

Hacia la sostenibilidad en las prácticas agrícolas. Indicadores biológicos de salud de suelos

neiker
tecnalia

IKER MIJANGOS - CARLOS GARBISU

IKER MIJANGOS

- **Prácticas agrícolas insostenibles**
- **Impacto de prácticas agrícolas alternativas sobre la salud del suelo. Casos prácticos de aplicación de bioindicadores**
- **Tarjetas de Salud de Agroecosistemas**



AGRO-PRÁCTICA

ECO-TEORÍA

CARLOS GARBISU

- **Importancia de la conservación del suelo**
- **Concepto de “Salud del Suelo”**
- **Indicadores microbianos de la salud del suelo**





GRUPO DE ECOLOGÍA MICROBIANA DE SUELOS



Dr. Carlos Garbisu (coordinador)

Dra. Lur Epelde (suelos contaminados, fitorremediación)

Dr. Iker Mijangos (prácticas agrarias)

Dr. Iker Martín (técnicas moleculares)

Dr. Fernando Blanco (técnicas analíticas)

Maite Gómez-Sagasti (doctoranda, biomarcadores de respuesta a metales)

Mikel Anza (doctorando, suelos contaminados)

Aritz Burges (doctorando, fitorremediación)

RESUMEN EN 5 MINUTOS

- **EL SUELO ES NUESTRO RECURSO-ECOSISTEMA MÁS IMPORTANTE**
- **DEBEMOS FRENAR SU DEGRADACIÓN Y RECUPERAR LA SALUD DE LOS SUELOS**
- **LA SALUD DEL SUELO ES LA CAPACIDAD QUE TIENE UN DETERMINADO SUELO DE LLEVAR A CABO SUS FUNCIONES Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS**
- **LOS MICROORGANISMOS Y, ENTRE ELLOS, LA BIODIVERSIDAD MICROBIANA SON LOS MEJORES INDICADORES DE LA SALUD DEL SUELO (SON RESPONSABLES EN GRAN PARTE DE SU FUNCIONAMIENTO; ¡ESTAMOS EN UN PLANETA MICROBIANO!)**

La supervivencia de nuestra sociedad está ligada de forma inextricable a la salud de nuestros suelos

¡NUESTRO RECURSO - ECOSISTEMA MÁS VALIOSO!

No renovable

Multifuncional

Multifásica

Dinámico

Reservorio genes



Limitado

Olvidado

BIO-matriz

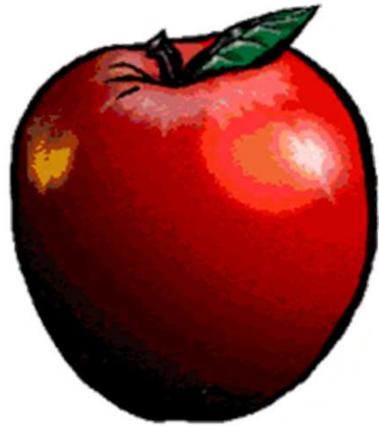
Heterogéneo

Complejo

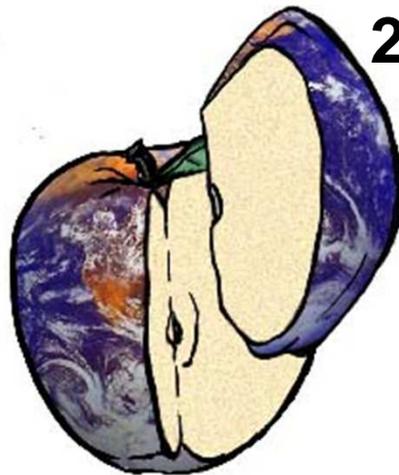
No valores medios

Red funcional microbiana

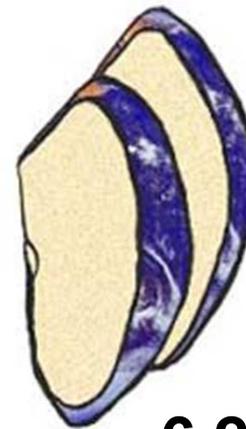
El suelo es una delgada línea marrón que nos aporta el 99% de nuestra comida



100%
(75% agua)



25% (50% calor, frío, seco, altitud)



12,5%

(50% escarpado, rocoso, pobre, húmedo, poco profundo)

6,25%



Este pequeño fragmento del que obtenemos alimento tiene que competir con otras necesidades: casas, centros comerciales, parques, vertederos, hospitales, colegios, fábricas, etc.



EL HAMBRE ES UN TSUNAMI SILENCIOSO QUE NO CONOCE FRONTERAS

El 99% de nuestro alimento depende, en último término, del suelo

Casi toda la superficie cultivable del planeta ya está siendo utilizada

La población mundial aumenta en 75-90 millones de personas al año

Cada vez vivimos más años

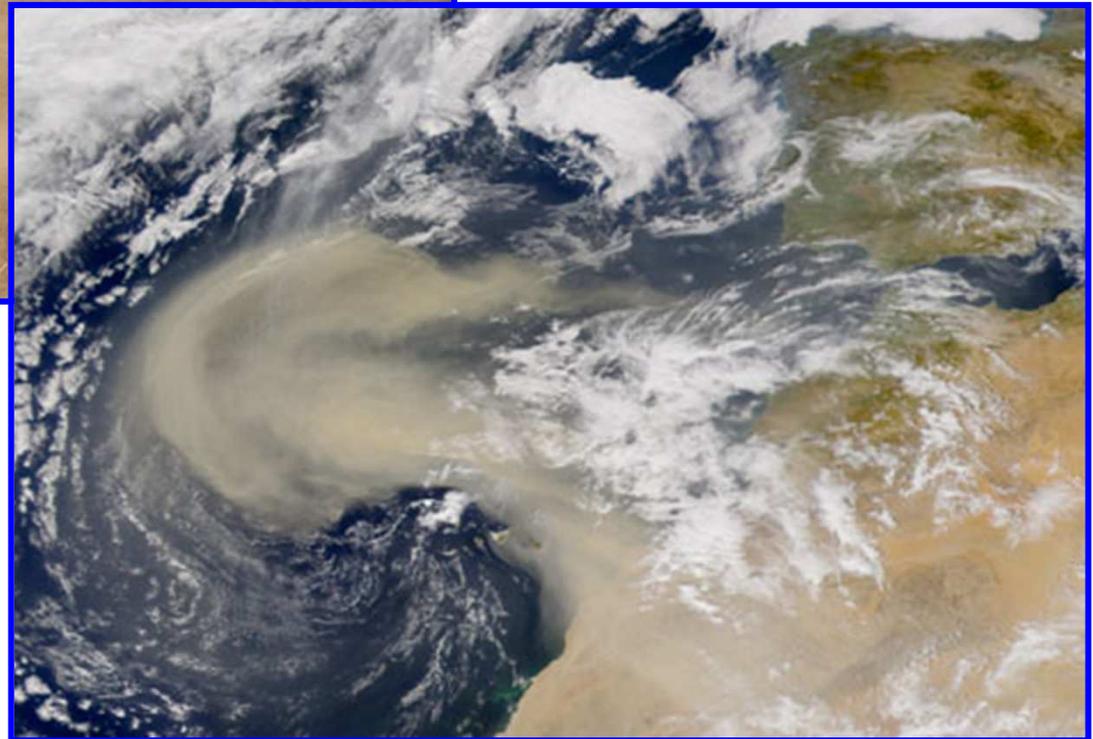
Un 85% de la tierra agrícola está degradada

En los últimos 50 años, la fertilidad de los suelos agrícolas ha disminuido en un 15%



La SALUD DEL SUELO encabeza la lista de prioridades establecidas en la EVALUACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS DEL MILENIO en relación con el objetivo de reducir el hambre en el mundo en un 50% para el 2015 (pero el hambre no es un problema de producción)

EROSIÓN EÓLICA



EROSIÓN HÍDRICA



DESPRENDIMIENTOS E INUNDACIONES



COMPACTACIÓN



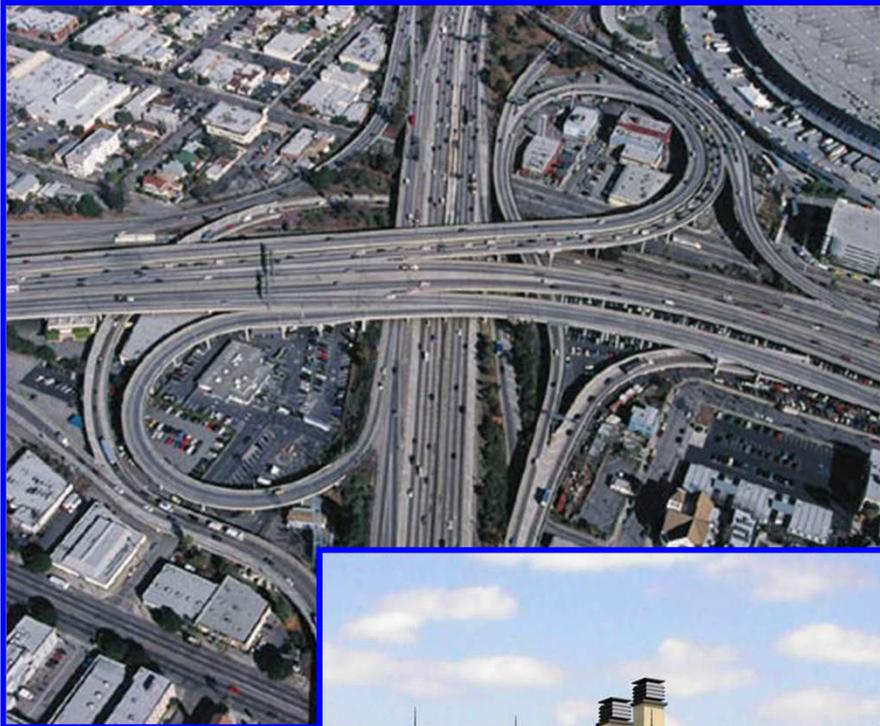
PÉRDIDA DE MATERIA ORGÁNICA Y NUTRIENTES



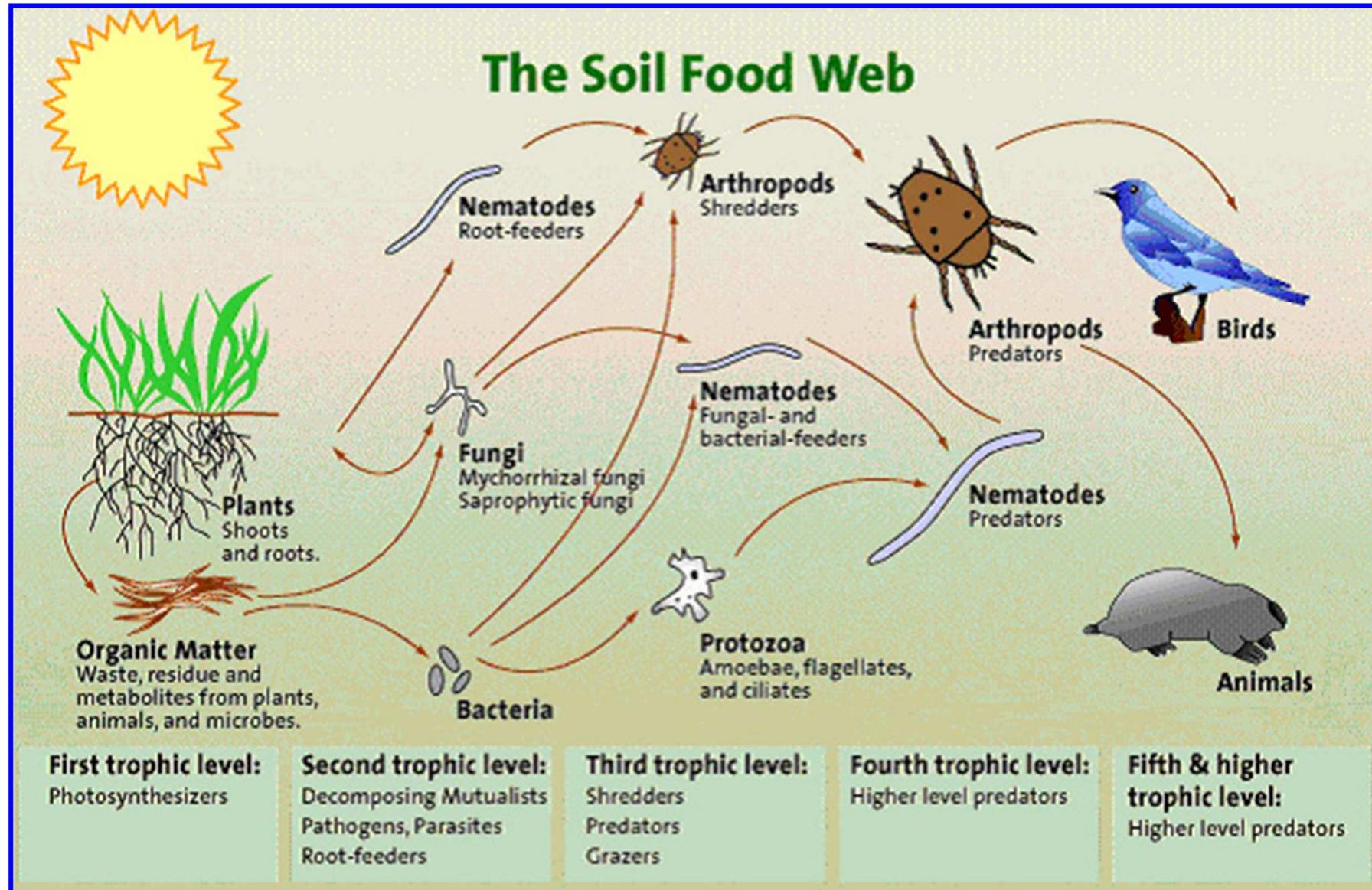
SALINIZACIÓN



SELLADO



PÉRDIDA DE BIODIVERSIDAD



HOMEOSTASIS PLANETARIA EN PELIGRO

El equilibrio de la Biosfera se derrumbará si seguimos
arrancándole eslabones

**Sostenibilidad ► Estabilidad (Resistencia y Resiliencia)
► Biodiversidad**



La salud del suelo depende de su
resiliencia: ¡CONSTRUYE SALUD,
CONSTRUYE RESILIENCIA!

¡ES TU SEGURO!

HIPPO

Habitat destruction

Invasive species

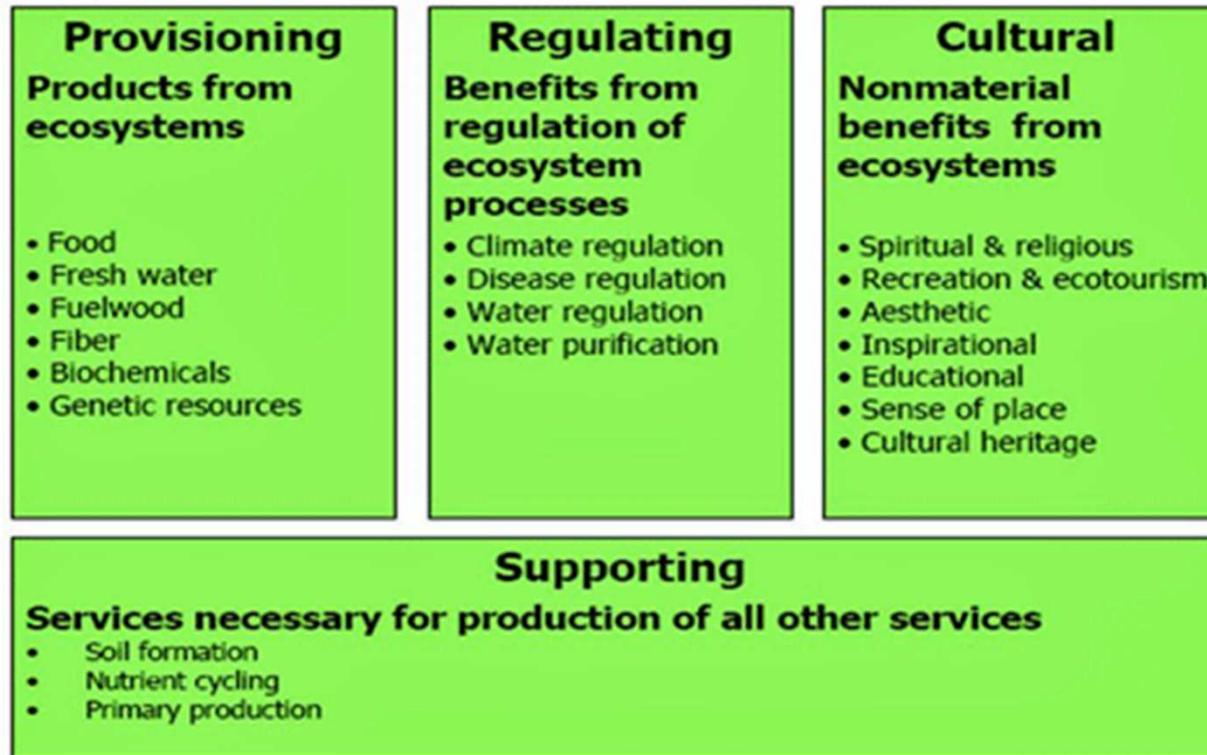
Pollution

Population

Overharvesting

**LA AGRICULTURA ES
RESPONSABLE EN PARTE**

Ecosystem Services



LOS BENEFICIOS QUE OBTENEMOS DE LOS ECOSISTEMAS

SERVICIOS DE SOPORTE: producción de biomasa y oxígeno, formación y retención del suelo, reciclaje de nutrientes, ciclo hidrológico, aporte de hábitats, etc. Los procesos ecológicos subyacentes al funcionamiento de los ecosistemas

VALOR MONETARIO DE LOS SERVICIOS DE LOS ECOSISTEMAS (¡PRECAUCIÓN!)

SERVICIOS

RECICLAJE DE NUTRIENTES
PRODUCCIÓN DE ALIMENTO
FORMACIÓN DE SUELO
POLINIZACIÓN
REGULACIÓN DEL CLIMA
CONTROL DE LA EROSIÓN
MATERIAS PRIMAS
RECREACIÓN
DEPURACIÓN DE AGUA
SUMINISTRO DE AGUA
CONTROL BIOLÓGICO
REGULACIÓN DE GASES-ATMÓSFERA
REGULACIÓN DE PERTURBACIONES
REGULACIÓN FLUJOS HIDROLÓGICOS
REFUGIO
RECURSOS GENÉTICOS
VALORES CULTURALES



TODO NECIO CONFUNDE VALOR Y PRECIO
LO QUE TIENE PRECIO SE PUEDE COMPRAR



En un conflicto ambiental se despliegan valores muy distintos, ecológicos, culturales, sentimentales, económicos....

No se puede introducir todo en el turmix de un análisis costo-beneficio

¡NO SIRVE LA VISIÓN REDUCCIONISTA!



CONTAMINACIÓN



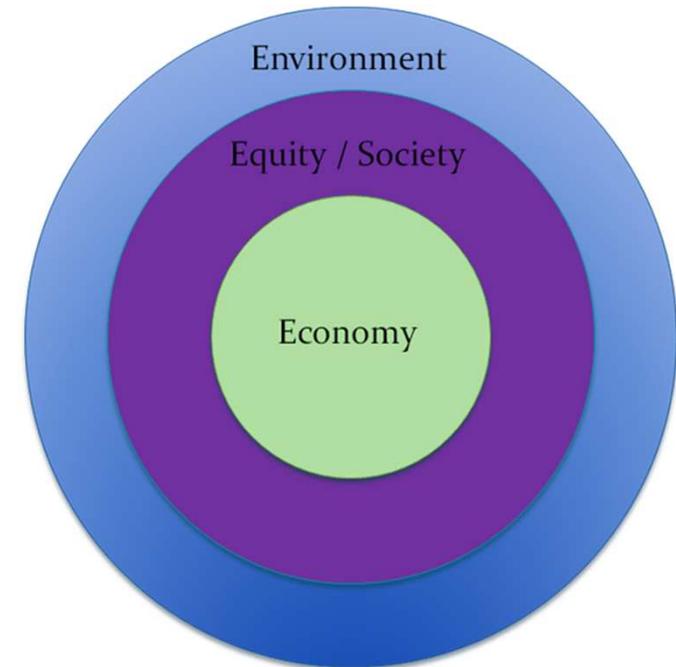
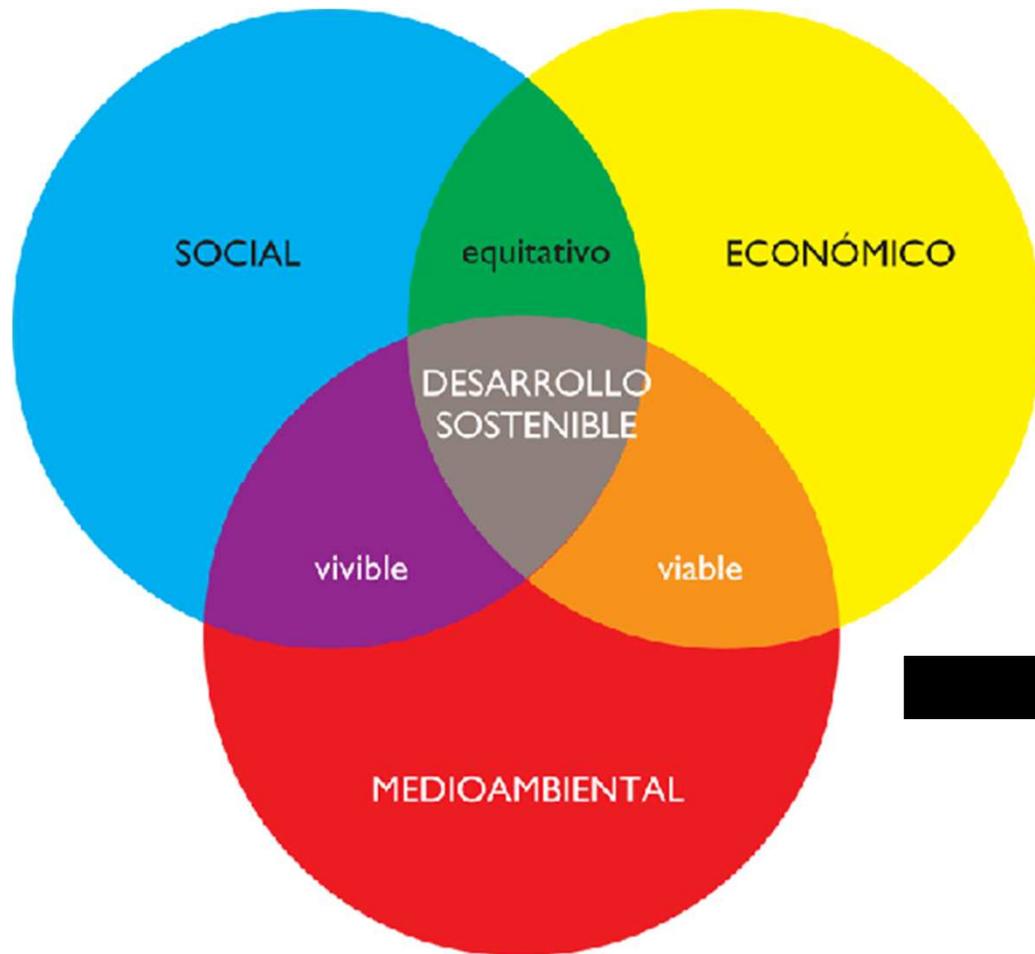
ACTIVIDADES CONTAMINANTES



**¡NUESTRO MODELO ACTUAL DE SOCIEDAD ES INSOSTENIBLE!
SOSTENIBILIDAD IMPLICA VIVIR DENTRO DE LA CAPACIDAD
REGENERATIVA DE LA BIOSFERA**

Desarrollo Sostenible: el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades (*Informe Brundtland*)

TRES PILARES
Ecológico-medioambiental
Socio-cultural
Económico-financiero



LA CANTIDAD TOTAL DE ESPACIO BIOLÓGICAMENTE PRODUCTIVO EN NUESTRO PLANETA DECRECE DÍA A DÍA POR, ENTRE OTRAS RAZONES:

❖ **LA DEGRADACIÓN DEL SUELO**

❖ **LA URBANIZACIÓN**

❖ **LA DEFORESTACIÓN**

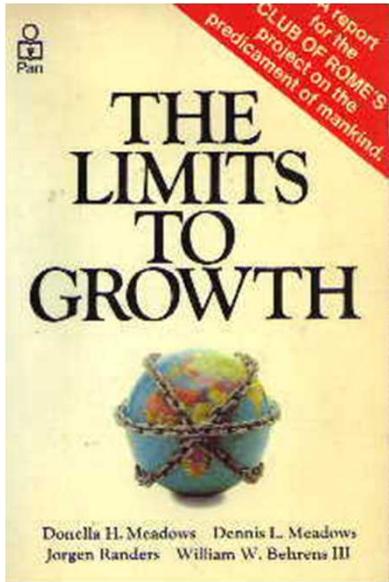
❖ **LA SOBREPESCA**

❖ **LA CONTAMINACIÓN**

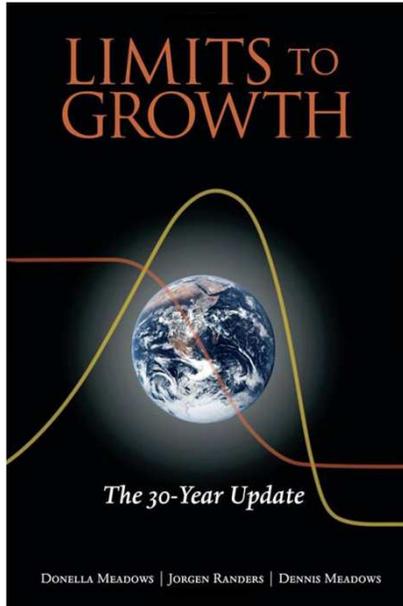
❖ **ETC.,**



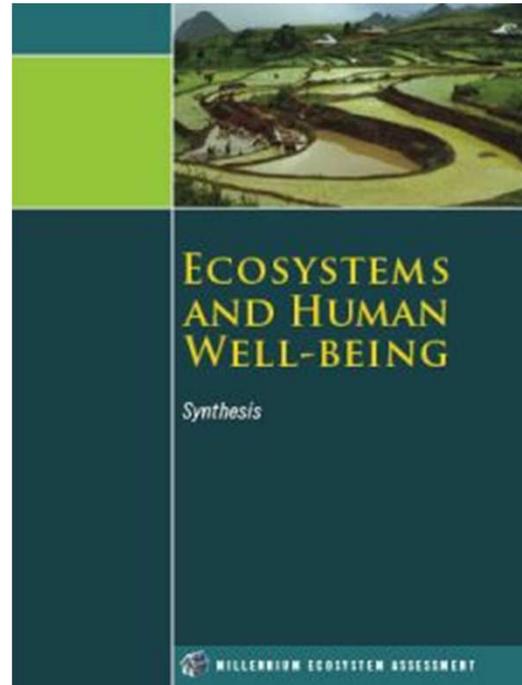
LÍMITES AL CRECIMIENTO: un mundo finito



1972

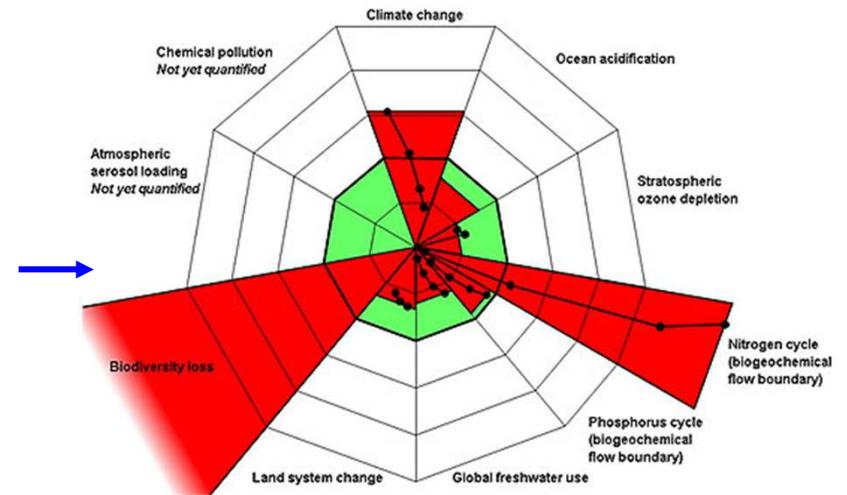


2004



2005

EVALUACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS DEL MILENIO



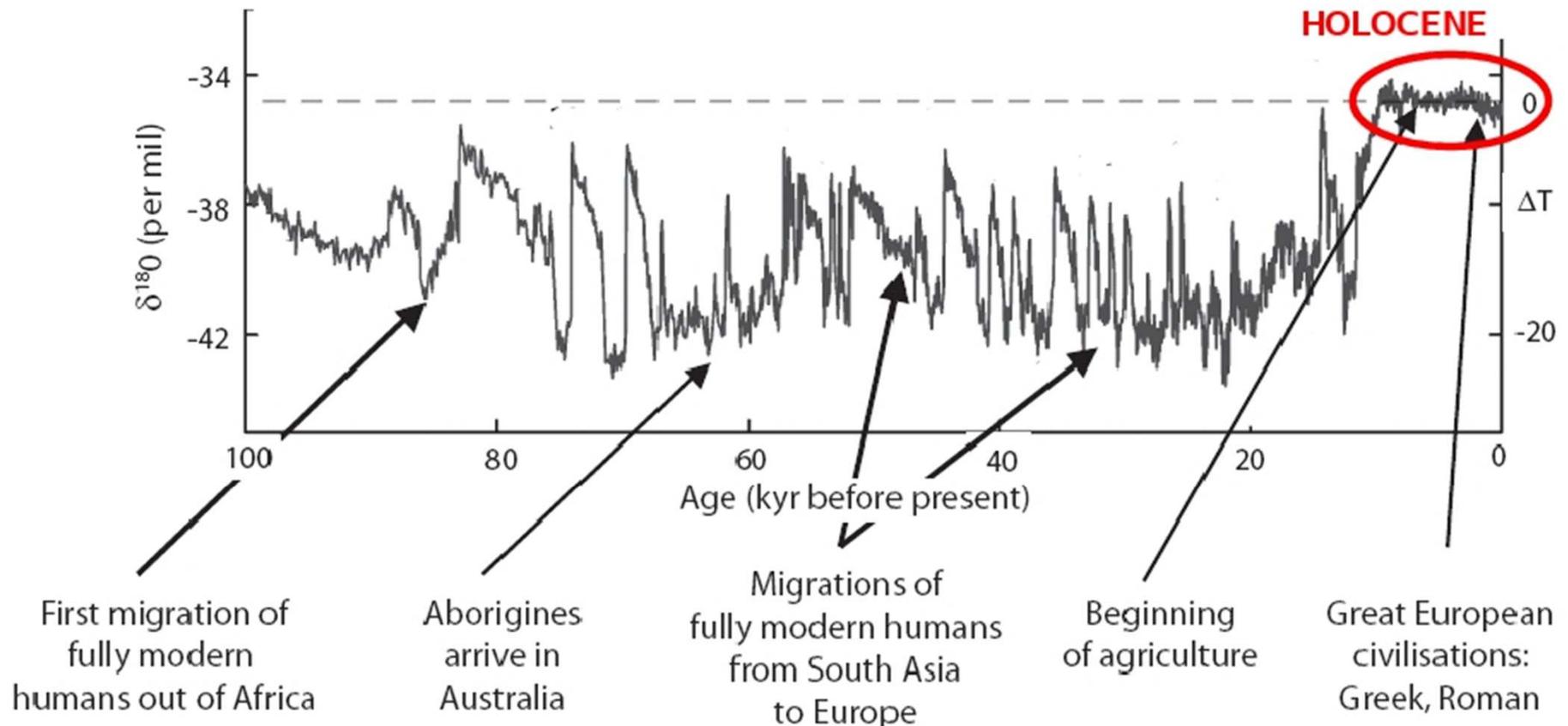
2009

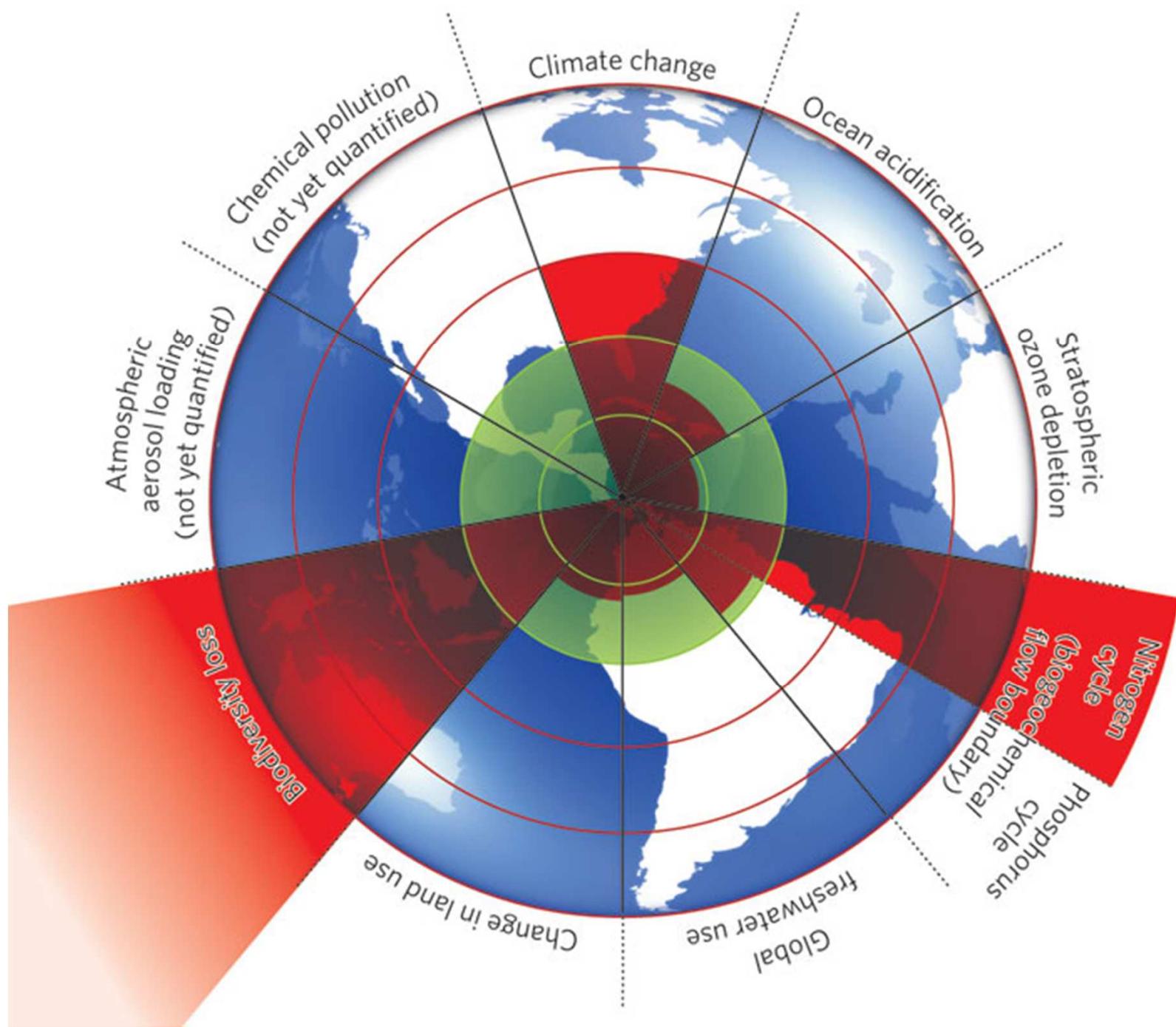
LÍMITES PLANETARIOS

LÍMITES PLANETARIOS

¡MANTENER EL HOLOCENO!

Desde la Revolución Industrial, empezó una nueva era, el Antropoceno, en la que las acciones humanas son el principal motor de los cambios ambientales globales

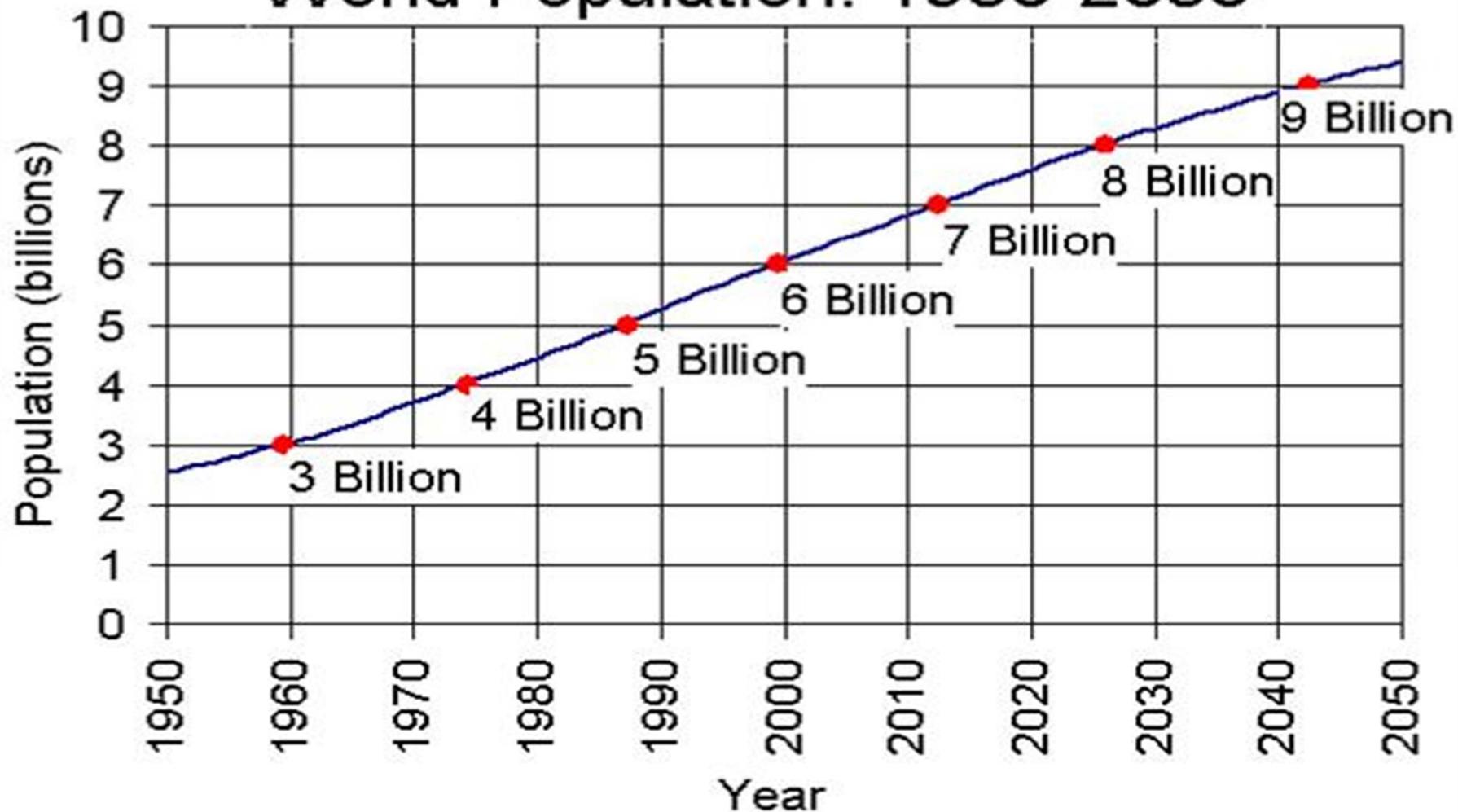




PLANETARY BOUNDARIES

Earth-system process	Parameters	Proposed Boundary	Current Status	Pre-industrial Value
Climate change	(i) Atmospheric CO ₂ concentration (ppm by volume)	350	387	280
	(ii) Change in radiative forcing (watts per metre squared)	1	1.5	0
Rate of biodiversity loss	Extinction rate (no. of species per million species per year)	10	> 100	0.1-1
N cycle (part of a boundary with the P cycle)	Amount of N ₂ removed from the atmosphere for human use (millions of tonnes per year)	35	121	0
P cycle (part of a boundary with the N cycle)	Quantity of P flowing into the oceans (millions of tonnes per year)	11	8.5-9.5	-1
Ocean acidification	Global mean saturation state of aragonite in surface sea water	2.75	2.90	3.44
Global freshwater use	Consumption of freshwater by humans (km ³ per year)	4,000	2,600	415
Change in land use	% of global land cover converted to cropland	15	11.7	Low
Stratospheric O₃ depletion	Concentration of ozone (Dobson unit)	276	283	290
Atmospheric aerosol loading	Overall particulate concentration in the atmosphere, on a regional basis	To be determined		
Chemical pollution	Amount emitted to, or [pollutants], in the global environment, or the effects on ecosystem and functioning of Earth system	To be determined		

World Population: 1950-2050



Source: U.S. Census Bureau, International Data Base, August 2006 version.

Como consecuencia de los avances en la sanidad pública, la revolución industrial y la revolución verde, la población humana ha aumentado de forma espectacular

En los últimos 50 años, nuestro número se ha duplicado con holgura, el consumo de alimentos y agua se ha más que triplicado, el de combustibles fósiles se ha multiplicado por cuatro, ...

¿SOLUCIONES?

- Transición a un sistema energético eficiente y poco dependiente del carbono**
- Atajar la deforestación**
- Atajar el roturado de las tierras y la degradación del suelo**
- Revolucionar las prácticas agrícolas (nuevas variedades, uso eficiente del agua y fertilizantes, etc.)**

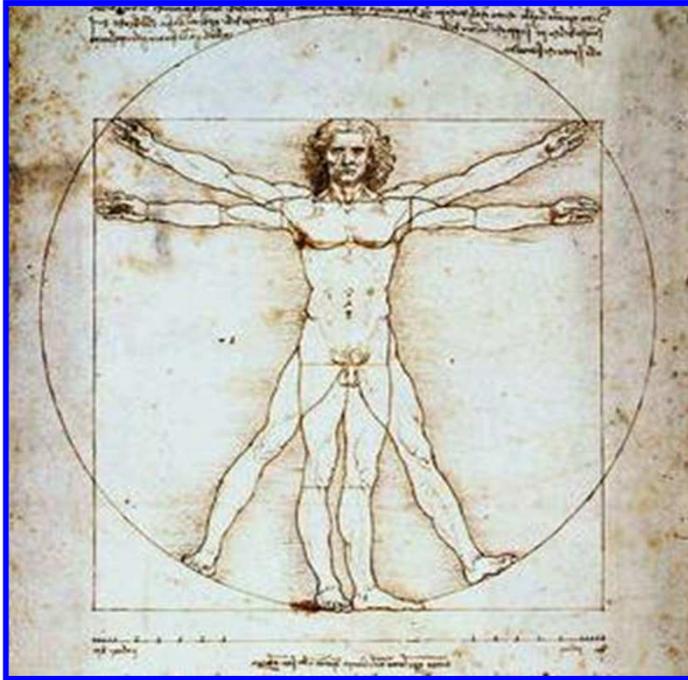
¿QUÉ ES LA SALUD DEL SUELO?

LA CAPACIDAD DE UN SUELO PARA LLEVAR A CABO SUS FUNCIONES Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE FORMA SOSTENIBLE

- **Proveedor de alimento, fibra y combustible**
- **Medio para el crecimiento de las plantas (soporte físico, aporte de nutrientes y agua) y hábitat para numerosos animales y microorganismos**
- **Descomposición de la materia orgánica y reciclaje de nutrientes**
- **Eliminación de contaminantes (sumidero de GEI)**
- **Regula la calidad del agua y del aire**
- **Reservorio genético**
- **Depositario herencia cultural (excavaciones arqueológicas)**
- **Control de patógenos (supresividad)**
- **Soporte físico para estructuras humanas**



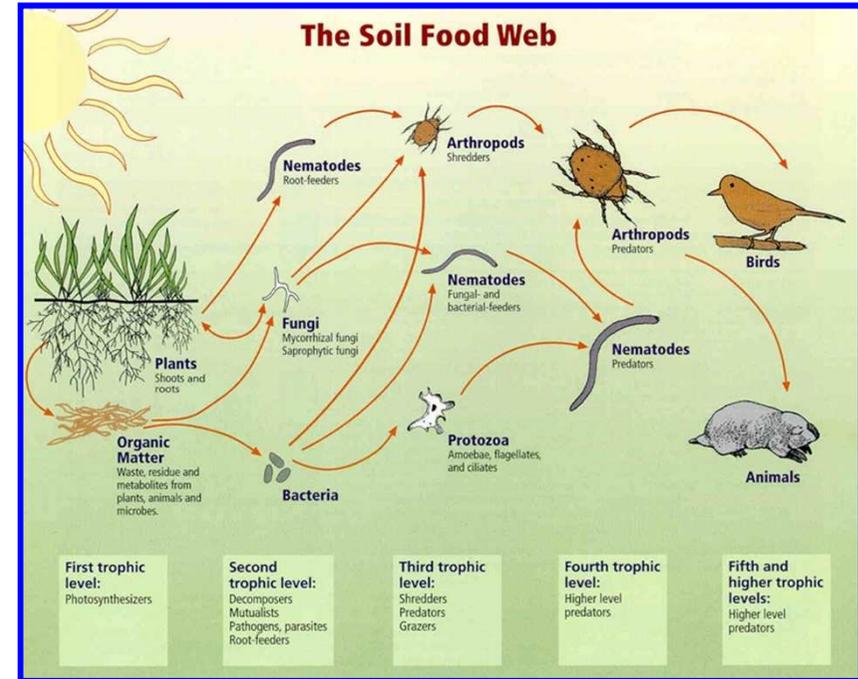
DE LA CALIDAD A LA SALUD DEL SUELO



CALIDAD

ENFOQUE ANTROPOCÉNTRICO

- Calidad **agrícola**: producción
- Calidad **química**: contaminantes, riesgo para los humanos

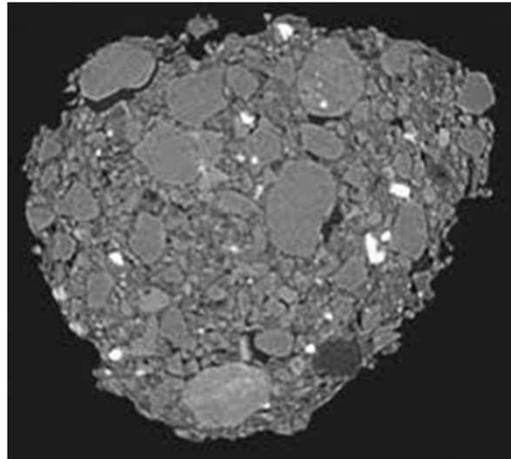


SALUD

ENFOQUE ANTROPOCÉNTRICO Y ECOCÉNTRICO

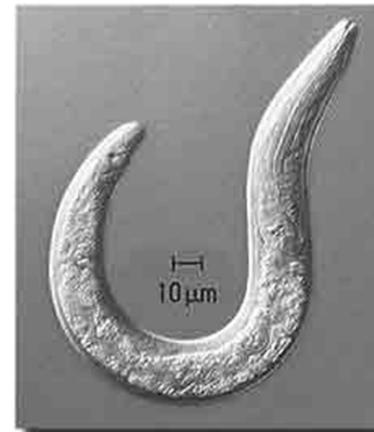
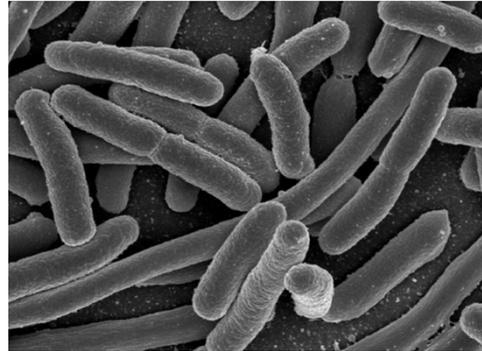
- Procesos **ecológicos**, funciones, servicios de los ecosistemas, integridad ecológica, atributos ecológicos, cadena trófica, contaminantes y riesgo para los ecosistemas, etc.

DE LA CALIDAD A LA SALUD DEL SUELO



CALIDAD

COMPONENTE NO VIVO



SALUD

COMPONENTE VIVO (es un sistema vivo)

DE LA CALIDAD A LA SALUD DEL SUELO

INDICADORES FÍSICOS Y QUÍMICOS

Porosidad

Densidad aparente

Textura

Estructura

Infiltración

CRH

pH

Materia orgánica

CIC

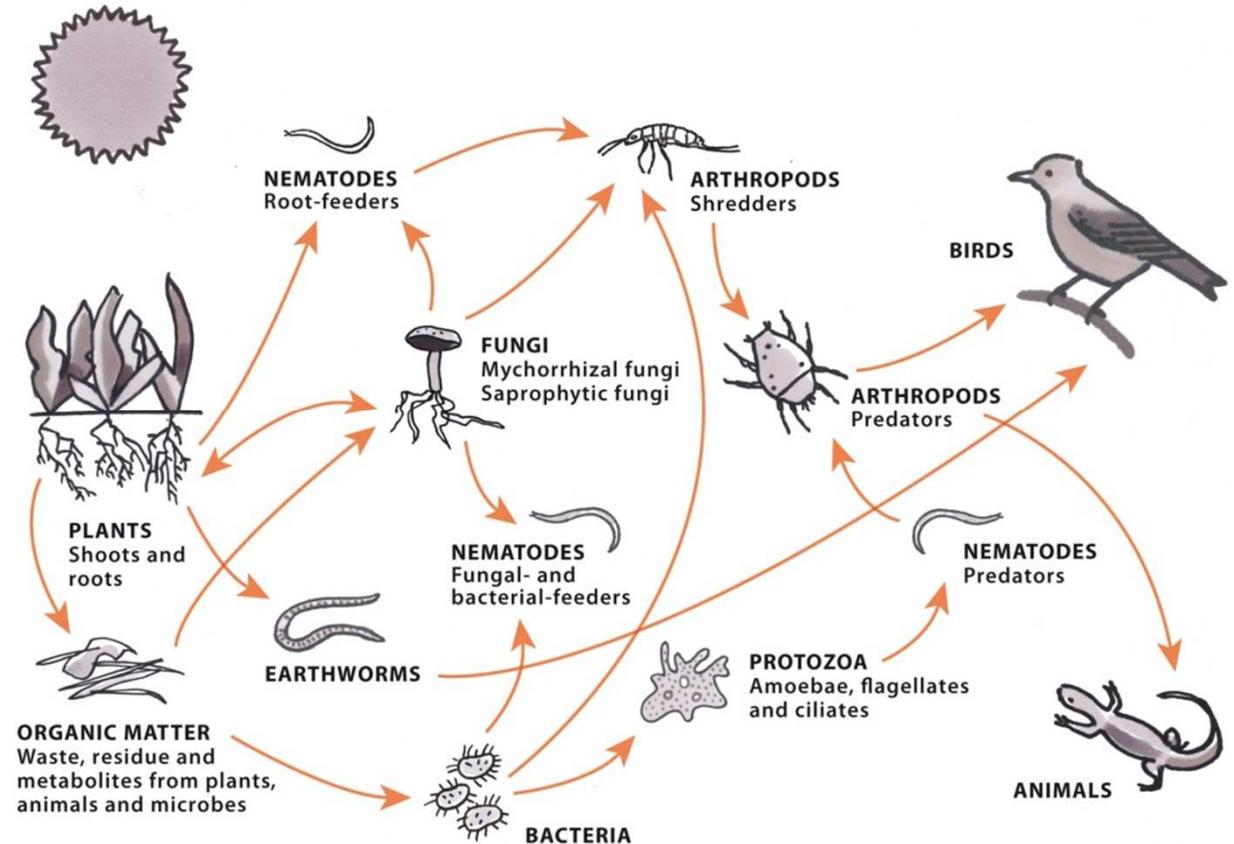
Macronutrientes (N, P, K)

Conductividad eléctrica

Micronutrientes

Metales

BIOINDICADORES



BIOINDICADOR: UN ORGANISMO, O PARTE DE UN ORGANISMO, O UNA COMUNIDAD DE ORGANISMOS, UTILIZADOS PARA OBTENER INFORMACIÓN SOBRE LA CALIDAD DEL MEDIO AMBIENTE

EN UN PUÑADO DE SUELO DE UN PASTO TEMPLADO

Microorganismos Microfauna 1 - 100 μM	Mesofauna 100 μM - 2 mm	Macro/Megafauna > 2 mm
Bacteria 100 billones 10.000 - 50.000 especies	Tardígrados	Lombrices
Hongos 50 km hifas 500´s especies	Colémbolos	Hormigas
Protozoos 100.000 100´s especies	Ácaros	Centípedos, cochinillas, ...
Nematodos 10.000 100´s especies	Juntos: 1.000´s 100´s especies	Juntos: 100´s 10´s especies

DE LA CALIDAD A LA SALUD DEL SUELO

AMENAZAS

- Erosión
- Sellado
- Contaminación
- Pérdida biodiversidad
- Pérdida MO
- Pérdida nutrientes
- Compactación
- Salinización
- Inundaciones
- Desprendimientos

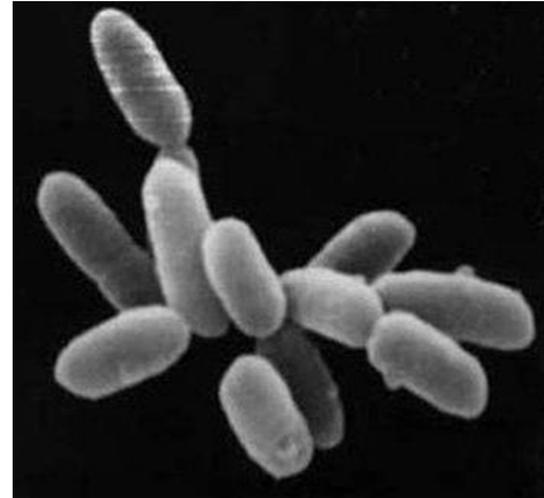


CAMBIO GLOBAL – AMENAZAS GLOBALES
(cambio climático; contaminación; cambios usos del suelo: *agricultura, urbanización*; deposición N; especies invasoras)

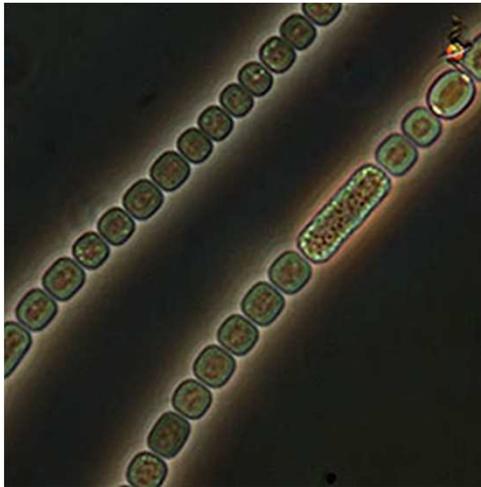
MICROORGANISMOS: PROCARIOTAS



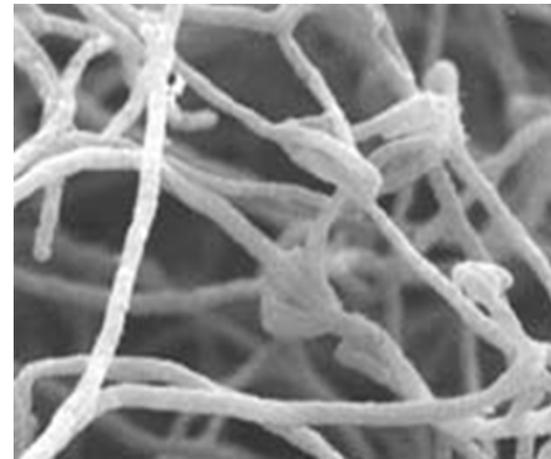
BACTERIAS
<0.1 cultivables



ARQUEAS
Extremófilos, metanogénesis

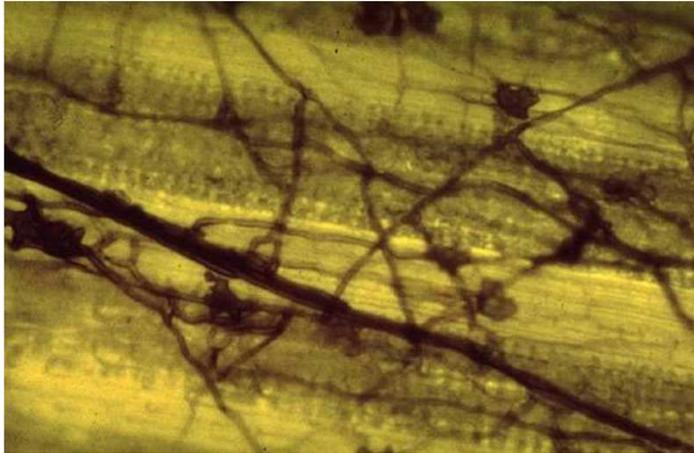


CIANOBACTERIAS
Fotosíntesis, fijación N



ACTINOMICETOS
Antibióticos, fijación N

MICROORGANISMOS: EUCARIOTAS



HONGOS

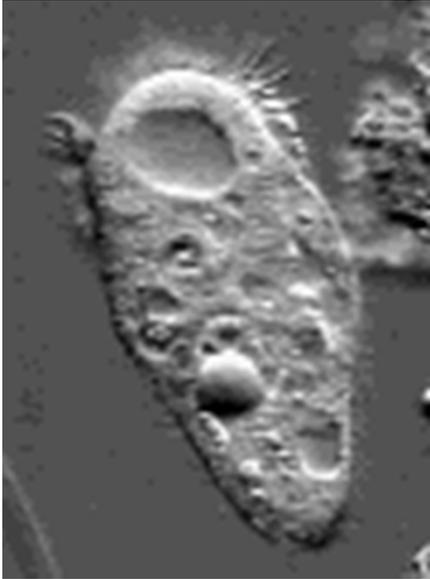
- **Micelios-hifas**
- **Quitina en pared**
- **Ergosterol en membranas**
- **Dominan en biomasa**
- **10⁶ individuos/gramo**
- **2-5 toneladas/ha**
- **Dominan en invierno**
- **pH ácido**



ALGAS

- **Fotoautotrofos (1-5 mm)**
- **En suelos templados: Clorofitas > Diatomeas > Xantofitas**
- **Clorofitas en suelos ácidos, Diatomeas en suelos neutros**

MICROFAUNA Y MESOFAUNA



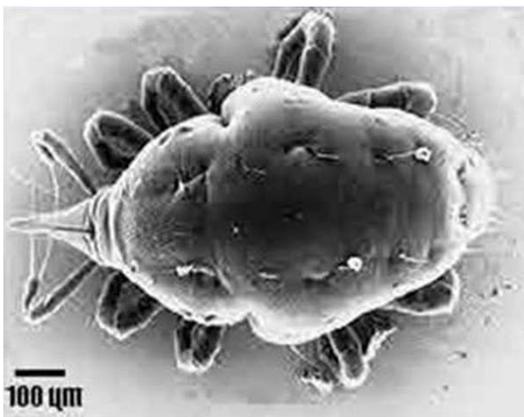
PROTOZOOS



ROTÍFEROS



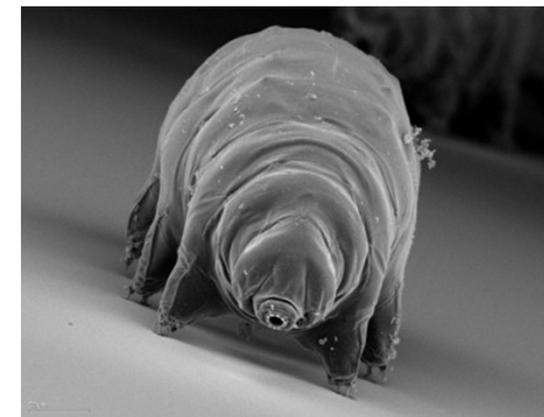
NEMATODOS



ÁCAROS



COLÉMBOLOS



TARDÍGRADOS

MACROFAUNA



BIOINDICADORES MICROBIANOS EN NEIKER

BIOMASA

Carbono de la Biomasa Microbiana
Respiración Inducida por Substrato
(glucosa, rizodepósito)
DNA, Q-PCR
ATP

BIODIVERSIDAD

Estructural (DGGE)
Funcional (DGGE, Biolog)
Hibridación a nivel de comunidad
Microarrays: ecología - ecotoxicología
Secuenciación masiva
(metagenómica, metatranscriptómica)

ÍNDICES ECOFISIOLÓGICOS

$q\text{CO}_2 = \text{Resp} / C_{\text{mic}} = \text{Resp} / \text{SIR} = \text{Resp} / \text{ATP}$
Actividad enzimática / C_{mic}
 $C_{\text{mic}} / C_{\text{org}}$
DH / WSOC
Hongos / bacterias

ACTIVIDAD

Respiración basal
Nitrógeno mineralizable
Tasa de nitrificación
Tasa de desnitrificación
Tasa de metanogénesis

Actividades enzimáticas

C: β -glucosidasa. β -glucosaminidasa
N: ureasa, amidasa, proteasas
P: fosfatasa ácida y alcalina
S: arilsulfatasa
Deshidrogenasa
Hidrólisis diacetato fluoresceína

CULTIVABLES

Estrategas *r*
Estrategas *K*
Copiotrofos
Oligotrofos
Ratio *r* / *K*
Ratio copiotrofos / oligotrofos
Morfortipos cultivables



Ecosystem services

ACTIVITY

N-mineralization
Nitrification
Dehydrogenase
Phosphatases
Arylsulfatase
 β -glucosaminidase
 β -glucosidase
Protease
Urease

Microbial Indicators
of Soil Health

DIVERSITY

CLPP
Microarray
PCR-DGGE
T-RFLP
PLFA/FAME

BIOMASS

Bacteria
Fungi
Archaea
Protozoa
ATP
Q-PCR



VIGOR RESILIENCE

ORGANIZATION
SUPPRESSIVENESS
REDUNDANCY



Soil Black-Box

Pathway to understanding

TARJETAS DE SALUD DE AGROECOSISTEMAS: PASTOS

SERVICIO	INDICADORES AVANZADOS	Mal 1..2..3	Regular 4..5..6	Bien 7..8..9	Valor indicador (1-9)	Valor servicio (1-9)
PRODUCCIÓN DE PASTO	Peso seco (t/ha año) - montaña - valle	<3 <5.4	3-4,2 5.4-7.6	>4.2 >7.6		
CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD	Vegetal (H')	<1.5 <1.3	1.5-2.5 1.3-2.3	>2.5 >2.3		
	Mesofauna – tipos (índice)	<40	40-70	>70		
	Funcional hongos (H')	<3	3-4	>4		
	Funcional bacterias (H')	<3	3-4	>4		
	Genética hongos (nº especies o bandas)	<5	5-11	>11		
	Genética bacterias (nº especies o bandas)	<10	10-18	>18		
	Genética total (H')	<2	2-3	>3		
CONSERVACIÓN DEL RECURSO SUELO	Actividad microbiana (mg C-CO ₂ /kg h)	<0.6	0.6-1	>1		
	Abundancia microbiana (mg C-CO ₂ /kg h)	<10	10-18	>18		
	Cociente metabólico microbiano - qCO ₂	>0.1	0.1-0.06	<0.06		
	Compactación penetrabilidad 0-30 cm (MPa)	> 3	2-3	<2		
	Acidez-saturación Al (%) Acidez pH	>20 <5 ó >7.5	10-20 5-5.9	<10 6-7.5		
	N total (%)	<0.10 ó >3	0.11-0.29	0.3-3		
	P Olsen (ppm)	<8 ó >45	8-15	15.1-45		
	K ⁺ extraíble (ppm)	<80 ó >300	80-120	121-350		
LUCHA CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO	Emisiones CO ₂ suelo (g CO ₂ /m ² h)	>3	1.5-3	<1.5		
	Materia orgánica (%): - montaña - valle	<5 <2	5-10 2-4	>10 >4		
DIAGNÓSTICO AVANZADO						Nota final

TARJETAS DE SALUD DE SUELOS

INFORMACIÓN

¿QUÉ ES EL CARBONO DE LA BIOMASA MICROBIANA?

¿CÓMO SE MIDE?

LABORATORIOS
ACREDITADOS

RECOMENDACIONES
CÓMO MEJORAR EL CONTENIDO
EN BIOMASA MICROBIANA

INTERPRETACIÓN DE VALORES SEGÚN USO

- De 1 – 10
- Muy bajo, bajo, medio, alto, muy alto



PRINCIPALES APLICACIONES DE INDICADORES MICROBIANOS

- EFECTO DE PRÁCTICAS AGRARIAS SOBRE LA CALIDAD DEL SUELO
- AGRICULTURA ECOLÓGICA *versus* AGRICULTURA CONVENCIONAL
- IMPACTO DE LA CONTAMINACIÓN SOBRE LA CALIDAD DEL SUELO
- *EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE PROCESOS REMEDIADORES DE SUELOS CONTAMINADOS*

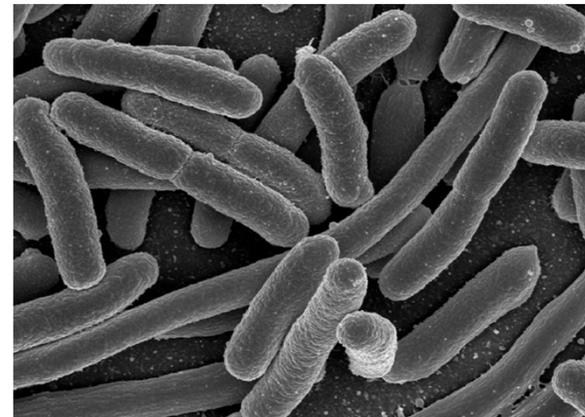


**AVISO URGENTE
URGENT WARNING**

NECESITAMOS OBSERVATORIOS DE SALUD DE LOS SUELOS

**NECESITAMOS REDES DE MONITORIZACIÓN DE LA
SALUD DE LOS SUELOS QUE ABARQUEN LOS
DIFERENTES USOS Y QUE CONTEMPLÉN LAS
DIFERENTES FUNCIONES Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS**

**INDICADORES FÍSICOS
INDICADORES QUÍMICOS
INDICADORES BIOLÓGICOS
¡MICROBIANOS!**



APLICACIÓN COMERCIAL: Soil Foodweb, Inc. (1996-)

- Se centra en los organismos del suelo como indicadores de su salud
- Analiza muestras de suelo para dar pautas a los agricultores
- Tiene un banco de datos de muestras de suelo analizadas que contiene información sobre el número y tipos de organismos en suelos de todo el mundo
- Se comparan los nuevos suelos con datos de suelos procedentes de muestras de similar origen que soporten el crecimiento del mismo tipo de cosechas y que tengan alta productividad y pocos o ningún problema de enfermedades/plagas
- Miden la biomasa y biodiversidad de bacterias, hongos (micorrizas), protozoos, nematodos, etc.



"The plant you see above ground is actually in a complex symbiosis with soil microbes in the root zone (rhizosphere). If you don't know what organisms are present in your soil and on your plant leaves, much of your soil and crop management is being left to chance."

- Dr. Elaine Ingham, 2004
President, Soil Foodweb Inc., Corvallis, OR

¡EL SUELO ES
UN
SISTEMA VIVO!

