



Encuentro Nacional **POR LA SALUD DEL SUELO**

Transferencia desde la Ciencia y la Experiencia
24 de abril

¿Qué se entiende por salud del suelo?

unas reflexiones personales

Juan Vicente Giráldez
Departamento de Agronomía
Universidad de Córdoba

1. ¿qué es el suelo?

esta es una pregunta al estilo de lo que R.F. Wallace comentaba sobre el agua

It is about the real value of a real education, which has almost nothing to do with knowledge, and everything to do with simple awareness; awareness of what is so real and essential, so hidden in plain sight all around us, all the time, that we have to keep reminding ourselves over and over

(‘This is water’, 2005 Commencement speech to the graduating class at Kenyon College, Gambier, Ohio)

el 'genio del suelo' como sugiere Sposito recurriendo a Virgilio (29 aC), que debemos mantener:

La tierra que exhala una sutil neblina y volátiles vapores,
que embebe la humedad y la expele cuando quiere,
que está siempre recubierta de un verde césped natural,
que no daña al hierro con el orín, o corrosivo óxido,
ésa te servirá para ayuntar los olmos con las lozanas vides,
ésa es fértil en aceite, cuando la cultives,
comprobarás que es adecuada para el ganado y dócil a la corva reja.

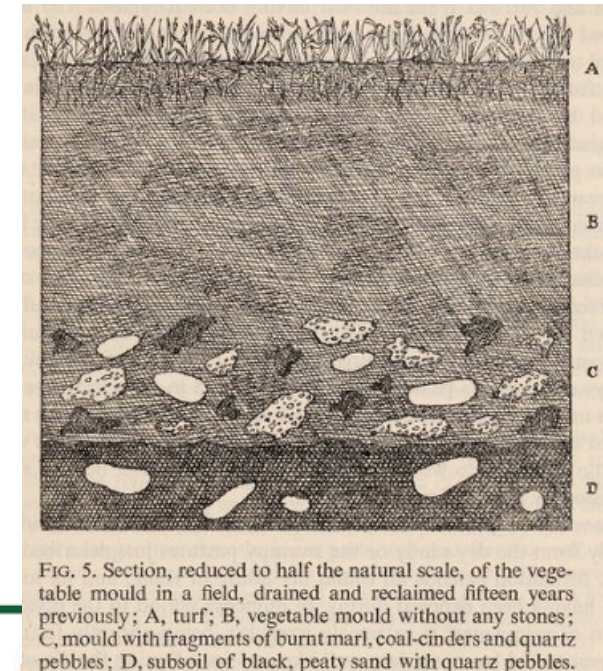
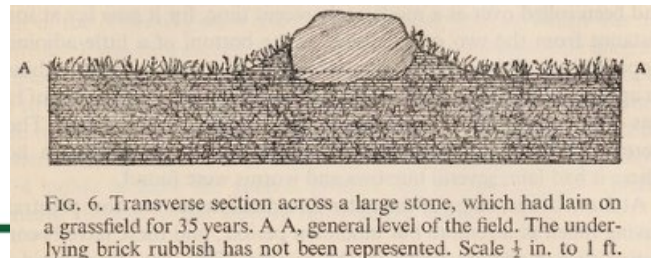
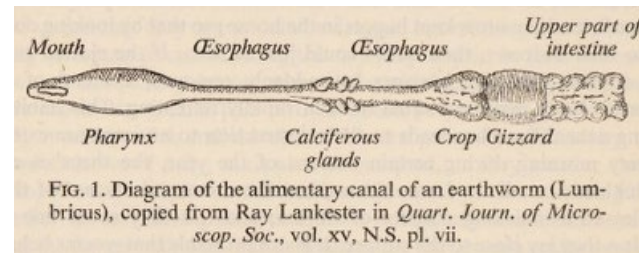
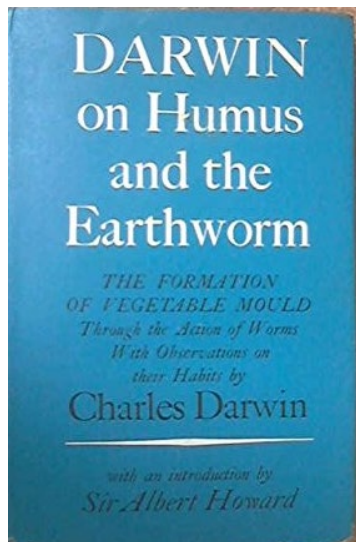
Virgilio, P. 29 aC. Geórgicas, libro II, 217-223. versión de J. Velázquez, Cátedra, Madrid 1994,
Sposito, G. 2014. Sustaining "The Genius of Soils", en G.J. Churchman y E.R. Landa (eds.) 'The soil underfoot' CRC Press, Boca Raton, Florida, Cap. 30.)

el suelo, su importancia, y su formación, han atraído la atención de muchas personas a lo largo de la historia, como a Charles Darwin

en sus propias palabras:

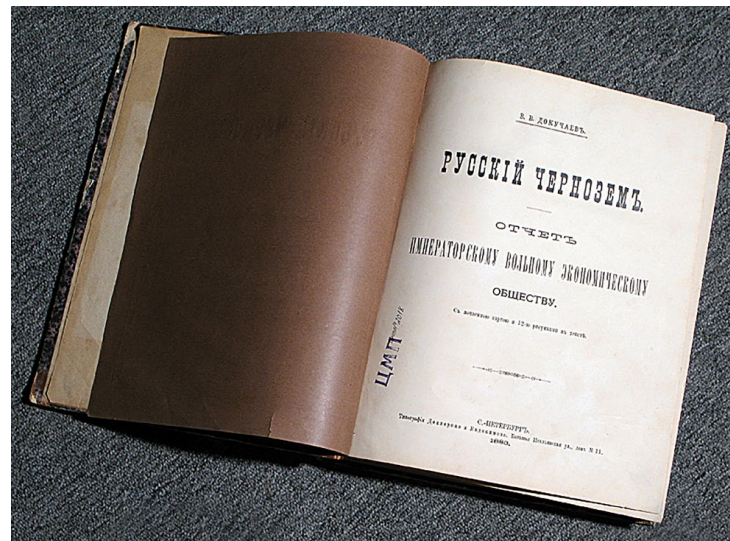
I have now, May 1, 1981, sent to the printers the MS of a little book 'The formation of vegetable mould through the action of worms'. This is a subject of but small importance and I know not whether it will interest any reader, (between nov. 1881 and feb. 184, 8500 copies have been sold), but it has interest for me

(Autobiography, chap. 7, first appeared as a part of 'Life and letters of Charles Darwin' ed. by his son Frances, in 1887, John Murray, London.



y apareció, finalmente, la ciencia del suelo: Vasily Dokuchaev (1847-1903)

bosquejo de suelos
en diferentes zonas
del hemisferio norte
Dokuchaev 1899



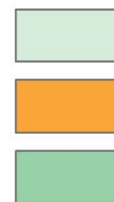
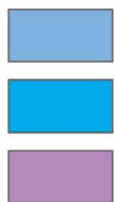
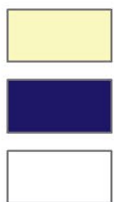
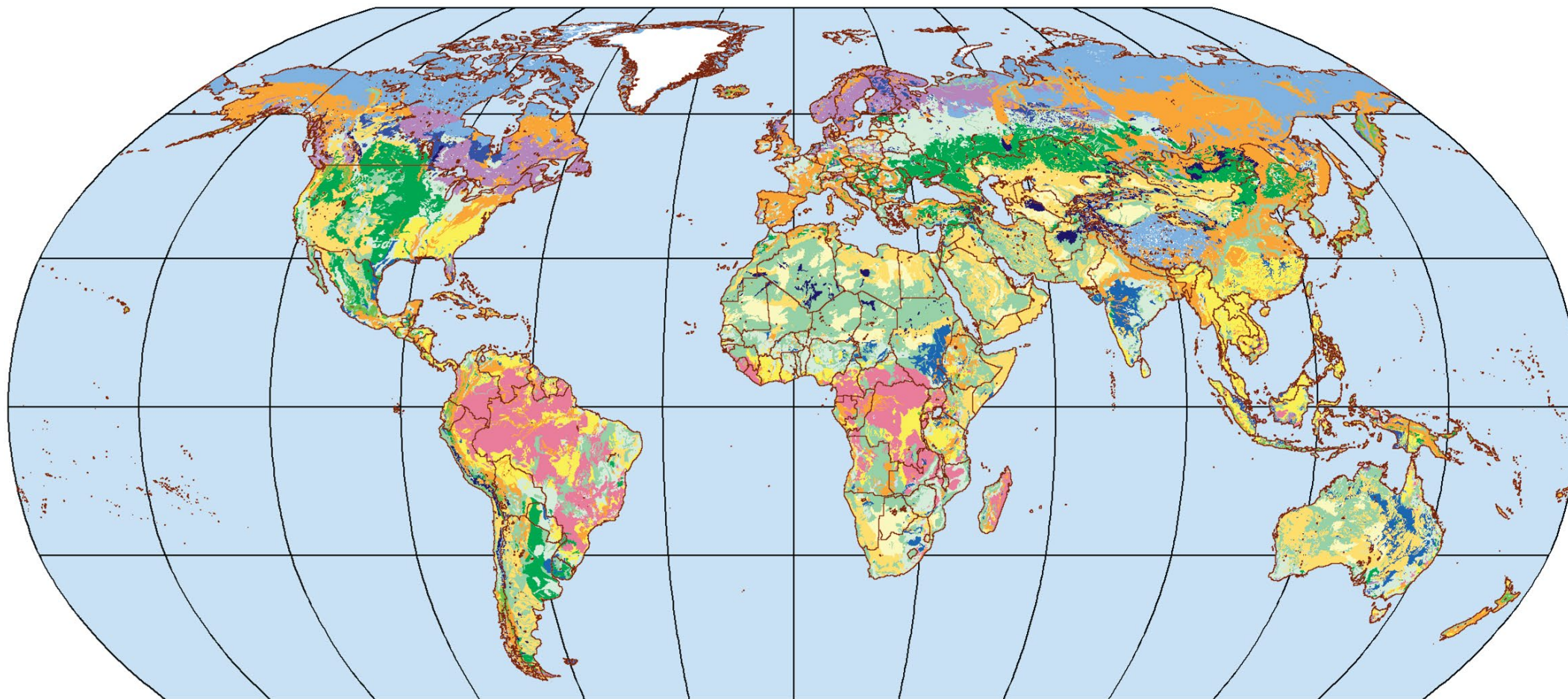
'Chernozems rusos'
V.V. Dokuchaev, 1883



muestra de suelo
tomada por
Dokuchaev

(Rusakova et al. 2022. Geoderma 412, 115718)

el mapa de suelos no difiere mucho de los actuales (Palm y col. 2007)



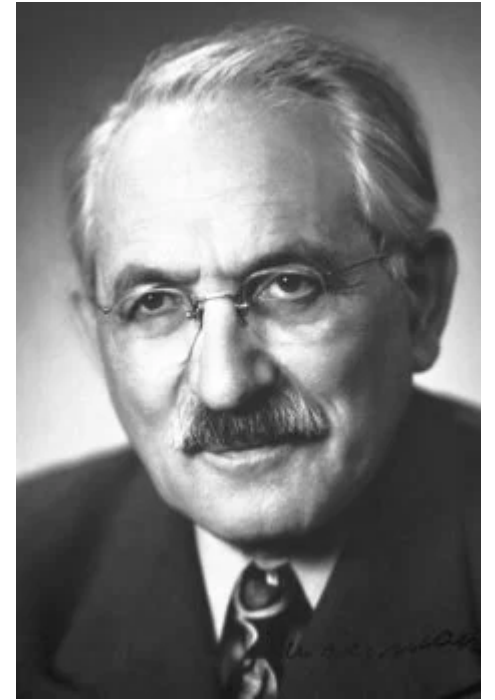
la ciencia del suelo tiene muy a gala contar con un premio Nobel entre sus miembros:

Selman Waksman, Nobel de fisiología o medicina en 1952

Waskman, ucraniano nacido en 1888, emigró con sus padres a Estados Unidos. Siendo profesor de la Universidad Rutgers en New Brunswick, New Jersey. Como microbiólogo del suelo, descubrió la estreptomicina, el primer antibiótico conocido con el que se podía combatir la tuberculosis

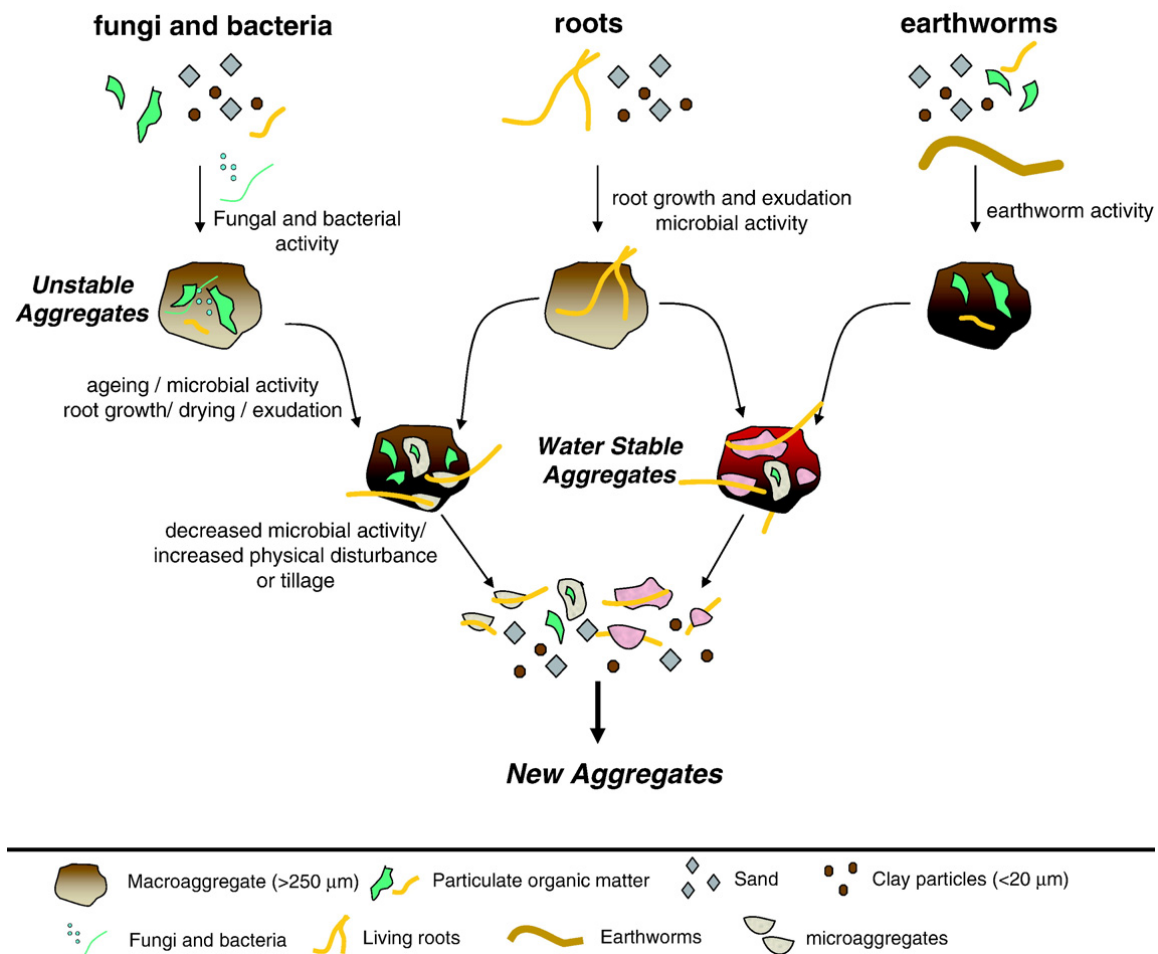
este premio nos descubre el importante papel desempeñado por la microbiología del suelo

Monbiot (2022) describe le recuperación parcial de unos soldados que libraron la batalla de Shiloh, (Tennessee), en la guerra de secesión norteamericana en 1862, quienes, al cabo de unos días, mostraban una especie de resplandor azul en la oscuridad, el denominado *Angel's glow*, atribuido, mucho después, a la interacción entre una bacteria, nematodos e insectos. Aunque esta atribución no está confirmada, este efecto ilustra el potencial efecto benéfico de la población microbiana del suelo para la flora y fauna



(Monbiot, G. 2022. *Regenesis. Feeding the world without devouring the planet*. Penguin, Londres)

la población microbiana favorece, también, la agregación de las partículas minerales y orgánicas que compone la estructura del suelo



esquema de los procesos de agregación propuesto por Si y col. y modificado por Barrios

Six, J. et al. 2002. Agronomie 22:755-775.
Barrios. 2007. Ecol. Econ. 64:269-285.

la preocupación por el suelo, y su uso racional, ha sido recogido incluso en encíclicas papales

especialmente en la encíclica Laudatio Si', ("Laudatio si', mi' Signore" como cantaba san Francisco de Asís), del papa Francisco, aparecida el 24 de mayo de 2015, dedicada al cambio climático y sus repercusiones en los sectores más vulnerables de la sociedad

pero, también, en la encíclica Mater et magistra del papa Juan XXIII, publicada el 15 de mayo de 1961, que destacaba las dificultades de la población agrícola que vive en torno al suelo.

¿qué es la salud del suelo?

el suelo es la parte parcialmente descompuesta, no consolidada, de la corteza terrestre, mezclada con restos orgánicos, que mantiene los ecosistemas de los que depende la vida

esta definición implica una función que se evalúa, la calidad del suelo, que es la capacidad de tal mantenimiento, tanto de la productividad como la de las buenas condiciones de ambientales, incluyendo en ella la biodiversidad

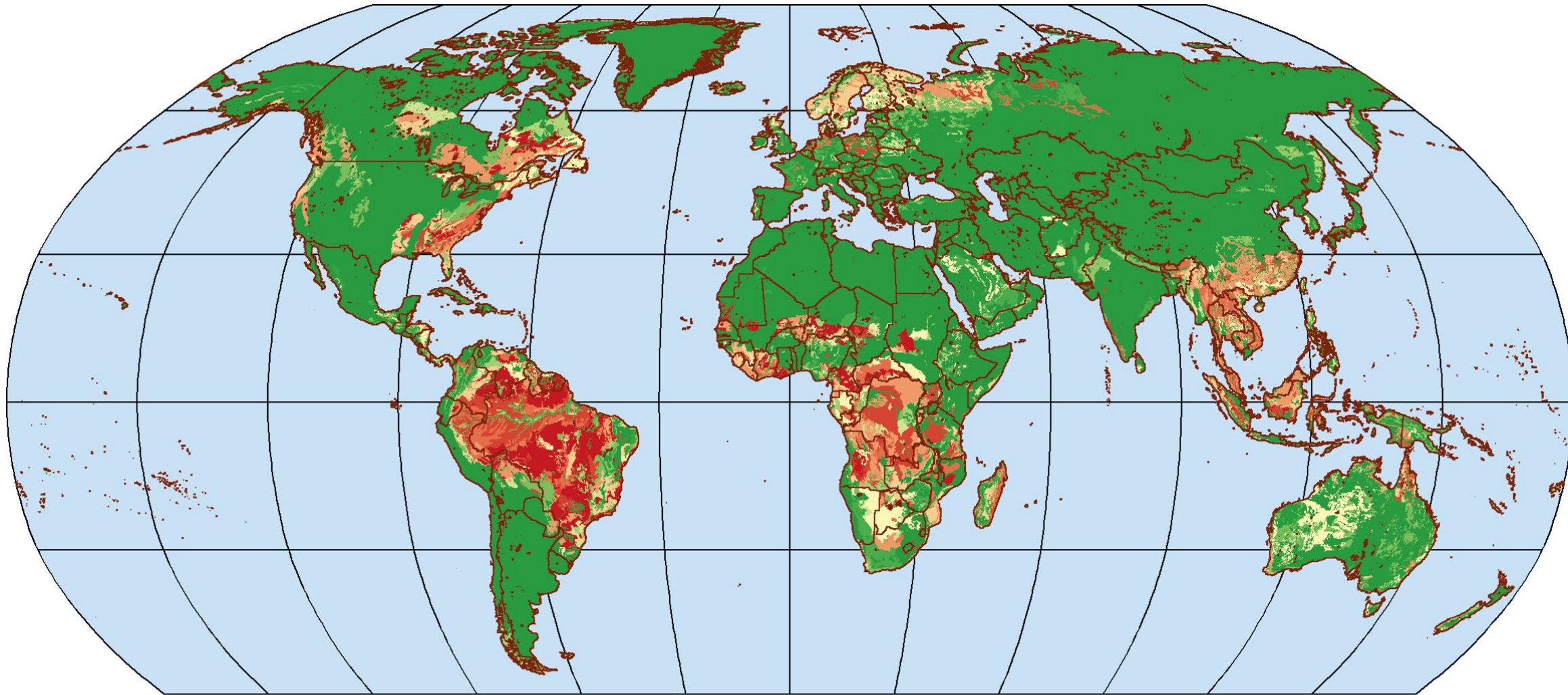
Palm y col. destacan tres propiedades claves de las funciones que desempeña el suelo

inherentes al suelo son la **textura**, que indica la distribución de tamaños de las partículas minerales, arena, limo, y arcilla, que permiten separar unas clases de comportamiento físico similar, distinguiendo suelos con poros grandes o pequeños, que facilitan el flujo de agua y solutos, así como la absorción de nutrientes por las raíces

y la **mineralogía**, que reconoce la importancia de los minerales primarios, derivados de la roca madre, y secundarios, formados en el propio suelo, responsables del suministro de nutrientes y de la adsorción y liberación de iones, y, también, de la estabilización de la materia orgánica

o dependiente de los aportes externos como es la **materia orgánica**, que contiene las moléculas esenciales para los ciclos de los nutrientes, y las interacciones con las raíces de la planta para facilitar la absorción de nutrientes por simbiosis o por asociación con sus componentes, como las micorrizas, y el control de enfermedades

mapa de los suelos del planeta con una baja capacidad para proporcionar nutrientes (Palm y col. 2007)



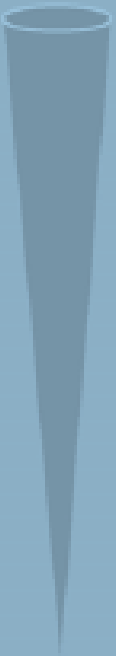
Percent area



High
100

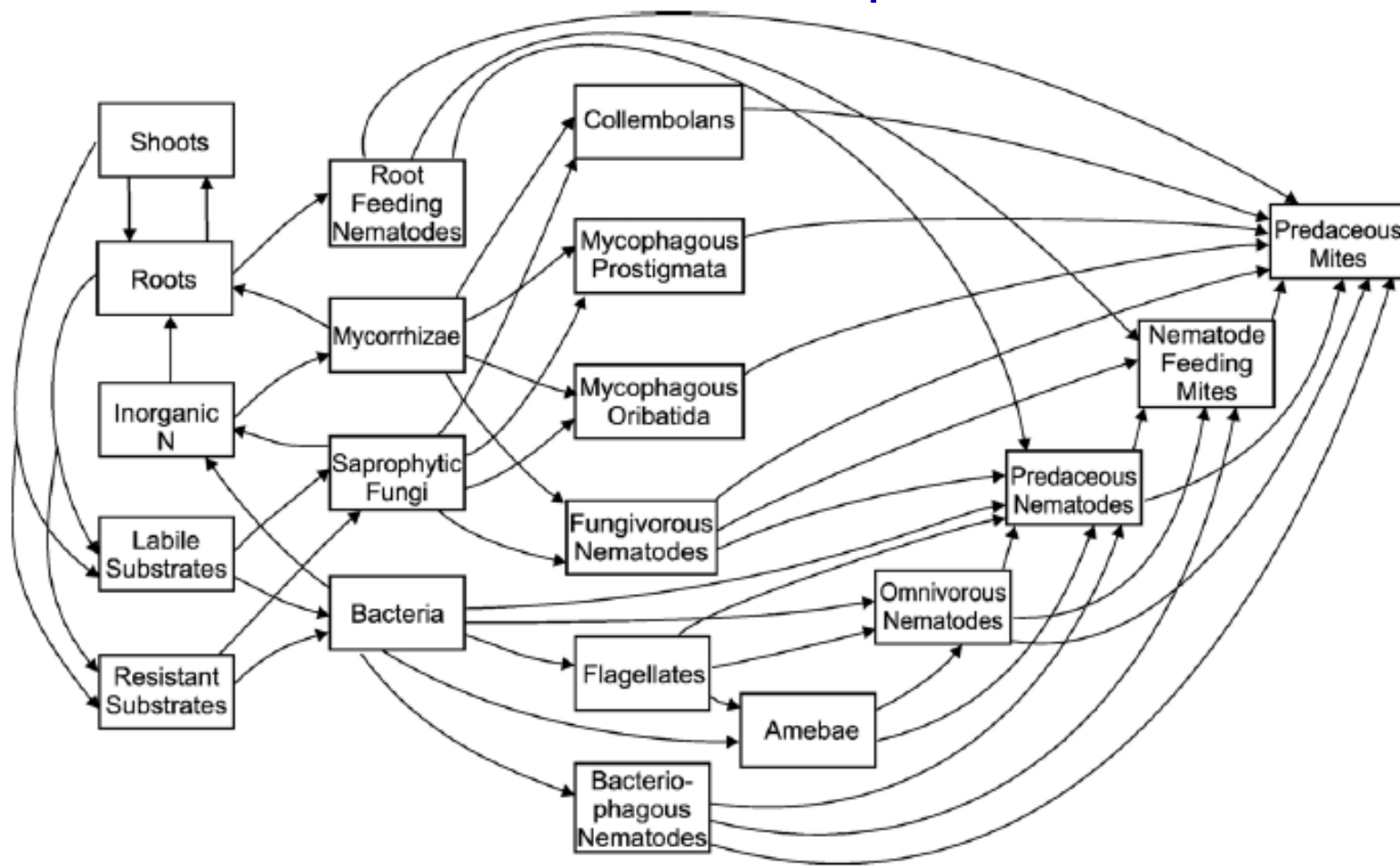
Low
0

composición aproximada de la población microbiana del suelo (Wall et al. modificada por Barrios)

Size	Group	Known species	Estimated total species	% Known
	Vascular plants ^a	270000	300000	90
	Macrofauna			
	Ants	8800	15000	58.7
	Termites	1600	3000	53.3
	Earthworms	3600	No estimate	No estimate
	Mesofauna			
	Mites	20.000–30.000	900,000	2.2–3.3
	Collembola	6500	24,000	27.1
	Microfauna			
	Protozoa	1500	200,000	7.5%
	Nematodes	5000	400,000	1.3
	Microflora			
	Bacteria	13,000	1,000,000	1%
	Fungi	18000–35000	1,500,000	1–2%

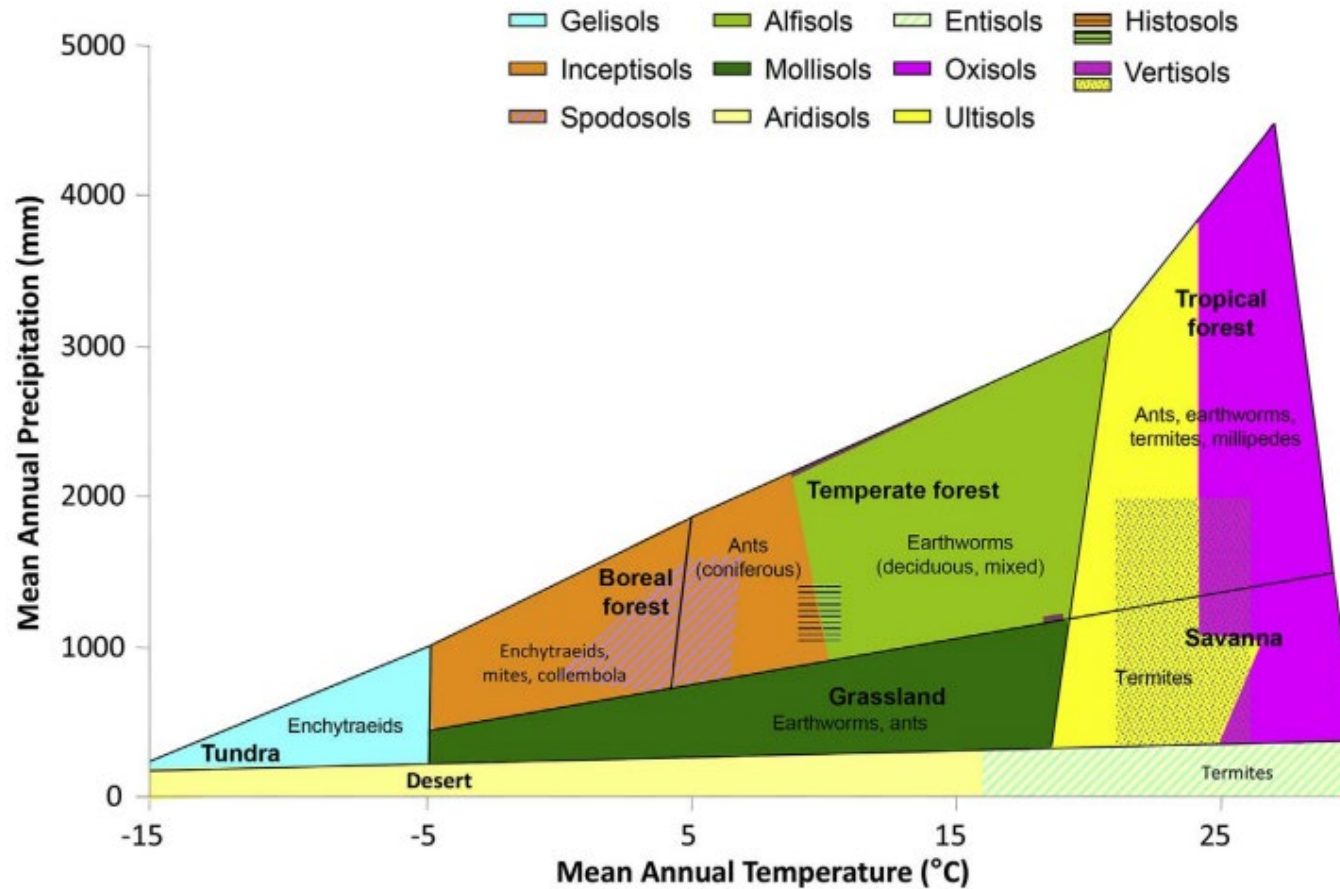
Wall, D.M. et al. 2001, en Chapin, F.S. et al. Global diversity in a changing environment. Springer, Berlin, pp. 47-82.
 Barrios, E. 2007. Ecol. Econ. 64: 269-285.

cadena de transformaciones de restos orgánicos en una pradera en la que intervienen las raíces de las plantas



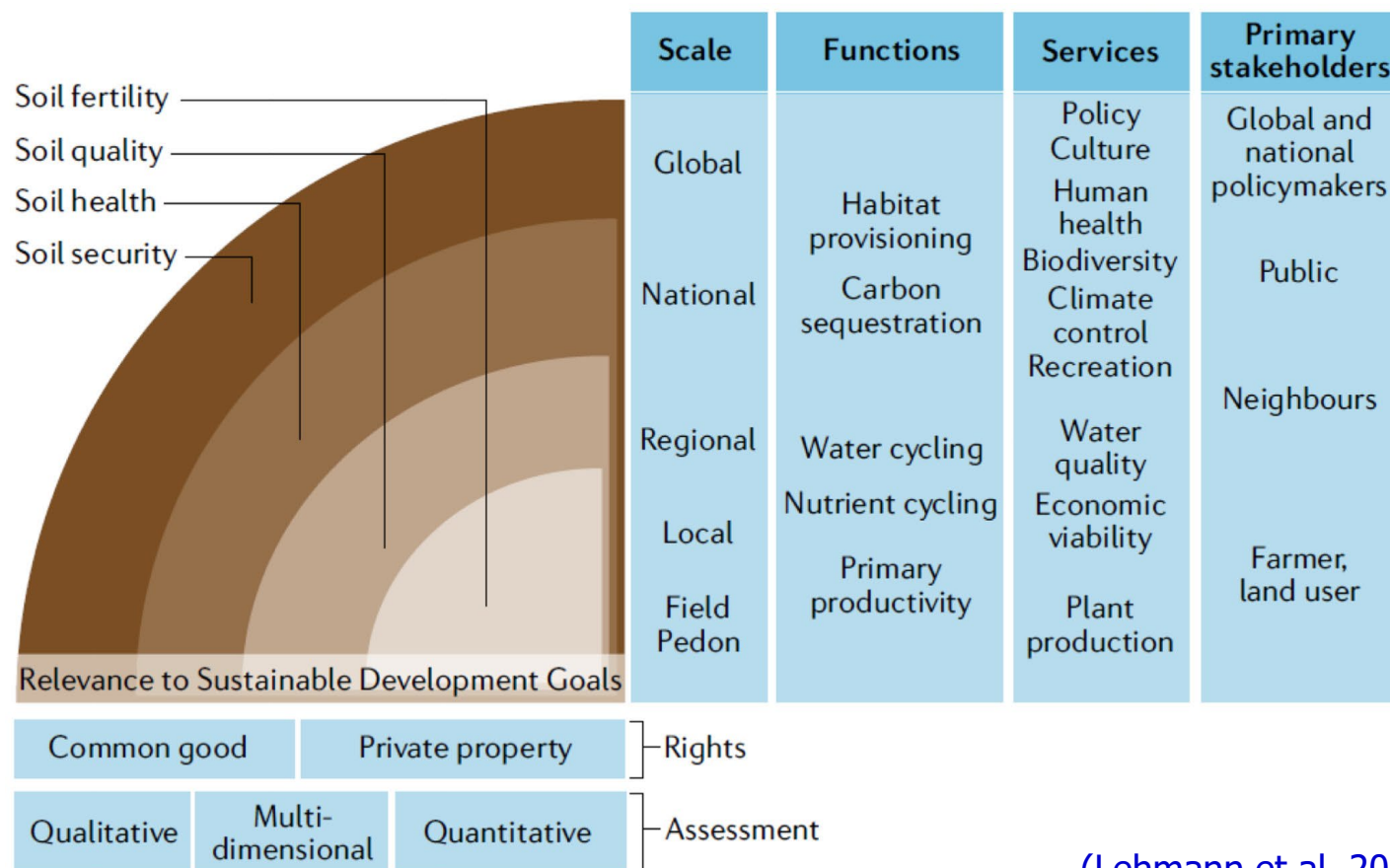
Hunt, H.W. et al. 1987. Bio. Fertil. Soils 3:57-68.

la calidad del suelo y sus asociadas calidades del agua y del aire implican unos factores extrínsecos, como material parental, clima, topografía e hidrología, relacionados con sus propiedades, como presenta la figura



Bünemann et al. 2018. Soil Biol. Biochem. 120:105-125

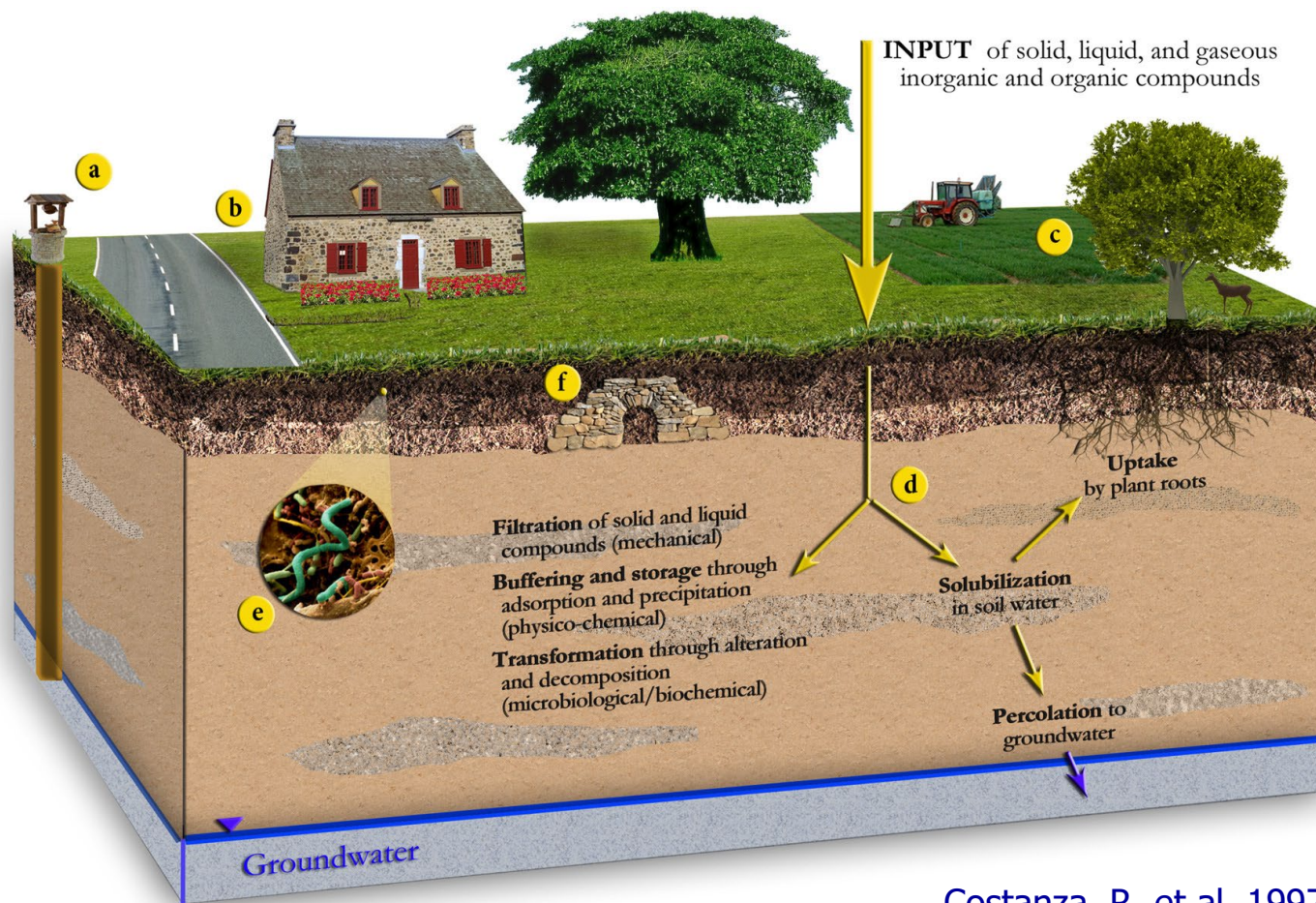
el concepto de calidad ha ido evolucionando hacia seguridad, y, posteriormente a salud del suelo, tal como proponen Lehmann y col. en este esquema en donde se muestra escala, funciones, servicios y usuarios



(Lehmann et al. 2020. Nat. Rev. Earth Environ. 1:544-553)

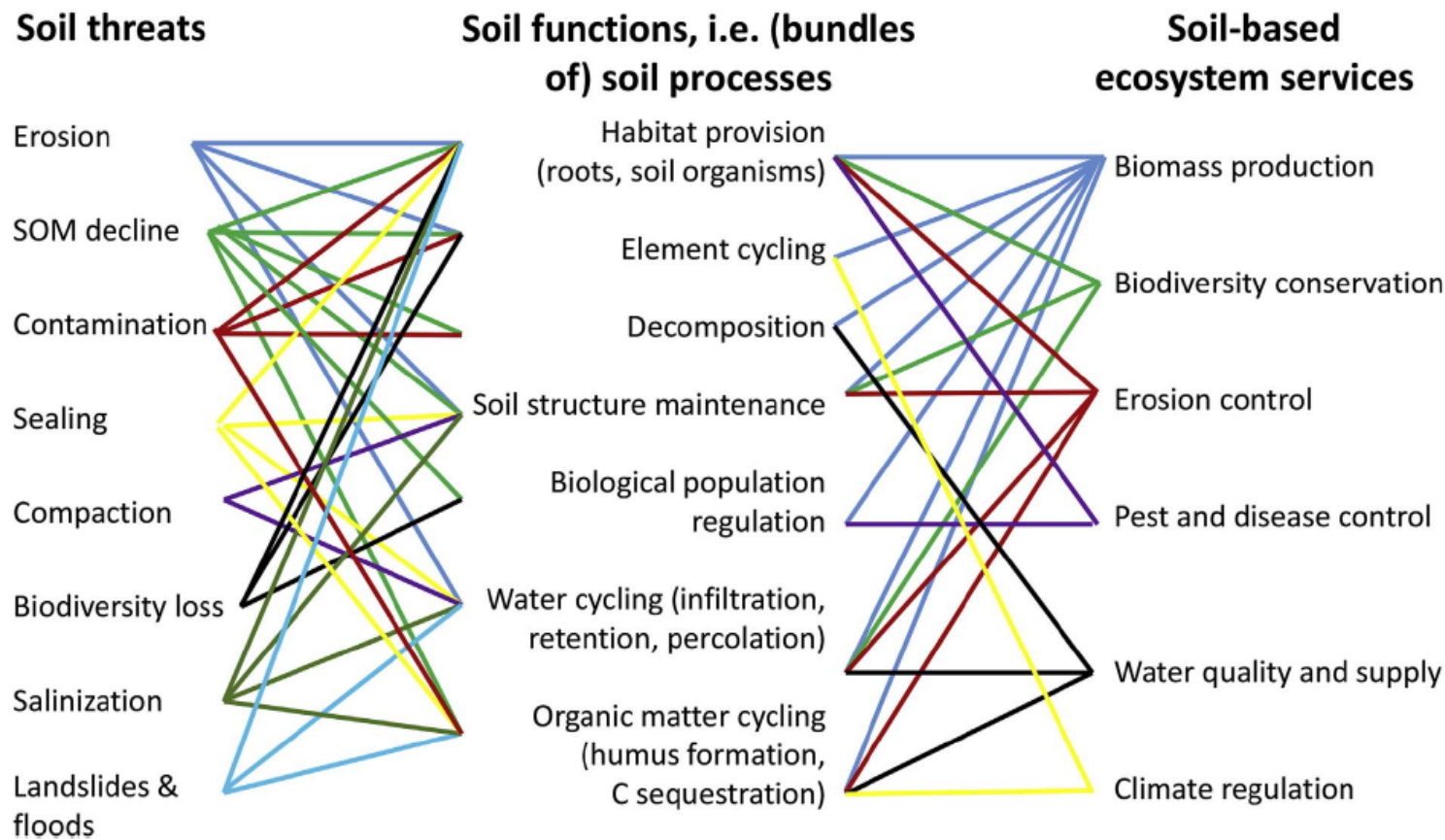


las funciones ecosistémicas del suelo se pueden definir como los beneficios que el hombre obtiene del ecosistema



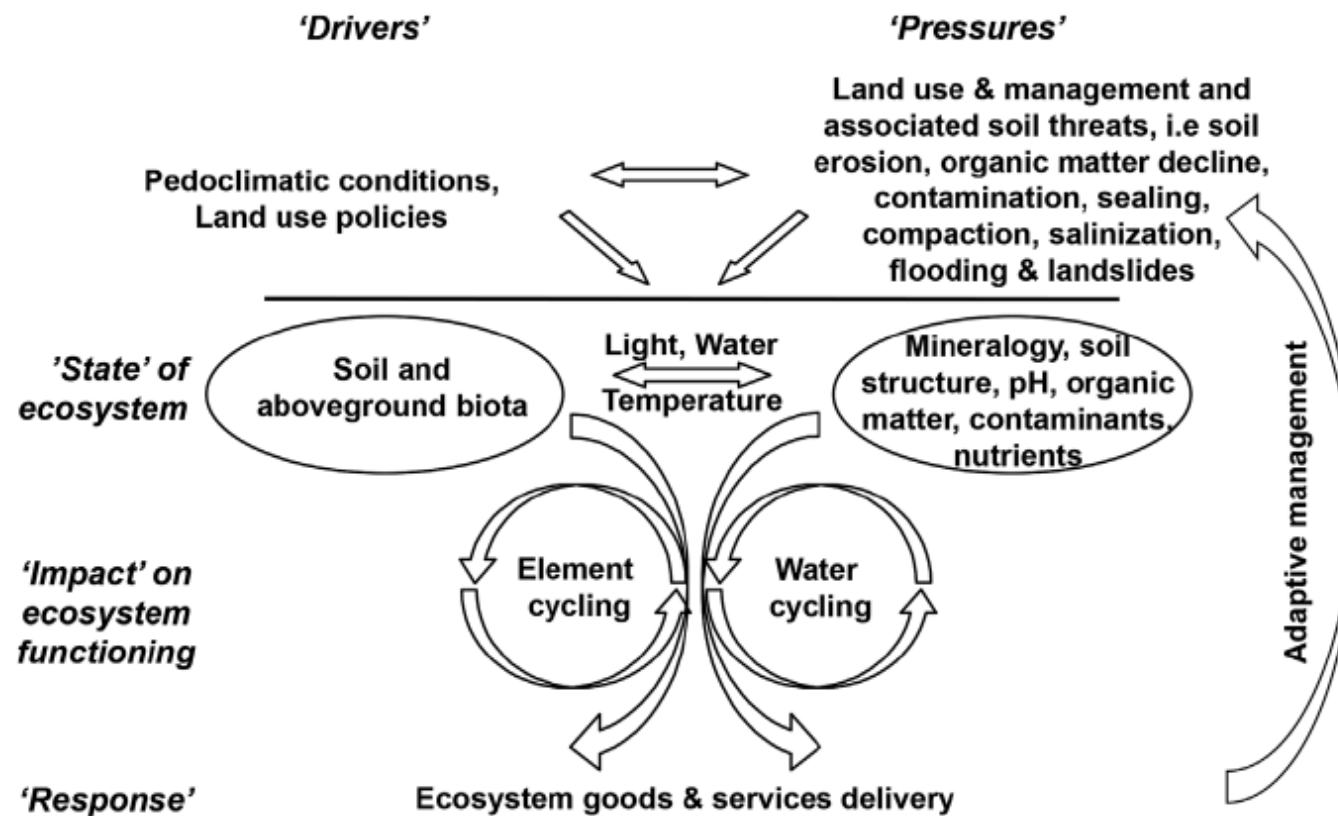
Costanza, R. et al. 1997. Nature 387:253-260.
Baveye, P. et al. 2016. Fronts Environ Sci. 4:1-49.

se pueden relacionar las funciones y los servicios ecosistémicos con las amenazas que se ciernen sobre el suelo (Bünemann y col.)

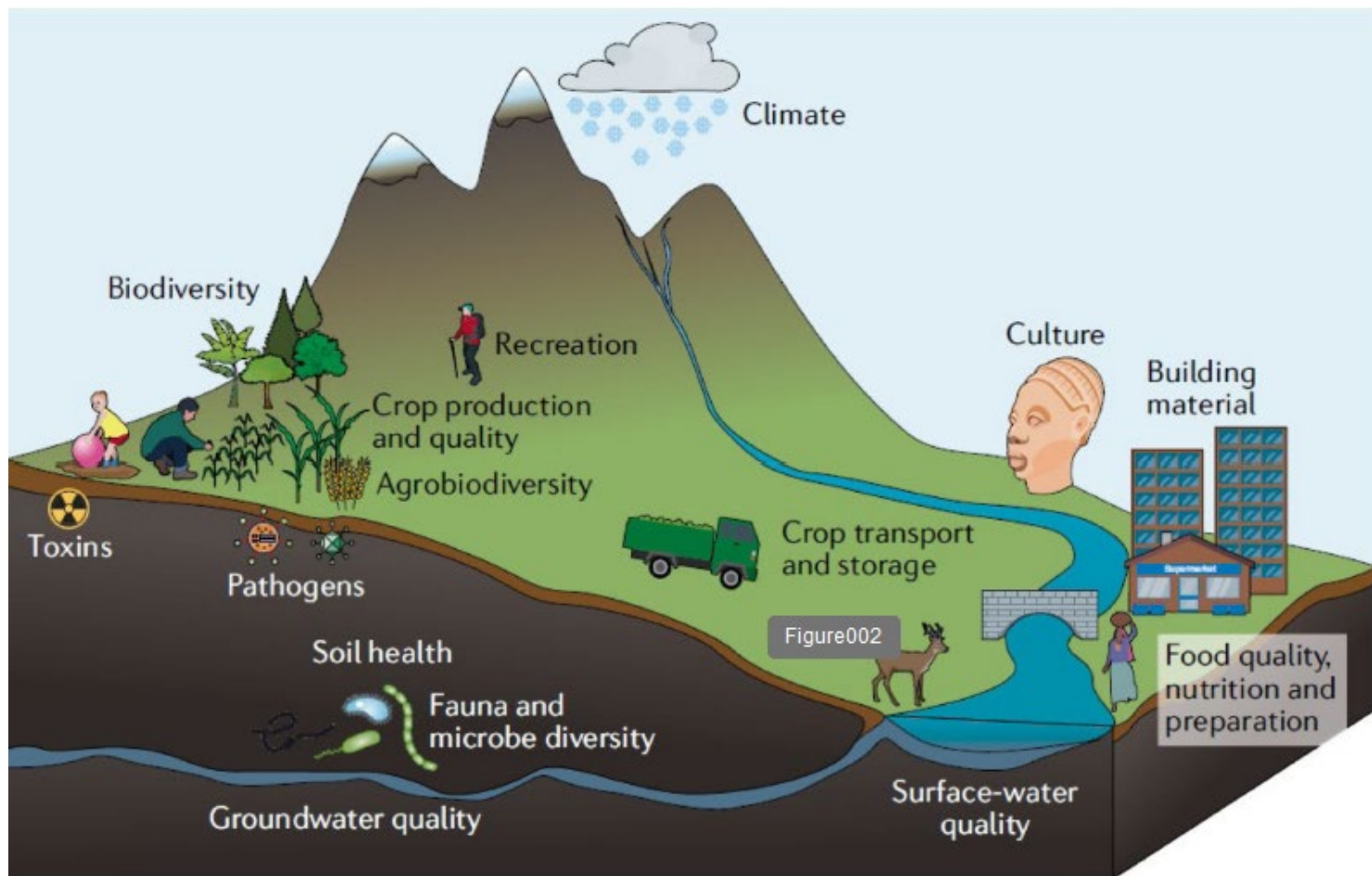


(Bünemann et al. 2018. Soil Biol. Biochem. 120:105-125)

La Agencia ambiental europea, EEA, adoptó un esquema de condiciones pedoclimáticas y políticas, *drivers*, sistemas de manejo, *pressures*, estados, impactos y respuestas para ayudar a la toma de decisiones (Bünemann y col. 2018)

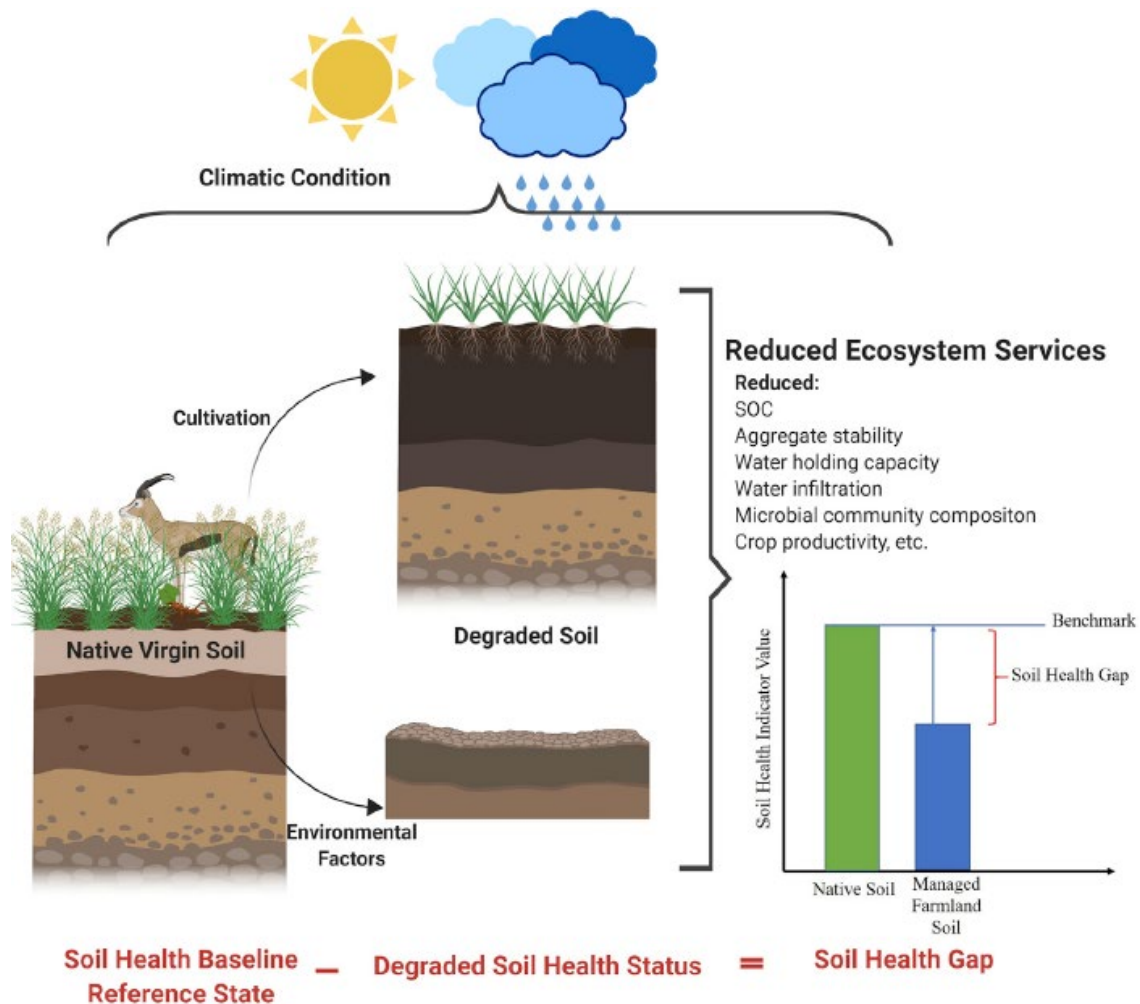


otra perspectiva de los servicios ecosistémicos relacionados con la salud del suelo



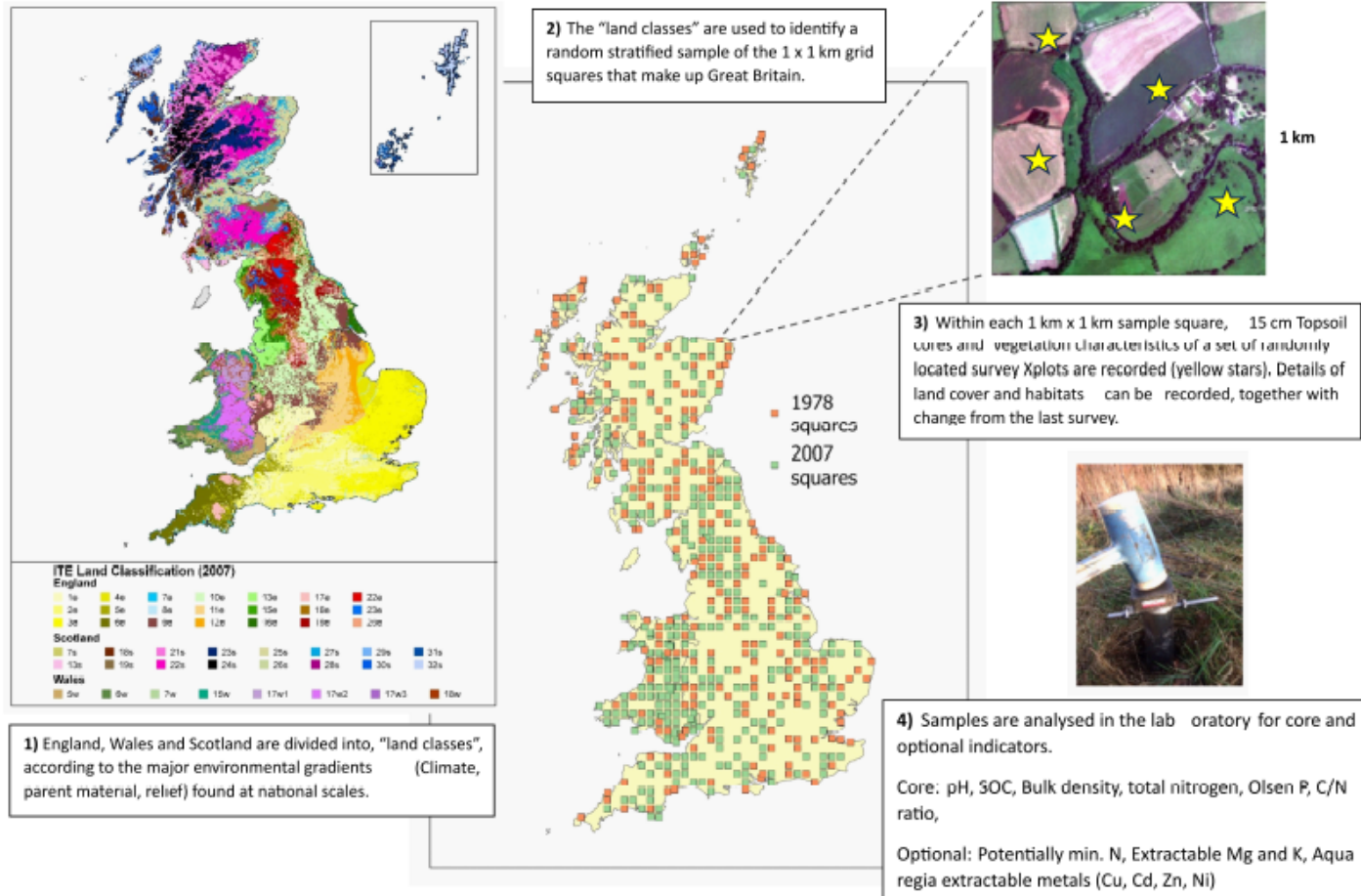
(Lehmann et al. 2020. Nat. Rev. Earth Environ. 1:544-553)

deterioro de los servicios ecosistémicos



Maharjan, B. 2020. Global Ecol. Conser. 23 e01116

para ayudar a la misión de la salud del suelo de la Unión europea es esencial un buen conocimiento del mismo, como recomiendan Robinson y col.



Robinson, D.A. et al. 2024.
Eur. J. Soil Sci. 75, e13570

¿Cómo se estima la calidad del suelo?

el manual de la Universidad de Cornell es un buen ejemplo



Moebius-Clune, B.N., et al. 2016. Comprehensive Assessment of Soil Health – The Cornell Framework, Edition 3.2, Cornell University, Geneva, NY.



muestreo y análisis de los indicadores de la salud del suelo

Assessment Sheet										
Date _____ Crop _____										
Farm/Field ID _____										
Soil Quality	Poor	Medium				Good				
INDICATORS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Earthworms										
Organic Matter										
Color										
Organic Matter										
Roots/Residue										
Subsurface										
Compaction										
Tilth/Friability										
Mellowness										
Erosion										
Water Holding										
Capacity										
Drainage										
infiltration										
Crop Condition										
pH										
Nutrient Holding										
Capacity										
Other (write in)										
Other (write in)										

Field Notes/Inputs			
Farm I.D.	_____		
Field I.D.	_____	Date	_____
Crop	_____	Acres	_____
Inputs	Type	Quantity	Price
Fertilizer	_____	_____	_____
Lime	_____	_____	_____
Manure	_____	_____	_____
Cover	_____	_____	_____
Crops	_____	_____	_____
Pesticides	_____	_____	_____
Other	_____	_____	_____
Equipment	_____	_____	_____
Used	_____	_____	_____
Problems, Comments, Weather Conditions			

Yields			
Amount	_____		
Units	_____		
Moisture	_____		
Price	_____		

Physical

Texture
Bulk density
Macro-porosity
Meso-porosity
Micro-porosity
Available water capacity
Residual porosity
Penetration resistance at 10 kPa
Saturated hydraulic conductivity
Dry aggregate size (<0.25 mm)
Dry aggregate size (0.25 - 2 mm)
Dry aggregate size (2 - 8 mm)
Wet aggregate stability (0.25 - 2 mm)
Wet aggregate stability (2 - 8 mm)
Surface hardness with penetrometer
Subsurface hardness with penetrometer
Field infiltrability

Biological

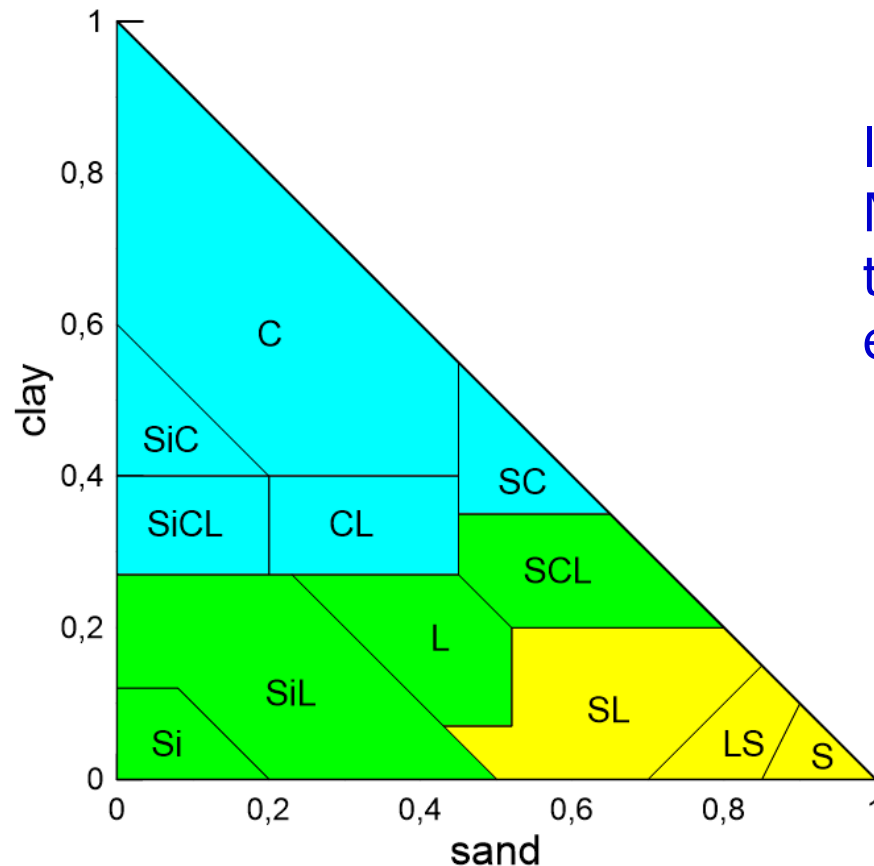
Root pathogen pressure assessment
Beneficial nematode population
Parasitic nematode population
Potentially mineralizable nitrogen
Cellulose decomposition rate
Particulate organic matter
Active carbon
Weed seed bank
Microbial respiration rate
Soil proteins
Organic matter content

Chemical

Phosphorus
Nitrate nitrogen
Potassium
pH
Magnesium
Calcium
Iron
Aluminum
Manganese
Zinc
Copper
Exchangeable acidity
Salinity
Sodicity
Heavy metals

Moebius-Clune, B.N., et al. 2016. Comprehensive Assessment of Soil Health – The Cornell Framework, Edition 3.2, Cornell University, Geneva, NY.

agrupación de las clases texturales en el esquema de evaluación de la salud del suelo de Cornell

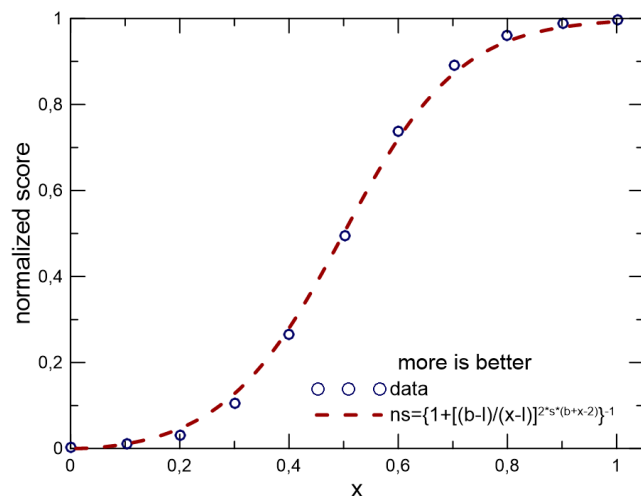


las diferentes clases texturales del Soil Survey Manual quedan agrupadas en tres clases: suelos de tamaño medio de partículas finos, en azul, medios, en verde, y gruesos, en amarillo

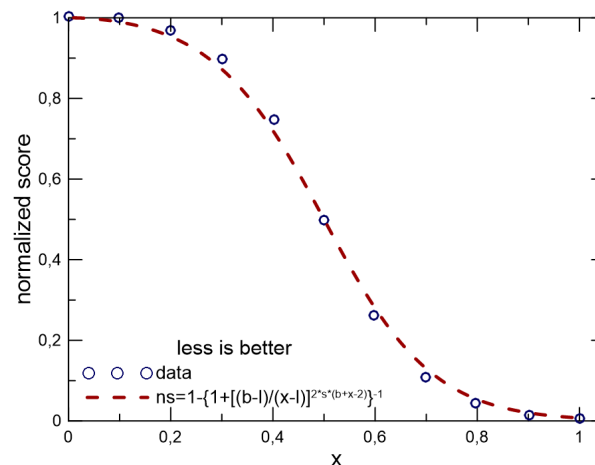
Soil Science Division Staff. 2017. Soil survey manual. C. Ditzler, K. Scheffe, and H.C. Monger (eds.). USDA Handbook 18. Government Printing Office, Washington, D.C.

normalización de los valores de los indicadores de la calidad del suelo (Glover y col. 2000)

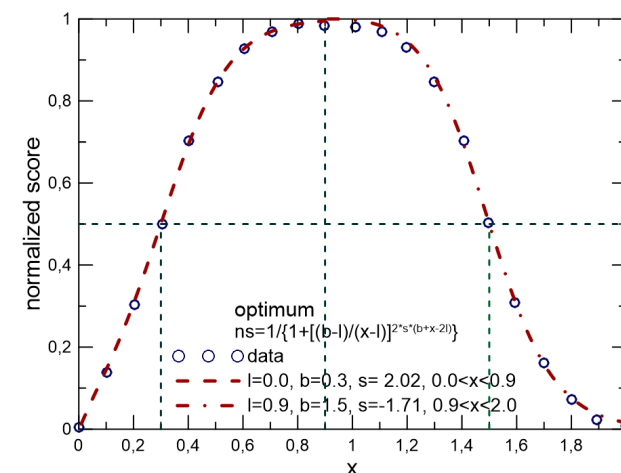
agregados estables



densidad aparente



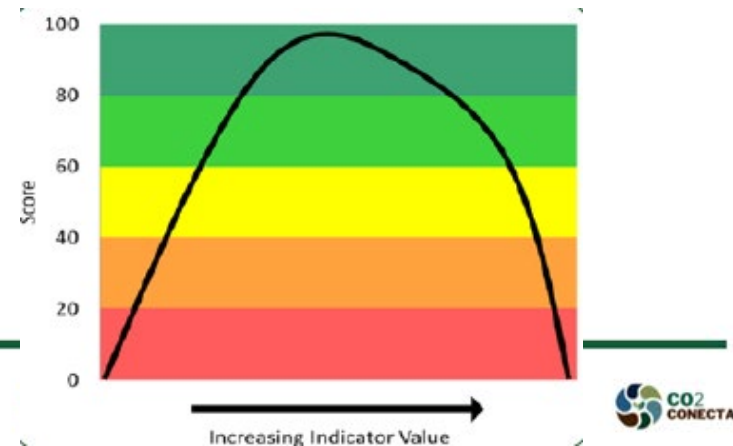
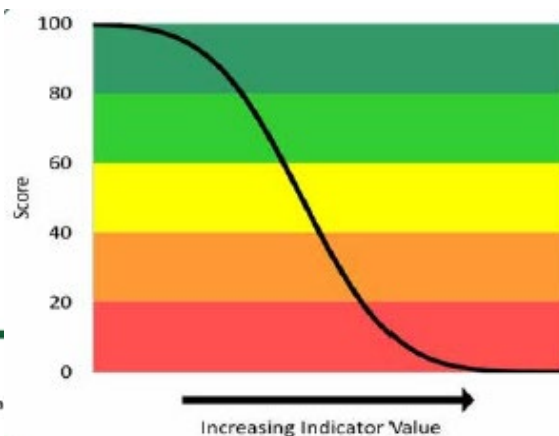
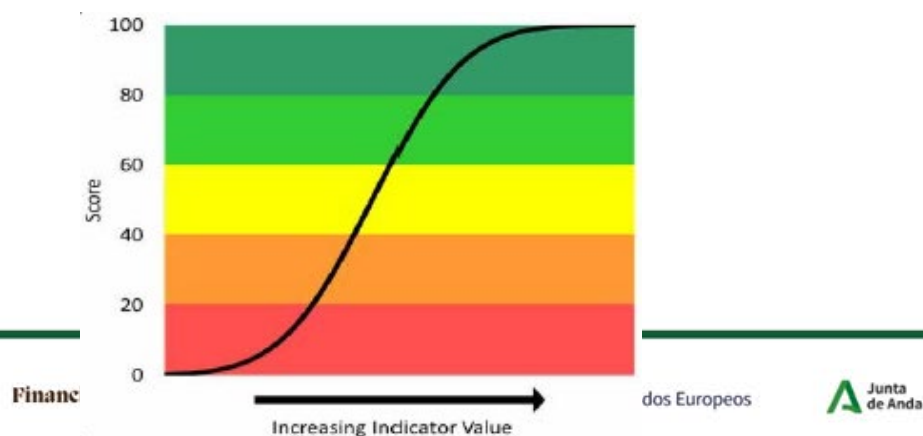
NO3--N



una función
normalizadora

$$ns = \left[1 + \left(\frac{b-l}{x-l} \right)^{2s(b+x-2l)} \right]^{-1}$$

Glover, J.D. et al. 2000. Agric. Ecosyst. Environ. 80:29-45.



un ejemplo del informe final sobre la salud del suelo

Comprehensive Assessment of Soil Health

From the Cornell Soil Health Laboratory, Department of Soil and Crop Sciences, School of Integrative Plant Science, Cornell University, Ithaca, NY 14853. <http://soilhealth.cals.cornell.edu>

1
Grower:
Bob Schindelbeck
306 Tower Rd.
Ithaca, NY 14853

Agricultural Service Provider:
Mr. Bob Consulting
rrs3@cornell.edu

Sample ID: LL8

Field ID: Caldwell Field- intensive management

Date Sampled: 03/11/2015

Given Soil Type: Collamer silt loam

Crops Grown: WHT/WHT/WHT

Tillage: 7-9 inches

Measured Soil Textural Class: **silt loam**

Sand: 2% - Silt: 83% - Clay: 15%

Group	Indicator 2	Value 3	Rating 4	Constraints 5
physical	Available Water Capacity	0.14	37	
physical	Surface Hardness	260	12	Rooting, Water Transmission
physical	Subsurface Hardness	340	35	
physical	Aggregate Stability	15.7	19	Aeration, Infiltration, Rooting, Crusting, Sealing, Erosion, Runoff
biological	Organic Matter	2.5	28	
biological	ACE Soil Protein Index	5.1	25	
biological	Soil Respiration	0.5	40	
biological	Active Carbon	288	12	Energy Source for Soil Biota
chemical	Soil pH	6.5	100	
chemical	Extractable Phosphorus	20.0	100	
chemical	Extractable Potassium	150.6	100	
chemical	Minor Elements Mg: 131.0 / Fe: 1.2 / Mn: 12.9 / Zn: 0.3		100	

6
Overall Quality Score: **51 / Medium**

Moebius-Clune, B.N., et al. 2016. Comprehensive Assessment of Soil Health – The Cornell Framework, Edition 3.2, Cornell University, Geneva, NY.

¿qué problemas tiene la estimación de la calidad del suelo?

como Letey y col. indicaban, estos sistemas evaluación están vinculados a decisiones políticas

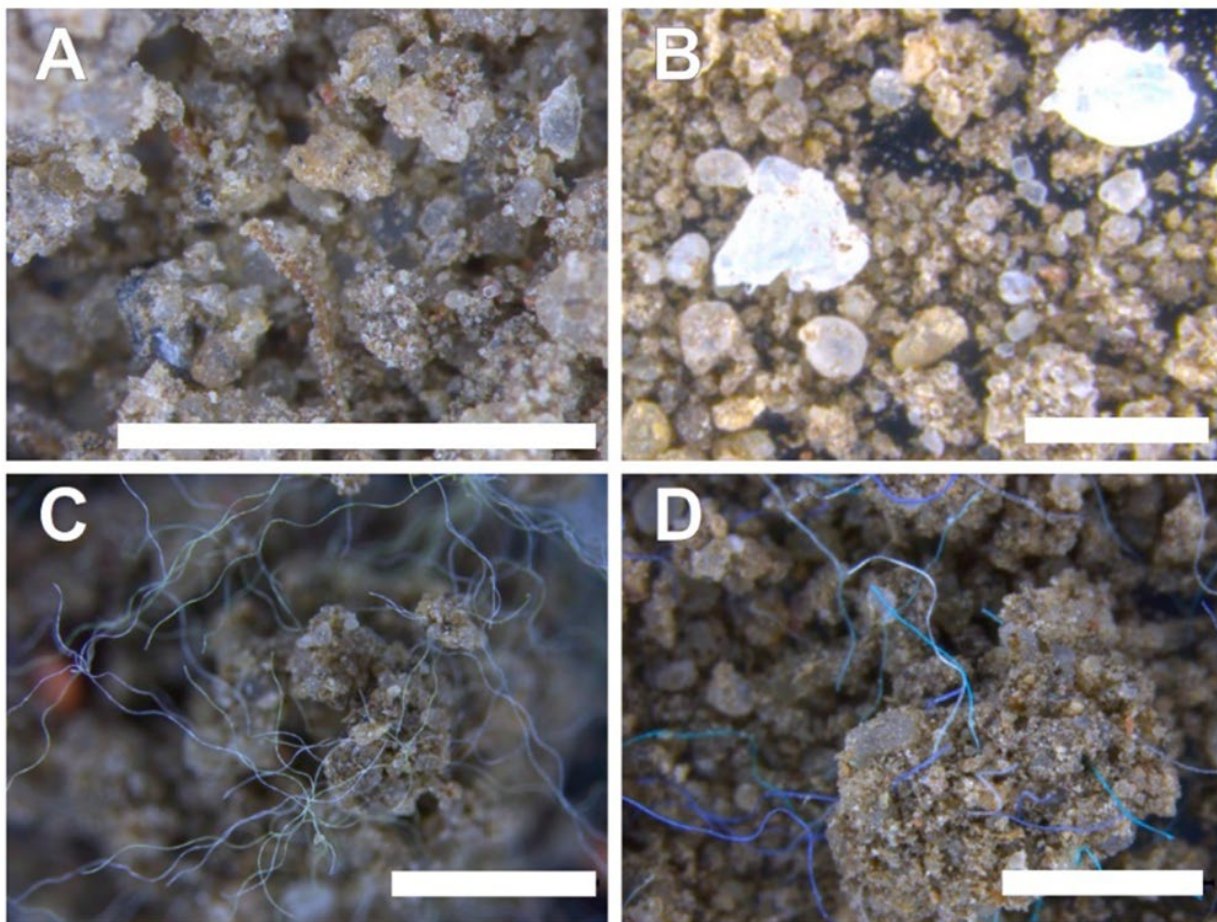
es difícil seleccionar un esquema que se ajuste a todos los suelos

es necesario, también, adaptar los esquemas a los cambios ambientales o de sistemas de manejo

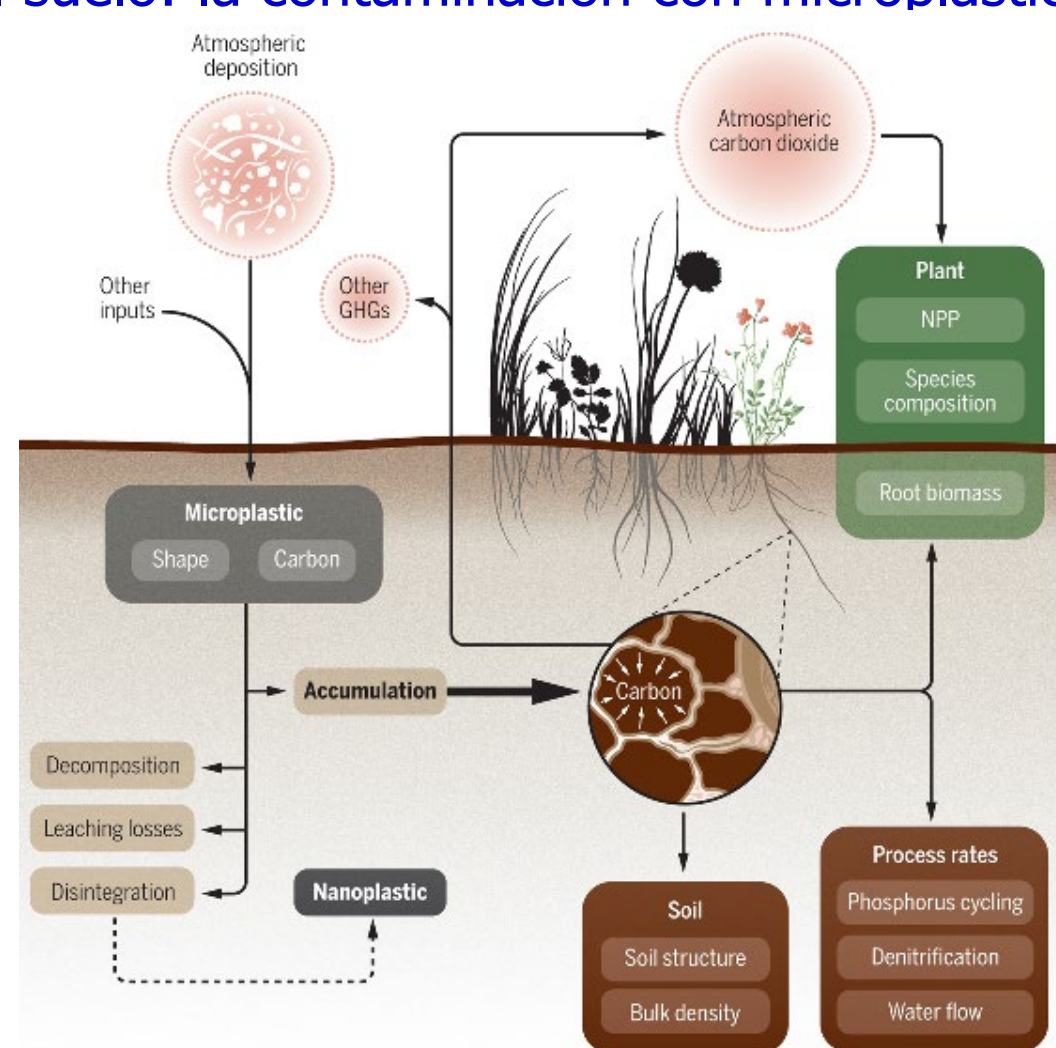
Bünemann et al. 2018. Soil Biol. Biochem. 120:105-125

Letey, J. et al. 2003. J. Soil Water Conserv. 58:180-187.

algunos problemas potenciales para la salud del suelo: la contaminación con microplásticos

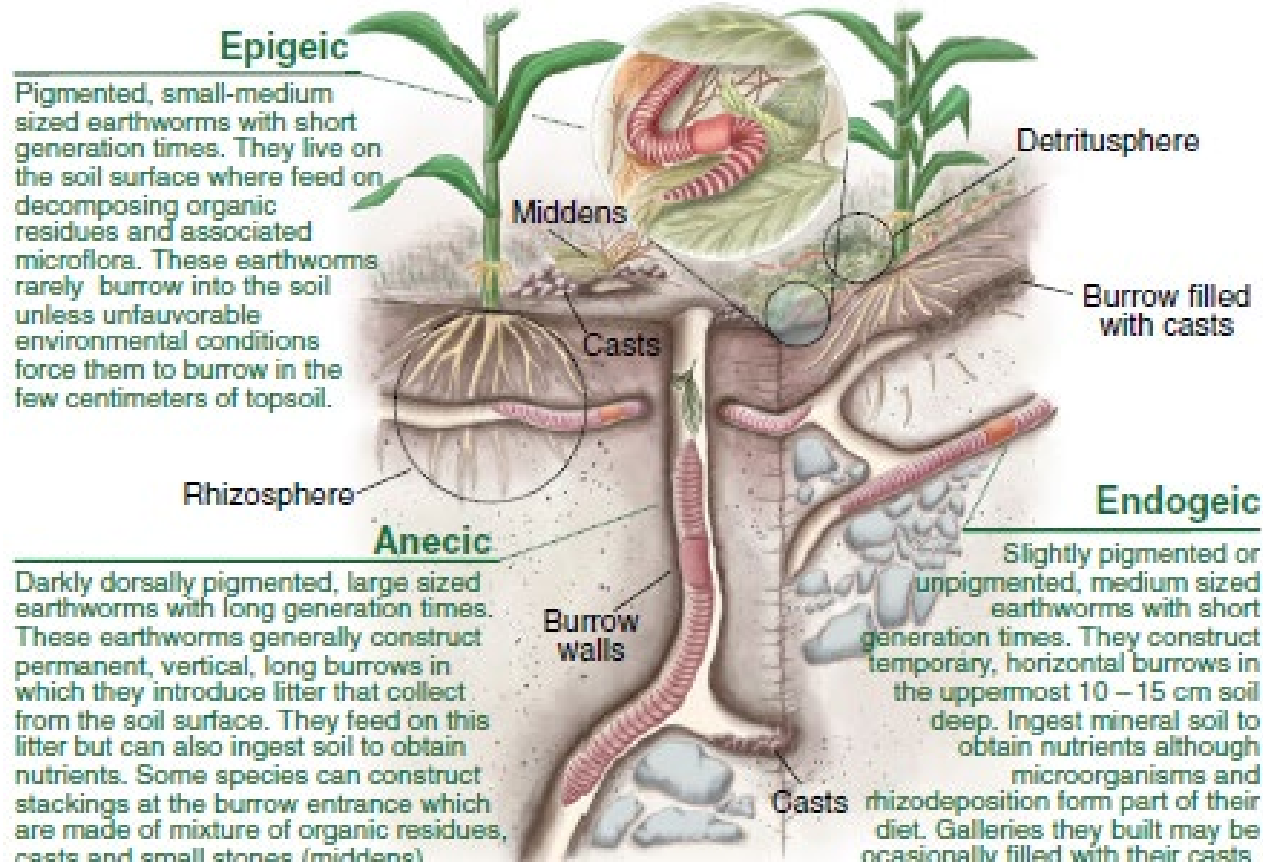
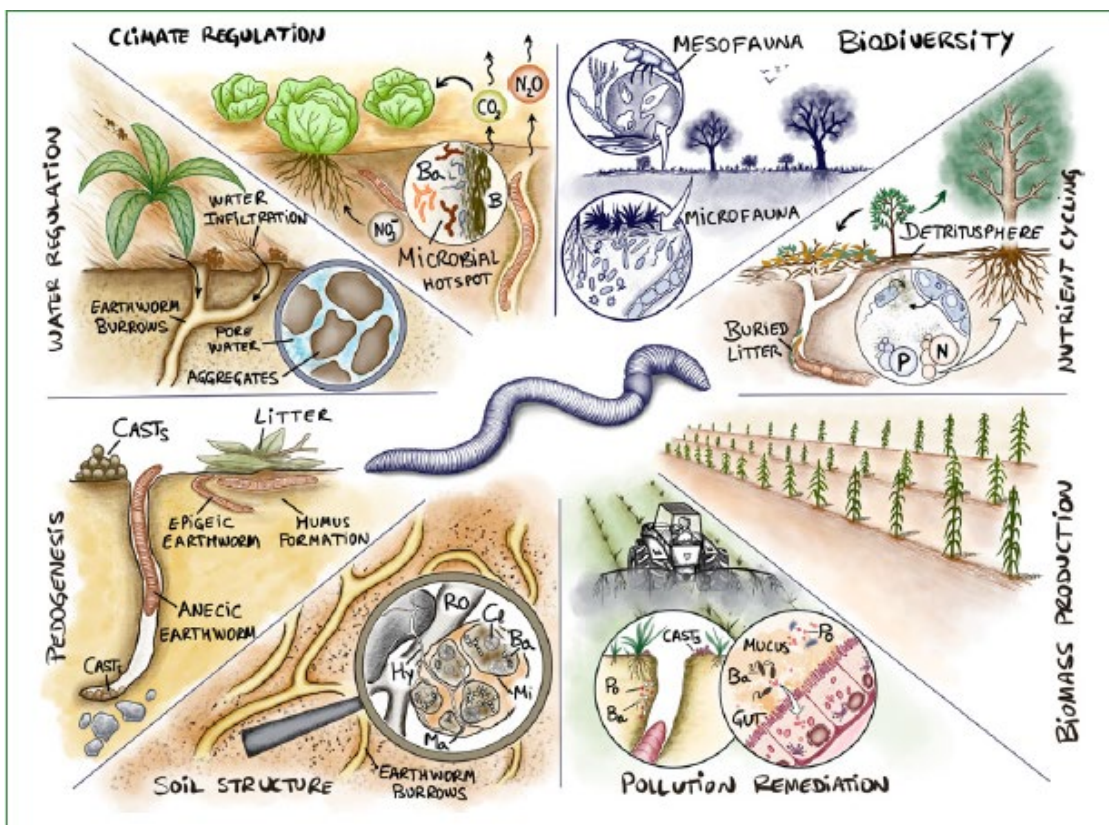


A: bolitas de poliamida; B: fragmentos de polietileno
C: figuras de oliester y D: ploiacrílicas



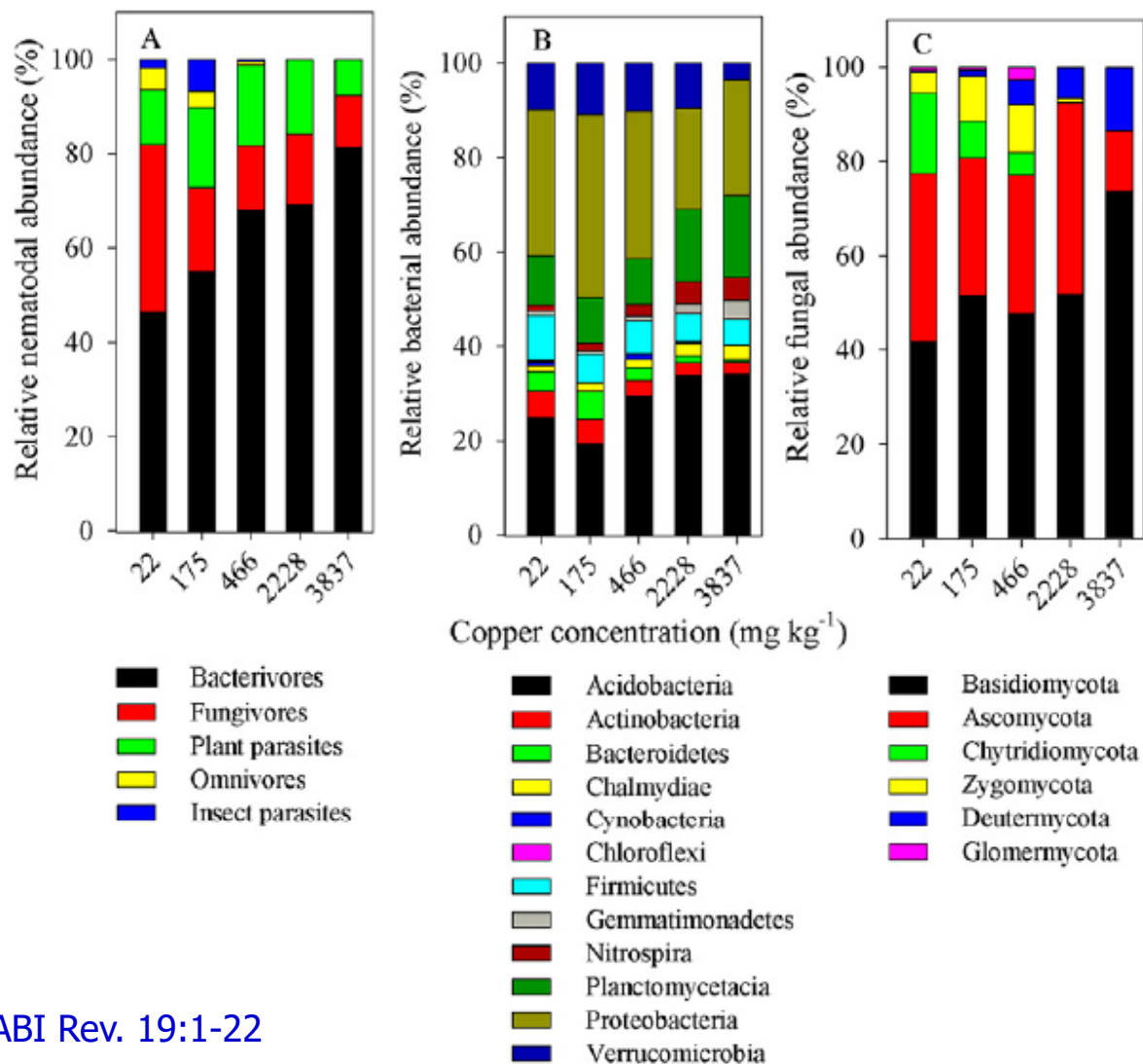
Machado, A.A. de S. et al. 2018
Environ. Sci. Technol. 52:9656-9665

problemas para las lombrices por la contaminación del suelo por microplásticos



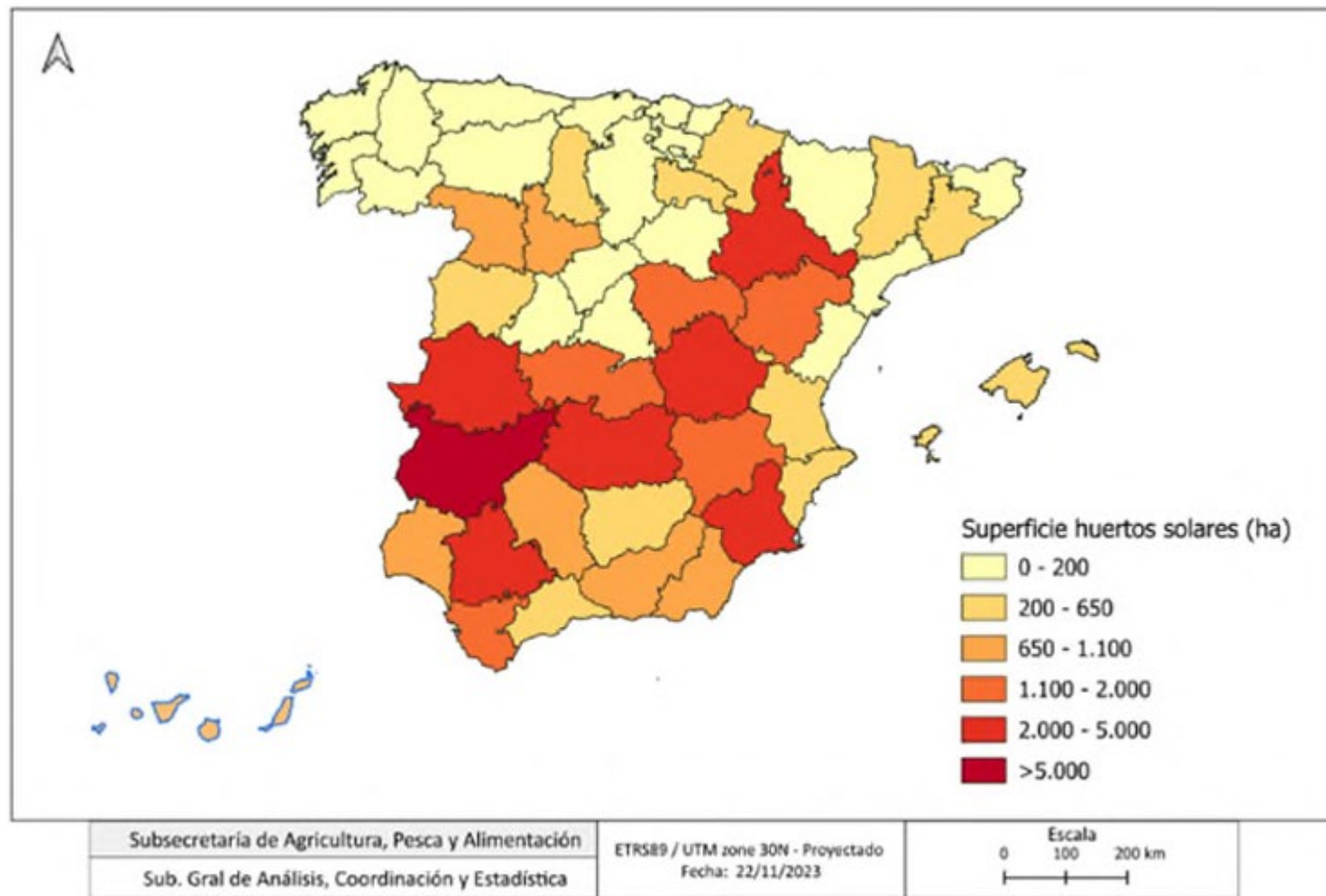
Sánchez Hernández, J.C. 2024. CABI Rev. 19:1-22

efectos de otros contaminantes, como el cobre, en las lombrices Darwin



Sánchez Hernández, J.C. 2024. CABI Rev. 19:1-22

otro problema es la pérdida de superficie cultivable, suelos con gran capacidad productiva, por urbanización, incluyendo la instalación de placas solares en España



Fuente: ESYRCE. MAPA

Agrinfo 37, junio 2024, MAPA



el futuro de la salud del suelo es incierto, pero, mejorando nuestro conocimiento, será más fácil mantenerla