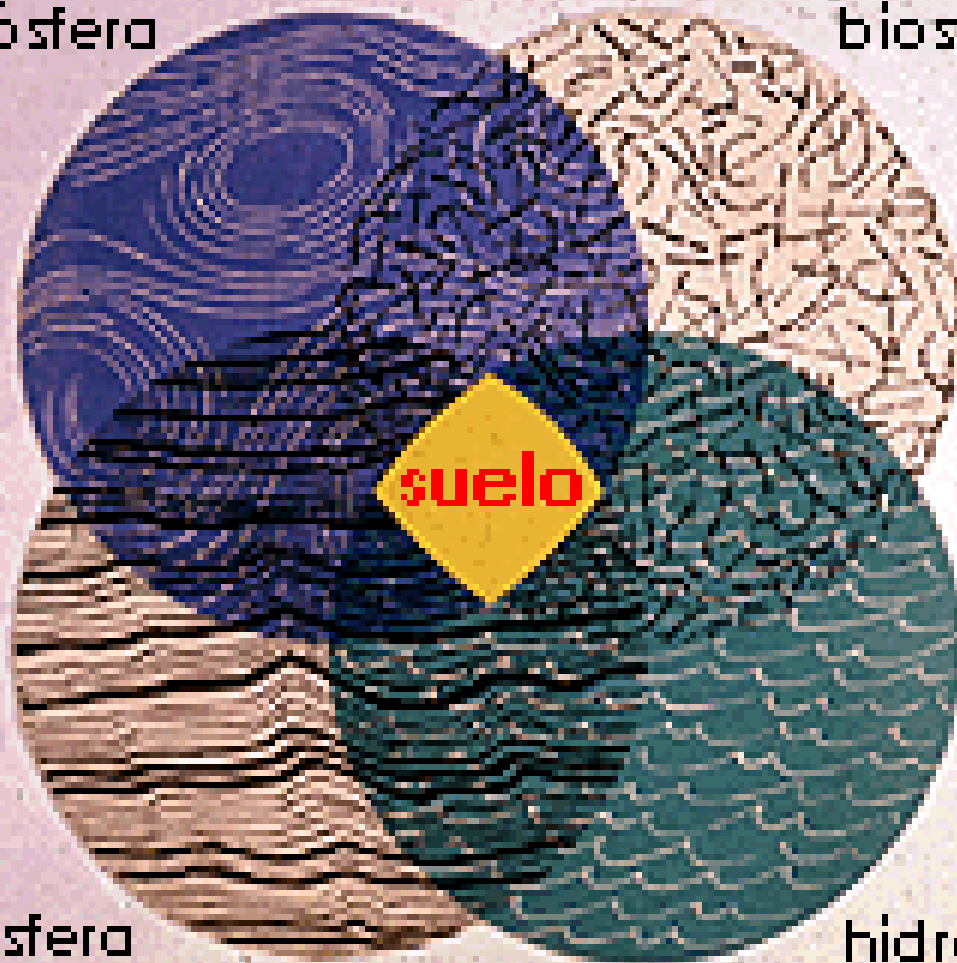

BASES GENERALES DE LA CONTAMINACIÓN DE SUELOS

Francisco Martín Peinado

*Departamento de Edafología y Química Agrícola
Facultad de Ciencias
Universidad de Granada*

atmósfera

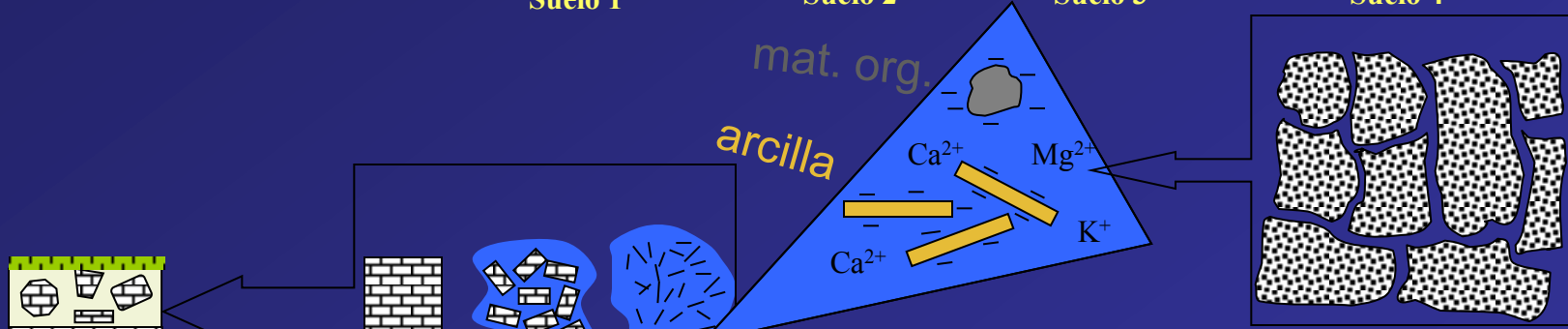
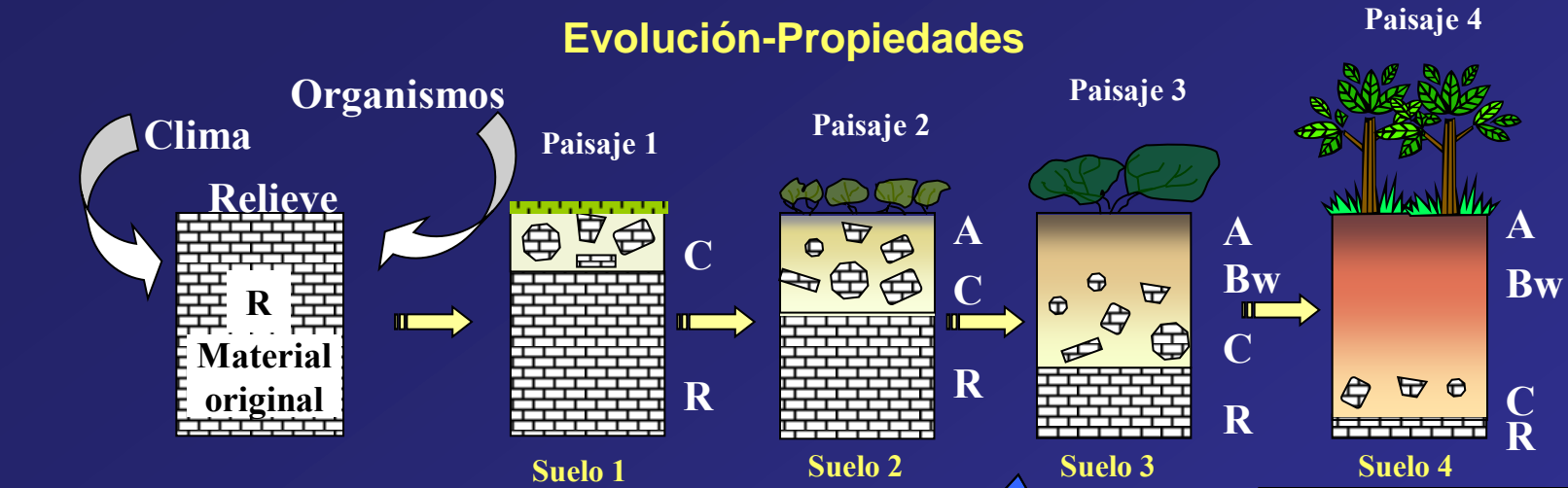
biosfera



litósfera

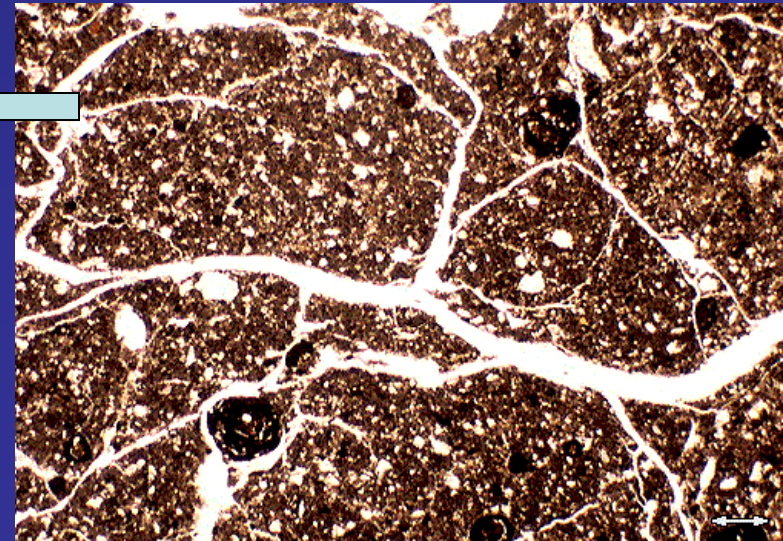
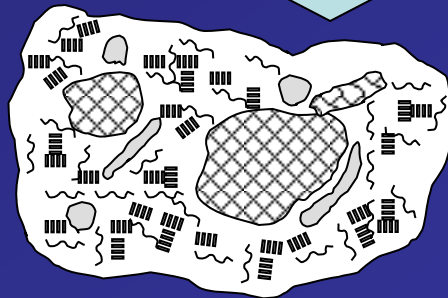
hidrosfera

Suelos: Evolución-Propiedades



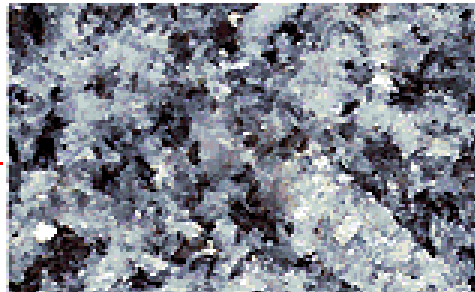
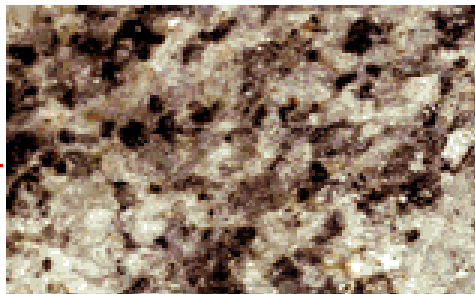
Constituyentes básicos:

- Atmósfera del suelo
- Solución del suelo
- Coloides (humus y arcilla)

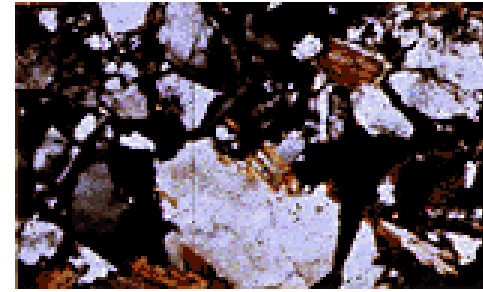
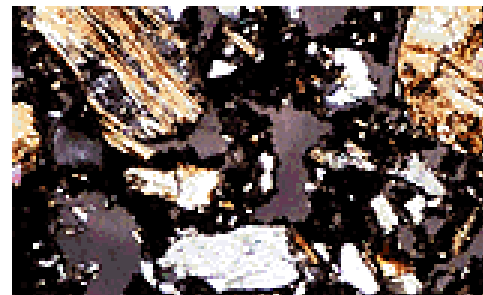




macro



micro



■ fragmentación, alteración, translocación +

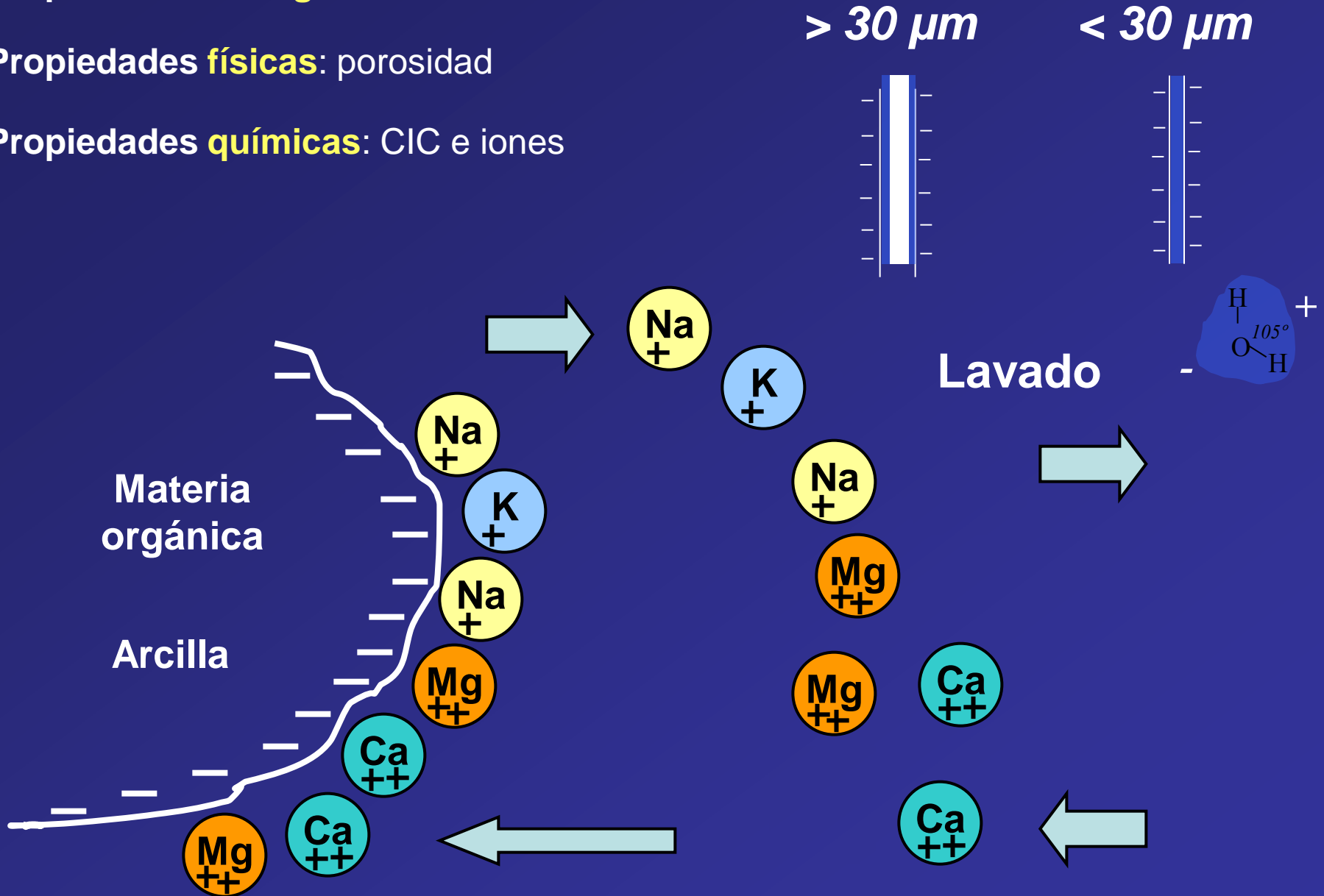
■ porosidad, material fino, materia orgánica +

Suelo = Sistema clave en el control de los ciclos biogeoquímicos

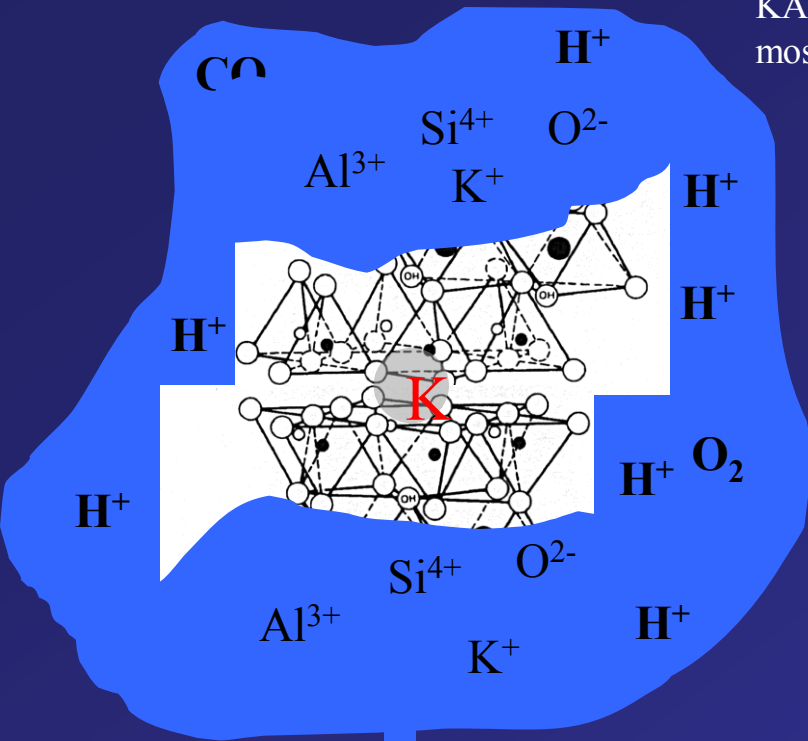
Propiedades **biológicas**: actividad metabólica

Propiedades **físicas**: porosidad

Propiedades **químicas**: CIC e iones



Influencia de los Factores Formadores



Precipitaciones
Temperatura

Clima

K está relacionada con la temperatura duplicándose o triplicándose por cada 10°C

$$K = A e^{-E_a/RT}$$

Cantidad y tipo de compuestos inorgánicos (arcillas, ox. Fe y Al, coloides, etc.)

Material Original

El clima del suelo está relacionado con su posición fisiográfica

Relieve

Las reacciones se expresan en términos de velocidad

Tiempo



La actividad biológica está condicionada por el clima y, a su vez, condiciona los reactantes

Organismos

DEGRADACIÓN

Toda modificación que conduzca al deterioro del suelo

FAO – UNESCO: proceso que rebaja la capacidad actual y potencial del suelo para producir, cuantitativa y cualitativamente, bienes y servicios.

Resultado de la actuación del hombre:

Activ. directa → agrícola, forestal, ganadera, agroquímicos y riego

Activ. indirecta → industriales, eliminación de residuos, transporte, etc.

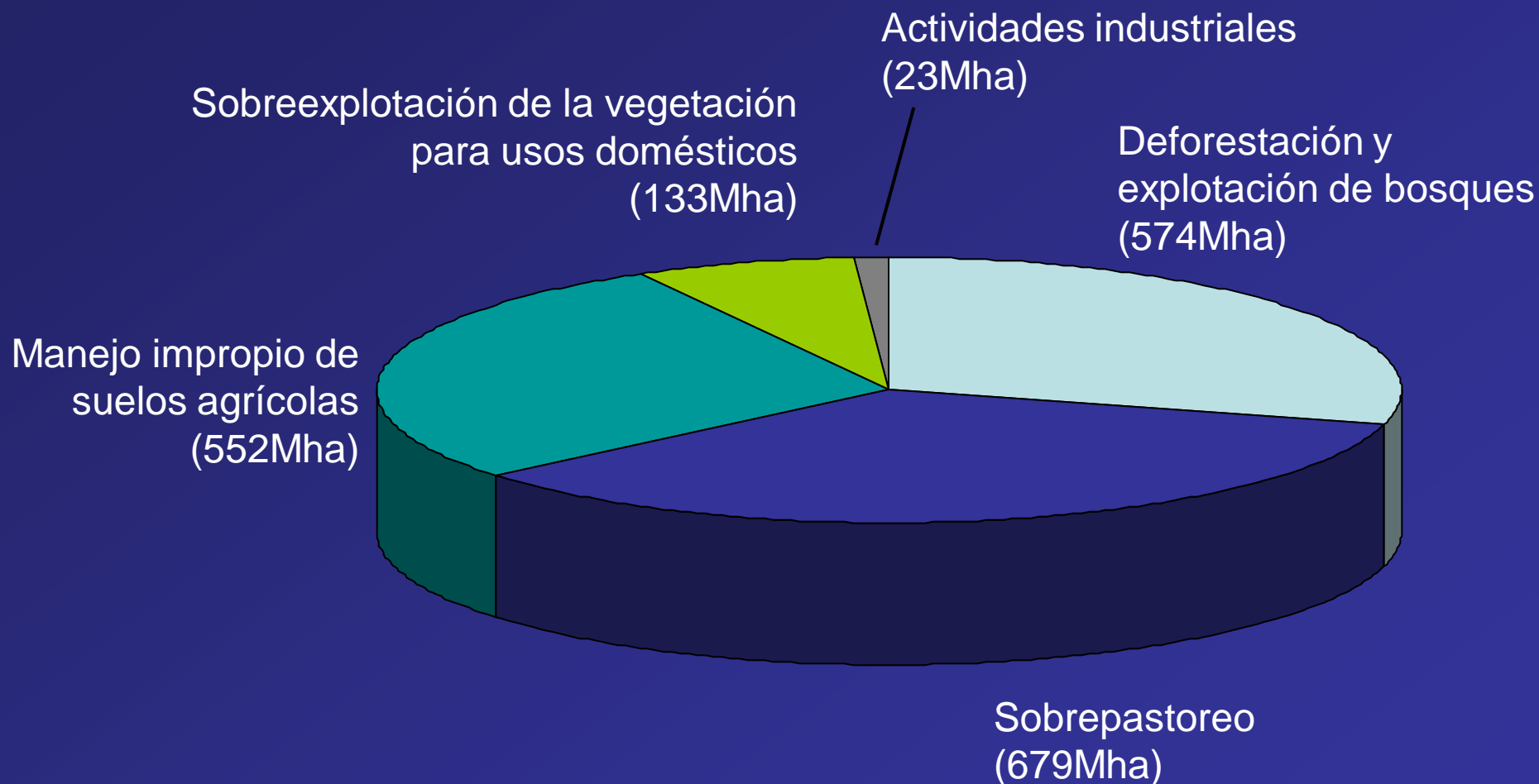
Conservación de Suelos



Obtener máximos rendimientos con mínima degradación.

CAUSAS DE LA DEGRADACIÓN

Intervenciones humanas:



CONSECUENCIAS DE LA DEGRADACIÓN

(sólo las referidas al suelo)

Pérdida de elementos nutrientes.

Modificación de las prop. físico-químicas (acidificación, desbasif., etc)

Deterioro de la estructura (compactación)

Disminución de la capacidad de retención de agua.

Pérdida física de materiales (erosión)

Incremento de la toxicidad.



Empeoramiento de las propiedades

Disminución de la masa del suelo

Disminución de la producción

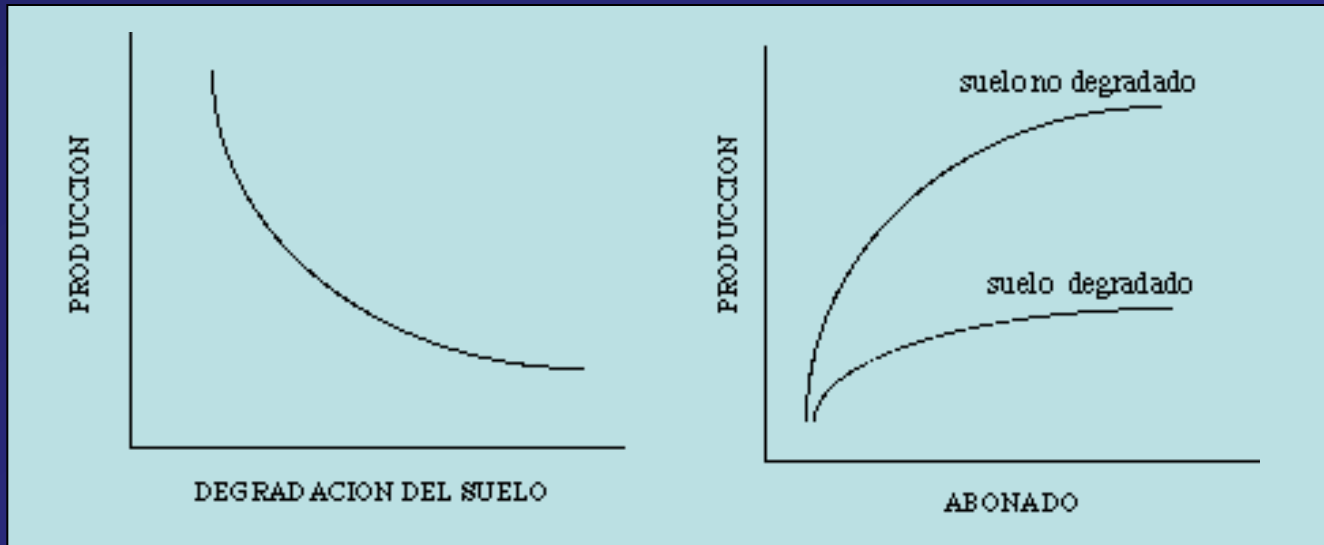
Aumento de los gastos de explotación

Abandono

Desertización

TIPOS DE DEGRADACIONES

Degradación de la fertilidad. Disminución de la capacidad del suelo para soportar vida. Se producen modificaciones en sus propiedades físicas, químicas, fisicoquímicas y biológicas que conllevan a su deterioro.



Física: Aumento de densidad aparente o disminución de permeabilidad

Química: Acidificación, salinización, sodificación, toxicidad.

Biológica: Disminución del contenido en humus

CONTAMINACIÓN

HUMAN-INDUCED SOIL DEGRADATION FOR THE WORLD

Type	Light (Mha)	Moderate (Mha)	Strong (Mha)	Extreme (Mha)	Total (Mha)	Total (%)
Loss of topsoil	301.2	454.5	161.2	3.8	920.3	
Terrain deformation	42.0	72.2	56.0	2.8	173.3	
TOTAL WATER	343.2	526.7	217.2	6.6	1093.7	55.7
Loss of topsoil	230.5	213.5	9.4	0.9	454.2	
Terrain deformation	36.1	30.0	14.4	-	82.5	
Overblowing	-	10.1	0.5	1.0	11.6	
TOTAL WIND	268.6	253.6	24.3	1.9	548.3	27.9
Loss of nutrients	52.4	63.1	19.8	-	135.3	
Salinisation	34.8	20.4	20.3	0.8	76.3	
Pollution	4.1	17.1	0.5	-	21.8	
Acidifitation	1.7	2.7	1.3	-	5.7	
TOTAL CHEMICAL	93.0	103.3	41.9	0.8	239.1	12.2
Compaction	34.8	22.1	11.3	-	68.2	
Waterlogging	6.0	3.7	0.8	-	10.5	
Subsidence of organic soil	3.4	1.0	0.2	-	4.6	
TOTAL PHYSICAL	44.2	26.8	12.3	-	83.3	4.2
Total (Mha)	749.0	910.5	295.7	9.3	1964.4	
Total (percent)	38.1	46.1	15.1	0.5		100

Total cultivated land of the world 1701Mha (millones de hectáreas)

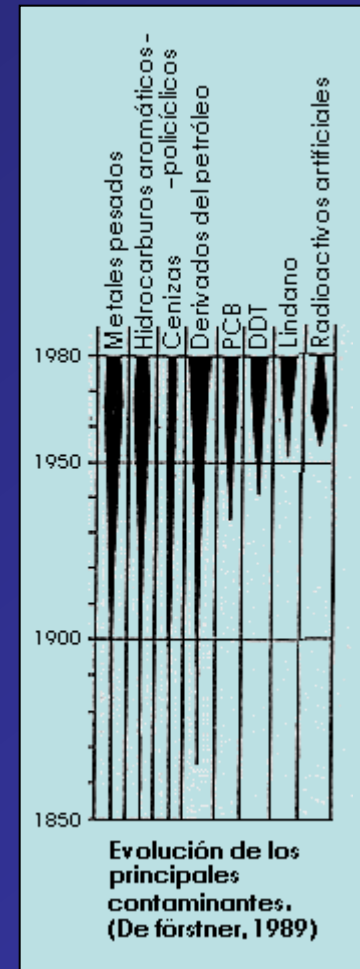
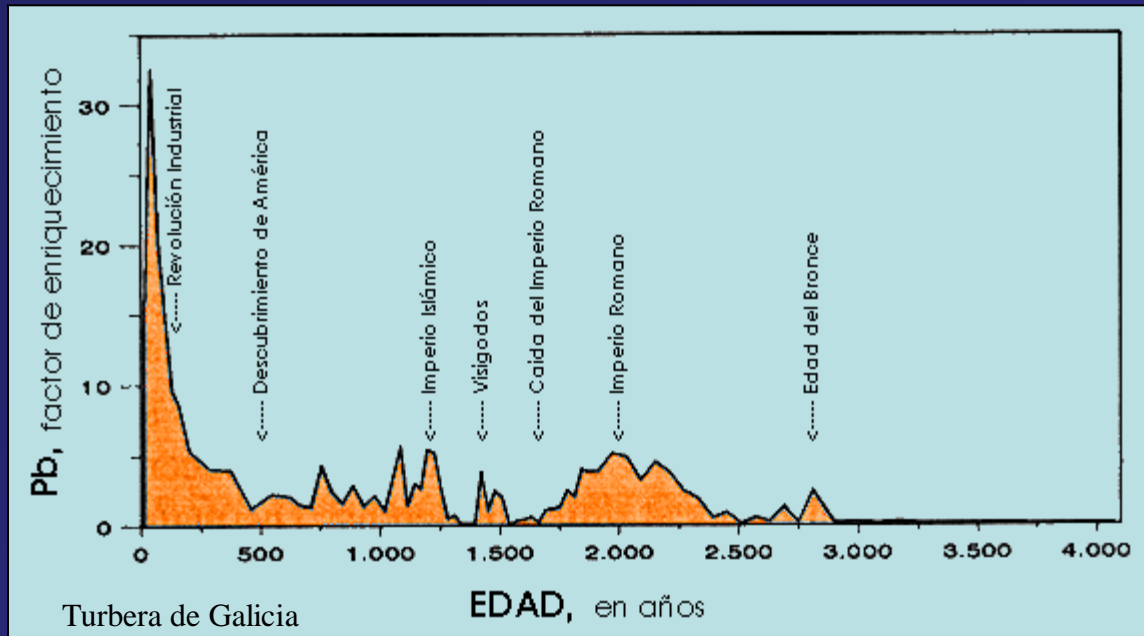
Contaminación

Contaminación local, no difusa

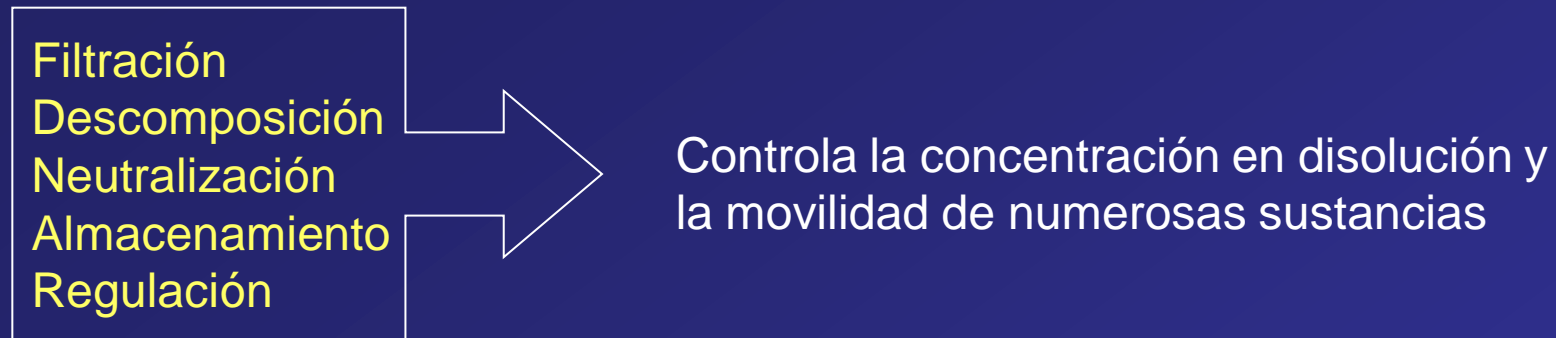
Países desarrollados

CONTAMINACIÓN

Asociada a la actividad humana

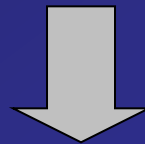


El suelo es un sistema muy complejo y cambiante capaz de realizar funciones de:

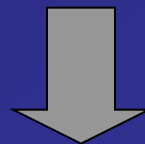


No es selectivo:

Actúa sobre compuestos orgánicos, inorgánicos, aniones, cationes, ácidos, bases, oxidantes, reductores, metales pesados, ligeros, sales, coloides, microorganismos...



SUELO = BARRERA PROTECTORA (agua, seres vivos)



CAPACIDAD AMORTIGUADORA

(capacidad de inactivar los efectos negativos de un determinado contaminante)

CAPACIDAD AMORTIGUADORA

(capacidad de inactivar los efectos negativos de un determinado contaminante)

Formación de enlaces entre sustancias nocivas y componentes del suelo
Procesos de insolubilización (precipitación)
Transformación en otras sustancias menos tóxicas

SUELO CONTAMINADO



Contaminación: alteración de la pureza de una cosa (Diccionario RAE)

Introducción por el hombre, directa o indirectamente, de sustancias y energías en el medio ambiente

Forma de degradación química que provoca la pérdida parcial o total de la productividad del suelo (FAO, 1977)

Aquél que ha superado su capacidad de amortiguación para una o varias sustancias, pasando de ser un sistema protector a ser causa de problemas para el agua, la atmósfera y/o los seres vivos

CONTAMINACIÓN

No basta con detectar la presencia de contaminantes.

No realizarlo únicamente en base a las concentraciones TOTALES

Definir máximos niveles admisibles → TOXICIDAD

- **BIODISPONIBILIDAD:** Asimilación potencial por los organismos.
- **MOVILIDAD:** Dispersión por el medio (agua, seres vivos).
- **PERSISTENCIA:** Período de actividad del contaminante.

Tipos:

Natural: Concentración residual por edafogénesis (ej.: peridotitas)
Evolución acidificante en suelos (ej.: Al^{3+} en Galicia)

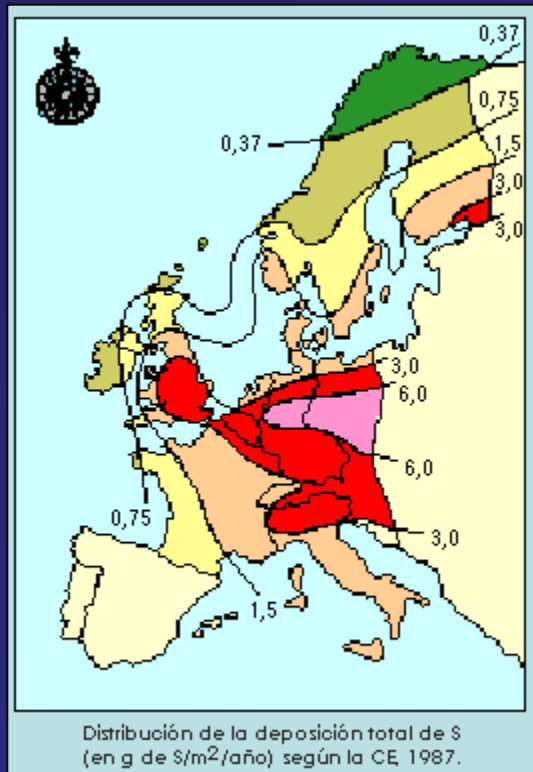
Antrópica: Minería, Actividades agrícolas y ganaderas, Otras actividades



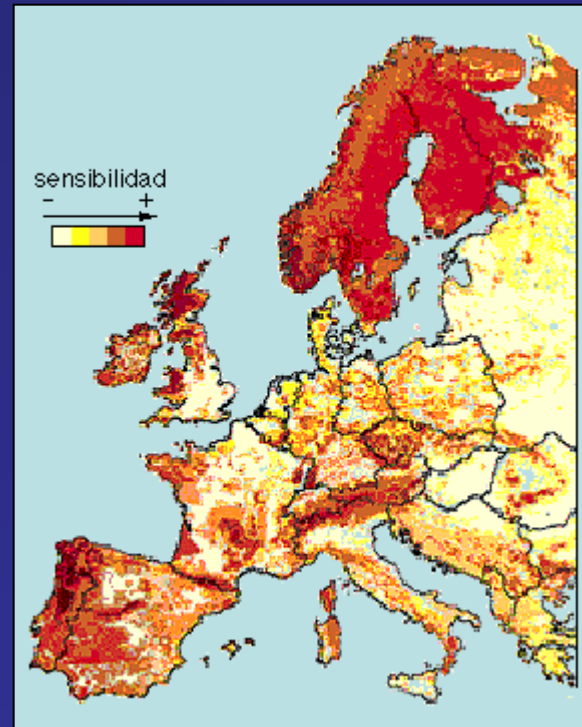
VULNERABILIDAD: Grado de sensibilidad de los suelos frente a la contaminación

Lluvia ácida

(combustión de carbones ricos en S)



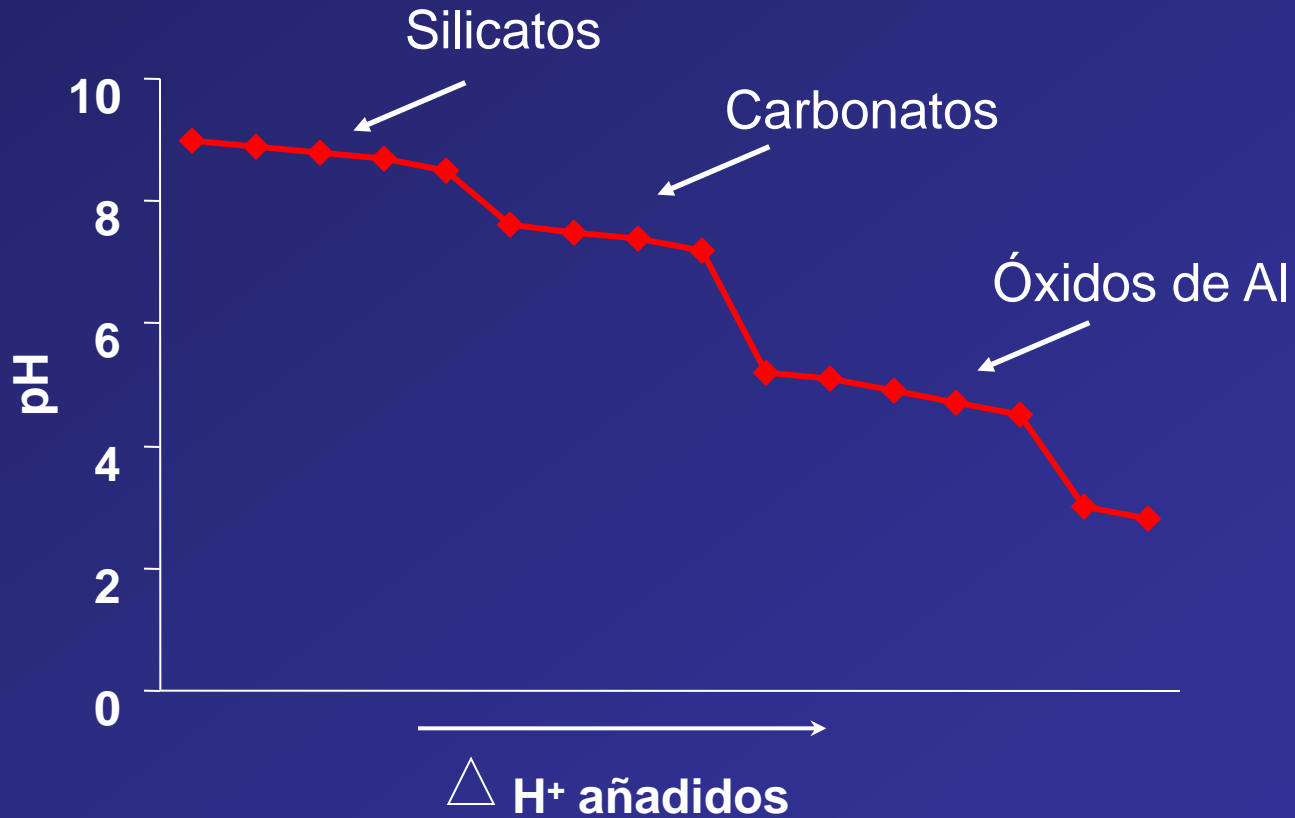
Inversa a la capacidad de amortiguación



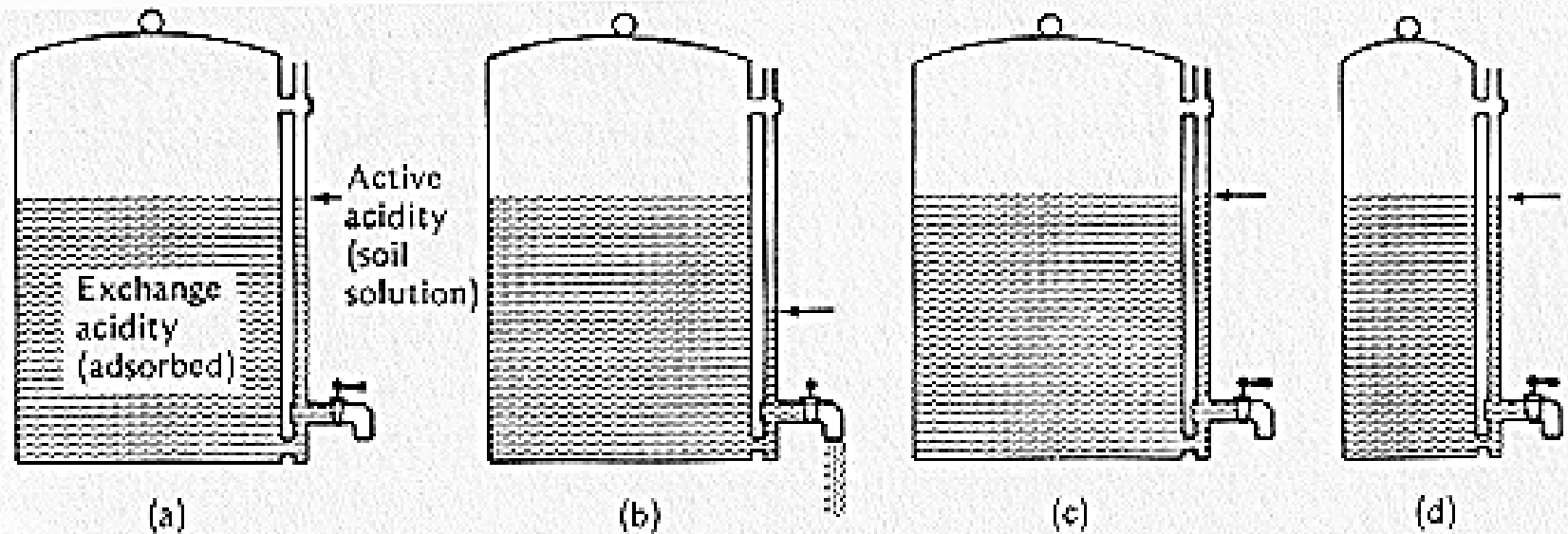
CAPACIDAD DE NEUTRALIZACIÓN DE ÁCIDOS (CNA)

CARGA CRÍTICA: Cantidad máxima de un contaminante que puede ser aportado a un suelo sin producir efectos nocivos.

La curva de neutralización de un suelo al añadirle un ácido cambia de forma escalonada según el mineral que actúe como tamponador.



CAPACIDAD DE NEUTRALIZACIÓN DE UN SUELO



El poder tampón de los suelos puede ser comparado con un dispensador de líquidos dotado de un nivel (tubito transparente) para ver la cantidad de líquido que contiene. Si en el recipiente (a) se elimina una cierta cantidad de agua del tubito transparente (b), el nivel es rápidamente repuesto por el líquido contenido en la cuba (c).

En el recipiente (d) la capacidad de reposición del líquido extraído será mucho menor.

Dibujo de: N.C. Brady. 1984. The nature and Properties of soils. Macmillan Pub.

Representa un mecanismo de protección frente a modificaciones bruscas del pH.

AGENTES CONTAMINANTES

1. EMISIONES ÁCIDAS ATMOSFÉRICAS

Origen: Industria, tráfico rodado, abonos nitrogenados tras desnitrificación.

Efectos: Disminuyen el pH del suelo, se puede superar la capacidad tampón y liberar elementos altamente tóxicos para animales y plantas.

2. AGUAS DE RIEGO DE MALA CALIDAD

Origen: Agricultura (zonas próximas a costa)

Efectos: Salinización, sodificación.

3. PRODUCTOS AGRÍCOLAS Y GANADEROS

Origen: Agricultura (plaguicidas, fertilizantes) Ganadería (resíduos)

Efectos: Plaguicidas/Resíduos = toxicidad. Fertilizantes = Exceso de nitratos y fosfatos (eutrofización).

4. METALES PESADOS

Origen: Actividad minera.

Efectos: Toxicidad a partir de una determinada concentración.

1. Acidificación.

Evaluación de la acidificación de un suelo sometido a impactos acidificantes:

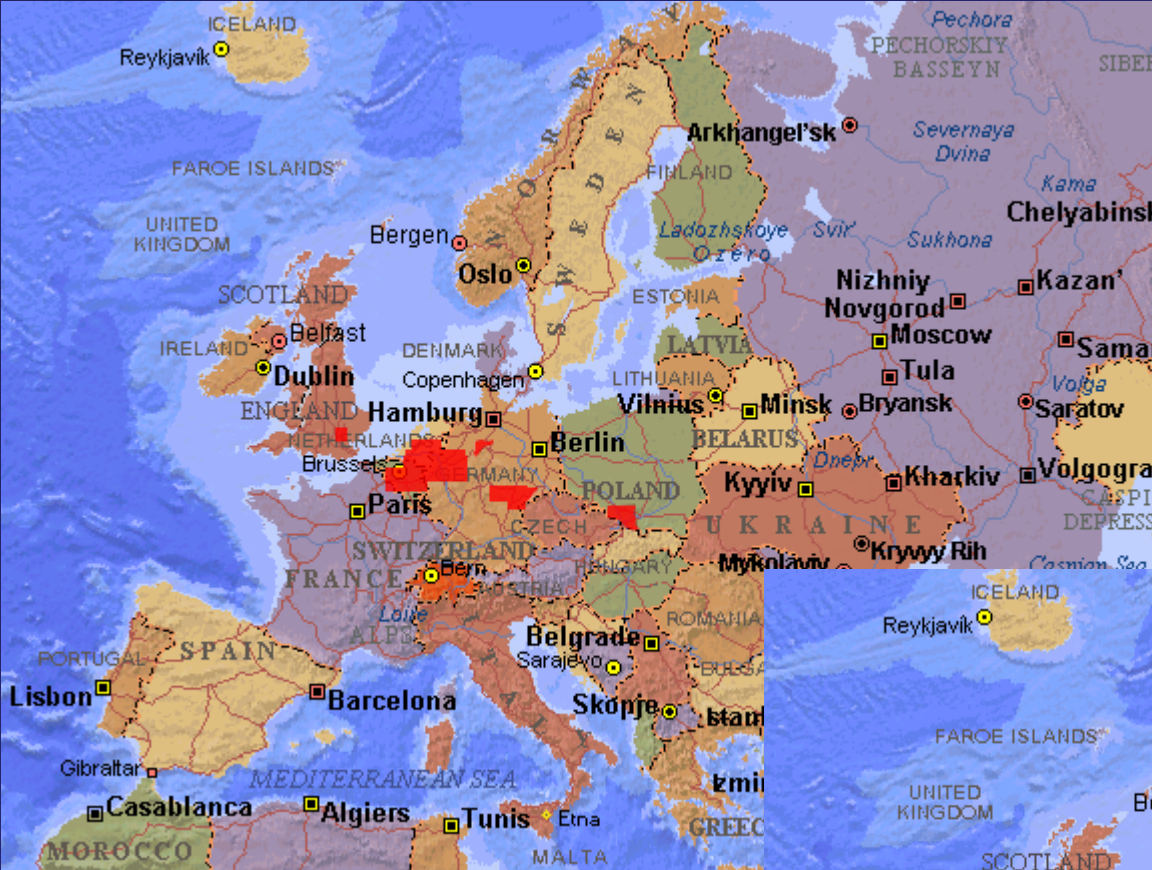
- Variación del pH y del % saturación de bases (V).
- Relación Al/Ca y movilización del Al.
- Variación de CNA respecto a suelo referencia.

Si no hay suelo referencia → Establecer balances input-output de contaminantes
Entradas por pluviolavado
Salidas por drenaje (aguas lisimétricas) y escorrentía

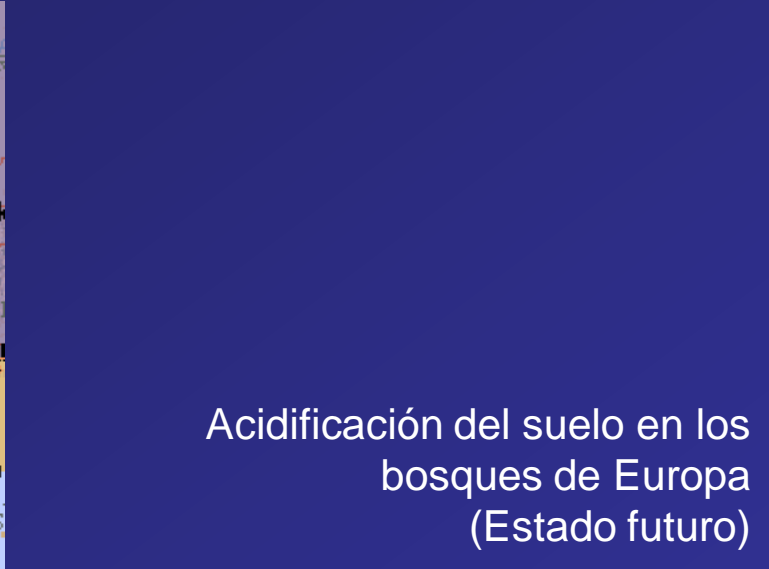
Suelos más fácilmente acidificables:

- Zonas frías.
- Materiales poco alterables.
- Suelos de poco espesor, bajos CIC y V.
- Pobres en coloides de Fe y Al activo.

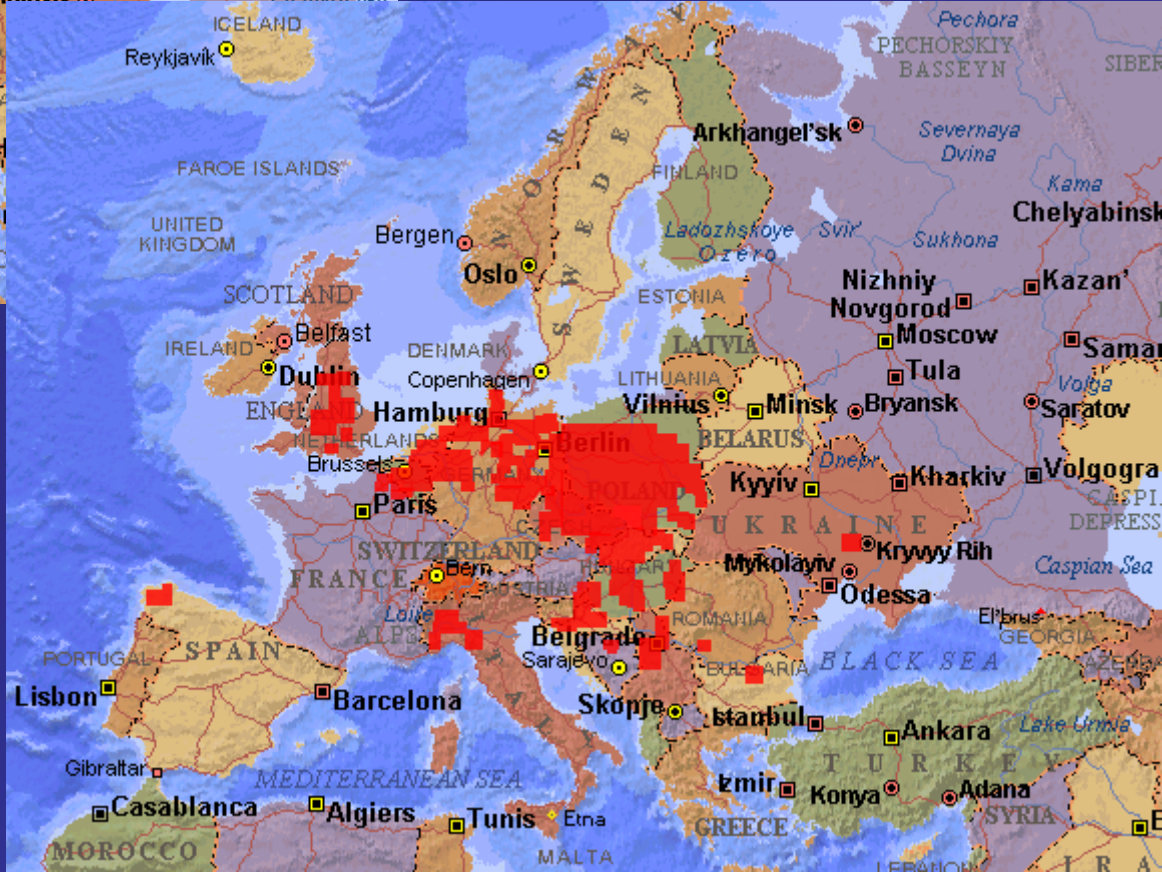




Acidificación del suelo en los bosques de Europa (Estado actual)



Acidificación del suelo en los bosques de Europa (Estado futuro)



2. Salinización.

Acumulación de sales solubles en el suelo (yeso = 2,4 g/l a 20 °C)

Propio de regiones áridas o semiáridas, con regímenes de humedad del suelo deficitarios en agua; si hay más humedad, las sales se lavan.

$$P \ll ETP = \uparrow$$

Riesgo si $P / ETP < 0,75$ (FAO)



Contaminación por abonado excesivo o riegos con agua de mala calidad

SALINIDAD

Eleva la conductividad del extracto de saturación y afecta al crecimiento y productividad de las plantas
(> 1% sales, > 2 dS m⁻¹)

CE (Conductividad eléctrica del extracto de saturación) **CEc**

Contaminac.	Aumento de la C.E. / P.S.I de 0-40 cm
Clases	mmhos/cm/año
Nula o ligera	<2
Moderada	2-3
Alta	3-5
Muy alta	>5

SODICIDAD

Contenido en Na⁺ elevado, dispersa y destruye la estructura

RAS (sodio en la solución del suelo)

$$\text{RAS} = \text{Na}^+ / \sqrt{(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})} \text{ (en mmol dm}^{-3}\text{)}$$

PSI (sodio intercambiable, cmol_c kg⁻¹)

$$\text{PSI} = 100 \times \text{Na} / \text{CIC}$$

(sodicidad si PSI > 15%)

Categorías de suelos	CE	PSI
	(dS m ⁻¹)	(%)
Normales	< 4	< 15
Salinos	> 4	< 15
Sódicos	< 4	> 15
Salino-sódicos	> 4	> 15

EFEECTO SALINIDAD

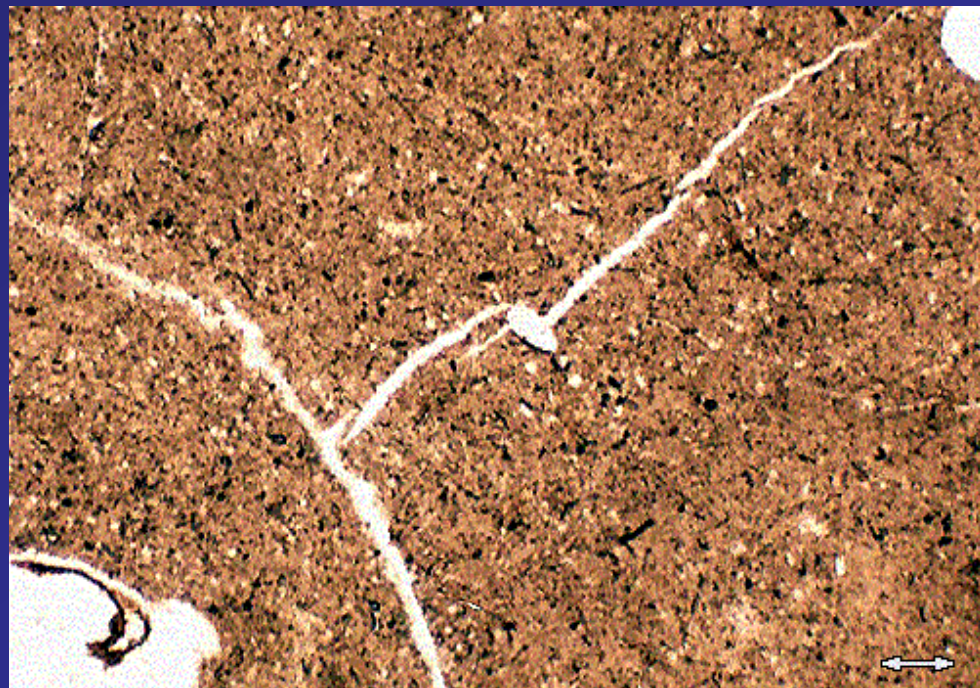


Do good and show it into the water
with the salt water in
clean again.

ERAMIS
Africa

ERAMIS
Africa

EFEECTO SODICIDAD



3.1. Resíduos ganaderos.

- Muy persistentes (contaminan el agua)
- Alta DBO, DQO, MO, NH_3
- Contaminan el aire (SH_2 , NH_3)



Solución → Aplicación al suelo (abonos)

Ventajas: Económicamente viable y bajo impacto medioambiental.

Inconvenientes:

Aplicación incorrecta

Cantidad excesiva

Época inadecuada

CONTAMINACIÓN



3.2. Resíduos agrícolas.

Pérdida de nutrientes por utilización de cantidades excesivas



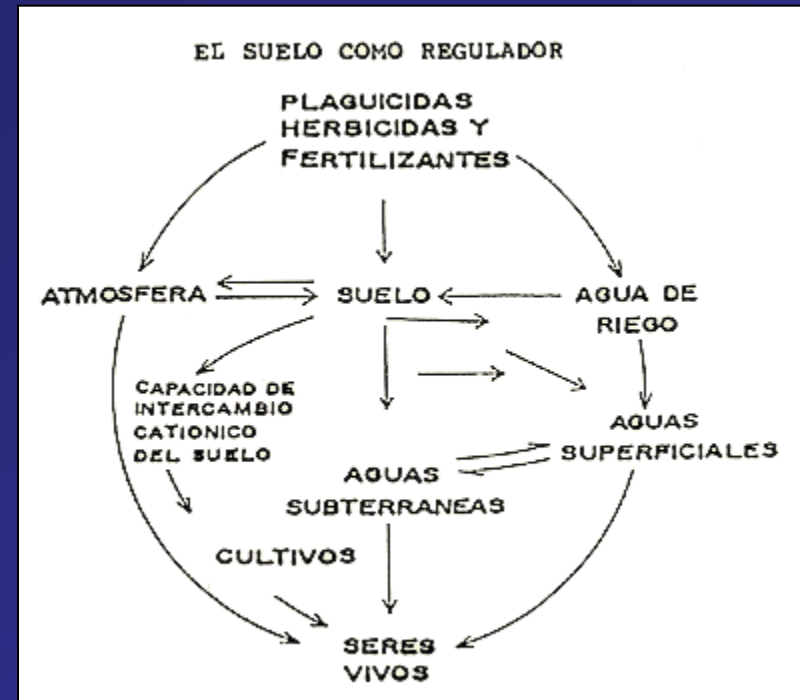
No usado por las plantas
No retenido por el suelo



Pasa a las aguas superficiales y subsuperficiales



Pérdidas económicas y ambientales



NITRÓGENO

Nutriente esencial,
absorbido generalmente
como NO_3^- o NH_4^+

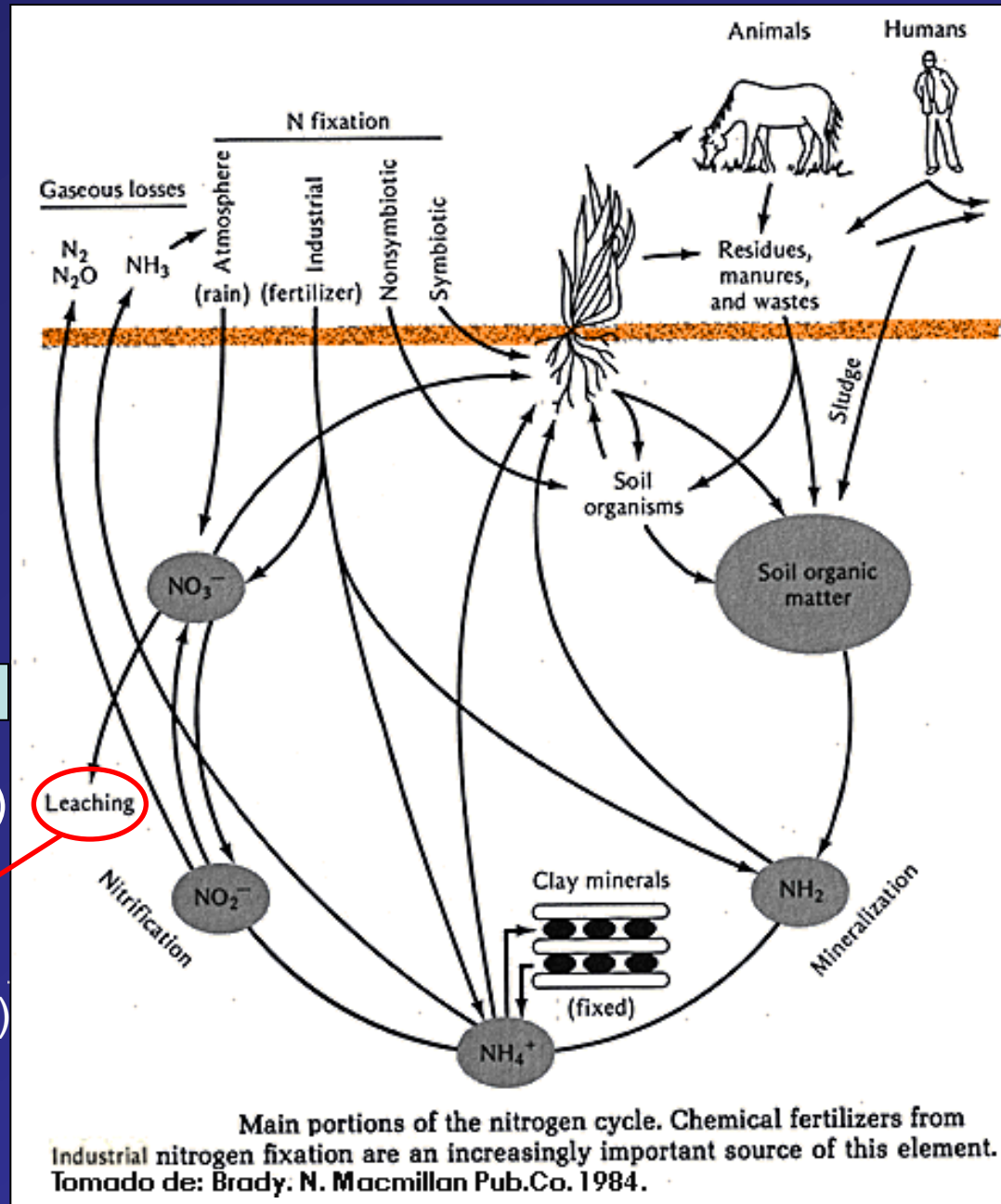
NO_3^- (solución del suelo)
 NH_4^+ (adsorbido sobre las arcillas)

Nitrógeno orgánico (85 – 95%)
(proteínas, ac. nucleicos, azúcares...)

Nitrógeno inorgánico (15 – 5%)
(NO_3^- , NH_4^+ , NO_2^- ...)

Principal problema
(Exceso de fertilizantes nitrogenados)

Eutrofización de aguas



FÓSFORO

Nutriente esencial.

Su movilidad se afecta por pH:

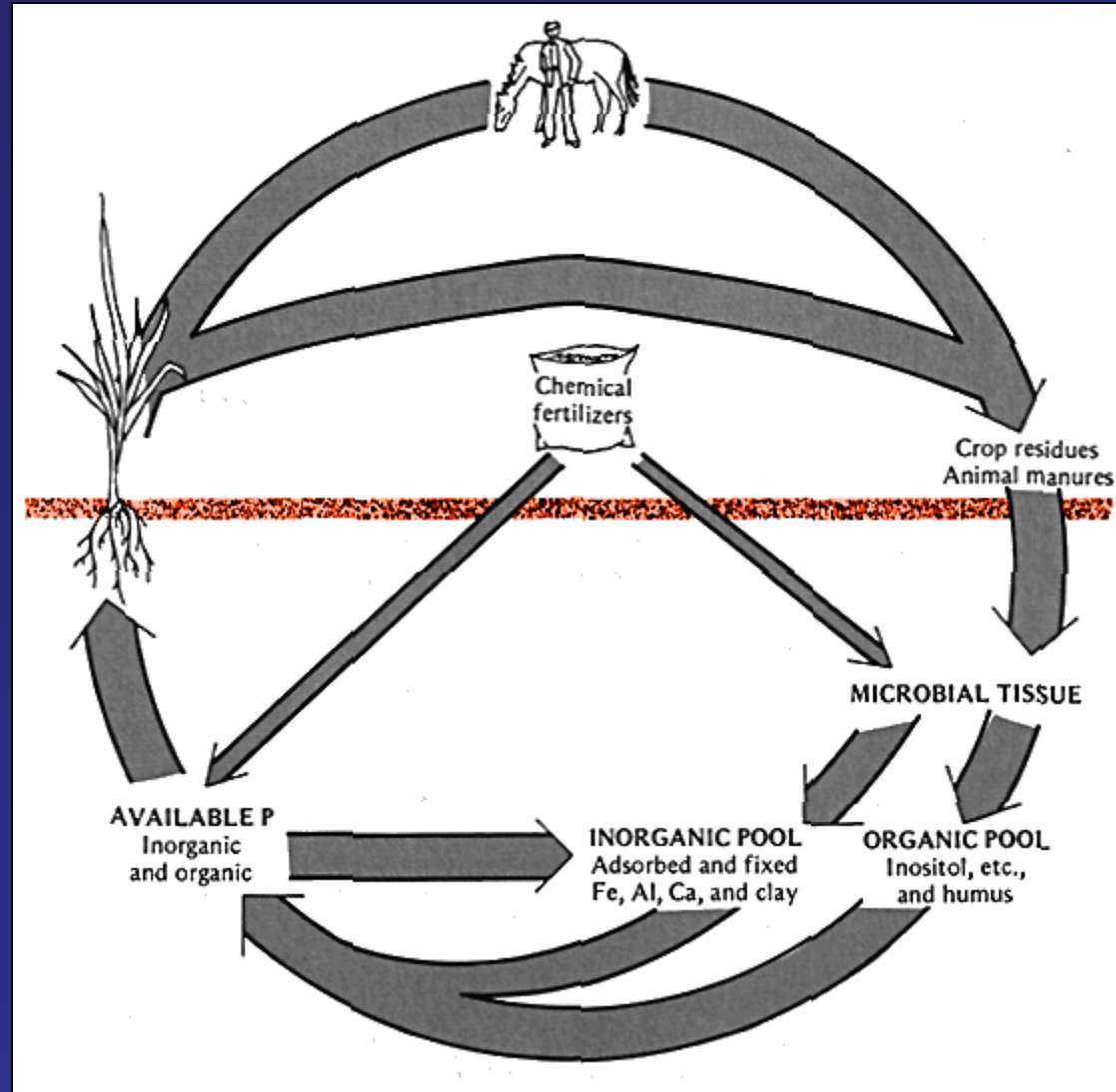
- Ácido: Comp. Insolubles (Fe y Al)
- Básico: Comp. Insolubles (Ca)
- Neturo: soluble.

Problema principal:

Exceso abonado

Escorrentía lateral

Eutrofización de agua



PLAGUICIDAS

Productos aplicados para combatir plagas y enfermedades y mejorar cualitativa y cuantitativamente la producción.

Por su actividad: Herbicidas, insecticidas, fungicidas, antibióticos, etc.

Por su composición: Organoclorados, organofosforados, inorgánicos, etc.

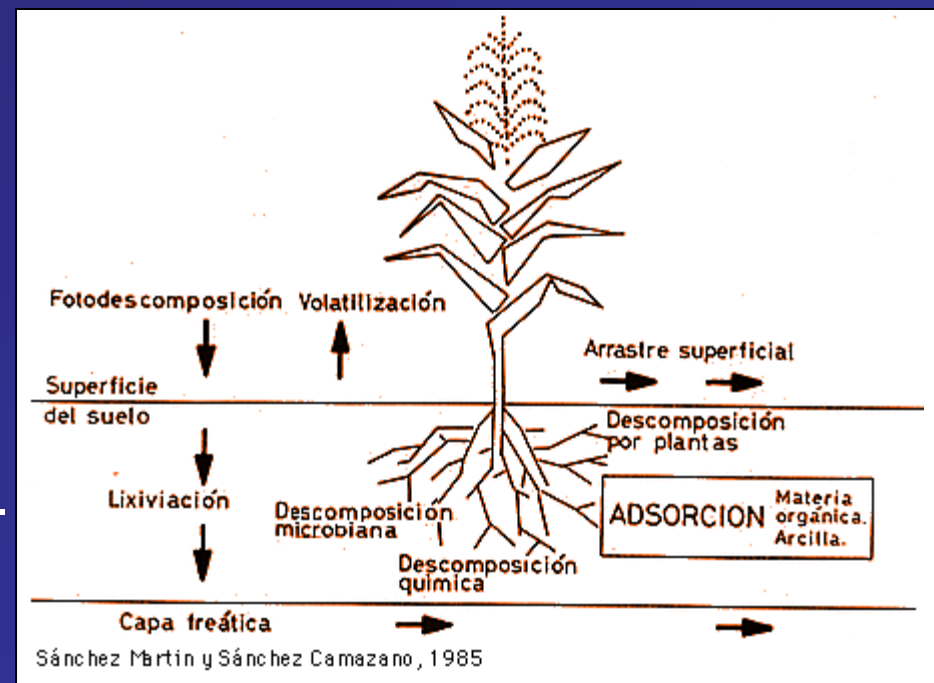
Por su toxicidad: Supertóxicos ($DL_{50} < 5 \text{ mg/kg}$)....Poco tóxicos ($DL_{50} > 15 \text{ g/kg}$)

Problemas:

- Toxicidad y persistencia.

Prevención:

- Aplicación y selección adecuadas.
- Alternancia de plaguicidas.



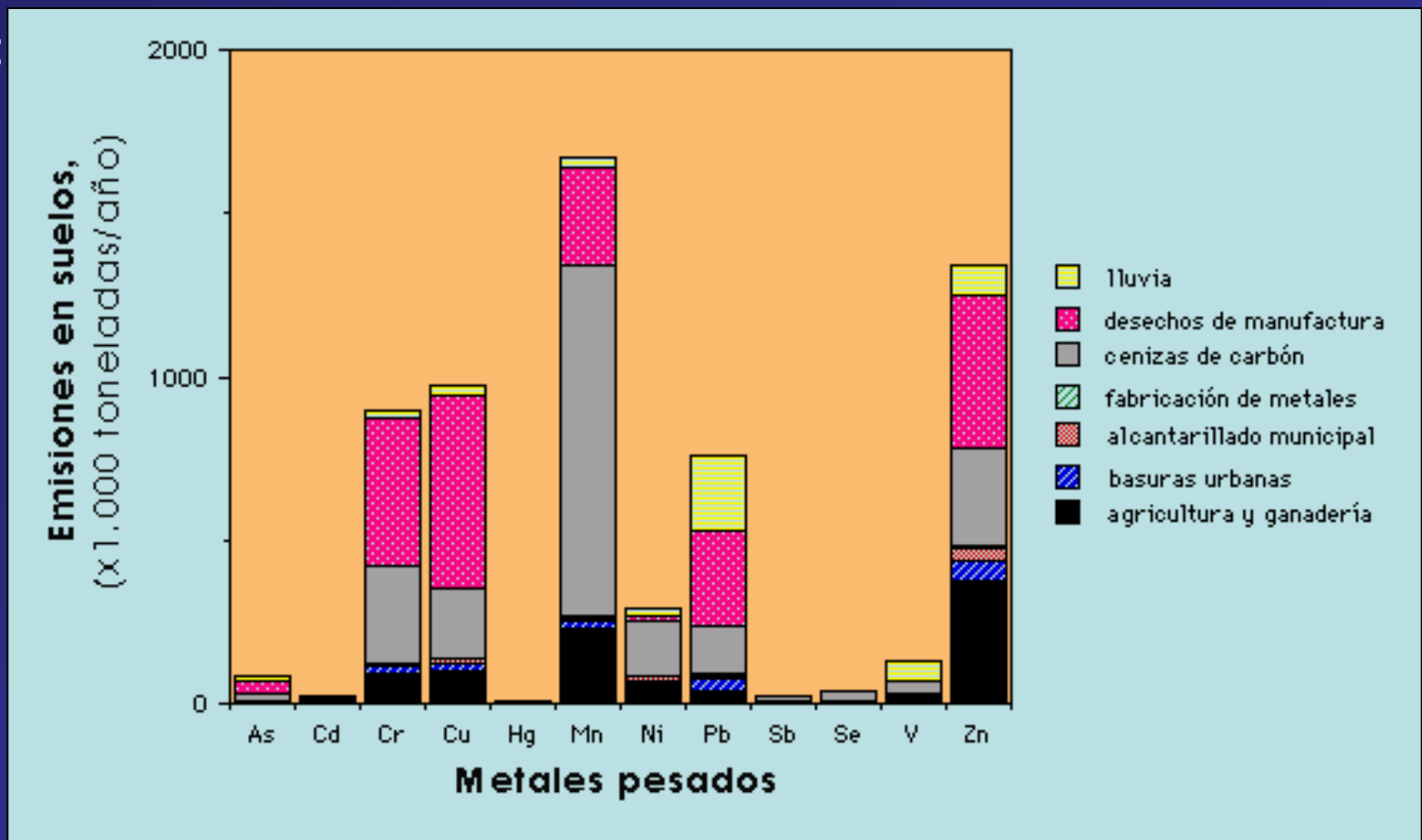
4. Metales pesados.

Densidad $\geq 5 \text{ gr/cm}^3$ ($Z > 20$). Tb. no metales: As, B, Se,...

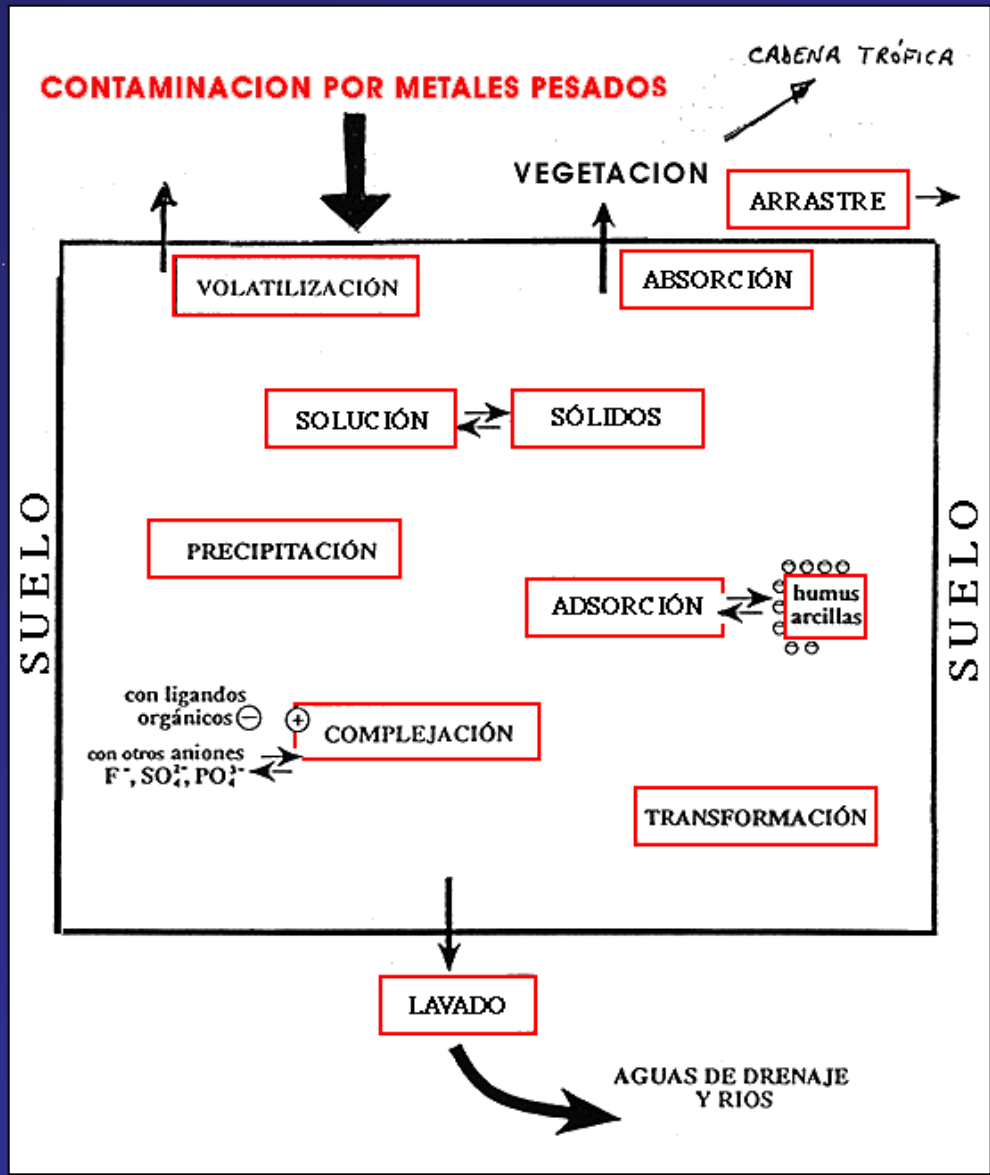
Oligoelementos (micronutrientes)

Sin función biológica conocida.

Origen:



Forma de retención en el suelo	Disponibilidad relativa
Iones en solución del suelo	Fácilmente disponible
Ión en complejo de cambio	Relativamente disponibles. Por su pequeño tamaño y altas cargas quedan fuertemente adsorbidos
Metales quelados por compuestos orgánicos	Menos disponibles
Metal precipitado o coprecipitado	Disponible sólo si ocurre alguna alteración química
Incorporado a la matriz biológica	Disponible después de la descomposición
Metal en la estructura mineral	Disponible después de la meteorización

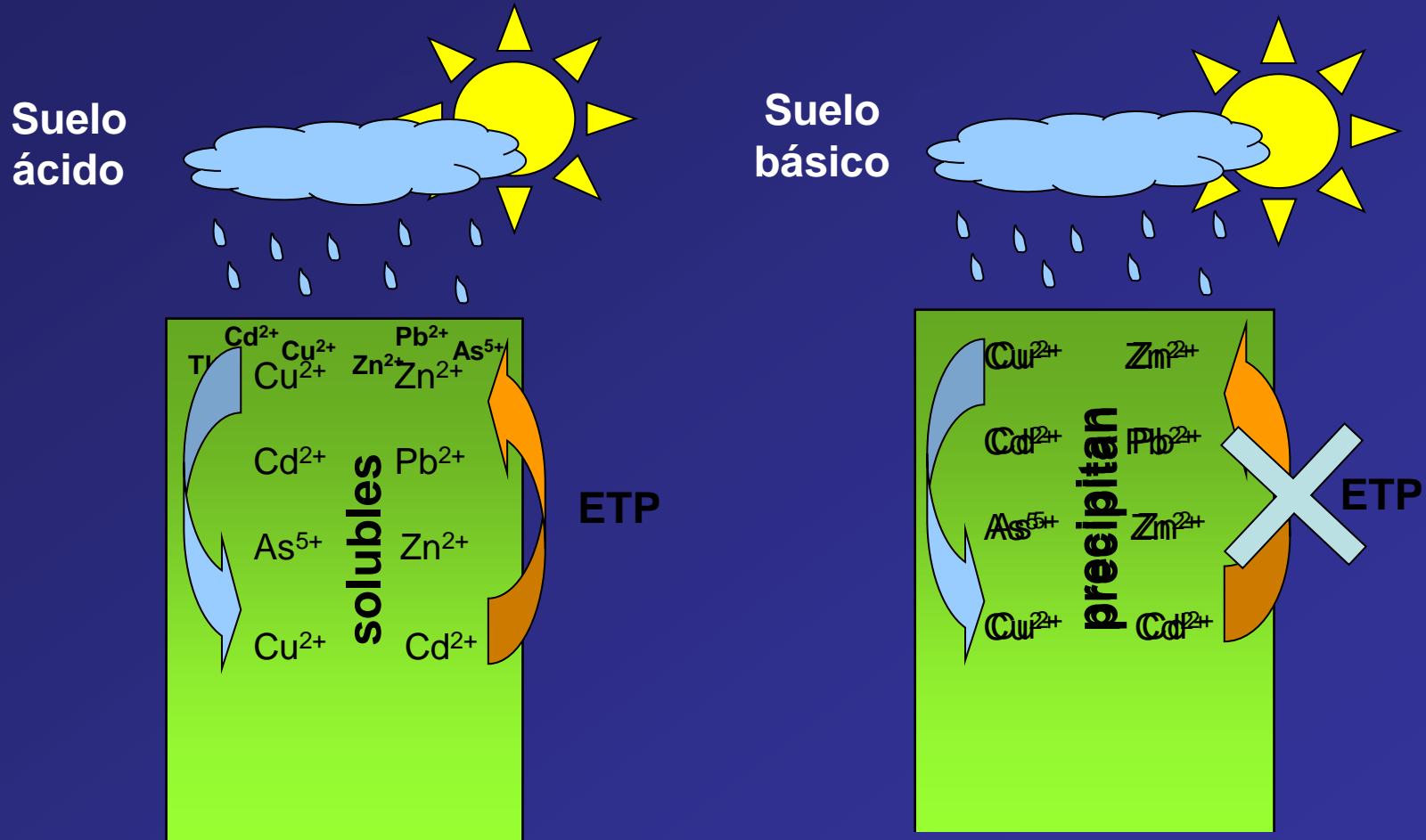


Riesgos:

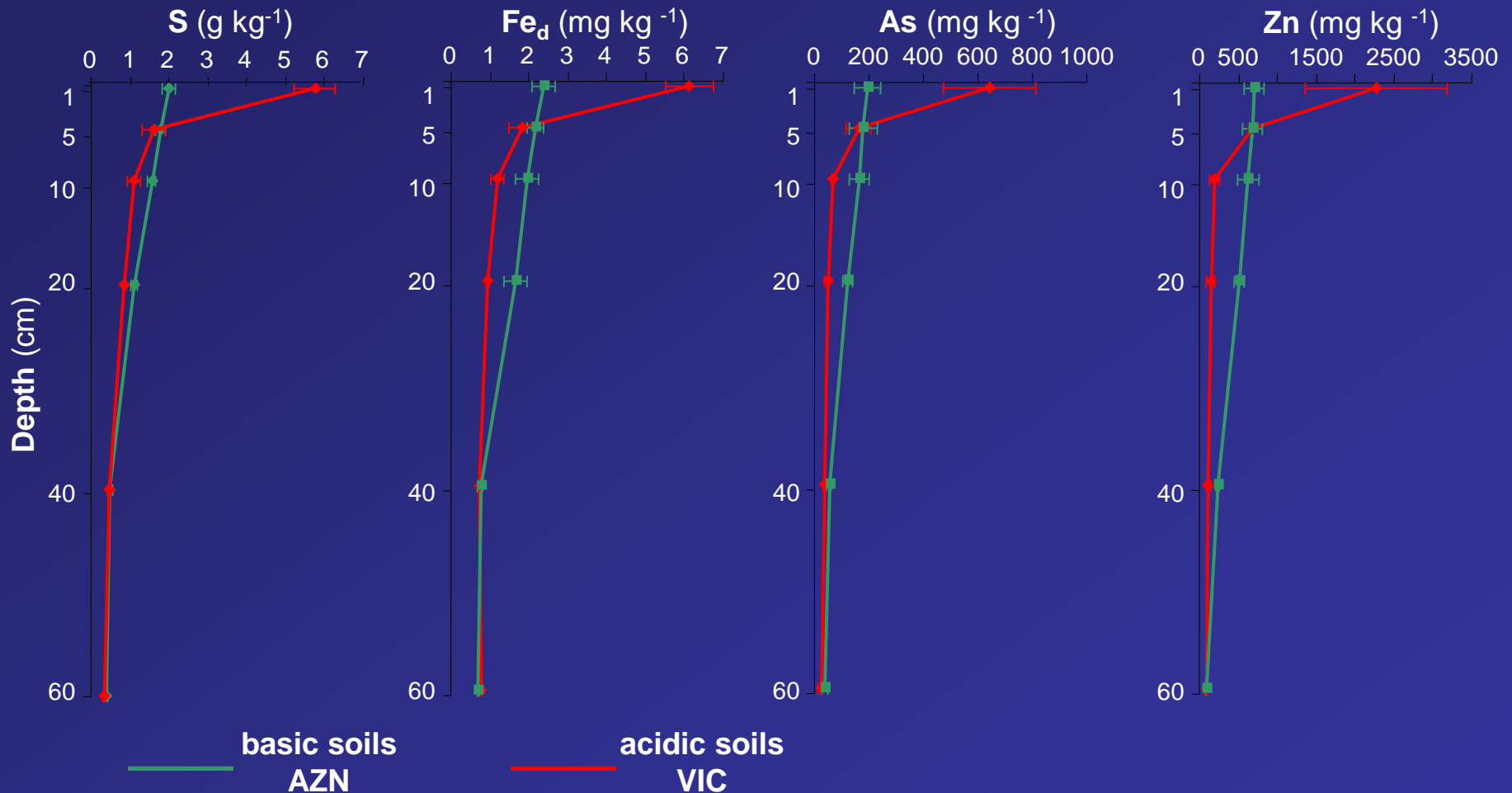
- Toxicidad.
- Carácter bioacumulativo.

Efecto del clima sobre la movilidad de metales en suelos

Clima Mediterráneo

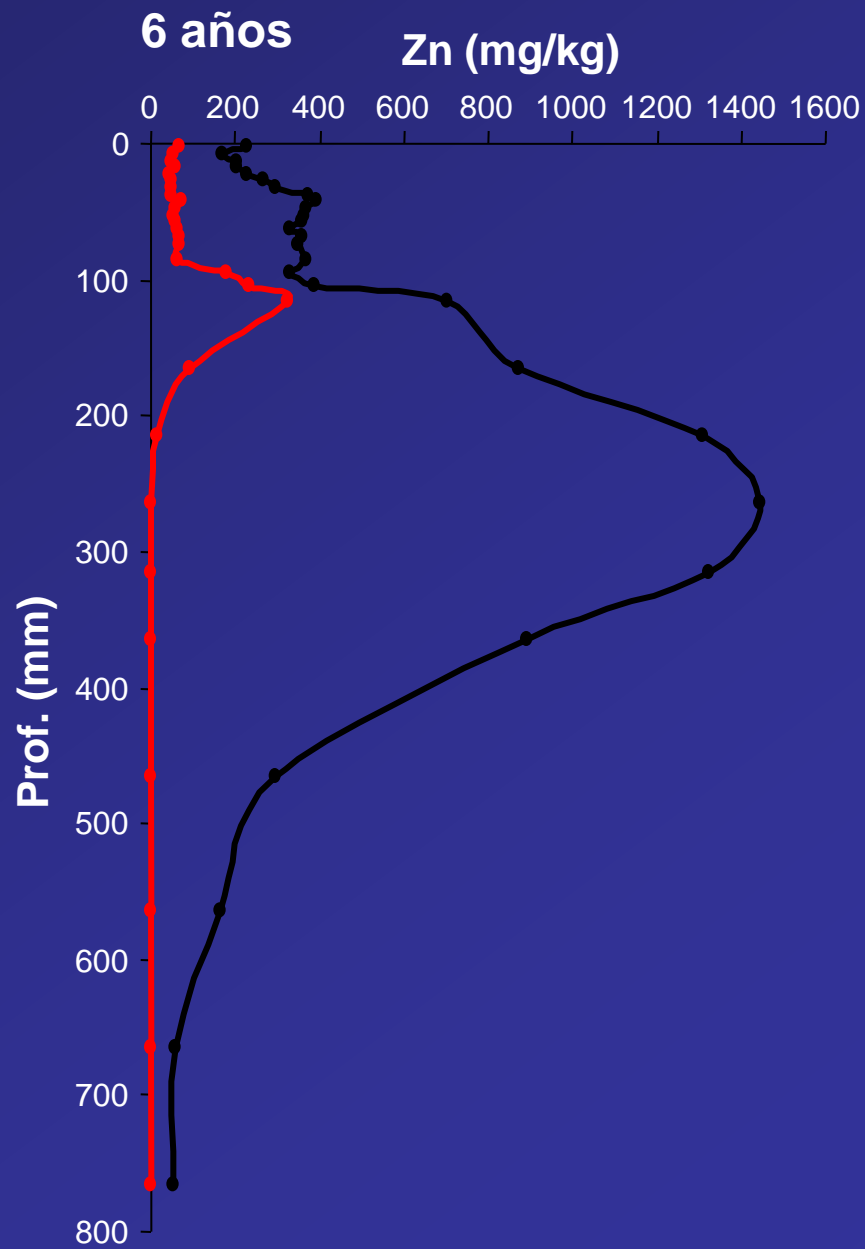
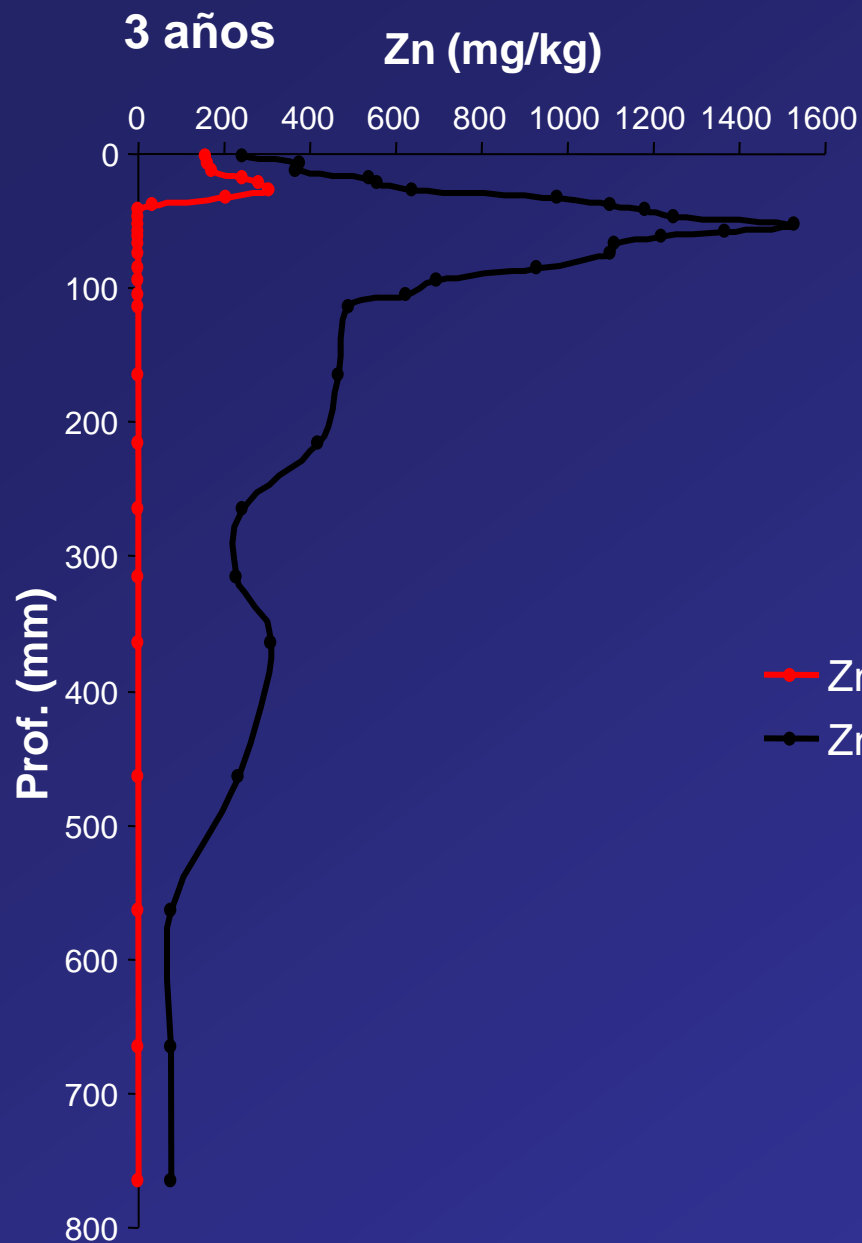


Efecto del tipo de suelo sobre la movilidad de metales





Efecto del tiempo sobre la movilidad de metales en suelos



CONSIDERACIONES FINALES

El suelo es un sistema protector de los medios superficiales más sensibles, pero si se supera su capacidad amortiguadora puede convertirse en una fuente de contaminantes.

Para caracterizar un suelo contaminado no basta con analizar las concentraciones totales de contaminante, sino que es preciso conocer la peligrosidad potencial en base a su biodisponibilidad, movilidad y persistencia.

Los sistemas de regulación de los suelos son complejos y variados; su modificación puede ocasionar cambios importantes en la actividad del material contaminante retenido.

Cualquier actuación de recuperación debe profundizar en el conocimiento de los suelos (propiedades, variabilidad espacial, mecanismos de amortiguación,...) con el fin de planificar actuaciones futuras.

La tierra no es una herencia de nuestros padres, sino un préstamo de nuestros hijos

