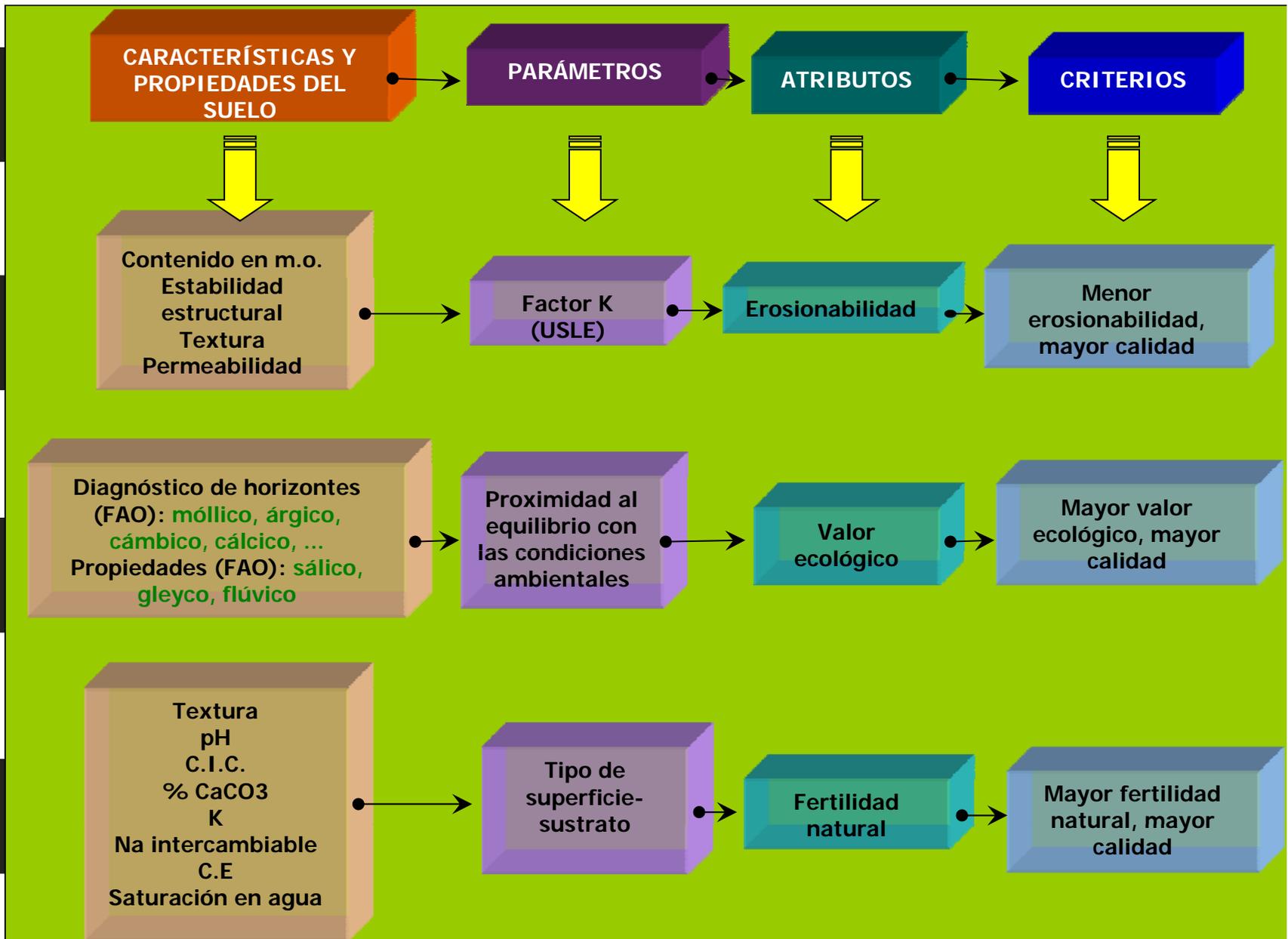


Figura 4.- Características del suelo, parámetros, atributos y criterios para evaluar la calidad

del suelo en la Región Mediterránea

CALIDAD	EROSIONABILIDAD	VALOR ECOLÓGICO	FERTILIDAD NATURAL
<i>MUY ALTA</i>	K < 0.15 t/ha	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Suelos con un horizonte A móllico con carencia de propiedades sálicas y flúvicas. ➔ Suelos desarrollados sobre areniscas con un horizonte B argílico. ➔ Suelos con granulometrías más gruesas que los franco arenosos a una profundidad de la menos 100 cm desde la superficie con carencia de propiedades flúvicas y/o sálicas. ➔ Suelos con propiedades gleycas con 50 cm desde la superficie en condiciones naturales y con carencia de propiedades flúvicas. ➔ Suelos con propiedades sálicas en condiciones naturales y con carencia de propiedades flúvicas. ➔ Suelos con propiedades sálicas en condiciones naturales y carencia de propiedades flúvicas. 	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Suelos con textura franca hasta los primeros 50 cm, no modificado.
ALTA	0.25 t/ha > K > 0.15 t/ha	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Suelos desarrollados sobre la roca caliza, que poseen un horizonte B argílico y con carencia de horizonte A móllico. ➔ Suelos desarrollados sobre areniscas que poseen un horizonte B cámbico. 	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Suelos con textura franca hasta los primeros 50 cm, con carbonato libre hasta los 50 cm desde la superficie, pH > 7.3 con un contenido en potasio inferior a 0.2 cmol/Kg en el complejo de cambio y sin aplicación de otros enmendantes. ➔ Suelos con una textura franca hasta los primeros 20 cm y con textura arcillosa desde los 20 hasta los 50 cm. No modificado.

CALIDAD	EROSIONABILIDAD	VALOR ECOLÓGICO	FERTILIDAD NATURAL
MODERADA	0.35 t/ha > K > 0.25 t/ha	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Suelos desarrollados sobre roca caliza o materiales no consolidados, poseen un horizonte B cámbico, ausencia de horizonte A móllico, ausencia de horizonte B argílico y ausencia de propiedades gleycas y sálicas. ➔ Suelos desarrollados sobre roca caliza o materiales no consolidados, poseen un horizonte B cámbico, un horizonte petrocálcico o bajo contenido en caliza activa hasta 125 cm desde la superficie, ausencia de horizonte A móllico, ausencia de propiedades gleycas y sálicas. 	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Suelos con textura franca hasta los primeros 20 cm y arcillosa desde los 20 cm hasta los 50 cm, con carbonato libre hasta los 50 cm, pH > 7.3, contenido en potasio del complejo de cambio < 0.2 cmol/kg y no modificado. ➔ Suelos con una textura franca hasta los primeros 20 cm y un contacto lítico entre los 20 y los 50 cm de la superficie, con carbonato libre hasta los 20 cm, pH > 7.3 con contenido en potasio del complejo de cambio < 0.2 cmol/kg, sin modificadores. ➔ Suelos con textura arcillosa los primeros 50 cm, con menos de 0.2 cmol/kg y no modificado.
BAJA	0.45 t/ha > K > 0.35 t/ha	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Suelos desarrollados sobre roca caliza o materiales no consolidados, carecen de un horizonte A móllico, de horizonte B cámbico y horizonte B argílico. ➔ Suelos que presentan propiedades flúvicas. 	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Suelos con textura arenosa hasta los 50 primeros cm, con < 0.2 cmol/kg de potasio en el complejo de cambio, con capacidad de intercambio catiónico efectiva < 7 cmol/kg en los 20 cm superiores, conteniendo o no carbonato libre hasta 50 cm de la superficie, no modificado. ➔ Suelos con textura arenosa hasta los primeros 20 cm y textura arcillosa desde los 20 a los 50 cm, con capacidad de intercambio catiónico efectiva < 7 cmol/kg hasta los 20 cm superiores, con o sin carbonatos hasta los 50 cm de la superficie y no modificado. ➔ Suelos saturados hasta los 60 cm de la superficie por más de 60 días al año. ➔ Suelos con conductividad eléctrica 0.2-0.4 S/m hasta los primeros 100 cm.
MUY BAJA	K > 0.45 t/ha	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Suelos que se hallan limitados en profundidad por presencia de rocas y horizontes cementados a 30 cm de la superficie, carecen de horizonte A móllico. ➔ Suelos en los que las actividades antrópicas han producido grandes modificaciones respecto a sus condiciones naturales. 	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Suelos con contacto lítico a menos de 20 cm de la superficie. ➔ Suelos saturados hasta 60 cm de la superficie la mayor parte del año. ➔ Suelos con conductividad eléctrica > 0.4 S/m ➔ Suelos que tienen un contenido en sodio intercambiable un 15 % superior a la capacidad de intercambio catiónico.

El **sistema de referencia para el valor ecológico** se define de acuerdo con las tendencias del suelo hacia el equilibrio con las condiciones ambientales de la región.

Recatalá y Sánchez (1993) y Recatalá (1995) estudiaron todas las posibles tendencias en la región.

Veamos las tendencias que ocurren sobre roca caliza a modo de ejemplo.



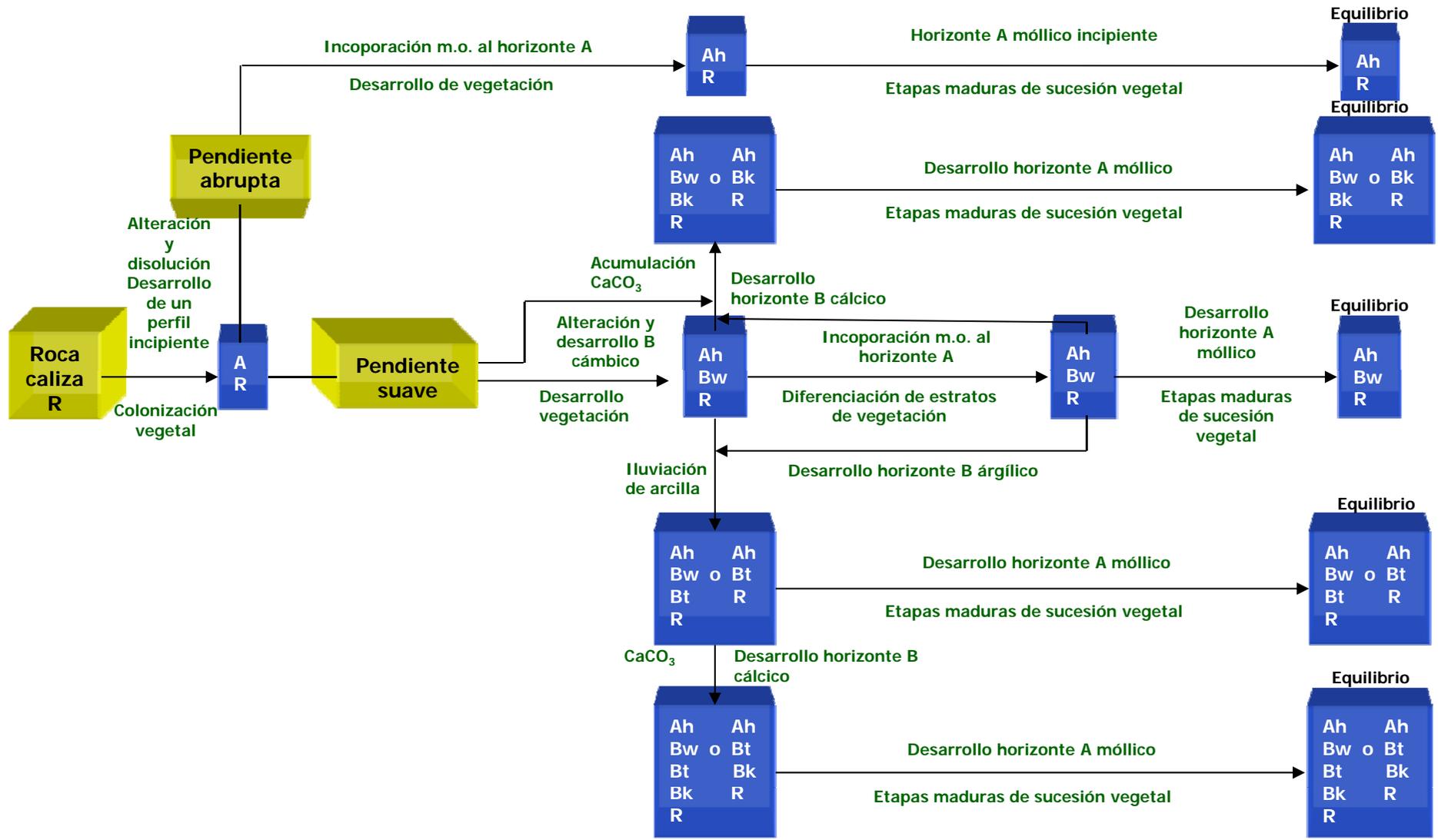


Figura 5.- Esquema simplificado de las tendencias al equilibrio de un suelo desarrollado sobre roca caliza en la Región Mediterránea Valenciana (según Recatalá y Sánchez)



Los diferentes estadios evolutivos del suelo en estas tendencias, identificados a través de ciertos horizontes de diagnóstico (p. ej. horizonte móllico, FAO, 1988) o propiedades de diagnóstico (*propiedades sálicas, FAO, 1988*), son utilizadas para definir las diferentes clases del sistema de referencia para el valor ecológico.

El sistema de referencia para fertilidad natural se define a partir de los **tipos de superficie-sustrato** establecidos en la Soil Fertility Capability Classification (SFCC, Buol, 1992).

Además de estos tres atributos, también se considera **la rareza del suelo** para la evaluación de la calidad ambiental. La rareza refleja el hecho de que el suelo de un ecosistema particular puede ser especial en el contexto de la región Mediterránea debido a su escasez.

Concretando, en la evaluación de la calidad ambiental del suelo, siguiendo esta propuesta, se considera que:

Los suelos con **mayor resistencia a la erosión** (menor erosionabilidad), **mayor valor ecológico** (mayor proximidad de equilibrio con las condiciones ambientales naturales) y **mayor fertilidad natural** (condiciones físicas y químicas más favorables al crecimiento y desarrollo de las plantas) presentan **mayor calidad ambiental**.

Sin embargo, los suelos que presentan rareza (representan menos del 5% del total de superficie de la región) se clasifican y evalúan como suelos que poseen **muy alta calidad ambiental**.

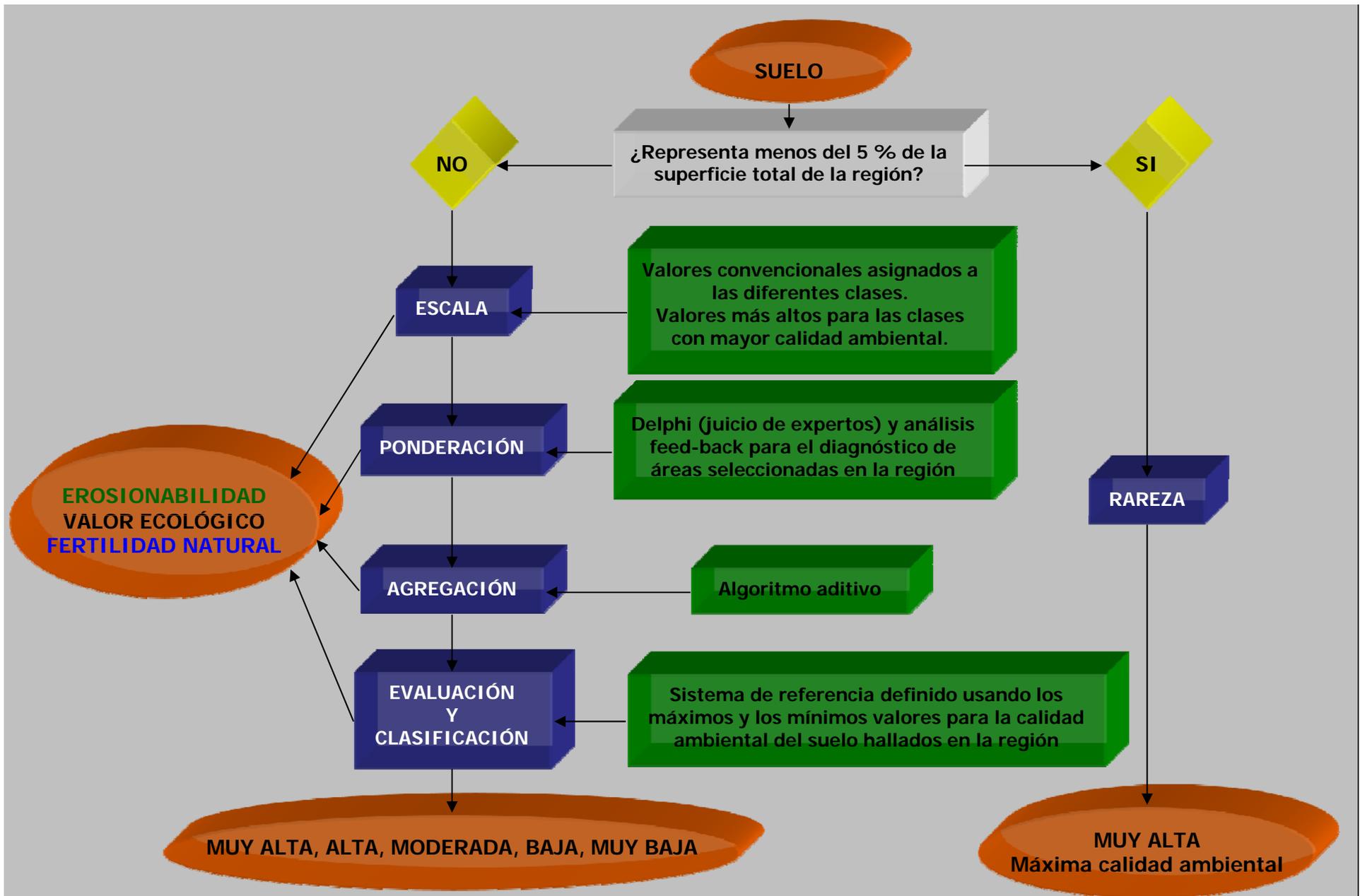


Figura 6.- Procedimiento para la evaluación y clasificación de la calidad ambiental del suelo.

(1) Para la asignación de valores convencionalmente se toman valores pares (de 2 a 10) para las diferentes clases de los sistemas de referencia, de acuerdo con sus significado con respecto a la calidad ambiental del suelo (p. ej. a la clase muy alto valor ecológico se le asigna el valor 10)

(2) Para la asignación de pesos o valores de importancia a los distintos atributos considerados para definir la calidad ambiental del suelo, se utilizó el **método de Delphi (Dalker y Helmer, 1963)** y análisis de ensayo y error en unidades de tanteo y diagnóstico seleccionadas en la región.

(3) La agregación de los valores obtenidos por un suelo, según las clases de los sistemas de referencia en los que se clasifica, se ponderan según la importancia de cada atributo. Para la agregación se utiliza un **algoritmo aditivo**.

A continuación se muestra como puede ser utilizada la información sobre calidad ambiental del suelo en la **evaluación del impacto ambiental**, dentro del contexto de la ordenación del territorio.

Para realizar esta valoración se asignan convencionalmente valores (de 1 a 5) a las distintas clases de calidad ambiental.

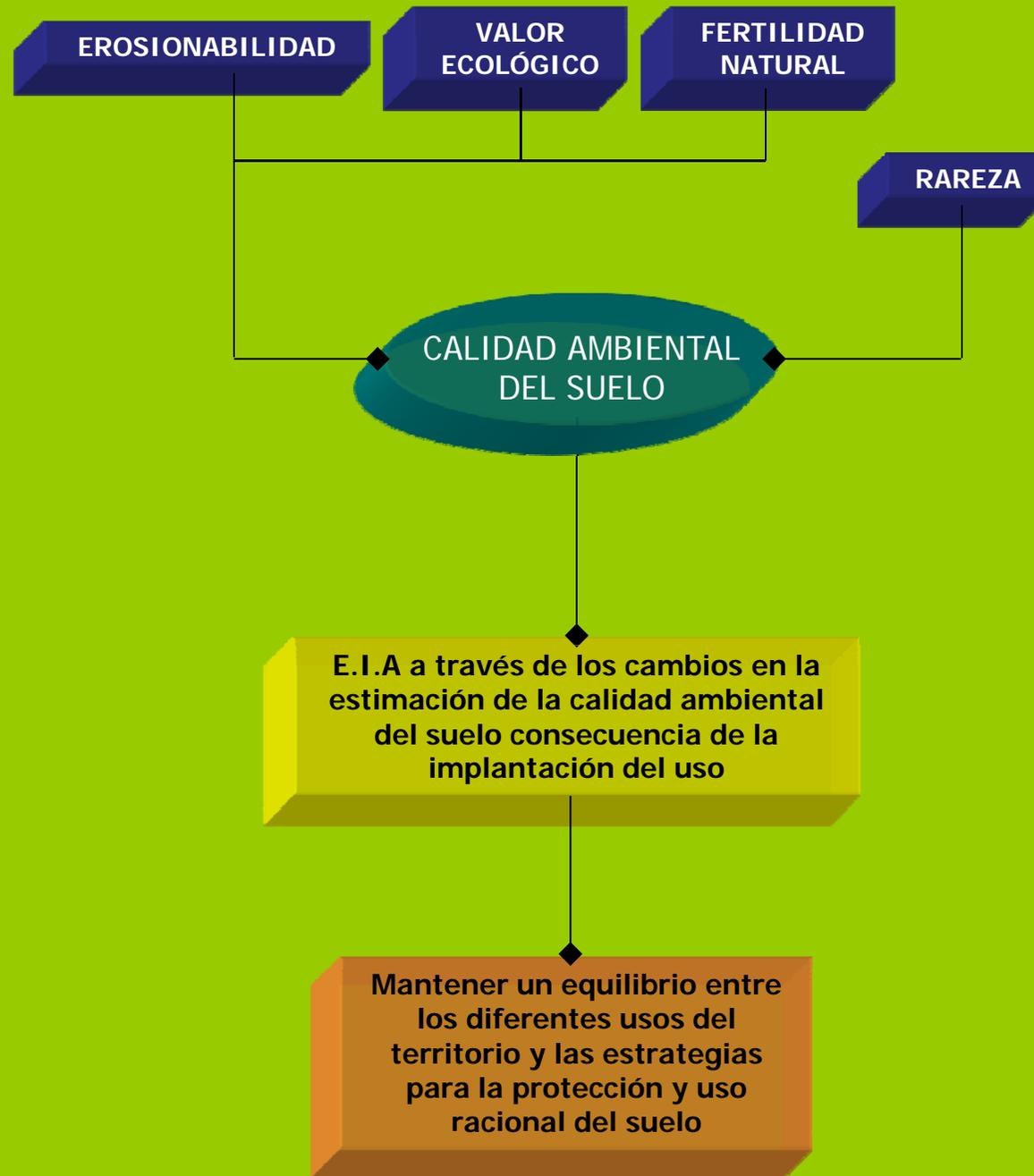
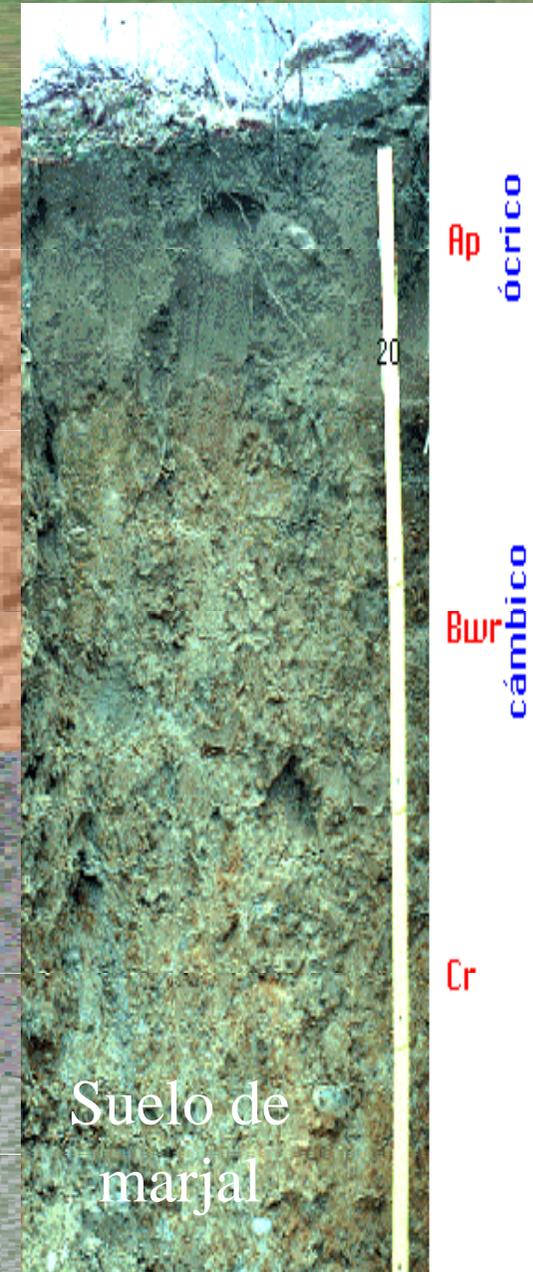


Figura 7.- Información sobre la calidad ambiental del suelo para Estudios de Impacto Ambiental en el contexto de la planificación de usos del suelo.

Por ejemplo, un suelo en condiciones naturales (p.ej. un **Gleysol Eútrico**; FAO, 1988), cuya calidad ambiental se estima disminuiría de **clase alta (valor 4) a baja (valor 2)** por efecto de **implantar regadío**, el impacto ambiental que supondría el cambio de uso podría ser expresado por la siguiente diferencia:



Eutric Gleysol

$2(\text{valor estimado como consecuencia del impacto de uso}) - 4 (\text{valor inicial}) = - 2$
unidades de calidad ambiental

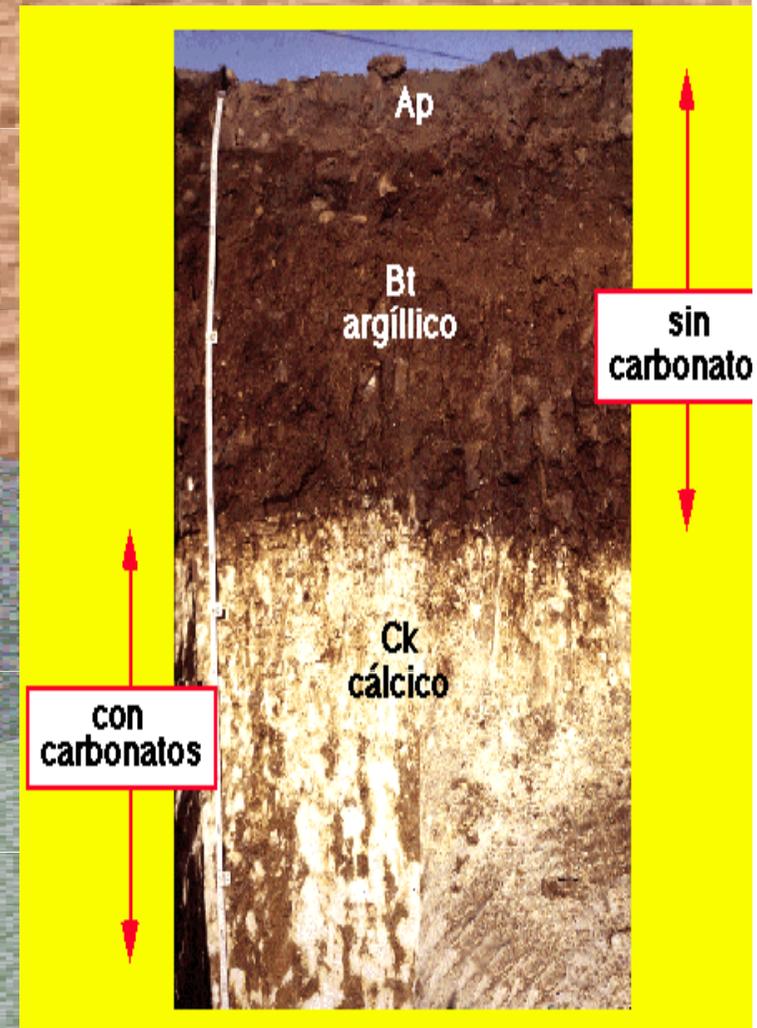
Sin embargo, si el uso a implantar fuera un **uso urbano**, el correspondiente impacto ambiental sería de **-4 unidades** de calidad ambiental, puesto que **el suelo pasaría de alta calidad ambiental a nula.**

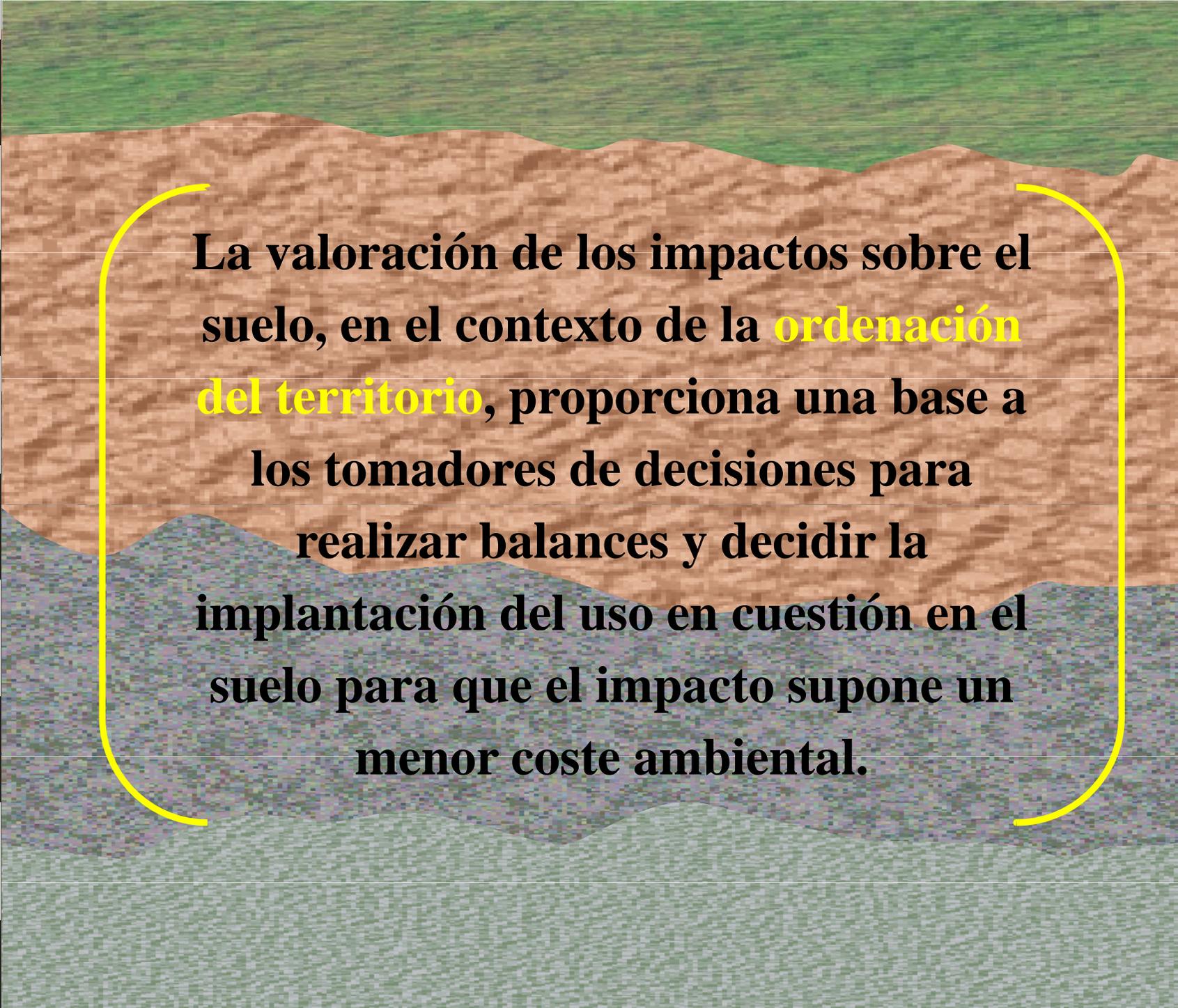
En el primer caso, la implantación de un regadío en un **Gleysol** supone, en la mayoría de los casos, la **transformación del suelo original en un Antrosol cumúlico** (FAO, 1988), el cual es un suelo desarrollado por el hombre a través de drenaje y adición de materiales alóctonos, que se clasifica como **baja calidad ambiental**.

En el segundo caso, la implantación de un uso urbano supondría un **descenso de 4 unidades** de calidad ambiental, ya que supondría la **pérdida de suelo por sellado** (Van Lynden, 1994).

Además estos impactos pueden clasificarse como:
críticos, severos, moderados, bajos o muy bajos,
según que el suelo afectado sea de muy alta, alta,
moderada, baja o muy baja calidad ambiental.

En cuanto que los impactos ambientales que provocaría un mismo uso suelen ser diferentes para distintos tipos de suelos (p. ej. la implantación de regadío en un Cambisol calcáreo supone un impacto moderado y de -1 unidad de calidad ambiental, y de un uso urbano de -2 unidades de calidad ambiental).





La valoración de los impactos sobre el suelo, en el contexto de la **ordenación del territorio, proporciona una base a los tomadores de decisiones para realizar balances y decidir la implantación del uso en cuestión en el suelo para que el impacto supone un menor coste ambiental.**

CONSIDERACIONES FINALES

- I. El concepto de calidad del suelo debe asumirse desde una doble perspectiva: capacidad de producción y calidad ambiental del suelo.
- II. La evaluación de la calidad del suelo puede abordarse desde dos aproximaciones metodológicas distintas:
 - a) Como una característica o atributo inherente del suelo gobernada por procesos edafológicos de formación del suelo.
 - b) Como la condición del suelo para funcionar adecuadamente para un uso específico.

CONSIDERACIONES FINALES

III. Procesos socioeconómicos (expansión urbana, incremento industrial, desarrollo de infraestructuras, expansión turística, abandono de tierras, etc) influyen en el balance entre suelos urbanos y rurales

IV En la UE existen conflictos entre usos por los recursos naturales (p. ej. agricultura frente a explotación forestal, característico en las zonas interiores mediterráneas, y agricultura frente a usos urbanos e industriales, típicos del litoral).

CONSIDERACIONES FINALES

V. Todavía hoy existen políticas en muchos países para aumentar la explotación de la tierra y la producción (intensificación de la agricultura). Estas políticas estimulan a los agricultores a alcanzar niveles más altos de producción, a través de ayudas técnicas y financieras con graves consecuencias medioambientales.

VI. Para finalizar, señalar que urge el consenso entre los edafólogos e instituciones sobre el concepto de calidad del suelo y los indicadores de calidad ambiental a utilizar, así como establecer guías interpretativas de los indicadores seleccionados.



Muchas Gracias