



Agricultura: diferentes situaciones, diferentes enfoques

Agricultura: diferentes situações, diferentes abordagens

Dra. Rocío Millán



Ciemat Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas



Agricultura: diferentes situaciones, diferentes enfoques. Introducción

Ciemat

Dpto. de Medio Ambiente

Unidad de Conservación y Recuperación de Suelos (CoReS)



Portal I+D+i SUELOS:
<http://rdgroups.ciemat.es/web/suelos/>

- Conservación de suelos
- Recuperación de emplazamientos
- Zonas agrícolas
- Residuos orgánicos



Índice

 ***El suelo, un recurso imprescindible para la vida.***

 ***El suelo y la agricultura, nuestras raíces.***

Suelos agrícolas contaminados.

La agricultura al cierre de actividades mineras.

El reto de la recuperación de suelos agrícolas abandonados.

 ***Reflexiones.***

El suelo, un recurso imprescindible para la vida

Los suelos se forman a partir de la roca e interactúan con



Litosfera
Hidrosfera
Atmósfera
Biosfera

El suelo es un preciado recurso natural



no renovable a escala humana.

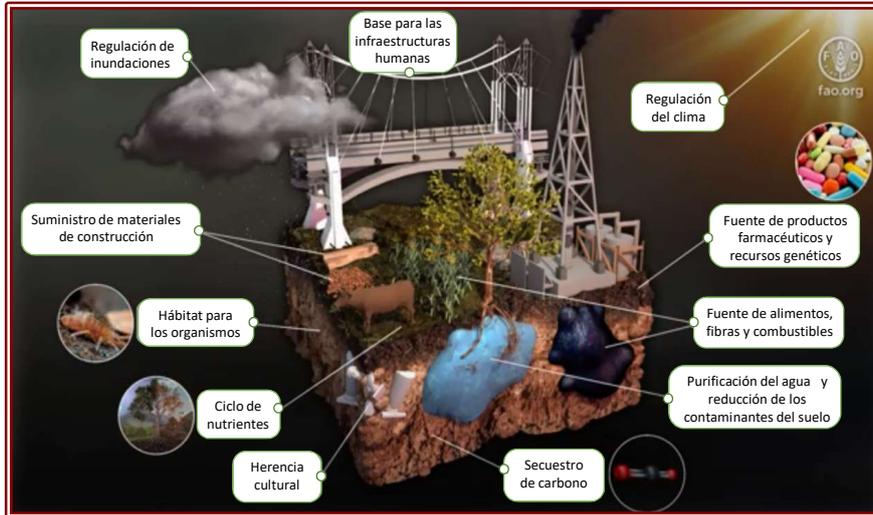
Los suelos nos brindan servicios ecosistémicos que permiten la vida en la Tierra.



Década Internacional
de los Suelos
2015 - 2024

El suelo, un recurso imprescindible para la vida

“Suelos sanos para una vida sana”



El suelo, un recurso imprescindible para la vida

Los suelos son la base de los ecosistemas terrestres.
 Contienen el 25 % de la biodiversidad del planeta.



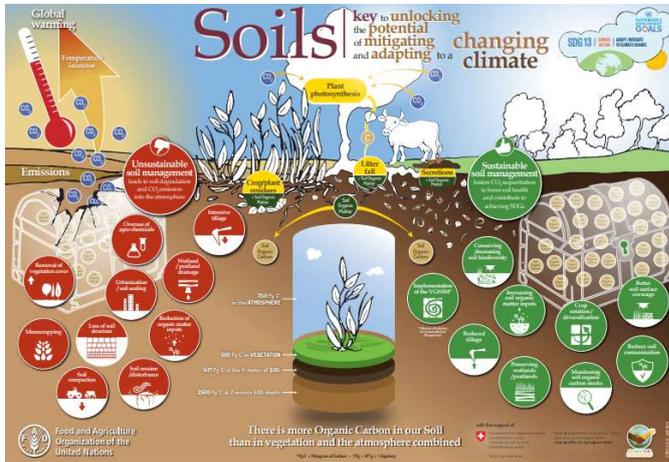
Es decir, 2 toneladas de biomasa por hectárea.

Un solo gramo de suelo sano contiene millones de organismos, incluyendo animales vertebrados, lombrices, nematodos, ácaros, insectos, hongos, bacterias, ...

| Organismos en el suelo por debajo de 1 m ² | Nº individuos por m ² | Biomasa (g/m ²) |
|---|--|-----------------------------|
| Bacterias | 10 ¹⁴ - 10 ¹⁵ | 40 - 500 |
| Actinomicetos | 10 ¹² - 10 ¹³ | 40 - 500 |
| Hongos | 10 ⁶ - 10 ⁸ (metros de micelio) | 100-1500 |
| Algas | 10 ⁹ - 10 ¹⁰ | 1 - 50 |
| Protozoos | 10 ⁷ - 10 ¹¹ | 2 - 30 |
| Nematodos | 10 ⁵ - 10 ⁷ | 1 - 30 |
| Anélidos | 10 - 10 ³ | 10 - 400 |
| Ácaros | 10 ³ - 10 ⁶ | 0.2 - 5 |
| Colémbolos | 10 ³ - 10 ⁶ | 0.2 - 5 |
| Otros | 10 ² - 10 ⁴ | 1 - 10 |

(Datos: Brady N.C., Weil, R.R., 2008)

El suelo, un recurso imprescindible para la vida



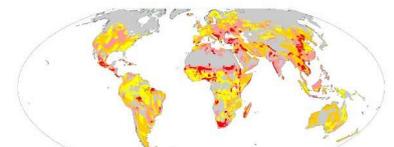
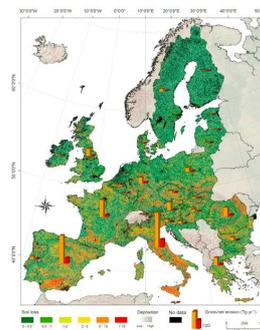
Existe más carbono almacenado en los suelos del que puede encontrarse en la atmósfera y en toda la vida vegetal terrestre.

“Soil protection is climate protection”.

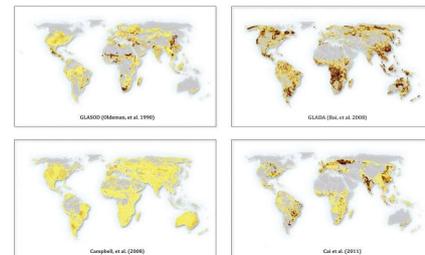
El suelo, un recurso imprescindible para la vida



Media anual de pérdida de suelo/deposición



Mapa de la degradación de suelo – GLASOD (FAO 2000)



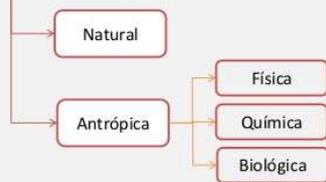
(Gibbs & Salmon, 2015)

EU: La erosión afecta a 12 10⁶ Ha (un 7,2% del total de las zonas agrícolas) y conlleva 1,25 billones € en pérdidas en la producción de cultivos (Panagos et al., 2018)

El suelo, un recurso imprescindible para la vida

Nuestros suelos están degradados

- ❖ Degradación:
 - ❖ Reducción de su capacidad para producir bienes y servicios ecosistémicos y garantizar sus funciones en forma sostenible.
 - ❖ Pérdida de capacidad productiva.



- ❖ Pérdida de suelo: 50.000 km²/año
- ❖ 2050: +60 % alimentos



FAO Página web AIS + Atlas de suelos de América Latina y el Caribe



2,5 millones de emplazamientos potencialmente contaminados en Europa requieren investigaciones detalladas del suelo

El suelo, un recurso imprescindible para la vida

A tener en cuenta:

- 95 % de la alimentación procede del suelo.
- 75 % suelos agrícolas sufren erosión.
- 80 % de los productores de alimentos son pequeños productores (familias) que generan el 20 % de los alimentos.
- Se desperdicia un tercio de los alimentos producidos (más de la mitad es compostable).
- 2 mil millones de personas con deficiencias nutricionales o en situación de hambruna.
- El riego agrícola representa el 70% del uso del agua en el mundo.
- Pérdidas de 550 M€ en España como “factura del Cambio Climático” siendo el viñedo el sector más afectado.

El suelo, un recurso imprescindible para la vida



Estamos perdiendo suelo pero la población sigue creciendo.

El uso sostenible del suelo es necesario para cubrir las necesidades futuras de la población y la conservación del medioambiente.

La protección del suelo es una tarea de toda la sociedad.



El suelo, un recurso imprescindible para la vida



Naciones Unidas
17 Objetivos de Desarrollo Sostenible y 169 items.
(Agenda 2030)

Convenios y Alianzas internacionales

Europa
Green Deal, Horizonte Europa (“From farm to fork”), LIFE, PRIMA, ERANet, *Cost Actions*, *European Missions – Soil health and food*

España
Programas y Planes de I+D nacionales y autonómicos, CDTI, Fundaciones, Empresas y Asociaciones.



El suelo, un recurso imprescindible para la vida



El suelo, un recurso estratégico para una sociedad sostenible (CICS 2022)
O solo, recurso estratégico para una sociedade sustentável (CICS 2022)

El suelo y la agricultura, nuestras raíces



Suelos agrícolas contaminados... tras accidente nuclear

Chernobyl: primera situación de tal magnitud.

Metodologías para la recuperación de suelos contaminados tras accidente nuclear.

Agricultura: estudios de transferencia suelo-planta e incidencia en productos de consumo:

- Situación real (Chernobyl).
- Sistemas controlados (Edificio RESSAC, Francia).
- Instalaciones radiactivas (Francia y España).

Estudios: intercepción por la vegetación, depósito en suelos, efecto del lavado por lluvia, migración en profundidad, transferencia a cultivos e incidencia en la fracción comestible, influencias de las prácticas agrícolas, procesado del alimento...



El suelo y la agricultura, nuestras raíces

Vulnerabilidad radiológica en suelos peninsulares

Caracterización edáfica: Base de datos georreferenciada con más de 1700 perfiles de suelos completos de un total de más de 2000 perfiles recopilados.

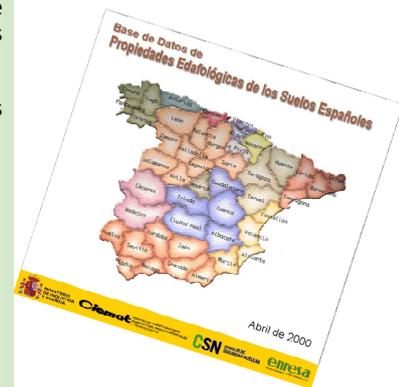
Metodología de evaluación de la vulnerabilidad radiológica de los suelos peninsulares españoles (índices de vulnerabilidad).

Integración de cultivos y su distribución.

Consumo preferente (dietas).

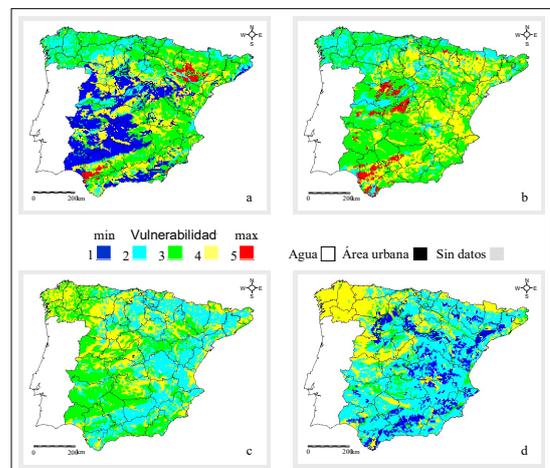
Potencial incidencia en la fracción comestible.

Transferencia de la información al Consejo de Seguridad Nuclear (CSN)



El suelo y la agricultura, nuestras raíces

| Parámetros considerados | Irradiación externa (Primeros centímetros de suelo) | | Cadena alimentaria (Primeros 60 cm del suelo) | |
|--|--|--------------------------------|--|--------------------------------|
| | Cs 134/137 | Sr 90 | Cs 134/137 | Sr 90 |
| Textura del suelo Estructura del suelo CIC | Capacidad de infiltración | Capacidad de infiltración | Capacidad de infiltración | Capacidad de infiltración |
| Textura del suelo, densidad, Contenido de MO, Permeabilidad y Pendiente | Capacidad de retención hídrica | Capacidad de retención hídrica | Capacidad de retención hídrica | Capacidad de retención hídrica |
| CIC Contenido de arcilla Contenido de MO | Capacidad de retención F-Q Cs 134/137 | | Capacidad de retención F-Q Cs 134/137 | |
| pH CIC | Capacidad de retención F-Q Sr 90 | | Capacidad de retención F-Q Sr 90 | |
| K - intercambiable | | | Contenido en K intercambiable | |
| Ca - intercambiable | | | Contenido en Ca intercambiable | |



Irradiación Externa: a) ¹³⁷Cs y b) ⁹⁰Sr Cadena Alimentaria: c) ¹³⁷Cs y d) ⁹⁰Sr

El suelo y la agricultura, nuestras raíces

La agricultura tras el cierre de actividades mineras... ¿y si es mercurio?



Composición: M.J. Sierra (CIEMAT)



Comportamiento de contaminantes en el sistema suelo-planta e incidencia en productos de consumo. Interacción con nutrientes.

Efecto de las prácticas agronómicas y del manejo del suelo sobre el comportamiento de contaminantes.

Desarrollo de estudios y métodos en laboratorio, invernadero, cámaras de cultivo, lisímetros, campos experimentales y en situación real (Almadén, Asturias, minería aurífera).

El suelo y la agricultura, nuestras raíces

Identificación de problemas ambientales y caracterización de la zona.

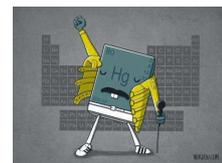
Selección de técnicas más adecuadas. Combinación de técnicas. Viabilidad y eficacia de las mismas.

Planes de recuperación ambiental/restauración. Integración paisajística.

Planes de monitorización y vigilancia ambiental.

Recomendaciones de uso. Alternativas socio-económicas.

Asesoramiento en otras zonas y transferencia de conocimiento.



El suelo y la agricultura, nuestras raíces



Dehesas (9000 Ha... a gestionar)

- ✓ Cultivos de consumo humano y forrajeros (incluyendo variedades locales).
 - ✓ Cultivos industriales.
 - ✓ Plantas medicinales y de usos tradicionales.
 - ✓ Nutrientes vs. contaminantes (Hg). Rizosfera.
 - ✓ Efecto de la fertilización sobre la transferencia del Hg...
- Mejores prácticas agronómicas.
 - Impacto sobre la dieta local...

El suelo y la agricultura, nuestras raíces

Berenjena (*Solanum melongena* L.)

WHO (2011): 34,2 µg Hg/día (Persona: 60 kg masa corporal y considerando que el 100% del Hg total es retenido en el cuerpo)

| Berenjena | [Hg] (µg kg ⁻¹) | Máxima ración (kg fruto día ⁻¹) |
|-------------------------------|--------------------------------|--|
| Fruto (con pedúnculo y cáliz) | 22,1 – 190,2 | 1,55 – 0,18 |
| Fruto (sin pedúnculo y cáliz) | 16,8 - 65,4 | 2,04 - 0,52 |



• Sierra *et al.*, 2008. Potencial use of *Solanum melongena* in agricultural areas with high mercury background concentrations. Food Chem. Toxicol 46 (6), 2143-2149.
 • Millán *et al.*, 2013. Could an abandoned mercury mine area be cropped?. Environ. Res. 125, 150-159.

El suelo y la agricultura, nuestras raíces

Altramuz (*Lupinus albus*)

Forraje (Directive 2002/32/EC Comission directive 2003/100/EC)

| Altramuz | [Hg] (mg kg ⁻¹) | Límite para nutrición animal (mg kg ⁻¹) | Consumo recomendado |
|----------|--------------------------------|--|------------------------|
| Semillas | 0,01 – 0,03 | 0,1 | SI |
| Forraje | 0,06 – 0,14 | 0,1 | NO |

Consumo humano (WHO – IPCS, 2004)

| Altramuz | [Hg] (mg kg ⁻¹) | Máxima ingesta (kg fruto día ⁻¹) |
|----------|--------------------------------|---|
| Semillas | 0,01 – 0,03 | 3,97 – 1,38 |

“Food Additives Series 52: Safety evaluation of certain food additives and contaminants” (WHO-IPCS, 2004). Límite de consumo hasta 42,6 µg Hg/día.



P. Zornoza, R. Millán, M.J. Sierra, A. Seco, E. Esteban (2010) “Efficiency of white lupin in the removal of mercury from contaminated soils: soil and hydroponic experiments” Journal of Environmental Sciences 22(3): 421-427.

El suelo y la agricultura, nuestras raíces

Según la directiva “WHO-IPCS: Food Additives Series 52. Safety evaluation of certain food additives and contaminants”. Organización Mundial de la Salud (OMS-WHO, 2004), podrían consumirse hasta 42,6 µg/día de Hg total, así pues:

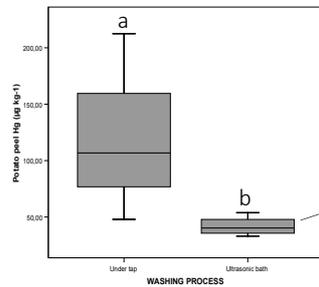
| Cultivos | [Hg] (µg kg ⁻¹) | Máxima ración (kg grano día ⁻¹) | Esto significa... |
|----------|--------------------------------|--|--------------------------|
| LENTEJA | 6 - 36 | 1,2 – 6,6 | 26 – 144 Platos/día |
| GARBANZO | | | |
| CEBADA | 5 – 24 | 1,7 – 8,9 | 12 – 59 L cerveza/día |



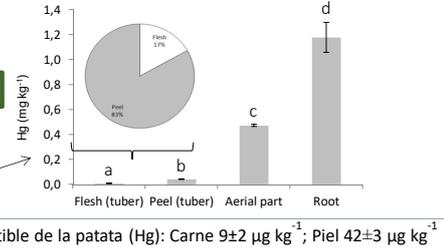
• Millán *et al.*, 2013. Could an abandoned mercury mine area be cropped?. Environmental Research 125: 150-159.
• Sierra M.J., Millán R., Cardona A., Schmid T. (2011) “Potential cultivation of *Hordeum vulgare* L. in soils with high mercury background concentration”. Int. J. of Phytoremediation 13(8): 765-778

El suelo y la agricultura, nuestras raíces

Patata (*Solanum tuberosum*)



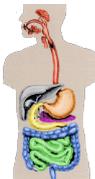
Procesado !!



Parte comestible de la patata (Hg): Carne $9 \pm 2 \mu\text{g kg}^{-1}$; Piel $42 \pm 3 \mu\text{g kg}^{-1}$



| Método de procesado | [Hg] _{total} (µg kg ⁻¹) | Max. ración (kg DW día ⁻¹) | Hg dializable (%) | Max. Ración según el % dializable (kg patata DW día ⁻¹) |
|------------------------|--|--|-------------------|---|
| Hervida y sin piel | 3,8 ± 0,0 | 9,2 | 75,0 ± 37,2 | 12,2 |
| Hervida entera (+ sal) | 4,5 ± 0,5 | 7,7 | 49,8 ± 14,4 | 15,3 |
| Hervida entera (- sal) | 6,7 ± 0,7 | 5,1 | 49,8 ± 14,0 | 10,2 |



WHO 2011: 34,2 µg Hg día⁻¹ (Persona de 60 kg de peso y teniendo en cuenta que el 100 % Hg total es retenido en el cuerpo)

• Sierra et al., 2017. Cultivation of *Solanum tuberosum* in former mining district for a safe human consumption integrating simulated digestion. J. Sci. Food Agric., 97, 5278-5286. DOI: 10.1002/jsfa.8412

El suelo y la agricultura, nuestras raíces



[Hg]_{flores+hojas} 0,03 – 0,55 mg kg⁻¹

Lavanda (*Lavandula stoechas* L.)

PRODUCTOS



Aceite esencial, agua de colonia, fragancia



Infusión

Infusión de lavanda: 3,7 – 68,4 L día⁻¹ (sin riesgo de intoxicación) (OMS, 2011)

Uso cosmético: Permitido (con control y consulta de regulaciones actualizadas)

[Hg] infusión de lavanda
[Hg] aceite esencial / agua de colonia
< 0,5 µg kg⁻¹

• Sierra et al., 2009. Mercury uptake and distribution in *Lavandula stoechas* plants grown in soil from Almadén district (Spain). Food Chem. Toxicol. 47, 2761-2767.

El suelo y la agricultura, nuestras raíces

- ☺ Alternativas para la población.
- ☺ Selección de cultivos tradicionales o de alto valor económico.
- ☺ Integración en los planes de recuperación. Integración en el paisaje.
- ☺ Planes de monitorización y vigilancia ambiental.
- ☺ Asesoramiento en otras zonas y transferencia del conocimiento.
- ☹ Se requieren estudios suelo-cultivos específicos para cada zona.
- ☹ Requieren mucho tiempo y pueden ser costosos.
- ☹ Colaboración por parte de los productores y población local.
- ☹ Aceptación social del producto (consumidores).

El suelo y la agricultura, nuestras raíces

Suelos agrícolas abandonados... ¿en zonas áridas / semiáridas?



Estrategias de recuperación de suelos agrícolas abandonados y tierras marginales (mejora del contenido en nutrientes y materia orgánica, selección de cultivos y enmiendas, ...).

Efecto de prácticas agronómicas y manejo del suelo (comparación con prácticas tradicionales).

Desarrollo de enmiendas edáficas obtenidas a partir de residuos orgánicos locales.

Desarrollo de estudios y métodos en laboratorio, invernadero, cámaras de cultivo, campos experimentales (Cuenca y Guadalajara).



El suelo y la agricultura, nuestras raíces



Summer School
INTENSE
CIEMAT (Madrid) June 12-14 2018
ERA FACCE SURPLUS

Intensify production, transform biomass to energy and novel goods and protect soils in Europe – INTENSE

ERANET-Facce Surplus (ID169)

R. Millán, P. Schröder, A. Sæbø (2019) "Editorial: Options for transition of land towards intensive and sustainable agricultural systems". *Frontiers in Plant Science*. Volume 10: 346.

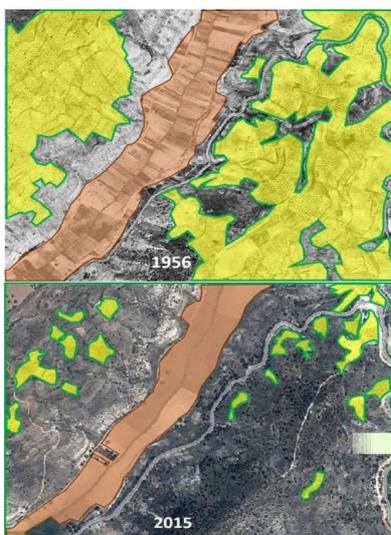


Connecting sustainable agroecosystems and farming with circular bioeconomy and new technologies - ConnectFarms

ERANET-Circularity2021 (ID79)

-  **Gestión sostenible del suelo.**
-  **Cultivos de consumo humano y forrajero.**
-  **Agricultura de precisión.**
-  **Producción integrada agrícola y ganadera.**
-  **Economía circular (residuos orgánicos locales).**

El suelo y la agricultura, nuestras raíces



Los suelos más degradados (pobres) han experimentado un relevante cambio en sus usos en las últimas décadas en el Centro de España. La necesidad de producción de alimentos y forrajes en la postguerra y el aumento de la población (1940-60's), forzó a explotar agrícolamente todas las superficies que pudieran admitir ese uso, incluyendo zonas degradadas o en laderas, etc.

Desde 1960, el desarrollo económico y la mejora de la tecnología (maquinaria agrícola, fertilizantes), motivaron el abandono de las tierras más difíciles de trabajar y menos productivas. Además se producen migraciones a las ciudades y abandono de zonas rurales.

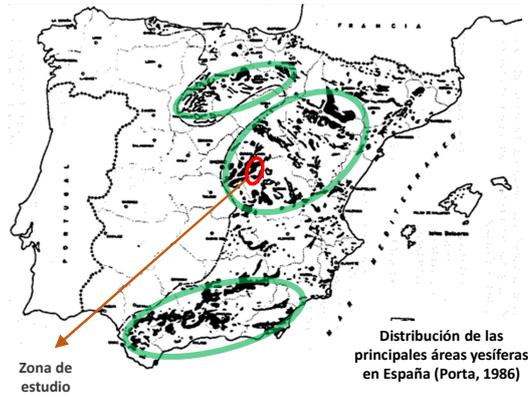
Evolución de la superficie cultivada según ortoimágenes de 1956 (arriba) y 2015 (abajo).

Las zonas en amarillo representan olivares y cultivos de secano. Las zonas en marrón son cultivos herbáceos y huertas en la zona de valle y cerca del río. El resto de la imagen corresponde a matorrales, pastizales y resto de vegetación natural de la zona.

Los suelos que se abandonaron primero son los que eran más difíciles de trabajar, entre ellos los "suelos yesíferos".

Reto socioeconómico y ambiental: recuperar zonas agrícolas abandonadas

El suelo y la agricultura, nuestras raíces



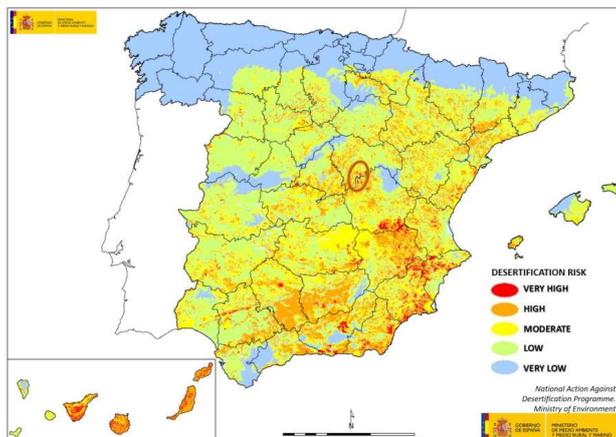
≈ 35,000 Km² de suelos con presencia significativa de yesos en España.

Casi todos en la mitad este de la península.

Muchos de ellos (pero no todos) en zonas áridas y semiáridas.



El suelo y la agricultura, nuestras raíces



La distribución de los suelos yesíferos es notablemente coincidente con las áreas que tienen mayor riesgo de desertificación.

El suelo y la agricultura, nuestras raíces



Casasana (Guadalajara)

(20 km entre ambos sitios)

Buendía (Cuenca)



| Buendía | Datos de suelos | Casasana |
|-------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 8.5 ± 0.1 | pH(H ₂ O) | 7.8 ± 0.1 |
| 0,14 (1:5) | EC (dS m ⁻¹) | 1.12 ± 0.26 (saturated paste) |
| 1.19 ± 0.14 | OM (%) | 0.47 ± 0.14 |
| 45.3 ± 7.5 | Ca (cmol kg ⁻¹) | 284 ± 48 |
| 1.36 ± 0.15 | Mg (cmol kg ⁻¹) | 0.41 ± 0.07 |
| 0.52 ± 0.05 | K (cmol kg ⁻¹) | 0.34 ± 0.07 |
| 0.04 ± 0.01 | Na (cmol kg ⁻¹) | 0.13 ± 0.02 |
| 0.17 ± 0.02 | N (%; Kjeldahl) | 0.06 ± 0.01 |
| 1.20 ± 0.09 | Bulk density | 1.01 ± 0.07 |
| 23.7 ± 1.6 | Field capacity (%) | 38.0 ± 3.7 |
| 13.3 ± 1.0 | WHC (%) | 15.8 ± 2.3 |

El suelo y la agricultura, nuestras raíces



Casasana (Guadalajara)



Elevación: 955 m a.s.l.
Litología: margas con yeso
Pendiente: 25-30
Orientación pendiente: NNE
Tipo de pendiente: concava-convexa
Precipitación anual: 510-610 mm
Tª media- periodo de cultivo: 8,3°C

Algunas características:
presencia de yeso, cierta salinidad,
texturas finas, poca materia orgánica
(0,4% de media)...

P. Schröder, A. Sauvêtre, F. Gnädinger, P. Pesaresi, L. Chmeliková, N. Dogan, G. Gerl, A. Gökçe, C. Hamel, R. Millán, T. Persson, S. Ravnskov, B. Rutkowska, T. Schmid, W. Szulc, C. Teodosiu, V. Terzi. 2019. Discussion paper: Sustainable increase of crop production through improved technical strategies, breeding and adapted management – A European perspective. STOTEN 678:146-161. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.212

El suelo y la agricultura, nuestras raíces

Cultivos



Cebada
(*Hordeum vulgare*
var. pewter,
var. planet,
var. fandaga)



Girasol
(*Helianthus annuus*
var. bosfora)



Lavandín
(*Lavandula x intermedia*
var. Grosso)

Tratamientos



Compost pelletizado



Biochar



Abonado en verde



Urea

Fertilizantes NPK comerciales habituales en estas zonas

- 🌾 Cultivos adaptados a las zonas de estudio
- 🌾 Aprovechamiento de residuos agropecuarios, agroindustriales, forestales ...
- 🌾 Uso de sensores, drones, espectrorradiometría, imágenes...
- 🌾 Cambios en el suelo y en la producción (cantidad y calidad).
- 🌾 Economía circular

Reflexiones



Aumento de producción en cantidad y en calidad ante una población en crecimiento.

Se precisa la **protección de los suelos agrícolas** para evitar su contaminación y pérdida por erosión y adecuar las políticas agrarias con el manejo y conservación de los suelos.

Recuperación de suelos agrícolas abandonados (revitalización de áreas rurales en peligro de despoblación – enfoque medioambiental y socioeconómico).

Desarrollo de técnicas menos agresivas y más efectivas para recuperar suelos, selección de **cultivos y prácticas agronómicas**. **Rotación** de cultivos. Diversificación. **Intercultivos**.

Estudio de **zonas de transición entre compartimentos ambientales**. Estudio de la interacción entre diferentes medios: zonas agrícolas – zonas protegidas (incluidos Parques Nacionales, zonas de alto interés por su biodiversidad); zonas agropecuarias – áreas forestales; zonas agrícolas – sistemas acuáticos (fluviales, deltas y marismas, etc.).

Consenso en técnicas, procedimientos, definiciones.



Reflexiones

Monitorización de zonas productivas para prevenir daños o corregir los que se identificaran y así, donde sea viable, incorporar una agricultura de **precisión**: sensores y nuevas tecnologías.

Desarrollo de **fertilizantes y enmiendas** a partir de residuos orgánicos locales.

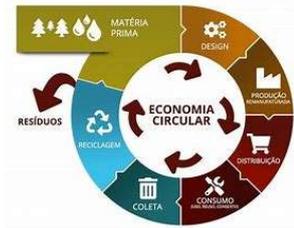
Incremento de nutrientes, materia orgánica, biodiversidad, retención de agua.

Reducción de **emisiones**.

Identificación de **(bio)indicadores**.

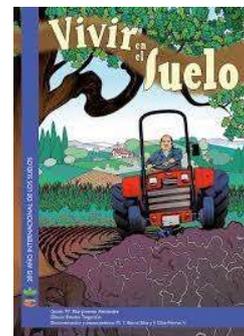
Integración de prácticas agrarias con ganaderas (y residuos orgánicos) para aumentar la circularidad y la sostenibilidad.

Desarrollar **una visión más holística de la recuperación de agrosistemas en suelos degradados**. Integración de aspectos sociales, económicos y ambientales.



Reflexiones

- ✓ Seguir **investigando** en todos los aspectos que intervienen en la conservación y recuperación de lo suelos.
- ✓ **Comunicar** a todos los implicados la necesidad de proteger y cuidar los suelos y encaminarnos hacia una producción más sostenible, aplicando principios de conservación y economía circular.
- ✓ La **divulgación** y la **formación** son pilares básicos y fundamentales.



Muchas gracias por vuestra atención.

Muito obrigada pela vossa atenção.

Thank you very much for your attention.

Dra. Rocío Millán



<http://rdgroups.ciemat.es/web/suelos/>

