

GOBIERNO DE ESPAÑA  
MINISTERIO DE ECONOMÍA, INDUSTRIA Y COMPETITIVIDAD

**Ciemat**  
Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas

**Phytomanagement for site remediation related to bioeconomics.**  
**CIEMAT experience (MERCURIO, BIOXISOIL and INTENSE projects)**

13 / 07 / 2017

**Dr. Rocio Millán** (rocio.millan@ciemat.es)

**CIEMAT - Departamento de Medio Ambiente**

↓

**División de Suelos y Geología Ambiental**

↓

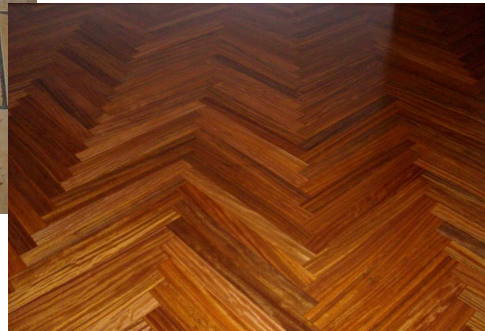
*Unidad de Geología Ambiental Aplicada*  
+  
*Unidad de Conservación y Recuperación de Suelos*



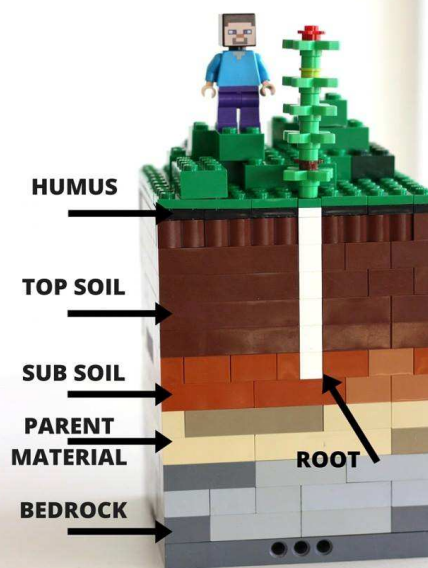
GOBIERNO DE ESPAÑA  
MINISTERIO DE ECONOMÍA, INDUSTRIA Y COMPETITIVIDAD

**Ciemat**  
Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas

**Los suelos....**



**LEGO SOIL LAYERS**







### 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.


Natural

Antropica

Física

Química

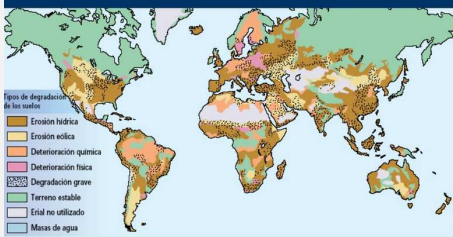
Biológica



33% DE NUESTRO SUELO MUNDIAL ESTA DEGRADADO

Perdida de suelo: 50.000 km<sup>2</sup>/a  
2050: + 60 % alimentos

### DEGRADACIÓN DEL SUELO POR ACTIVIDADES HUMANAS

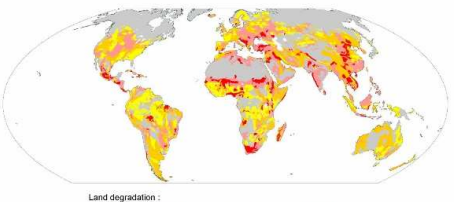


Tipos de degradación de los suelos:

- Erosión hídrica
- Erosión eólica
- Desertificación química
- Desertificación física
- Degradación grave
- Tierras estables
- Tierras no utilizadas
- Masa de agua

Fuente: FAO. Datos referidos a 1990

Suelo



Land degradation :  
light medium high very high

FAO - GIS, March 2000

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

**A tener en cuenta:**

- 95% de la alimentación procede del suelo
- 75% suelos agrícolas sufren erosión
- 25% de la biodiversidad está en los suelos
- 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 (> mitad: compostable)
- 2 mil millones de personas con deficiencias nutricionales o en situación de hambruna
- Coste de la pérdida de suelo estimada en 38 billones \$ /año

### Solución:

#### GESTIÓN SOSTENIBLE DEL SUELO Y PROMOVER ACCIONES DE CONSERVACIÓN ASÍ COMO DE RECUPERACIÓN DE LOS SUELOS YA AFECTADOS

#### ¿Cómo?:

- Gobernanza inclusiva del suelo
- Aumentar la inversión en la gestión sostenible de los suelos
- Promoción y sensibilización social del problema
- Establecer sistemas de información sobre suelos
- Desarrollar capacidades y fortalecer la extensión de los suelos
- Detener la degradación de los suelos
- Implementar la planificación racional y sostenible del uso de los suelos
- Analizar y evaluar el estado de los suelos
- Aumentar el contenido de la materia orgánica del suelo
- Mantener la superficie del suelo cubierta
- Usar racionalmente los nutrientes
- Labranza mínima
- Rotación de cultivos y selección de los cultivos más adecuados
- Sistemas de prevención / reducción de la erosión
- Gestión de residuos y tratamiento de aguas residuales
- Restaurar / rehabilitar / descontaminar suelos
- ....



“Carta Europea del Suelo” (Consejo de Europa, 1972)  
y organizaciones como: FAO; OMS; USDA; EPA; SECS; IUSS:



El suelo es un recurso limitado,  
fácilmente destructible

Los usos del suelo deben tener en  
cuenta las necesidades de hoy y del  
mañana

Los suelos sanos son la base para la  
producción de alimentos saludables  
("suelos sanos para una vida sana")

El suelo debe ser protegido contra la  
erosión y la CONTAMINACIÓN

Departamento de Medio Ambiente

División de Suelos y Geología Ambiental

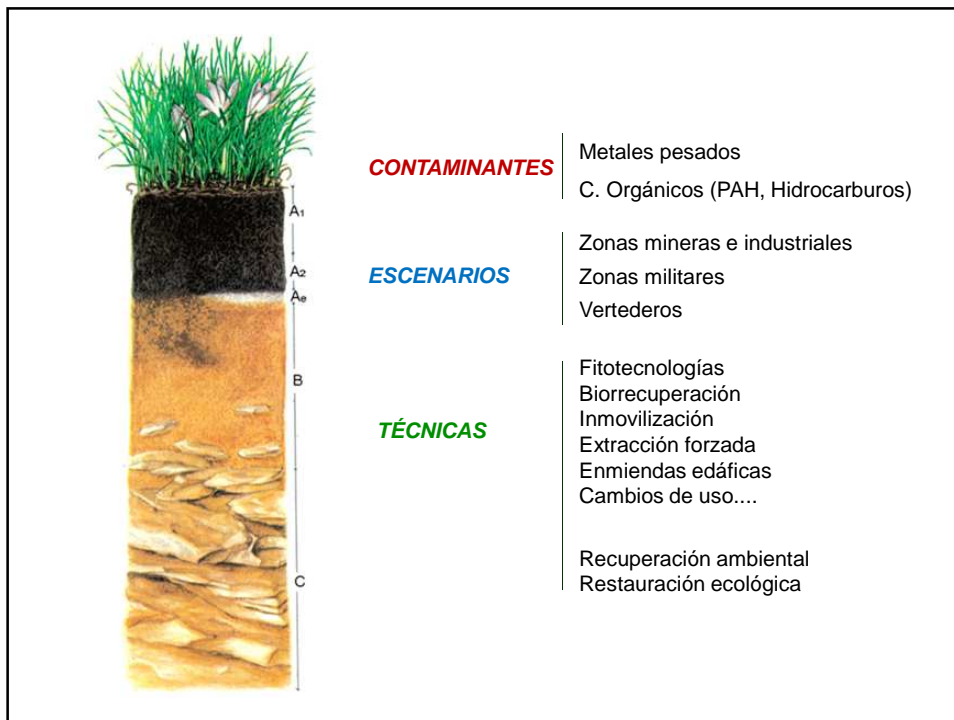
Unidad de Conservación y Recuperación de Suelos

## Objetivos

Desarrollar conocimiento, tecnologías y aplicaciones en el ámbito tanto de la conservación del medio edáfico como del tratamiento y recuperación de suelos contaminados.

Proponer soluciones al tratamiento de residuos orgánicos y colaborar en el control medioambiental de vertederos.





*Línea de investigación sobre zonas mineras: el caso del MERCURIO*



## ORIGEN

Número atómico	80		
	<b>Hg</b>	Símbolo	
	Mercurio	Nombre	
	200,59	Masa atómica	
	2-8-18-32-18-2		
Estructura electrónica			

**NATURAL:** anomalías geotectónicas, materiales originales (rocas), erupciones volcánicas, fuentes geotermales...

**ANTROPOGÉNICO:** minería del Hg, así como minería de oro y plata; industria de elaboración de lejía y sosa caustica; papeleras; fitosanitarios; baterías; termómetros y barómetros; fabricación de plásticos; amalgamas de dentales...

# MERCURIO

Contaminante global junto con plomo y cadmio.

Es uno de los contaminantes más importantes desde el punto de vista de la toxicología alimentaria.

El pescado y otros productos de pesca son los productos más legislados por ser una de las fuentes de incorporación de este elemento.

La actividad humana ha generado un aumento de emisiones de Hg a la atmósfera, aumentando su fondo natural.





# MERCURIO

## ■ USOS:

- **Organomercuriales en agricultura:** Fungicida, herbicida y para evitar moho en el almacenamiento de semillas.
- **Industria química:** fabricación de cloro y sosa caustica (el mercurio hace de cátodo líquido). Fabricación de pinturas marinas desincrustantes y antifúngicas. Insecticidas. Amalgamador. Fabricación de fuegos artificiales y detonadores. Conservante (ceras, jabones, champús).
- **Industria eléctrica** (pilas de botón, interruptores, y conmutadores, acumuladores, termostatos, lámparas, etc.).
- **Termómetros, barómetros, manómetros, marcapasos y bombas de vacío.**

# MERCURIO

- **Industria farmacéutica:** antisépticos (mercurocromo), diuréticos (calomelanos), desinfectantes (fenilmercurio), bactericidas, espermicidas (nitrato de fenilmercurio), conservante de vacunas (Timerosal; etilmercurio), amalgamas dentales, etc.
- **Cosmética:** Pigmento; Conservante antimicrobiano; aclarante dérmico
- **Medicina:** durante siglos el cinabrio y el mercurio se ha usado en multitud de dolencias (laxante, vermífugo, diurético, antiséptico, desinfectante de heridas, cura de quemaduras y úlceras, antiparasitario, tratamiento de cirrosis hepáticas. Pomada contra la lepra y la sífilis).



**Aún hoy tiene numerosos usos y se encuentran en gran variedad de productos**



<p><b>Tisis</b> Pulmonar</p> <p><b>BRONQUITIS CRÓNICA</b> Tratamiento Hipodérmico</p> <p>FOR MEDIO del <i>Eucaliptol Inyectable Roussel</i> del <i>Feneucaliptol Inyectable Roussel</i> del <i>Arseniato de Estricnina Roussel</i> o el <i>Sulfuro de Allyle Monsnier.</i></p> <p><b>J. MOUSNIER, 26, RUE HO DAN</b> NUEVA OX (SENA), Francia en <b>PARIS, 6, rue Jacob, y 1, rue des Tournelles</b></p>	<p><b>Sifilis</b> Tratamiento Hipodérmico</p> <p>Por medio de <b>La Hydrarjira inyectable de ROUSSEL</b></p> <p><b>SIFILIS</b> Cianuro de Hidrarjira</p> <p><b>SIFILIS</b> Biloduro de Hidrarjira</p> <p><b>J. MOUSNIER</b> SCEAUX (Meuse) Francia</p> <p><b>SIFILIS</b> Gránulos Dardel de <b>Arseniato de Mercurio</b></p>
--	--

Anuncio expuesto en la Gaceta Médica de Costa Rica de julio de 1898. La Hydrarjira o Hidrarjira se refiere a sales de mercurio. El cianuro y arsénico son venenos con alta toxicidad.

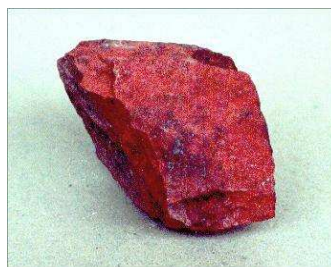
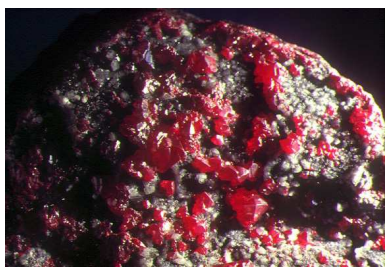


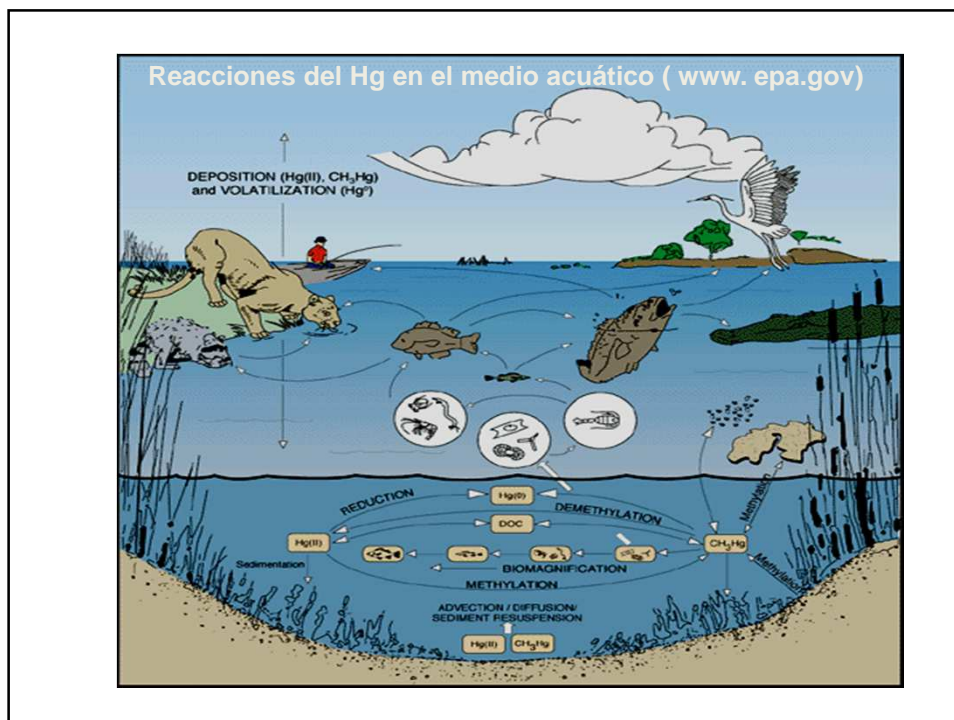
“El martirio de Mercurio” para el tratamiento de enfermedades venéreas (sífilis y gonorrea). Sales de mercurio seguido de baños con vapor (XVI – XVIII e incluso XIX).  
“...por una noche con Venus, pasaban toda una vida con Mercurio...”



# MERCURIO

- Principales focos contaminantes: Minería e Industria
- Vierten mercurio inorgánico, el cual, por acción de los microorganismos en un medio acuoso rico en materia orgánica, transforman dicho mercurio inorgánico en formas orgánicas.





# MERCURIO

## *Exposición al mercurio:*

Ocupacional (mineros; médicos; dentistas; momificadores de momias en Perú; sombrereros; relojeros siglo XVII-XVIII).

Aplicación de remedios contra el empacho.

Inhalación de vapores (termómetros rotos).

Ingestión de alimentos con dosis altas de agroquímicos.

Ingestión (alimentos contaminados).

Ingestión de pilas.

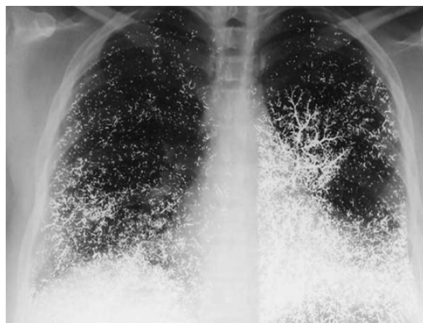




# MERCURIO

## What happens if 10 ml of elemental Hg is injected intravenously?

In a photo from [The New England Journal of Medicine](#), elemental mercury accumulated in a woman's lungs after she attempted suicide by injecting 10 ml (135 g) intravenously. She arrived at the emergency room with rapid breathing, a dry cough, and bloody mucus. The woman recovered from the ordeal and after a 10 month follow-up, she was deemed healthy with no renal, gastrointestinal, or neurological symptoms.



"The absence of clinical toxicity in this patient illustrates the differences in the acute and chronic effects of exposure to elemental mercury, inorganic mercury, and organic mercury. Inorganic and organic mercury are much more toxic than elemental mercury; for example, a dose of 400 mg of mercury in the form of dimethylmercury is usually lethal."

## El sombrero loco

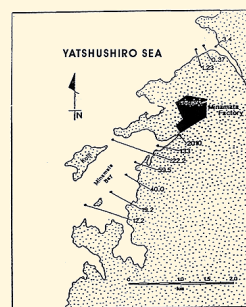
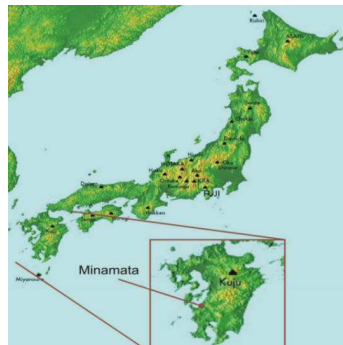
En la industria textil se han usado gran cantidad de sales de mercurio (procesos de fieltro y tanado). Las pieles finas (conejo, liebre, castores, etc.), se trataban con nitrato ácido de mercurio, luego se exponían a altas temperaturas, se retorcían y se les daba el aspecto del fieltro, pero esto desprendía grandes cantidades de vapores de mercurio. En 1941 se prohibió este método y se sustituyó por el agua oxigenada...pero ya se había hecho célebre la frase "loco como un sombrero" desde la época victoriana, inmortalizado como un personaje de Alicia en el País de las Maravillas.



## Minamata (Japón)

Apareció en la bahía de Minamata, en el sur del Japón (años 50), debida al consumo de pescado y mariscos contaminados con metilmercurio, (paso de  $Hg^{++}$  a MeHg por acción microbiana). El mercurio procedía de una fábrica de plásticos que utilizaba Hg como catalizador y vertía los residuos en la bahía.

La producción de metil-Hg por bacterias y su liberación en el medio acuático es un mecanismo de defensa que protege los microbios del envenenamiento por Hg. La metilación bacteriana movilizó el Hg almacenado en los sedimentos de la bahía.



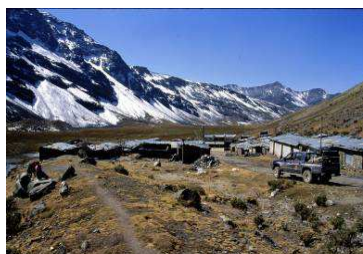
El desastre de Minamata: Contaminación por Hg (valores de concentración de Hg, ppm, en sedimentos, 1959)

## Irak (1972)

- Semillas de "trigo maravilla" para siembra tratadas con metilmercurio para su conservación durante su envío. Llegaron tras la época de siembra y se usaron como alimento (*"a los niños les gustaba el pan rosa"*)
- Envenenamiento de 6530 personas y contabilizadas 459 víctimas mortales



## MINERÍA AURÍFERA EN BOLIVIA



El Convenio de Minamata sobre el Mercurio es un tratado mundial para proteger la salud humana y el medio ambiente de los efectos adversos del mercurio. Su entrada en vigor será el 16 de agosto de 2017.

El Convenio busca llamar la atención sobre un metal usado a nivel mundial y omnipresente que, si bien es de origen natural, tiene un amplio uso en objetos cotidianos y se libera a la atmósfera, al suelo y al agua desde diversas fuentes. El control de las emisiones antrópicas de mercurio a lo largo de su ciclo de vida ha sido un factor clave a la hora de determinar las obligaciones del Convenio.

Los aspectos más destacados del Convenio de Minamata incluyen la prohibición de nuevas minas de mercurio, la eliminación gradual de las existentes, la reducción del uso del mercurio en una serie de productos y procesos, la promoción de medidas de control de las emisiones a la atmósfera y de las emisiones a la tierra y al agua, así como la regulación inexistente del sector de la minería artesanal y a pequeña escala. El Convenio también se encarga del almacenamiento provisional de mercurio y su eliminación una vez que se convierte en residuo, los puntos contaminados de mercurio y temas sanitarios y epidemiológicos.



## Almadén



Almadén está localizada a 300 km (SW) de Madrid, en la provincia de Ciudad Real.

Los yacimientos de mercurio representan la mayor concentración conocida en el mundo



## El mercurio de Almadén

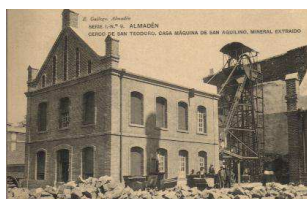
### TIPOS DE EXPLOTACIONES

#### El Entredicho



#### Las Cuevas





## Almadén...una vida ligada a la mina

Almadén, Idrija y Monte Amiata produjeron el 99% del mercurio generado en Europa.

Las minas de Almadén fueron explotadas a lo largo de dos mil años, siendo ya conocidas y descritas en la época romana.

Almadén ha producido un tercio del total del mercurio del mundo. (Se estima que en 2000 años de explotación ha producido 250.000 t de Hg).

Desde 1499 (primeros datos de producción registrados) hasta 1999, produjo 8 millones de frascos de mercurio (1 frasco = 1 flask = 34,47 kg) de los cuales.... 7 millones proceden de la mina original de Almadén



- ✓ 1997 Clausura del cielo abierto de "El Entredicho".
- ✓ 1999 Inicio del proceso del cierre definitivo de las minas de Almadén.
- ✓ 2002 Se termina la extracción de mineral.
- ✓ 2003 - 2004 Cese de la producción de mercurio. Parada de actividades mineras.
- ✓ 2011 – Almacenamiento y fin de exportación.





## Pero.... ¿y ahora?

Plantilla: de >1200 a < 100.

Descenso de la población:

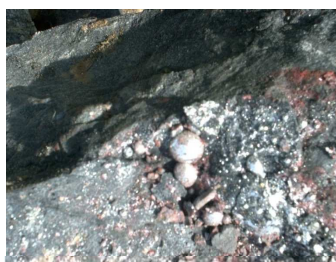
1950: 12375

2000: 7152

2006: 6406

2014: 5861

Aumento del desempleo (60%).



## Actividades del CIEMAT

Investigación, desarrollo y aplicación

Recuperación ambiental de la zona minera

Monitorización y vigilancia ambiental

Alternativas socio-económicas (usos del suelo, actividades alternativas, agricultura segura....)



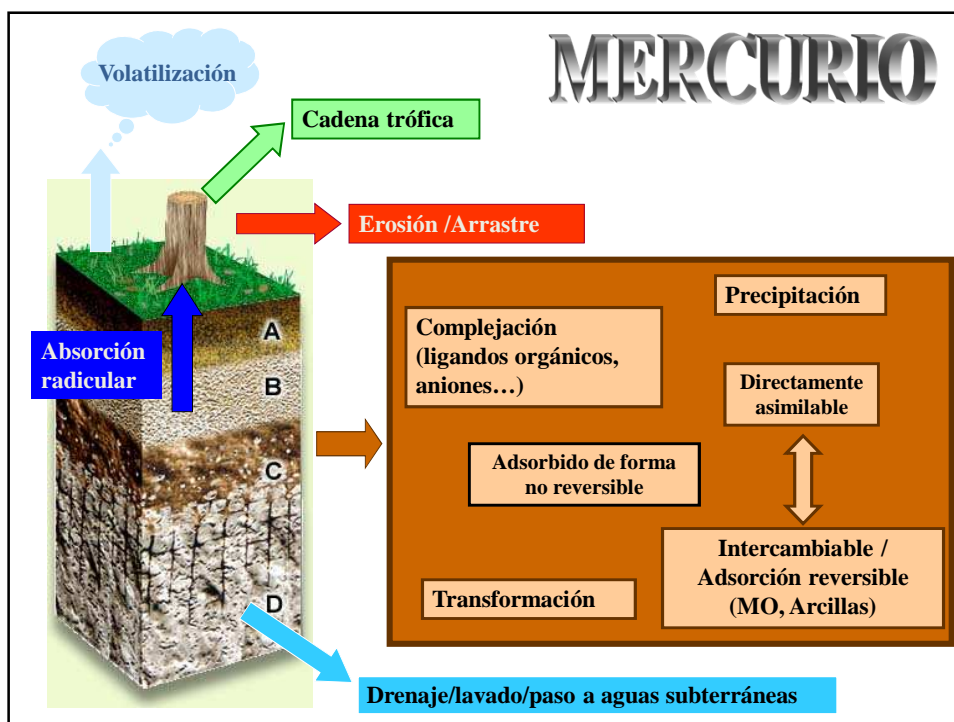
## Proyectos:

- MERCURIO
- RETAMA
- REUSA
- FITOALMA
- PROBIOMET
- EIADES ...

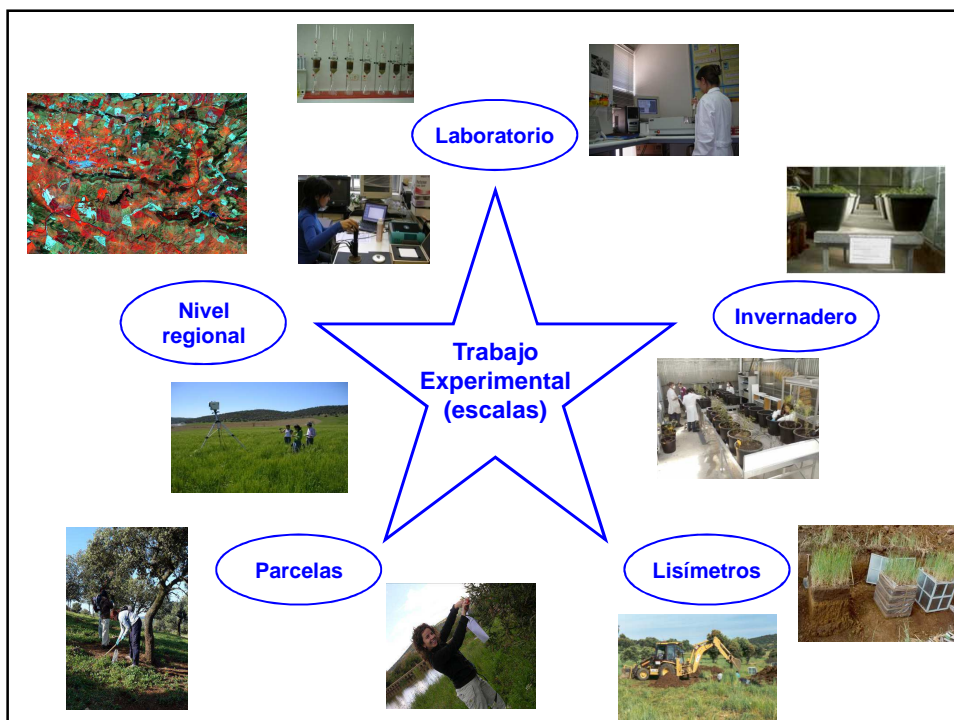
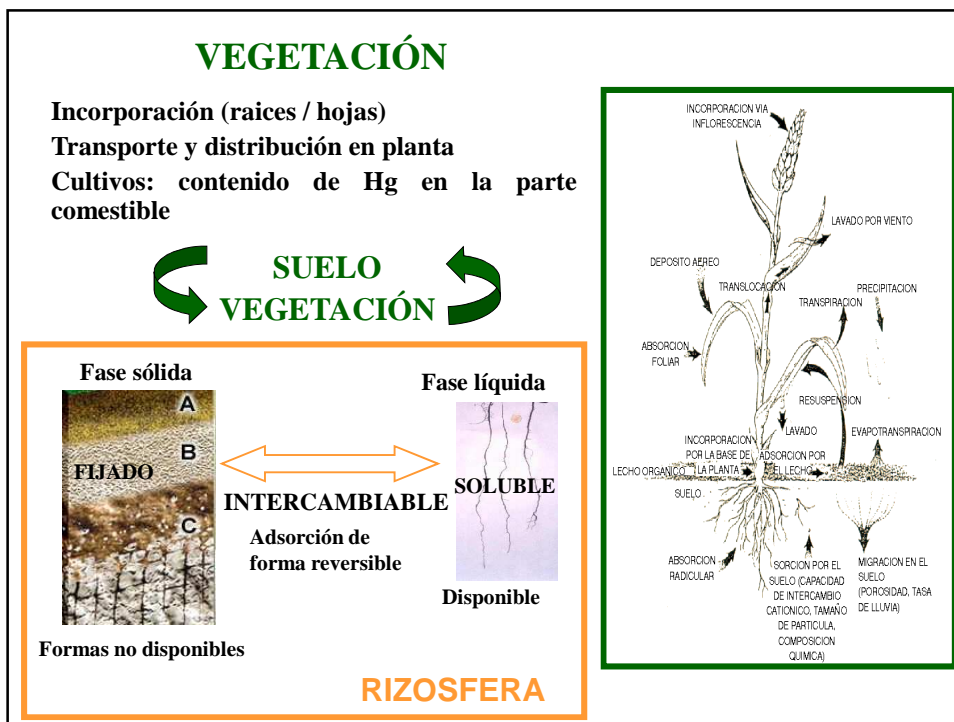


# OBJETIVOS

- Investigar los parámetros físicos, químicos y biológicos que gobiernan el comportamiento ambiental del mercurio en el sistema suelo-agua-planta.
- Analizar la viabilidad de las técnicas de recuperación. Adaptar y mejorar la eficacia de las mismas.
- Desarrollar alternativas socioeconómicas para la población. Restauración ambiental. Extrapolación a otras zonas contaminadas por mercurio.







## Ensayos en laboratorio

- ❖ Influencia de las propiedades edáficas en el comportamiento del contaminante (Hg).
- ❖ Mecanismos de retención/movilización.
- ❖ Factores de influencia en la biodisponibilidad.
- ❖ Especiación química y lixiviación secuencial.
- ❖ Métodos analíticos de medidas.
- ❖ Ensayos previos de medidas correctoras, como la aplicación de enmiendas edáficas.

### PROCEDIMIENTO PARA MUESTRAS DE SUELO

Muestreo de suelo

{ Perfiles de suelos (> 100 cm)  
Muestras suelos con cilindro metálico (profundidad < 25 cm)  
Muestras superficiales (profundidad < 15 cm)



Transporte y almacenamiento

{ Muestras transportadas en bolsas de plástico, de papel, botes, duquesas, etc. Etiquetado.  
Transporte al laboratorio (parte a 4°C)



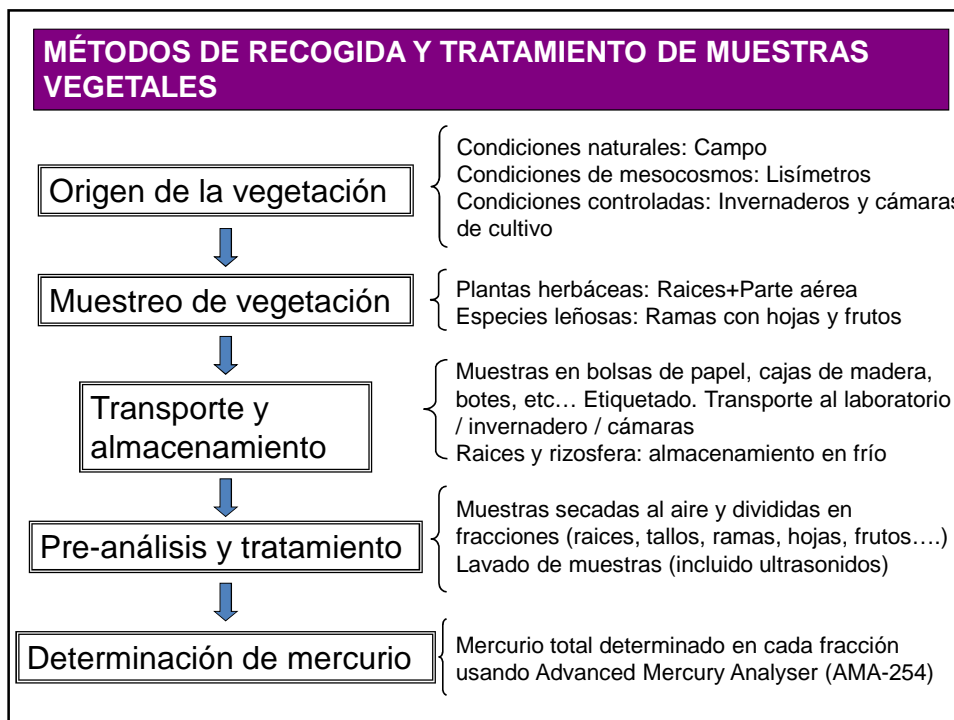
Pre-análisis y tratamiento

{ Secado al aire del suelo, parte tamizada a "tierra fina" (fine earth fraction = 2 mm)



Análisis físico-químico de suelos


{ - Color: Tabla Munsell  
- Textura (Bouyoucos)  
- pH y EC (1:2.5 H<sub>2</sub>O / pasta saturada)  
- Materia orgánica (Walkley and Black)  
- Carbonatos (Calcímetro de Bernard)  
- CIC (EPA Method 9081)  
- Cationes solubles e intercambiables .....



**Efecto de aplicación de soluciones movilizadoras al suelo.**

↓


**Aplicación a la técnica de la fitoextracción al aumentar la biodisponibilidad del mercurio.**



**Equipo de medida de mercurio, AMA-254.**

**Estudio de inmovilización del mercurio en suelos (p.e: evitar dispersión).**

↓



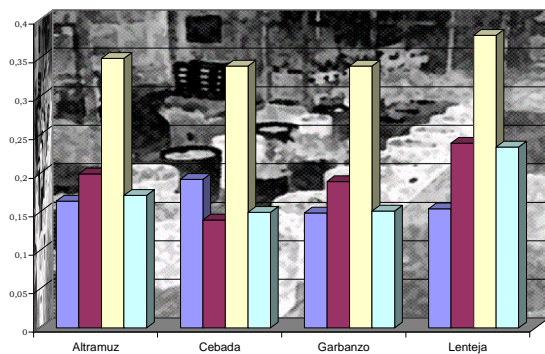
**Sistema de columnas**

## Invernaderos y cámaras de cultivo

- ❖ **Medio hidropónico:**
  - **Dinámica de absorción radicular**
  - **Procesos de translocación en las plantas**
  - **Distribución del mercurio**
  - **Comparación de especies vegetales**
- ❖ **Macetas (con suelo de la zona de estudio):**
  - **Factor de transferencia suelo-planta**
  - **Factor de concentración**
  - **Dinámica temporal**
  - **Absorción radicular y reparto en la planta**
- ❖ **Ensayos de estrategias de intervención.**



Concentraciones medias de Hg en tallo en ppm





Trabajo experimental en campo y en invernaderos  
(hidroponía, maceta con sustrato y con suelo de las zonas de estudio)



***Rumex induratus*** (Almadén: nuevo ecotipo!!!!)

- Crece en las minas y escombreras.
- Condiciones áridas.
- Alto contenido en raíces y transporte a parte aérea.
- Reducción de crecimiento menor del 23%.
- Contenido en Hg 3-8 menor que en la parte aérea de *Marrubium* ..... pero mayor biomasa.
- *Rumex* más tolerante al Hg que *Marrubium*.



***Marrubium vulgare*** (Uso médico tradicional!!!)

- Crece en las áreas de actividad metalúrgica y otras actividades mineras (Hg suelo: 500 mg kg<sup>-1</sup> dw).
- Pobre producción de biomasa.
- Mercurio en planta (parte aérea) 20-60 mg kg<sup>-1</sup> dw.
- *Marrubium* más contenido de Hg en planta que en *Rumex*, pero menos absorción radicular y capacidad de translocación.

- *Rumex induratus* es capaz de extraer más eficazmente el Hg disponible.
- La translocación de micronutrientes se reduce al aumentar el contenido de Hg.

## Cultivos en invernadero con suelos de Almadén

### Fitotecnologías:

Selección de planta estabilizadoras de suelos.

Selección de plantas para descontaminar

¿Cómo? Factores de transferencia (relación de contaminante en planta respecto al contenido en suelo).  
Factores de acumulación (reparto de contaminantes dentro de la planta: Raíz / parte aérea)

### Seguridad alimentaria:

Cultivos para consumo: determinar el contenido en la parte comestible.

Cultivos industriales y energéticos: comercialización.

Influencia de las prácticas agronómicas.

## Lisímetros

- ❖ Permiten trabajar en situaciones próximas a la realidad, bajo condiciones controladas.
- ❖ Ensayos a medio y largo plazo.
- ❖ Toma de datos en continuo tanto de parámetros edáficos como ambientales.
- ❖ Realización de ciclos de cultivos.
- ❖ Toma de muestras de suelo y vegetación.



### Extracción de los lisímetros y su ubicación en CIEMAT



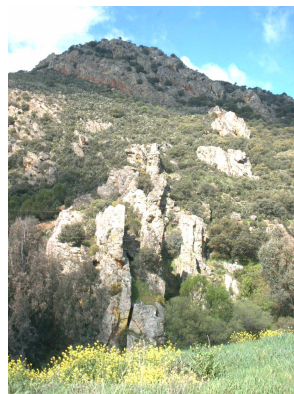
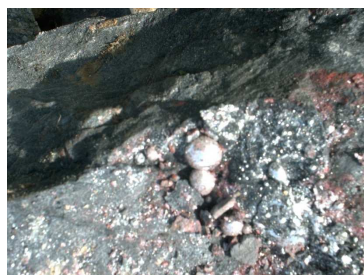
Condiciones cercanas a la realidad.

Monitorización de parámetros del suelo (por horizontes)

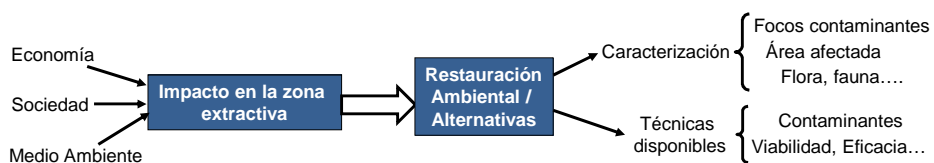
- ✓ Cultivos de consumo humano y forrajeros (incluyendo variedades locales).
- ✓ Cultivos industriales.
- ✓ Plantas medicinales tradicionales.
- ✓ Nutrientes vs contaminantes (Hg).
- ✓ Efecto de la fertilización sobre la transferencia del Hg.
- Mejores prácticas agronómicas.
- Impacto sobre la dieta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

## Escenario real

- ❖ Planificación previa y detallada de la campaña de campo.
- ❖ Eficacia real de la restauración ambiental.



### Recuperación Ambiental Integral



- Identificación de las estructuras mineras y problemas ambientales. Selección y caracterización de las zonas de trabajo.
- Selección de técnicas más adecuadas ( barreras, biorremediación, fitotecnologías, enmiendas edáficas...).
- Viabilidad y eficacia de las propuestas.
- Monitorización y vigilancia ambiental.
- Recomendaciones y seguimiento.



"El Entredicho" cielo abierto









- ✓ Corrección de pendientes
- ✓ Sistemas de drenaje y balsas de tratamiento
- ✓ Enmiendas edáficas para la recuperación de escombreras
- ✓ Selección de plantas para fitoestabilización e integración en el paisaje
- ✓ Puntos de monitorización. Red de vigilancia

- Reducción > 90% Hg en aire y partículas
- Integración en el paisaje
- Reducción del impacto visual
- Aceptación social

***"PARQUE MINERO DE ALMADÉN" - Almadén Mining Park***

Incluido en la lista **UNESCO - World Heritage** con el nombre **Heritage of Mercury. Almadén and Idrija**. (UNESCO, 2012): "At both sites, the presence of mining infrastructure elements both underground and on the surface, the presence of technical artefacts linked to mining extraction, its upstream needs (hydraulic energy, wood) and its conversion into "quicksilver" (furnaces), its transport and its storage are authentic."

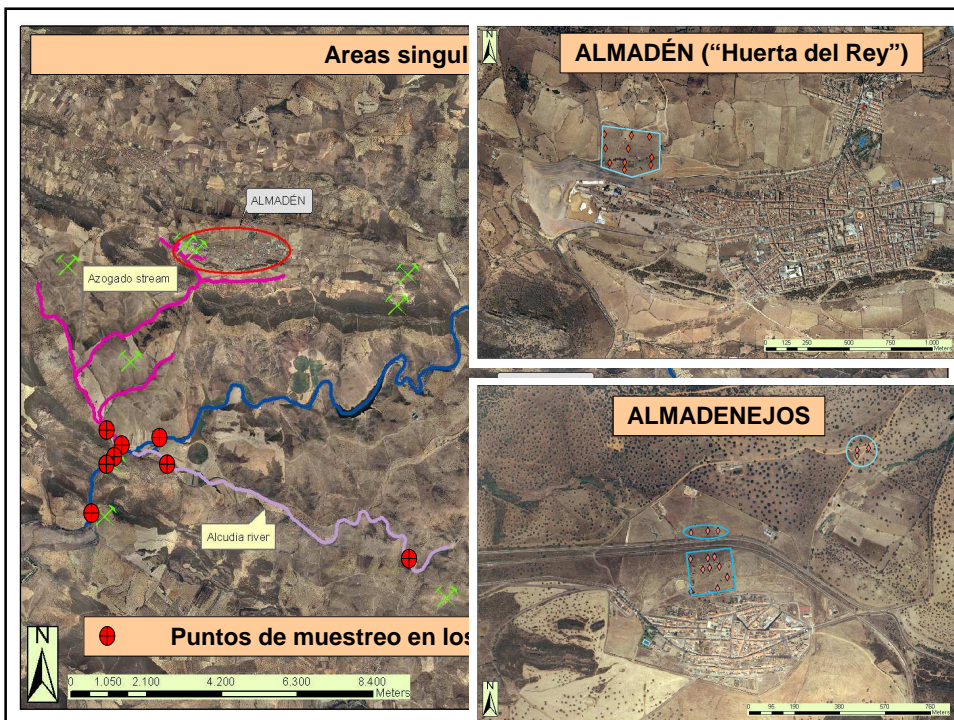
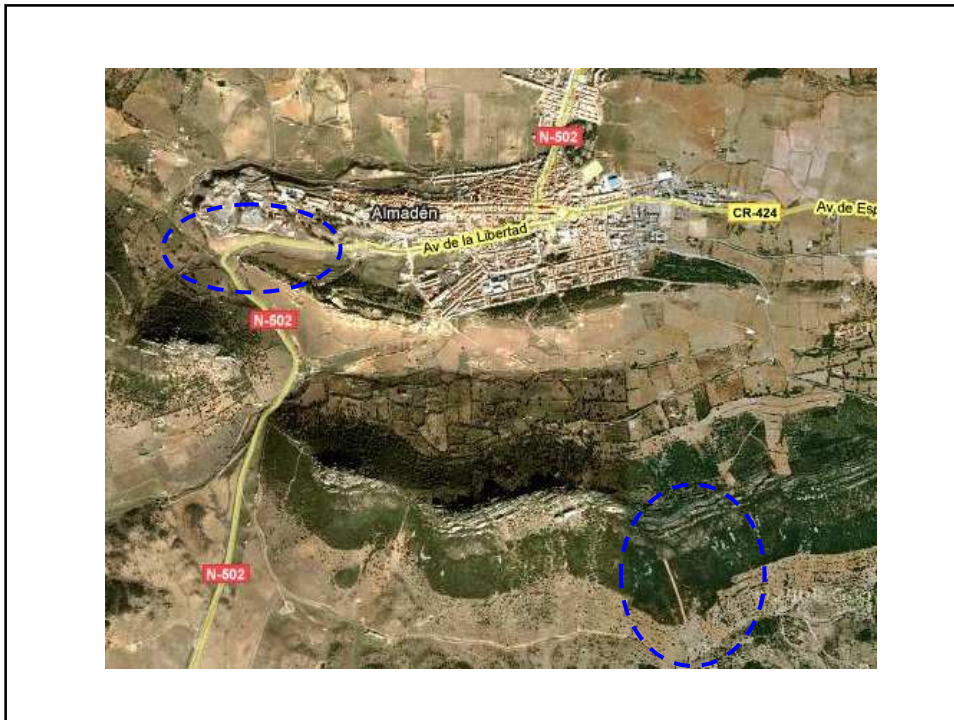


Instalaciones: Centro de visitantes; pozos de San Aquilino y San Teodoro; Centro de interpretación; visita guiada por el interior de la mina; hornos; Museo de la minería y Museo del Mercurio...



***Ven y visítalo!!!***





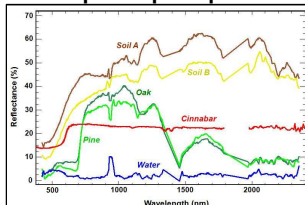


## Monitorización mediante SIG y teledetección

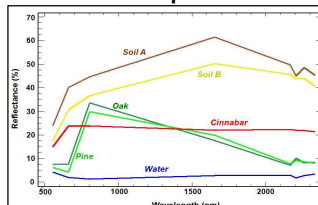
### Espectrorradiometría



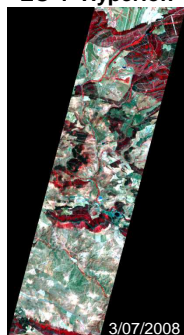
### Campo e hiperespectral



### Multiespectral

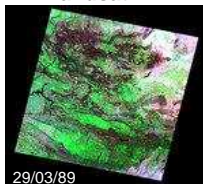


### EO-1 Hyperion



### Datos disponibles de sensores (Hiperespectral y multispectral)

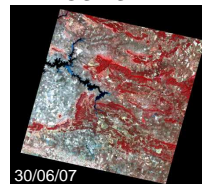
#### Landsat TM



#### Landsat ETM

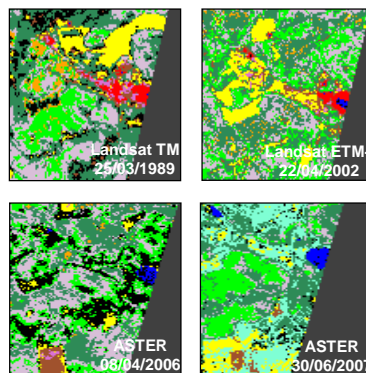
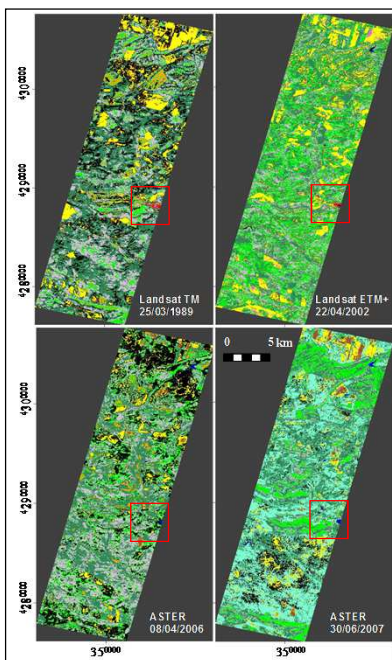


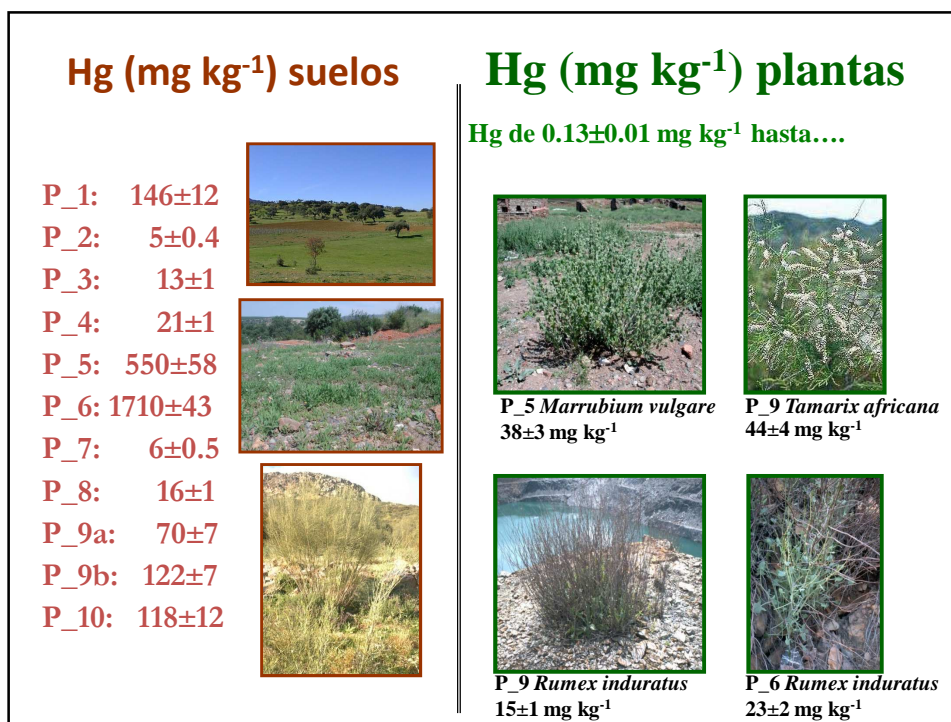
#### EOS ASTER



### Series temporales

- Soil A
- Soil B
- Cinnabar
- Oak
- Pine
- Cultivation
- Shrub
- Urban
- Water
- Dry vegetation





Hg en suelo y plantas y sus correspondientes factores de transferencia				
Parcela (suelo)	Hg Total (mg kg <sup>-1</sup> )	Hg Soluble (mg kg <sup>-1</sup> )	Hg Intercambiable (mg kg <sup>-1</sup> )	Hg disponible (mg kg <sup>-1</sup> )
P4	21.3 ± 1.1	0.09 ± 0.01	0.28 ± 0.02	0.37 ± 0.02
P5	550 ± 58	1.04 ± 0.03	4.4 ± 2.3	5.4 ± 2.3

Parcela	Especie vegetal	Hg – Planta (parte aerea) (mg kg <sup>-1</sup> )	TFt <sup>1</sup>	TFa <sup>2</sup>
P4	<i>Eruca vesicaria</i>	2.12 ± 0.2	0.099 ± 0.011	5.8 ± 0.7
P5	<i>Marrubium vulgare</i>	38.5 ± 3.2	0.070 ± 0.009	7.1 ± 3.1
	<i>Cynoglossum cheirifolium</i>	43.48 ± 0.2	0.079 ± 0.008	8.1 ± 3.4

1 TFt (Hg total) = [Hg] Planta / [Hg]total Suelo      2 TFa (Hg- disponible) = [Hg] Plant / [Hg] disponible suelo  
Nota: TF es equivalente aquí al BAF

#### Parámetros del suelo (Bulk vs Rizosfera) en diferentes emplazamientos (flora y cultivos)

Comparación de diferentes extractantes para evaluar la (bio)disponibilidad del mercurio en suelos (AB-DTPA (pH 7.6); BCR; Ciemat SEP; CaCl<sub>2</sub>; NaNO<sub>3</sub>; (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; Acetic Acid (0.11 M)...

¿Lavado de suelos / escombreras?

Influencia de la fertilización en la disponibilidad y transferencia del Hg? (dosis, aplicación...), Efectos de +N / -N; +P / -P; cambios de pH; .....



## Vegetación riparia (especies de ribera)



*Nerium oleander*



*Flueggea tinctoria*



*Tamarix canariensis*



*Typha domingensis*

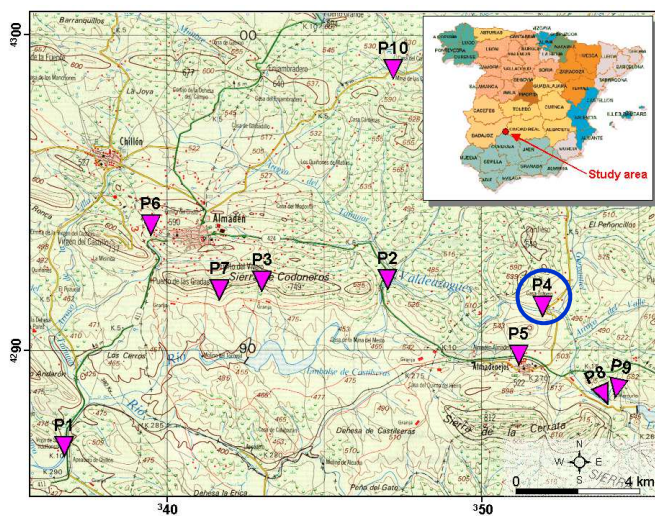
- ✓ Arbustos y macrofitas.
- ✓ Interacción agua-sedimento.
- ✓ Hg absorción y translocación.
- ✓ Rizosfera.
- ✓ Microbiología.

- Control de la erosión
- Protección de ecosistemas
- Fitobarreras? Rizofiltración?

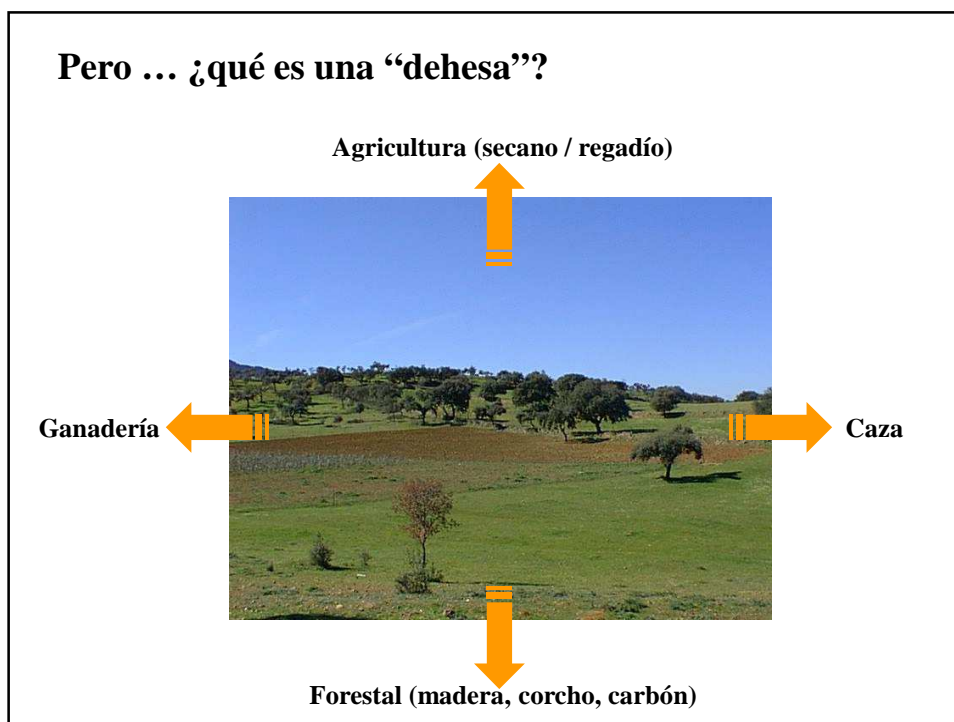


*Phragmites australis*

## El caso de la DEHESA DE CASTILSERAS...9000 ha a gestionar



Pero ... ¿qué es una “dehesa”?



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  $\mu\text{g}/\text{día}$  de Hg total, así pues:

Berenjena	[Hg] ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ )	Máxima ración (g fruto $\text{día}^{-1}$ )
Fruto (con pedúnculo y cáliz)	190,2	224,0
Fruto (sin pedúnculo y cáliz)	65,4	651,7



### Veza (*Vicia sativa* L.)

Según la directiva europea “DIRECTIVE 2002/32/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 7 May 2002 on undesirable substances in animal feed”:

Veza	[Hg] (mg kg <sup>-1</sup> )	Hg límite para nutrición animal (mg kg <sup>-1</sup> )	Se recomienda el consumo?
Semillas	< 0,1 (0,02-0,006)	0,1	SI
Planta entera	0,07 hasta 0,48	0,1	NO



### Altramuz (*Lupinus albus*)

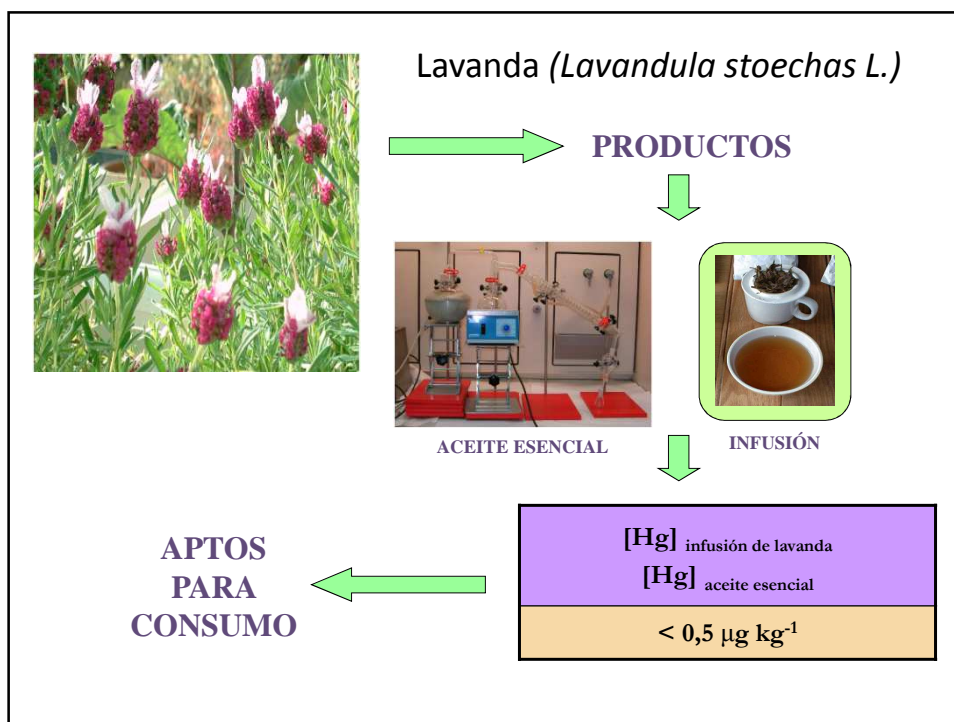
Forraje (Directive 2002/32/EC Commission directive 2003/100/EC)

Lupin	[Hg] (mg kg <sup>-1</sup> )	Limite para nutrición animal (mg kg <sup>-1</sup> )	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 <sup>-1</sup> )	Maxima ingesta (kg fruto día <sup>-1</sup> )
Semillas	0,01 – 0,03	3,97 – 1,38

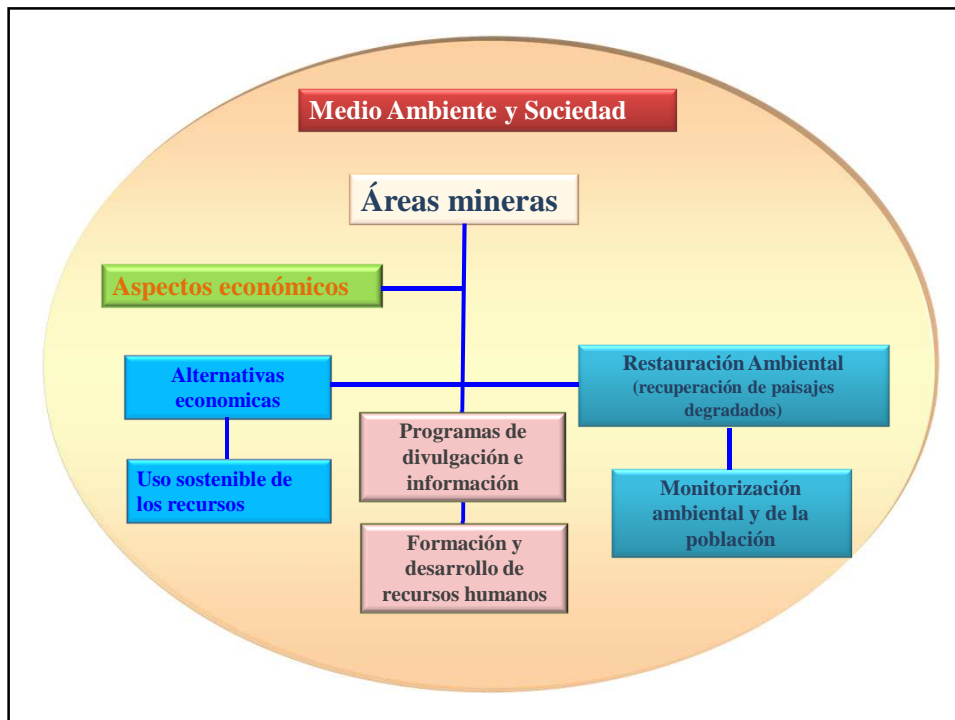




Según la directiva “WHO-IPCS: Food Additives Series 52. Safety evaluation of certain food additives and contaminants”. Organización Mundial de la Salud (OMS-WHO, 2004), podrían consumirse hasta 42,6  $\mu\text{g}/\text{día}$  de Hg total, así pues:

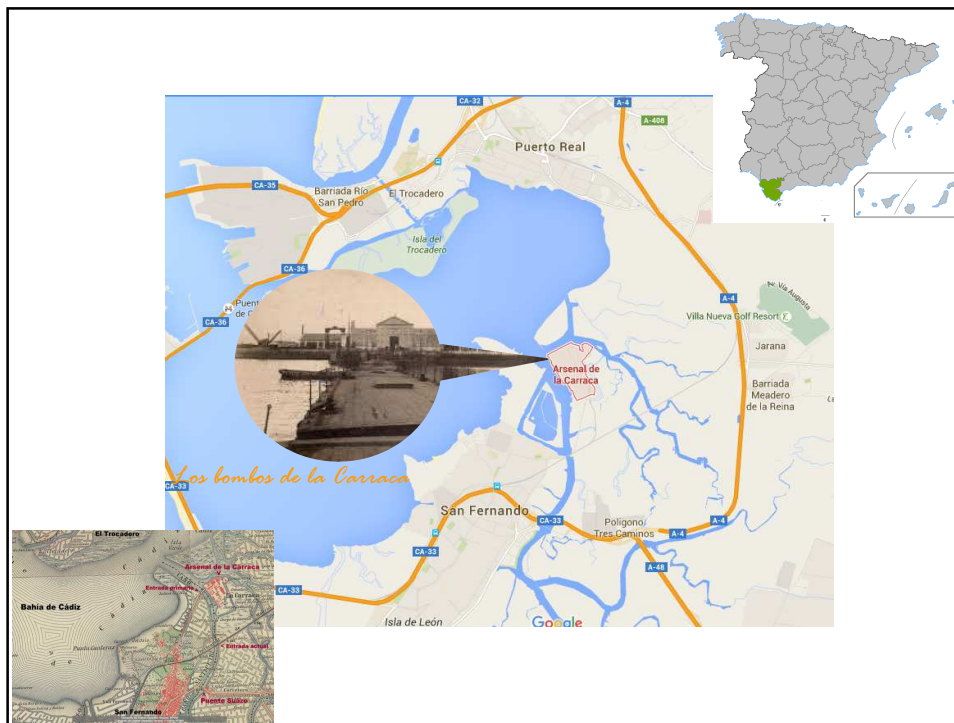
Cultivos	[Hg] $\mu\text{g kg}^{-1}$	Máxima ración (kg grano $\text{día}^{-1}$ )	ESTO SIGNIFICA....
LENTEJA GARBANZO	6 – 36	1,2 – 6,6	26 – 144 Platos/día
CEBADA	5 – 24	1,7 – 8,9	12 – 59 L cerveza/día





## - Proyecto BIOXISOIL -

*Nuevo enfoque en la recuperación de suelos mediante la combinación de técnicas biológicas y químicas*



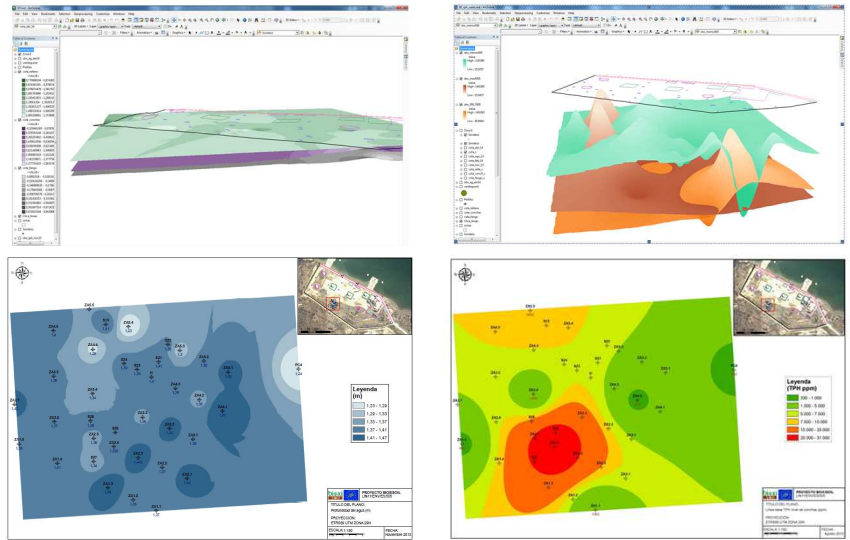
**Establecimiento de la situación inicial  
Caracterización del emplazamiento**



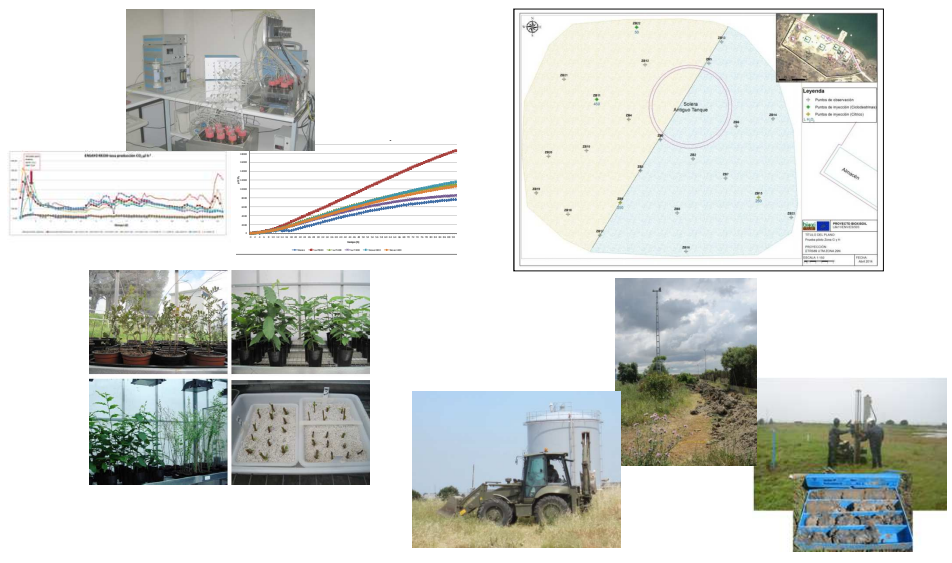
**Establecimiento de la situación inicial  
Caracterización del emplazamiento**



**Establecimiento de la situación inicial  
Caracterización del emplazamiento**



**Diseño técnico y optimización de tecnologías**





## Planificación técnica del proyecto



## Oxidación química *in situ* (ISCO)

### Dispositivo de inyección automatizada (DIA)



## Oxidación química *in situ* (ISCO)

### Ejecución de rondas sucesivas de inyección



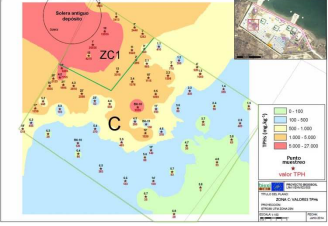
**REACTIVOS DOSIFICADOS**  
 Solución 10% de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> [12,4 g de oxidante/kg de suelo]  
 Solución de sulfato de hierro [15-20] mg/L  
 Solución ácido cítrico [1] mM solo zona E  
 Solución ciclodextrina [5-10] mg/L solo zona G-H

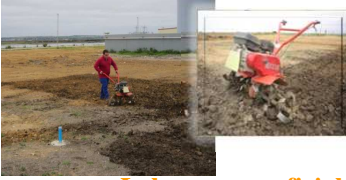


**PARAMETROS DE INYECCIÓN**  
 DIA= 4 puntos inyección simultáneos  
 Presión= 0,1 bar  
 Obturador aislamiento horizonte intermedio  
 Caudal de inyección=1 L/min




## Biorrecuperación







**Laboreo superficial**




**Sistema de riego mediante aspersión**






**Rondas sucesivas de dosificación de reactivos**


### Fitorrecuperación




*Populus nigra*




*Populus alba*







*Salix purpurea*









*Pistacia lentiscus*

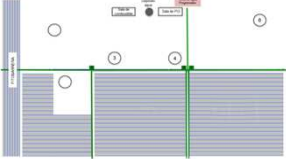


*Tamarix gallica*


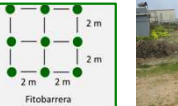





### Fitorrecuperación
















Sistemas de riego por goteo en sectores con regulación automática

 <p>Parcelas de estudio</p>										 <p>Fitobarrera</p>									
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
<i>P. nigra</i>					<i>P. alba</i>					<i>M. lentiscus</i>					<i>T. gallica</i>				

**2200 ejemplares**







### Restauración ambiental







9 especies de la zona

- ❖ *Arthronectum macrostachyum*
- ❖ *Olea europea*
- ❖ *Tamarix gallica*
- ❖ *Pistacia lentiscus*
- ❖ *Rosmarinus officinalis*
- ❖ *Chamaerops humilis*
- ❖ *Sarcocornia fructicosa*
- ❖ *Phillyrea angustifolia*
- ❖ *Juniperus phoenicea*

**La recuperación integral del emplazamiento implica la descontaminación de la zona y la recuperación de la funcionalidad del suelo**

**Creación de un habitat sostenible para las especies autóctonas**



### Información y divulgación




Arboretum


Área de demostración

Paneles informativos

Fotos de la evolución del proceso de descontaminación

Maqueta explicativa ISCO






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



Unidad de Conservación y Recuperación de Suelos  
División de Suelos y Geología Ambiental  
Departamento de Medio Ambiente



Suelos

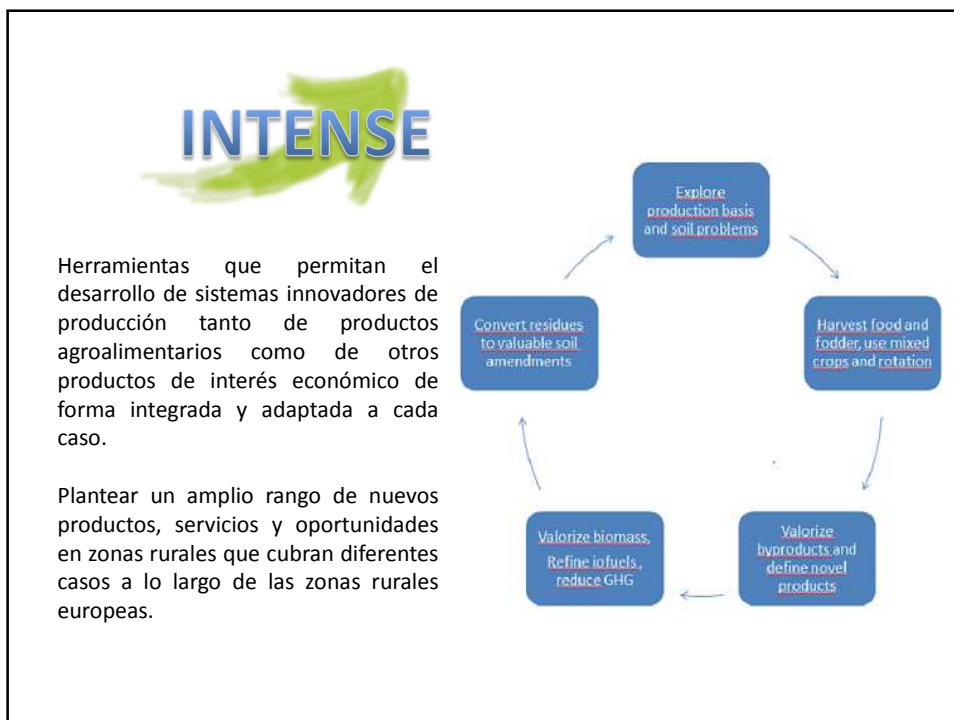
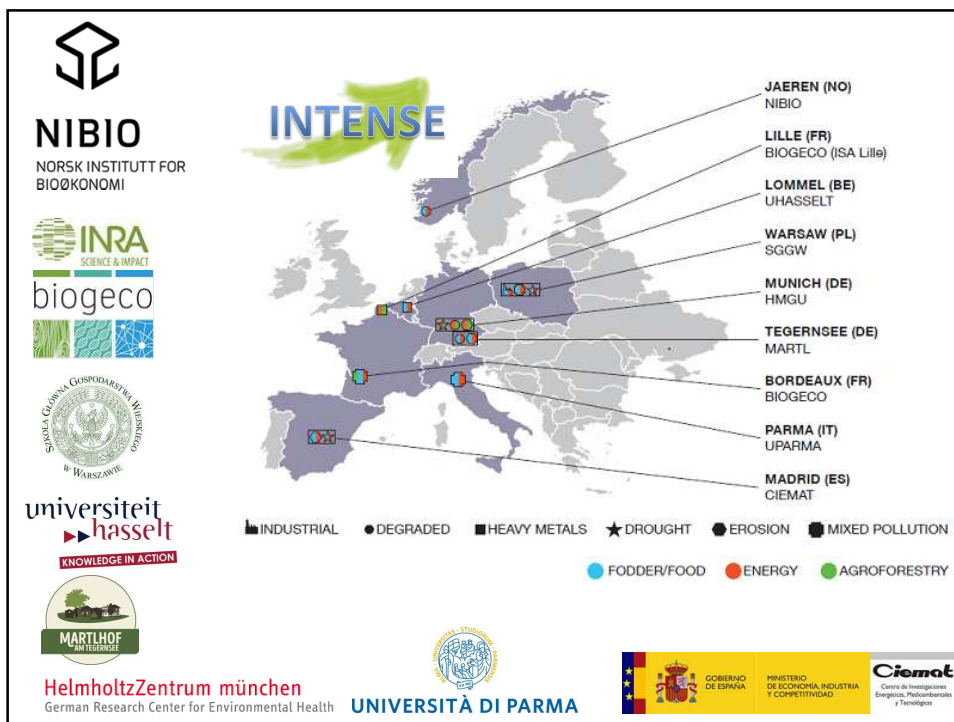
Agricultura

Materias primas

Al menos el 30 % de los suelos agrícolas europeos tienen que ser recuperados para una producción eficaz, económicamente viable y que tenga en cuenta aspectos sociales y ambientales.

**Objetivos:**

- Armonizar metodologías para identificar parámetros e índices tanto de estado de degradación como de recuperación de suelos.
- Desarrollar y optimizar nuevos sistemas de cultivos (agricultura de precisión) y modelos para incrementar la producción; la calidad del suelo y obtener y aplicar enmiendas orgánicas específicas de cada escenario.
- Desarrollar e implementar sistemas de producción sostenibles en zonas degradada y/o contaminadas
- Desarrollar e implementar alternativas económicamente atractivas y ambientalmente repsteuosas pra la recuperación de zonas agrícolas abandonadas



### OBJECTIVOS GENERALES DEL CIEMAT

- Incrementar la producción agrícola mediante prácticas adaptadas a las zonas de estudio
- Mejorar las propiedades del suelo para su recuperación y conservación
- Usar y valorizar residuos locales para la obtención de enmiendas edáficas



BUENDÍA (Cuenca)



CASASANA (Guadalajara)

### CULTIVOS:

Cebada / Barley (*Hordeum vulgare* var. pweter);  
Girasol / Sunflower (*Helianthus annuus* var. Bosfora)

### ENMIENDAS / Soil amendments

**Pellets** : compost a partir de residuo de cultivo de setas; gallinaza y digeridos (digestatos) de producción de biogas.  
Producido en la Univ. Varsovia  
Dose: 2500 kg ha<sup>-1</sup>



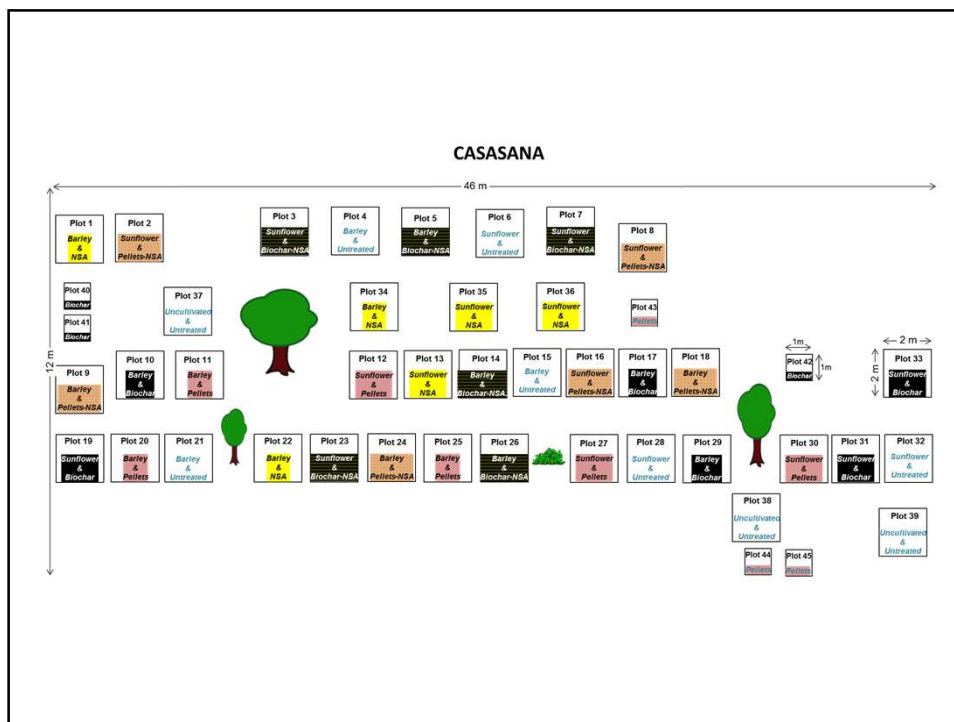
**Biochar** a partir de restos de poda de pino y olivos (local).  
Producido por la empresa Mecanotaf, S.A.  
Dosis: 12 t ha<sup>-1</sup>






### Diseño experimental

- 3 subparcelas (plots) de 4 m<sup>2</sup> por tratamiento y cultivo (39 plots /site)
- 6 subparcelas de 1 m<sup>2</sup> de control del efecto de las enmiendas sin cultivo y 3 subparcelas de 4 m<sup>2</sup> sin cultivo ni tratamiento
- Experimentos en condiciones controladas de invernadero (dosis, combinación de enmiendas, variedades, etc)





Buendía	Parámetros (suelos)	Casasana
8.5 ± 0.1	pH(H <sub>2</sub> O)	7.8 ± 0.1
0,14 (1:5)	EC (dS m <sup>-1</sup> )	1.12 ± 0.26 (saturated paste)
1.19 ± 0.14	OM (%)	0.47 ± 0.14
45.3 ± 7.5	Ca (cmol kg <sup>-1</sup> )	284 ± 48
1.36 ± 0.15	Mg (cmol kg <sup>-1</sup> )	0.41 ± 0.07
0.52 ± 0.05	K (cmol kg <sup>-1</sup> )	0.34 ± 0.07
0.04 ± 0.01	Na (cmol kg <sup>-1</sup> )	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	Water holding capacity (%)	15.8 ± 2.3

### Toma de muestras



### Biochar (olivo y pino)



Mecanotaf S.A.

### Siembra de cultivos



### Zonas de estudio



Buendía



Casasana





*“Sabemos más sobre el movimiento de los cuerpos celestes que del suelo que pisamos” (Leonardo da Vinci).*



**Dra. Rocío Millán** (rocio.millan@ciemat.es)

