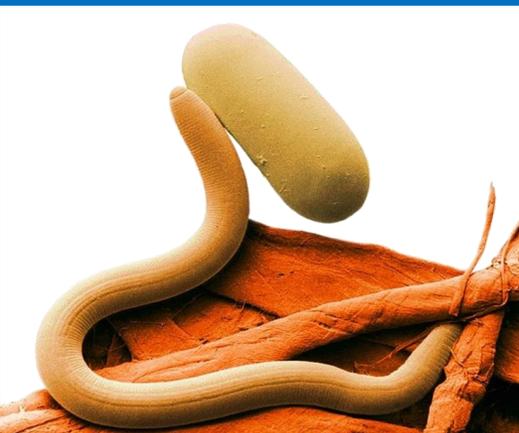


PROGRAMA INTEGRADO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO EN ZOOLOGÍA AGRÍCOLA (PIEPZA)

SEMINARIO

NEMATODOS COMO BIOINDICADORES (IBNs) DE LA CONDICIÓN DE LA RED TRÓFICA DEL SUELO



M.Sc. Guillermo Perichi

Diagnóstico e identificación de nematodos parásitos
de plantas y de vida libre

Noviembre (22/2024)



01 - Introducción.

02 - Salud y calidad del suelo.

03 - Indicadores para evaluar la salud del suelo.

04 - Indicadores biológicos.

05 - Clasificación de la biota del suelo.

06 - Características de los nematodos como **indicadores**.

07 - Grupos tróficos de nematodos.

08 - Grupos c-p (estructurales) de nematodos.

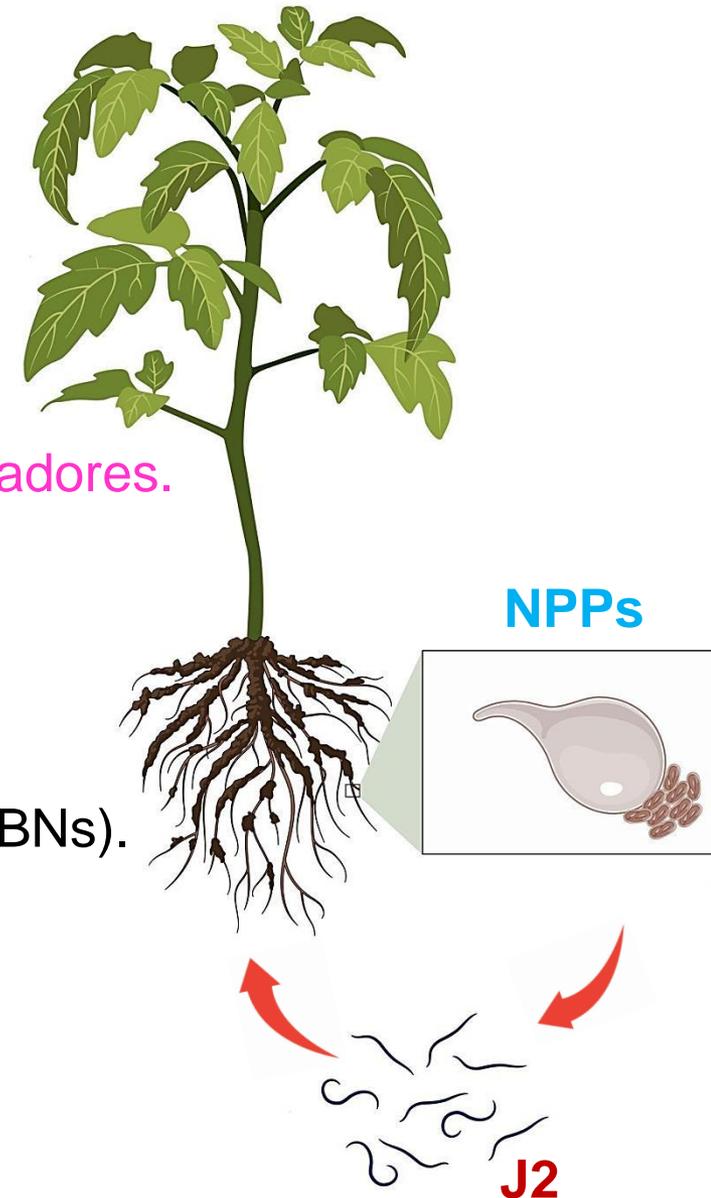
09 - Grupos funcionales de nematodos.

10 - Principales índices basados en nematodos (IBNs).

11 - Otros índices ecológicos utilizados.

13 - Resumen.

14 - **Consideraciones finales.**



1

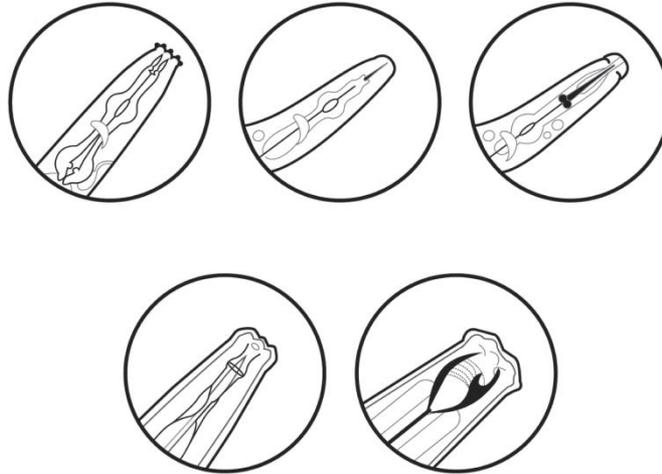
Suelo = Ecosistema

Complejo

Diverso

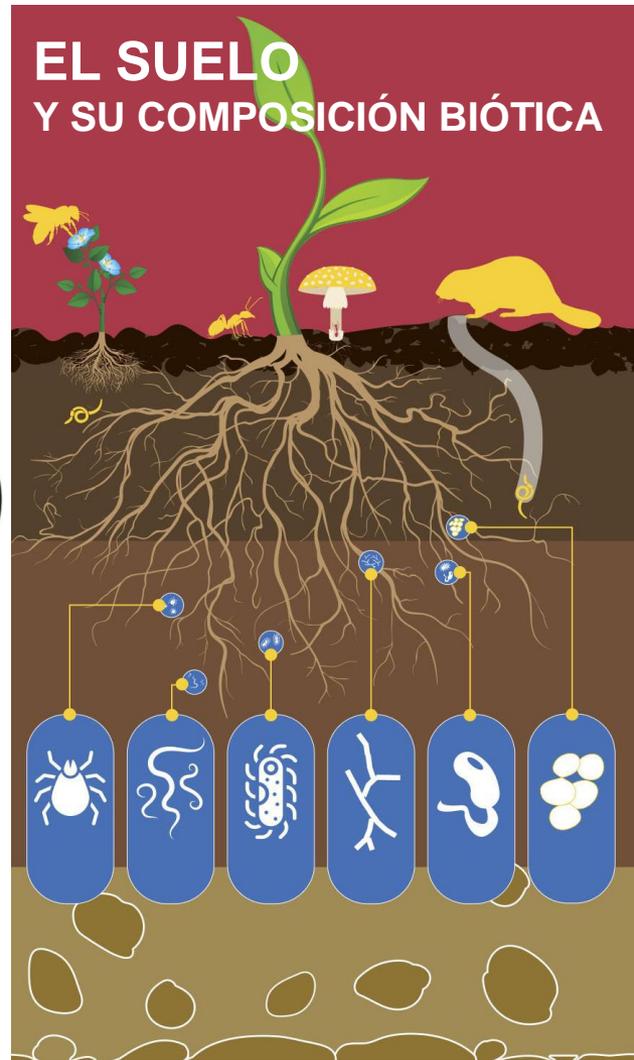
2

Alberga una infinidad de organismos diferentes



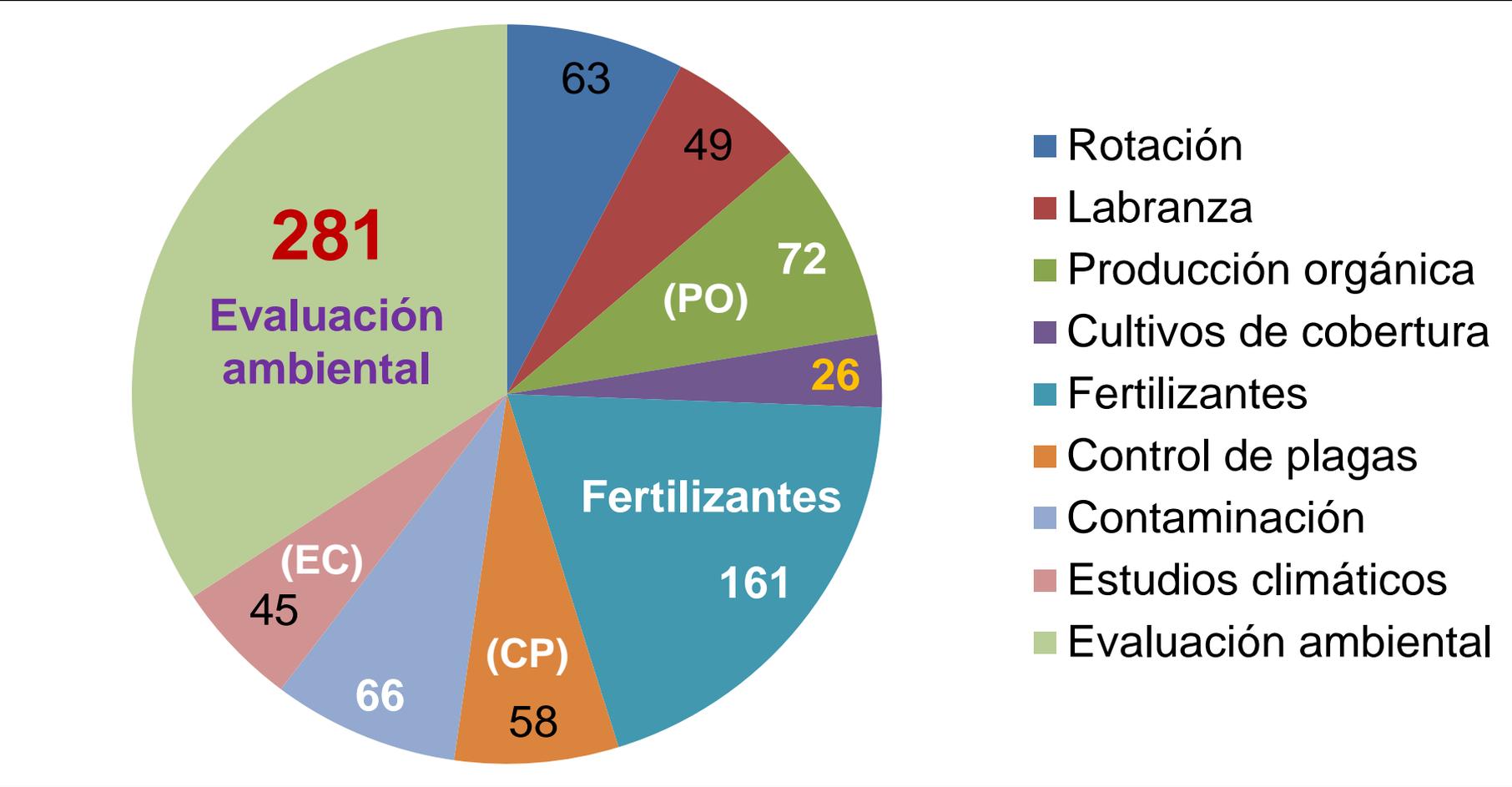
3

Papel crucial (biosfera global y agricultura sostenible)



La sobreexplotación de la tierra y las practicas agrícolas inadecuadas tienen un gran impacto en la calidad y salud del suelo en el tiempo y espacio (Asif *et al.*, 2021).

Número de trabajos con uno o múltiples enfoques de estudio en donde se han aplicado índices basados en nematodos desde 1993 hasta el 2020.



Du Preez *et al.* (2022). Nematode-based indices in soil ecology: Application, utility and future directions.

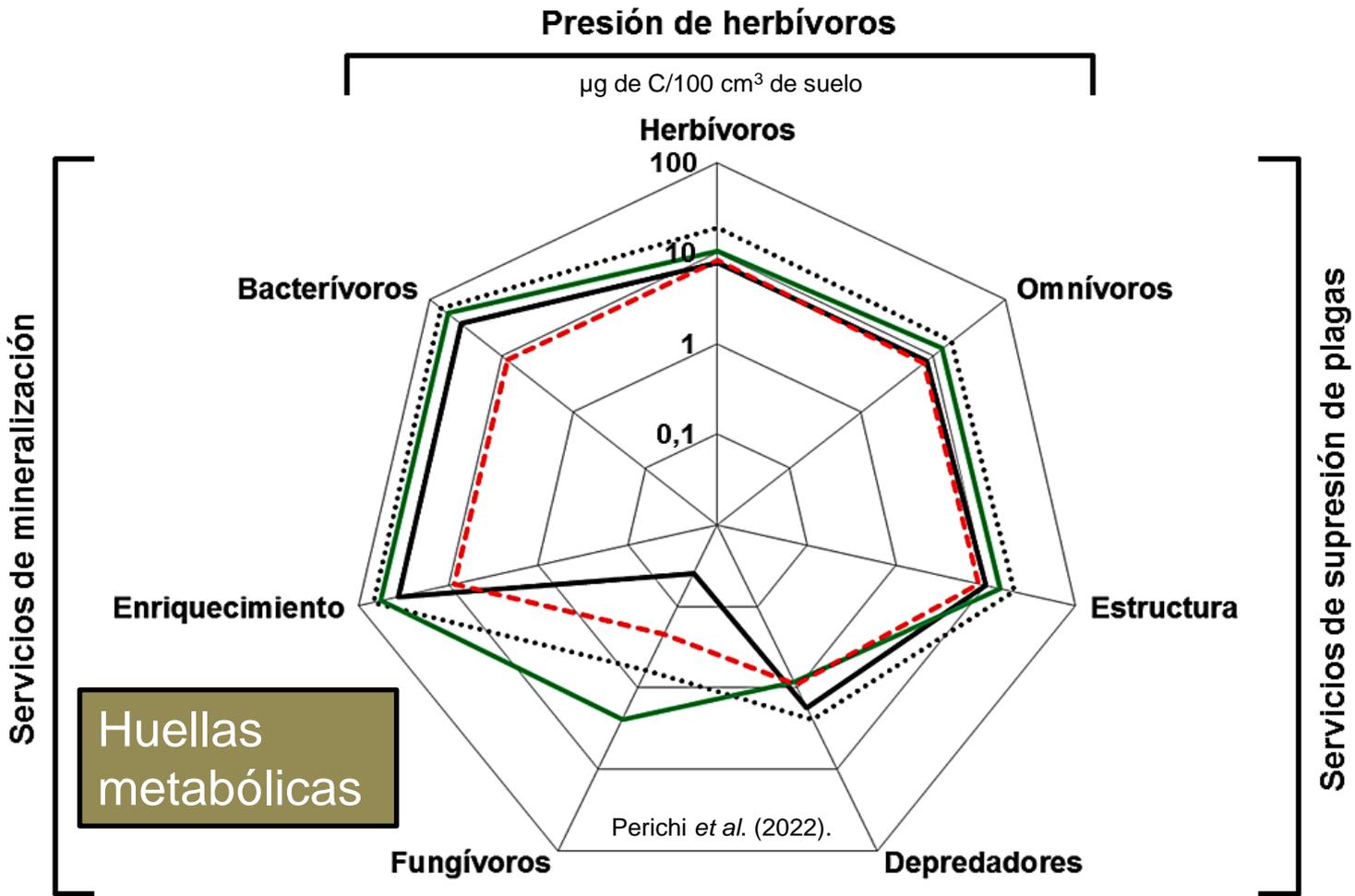
Estudios en Venezuela con relación a los nematodos de vida libre

Loof (1964)

1. Ferris *et al.* (2012). Diversity and complexity complement apparent competition: Nematode assemblages in banana plantations. [Acta Oecologica 40:11-18.](#)
2. Perichi *et al.* (2022). Nematofauna del Jardín Botánico Universitario “Baltasar Trujillo” Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. [Revista de la Facultad de Agronomía \(UCV\) 48:18-35.](#)
3. Olivares *et al.* (2022). Relationship of microbial activity with soil properties in banana plantations in Venezuela. [Sustainability 14:13531.](#)
4. Montilla *et al.* (2023). Estudio exploratorio de la estructura comunitaria de nematodos edáficos en diferentes usos de suelo en el estado Aragua, Venezuela. [Presentado en el 2° Congreso Internacional de Biodiversidad.](#)

Estudios en Venezuela con relación a los nematodos de vida libre

— J. Botánico (2018) J. Botánico (2021) — Herbazales - - - Áreas deforestadas



El término **SALUD DEL SUELO**, se refiere a la condición (homeostasis) que tiene este recurso (**ECOSISTEMA VITAL**) para:

1. Mantener la **productividad y diversidad** de las plantas y los animales.
2. Mantener o mejorar la **calidad del agua y aire**.
3. Apoyar la **salud humana**.

USDA-NRCS (2012).



AUTOREGULACIÓN
Mantener constantes la composición y propiedades en los **SISTEMAS PRODUCTIVOS**



CALIDAD DEL SUELO, es una medida de la condición del suelo (que tan saludables son) con relación a los requisitos de una o más especies bióticas o con cualquier necesidad o propósito humano.

La calidad del suelo, se relaciona con las funciones del suelo. A diferencia del agua o el aire, para los que se han establecido estándares, **la calidad del suelo es difícil de cuantificar.**

Factores condicionantes

Atributos del suelo ①

Biológicos, físicos y químicos.

Clima ②

Evaporación, precipitación y temperatura.

Entorno ③

Factores geológicos, topografía y vegetación.

④



Paecilomyces lilacinus

USDA-NRCS (2015).

Indicadores biológicos

Metazoa

Microbiota (**bacterias**)

Protozoa



Indicadores físicos

Densidad aparente

Humedad

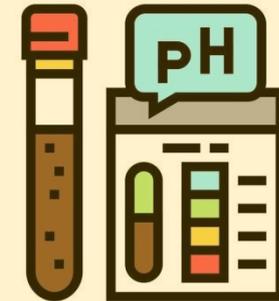
Textura

Indicadores químicos

K disponible

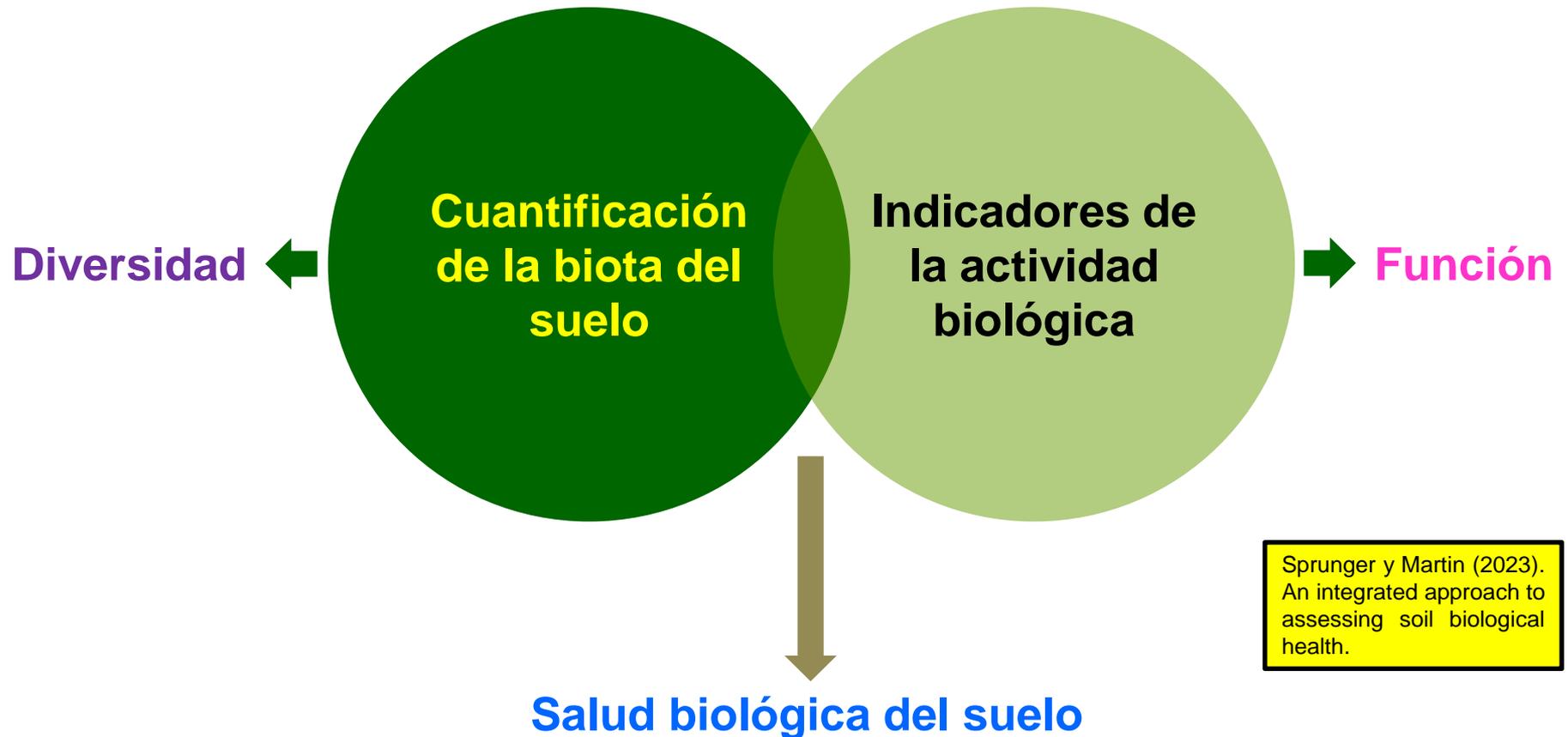
Materia orgánica

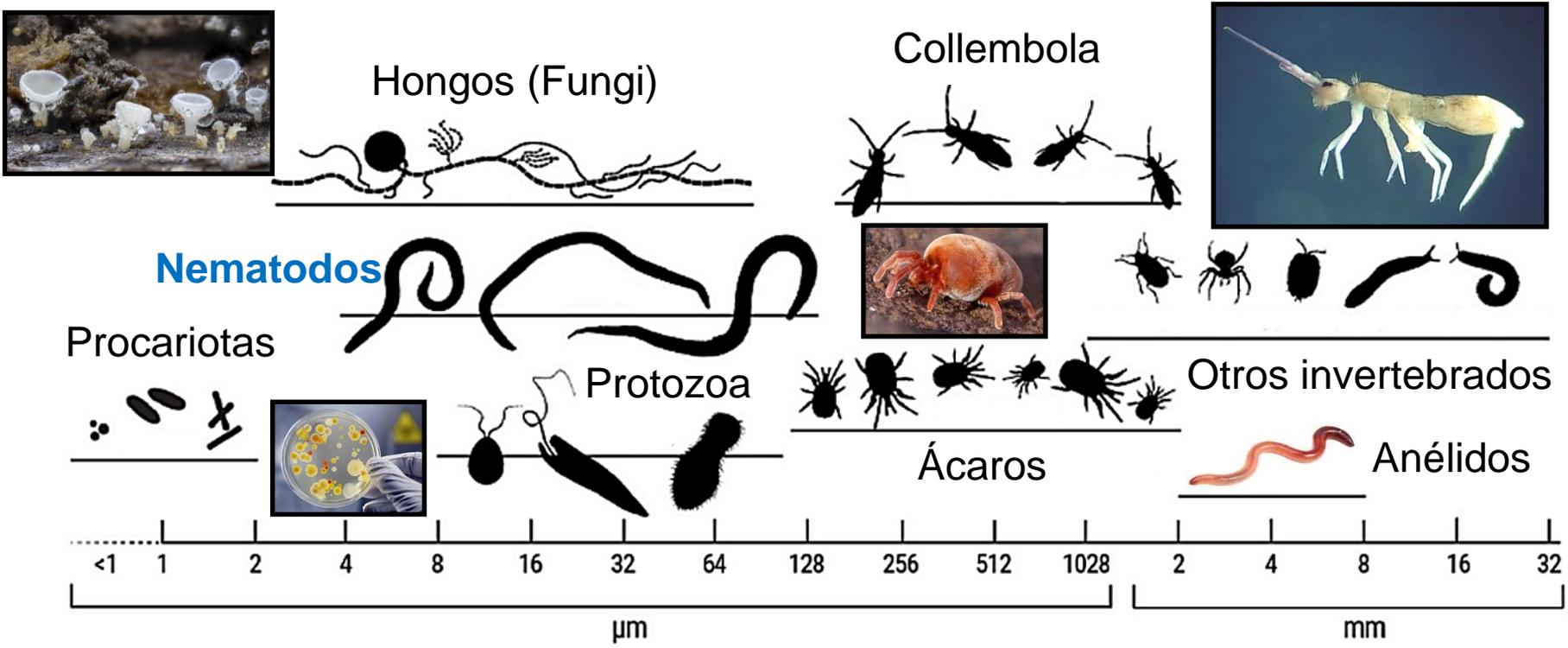
P disponible



La microbiota (bacterias y otras entidades biológicas), esta positivamente correlacionada con los indicadores químicos y, además, su influencia son esenciales sobre las propiedades físicas del suelo. Algunos taxones de **METAZOOS** y **PROTOZOOS** se alimentan de **bacterias** y otros organismos.

Un **bioindicador**, es un organismo o comunidad de organismos que puede indicar la calidad de un factor ambiental, como el agua, el aire, el suelo o el nivel de biodiversidad de un área geográfica determinada.





Organismo Tamaño (mm) Ejemplos

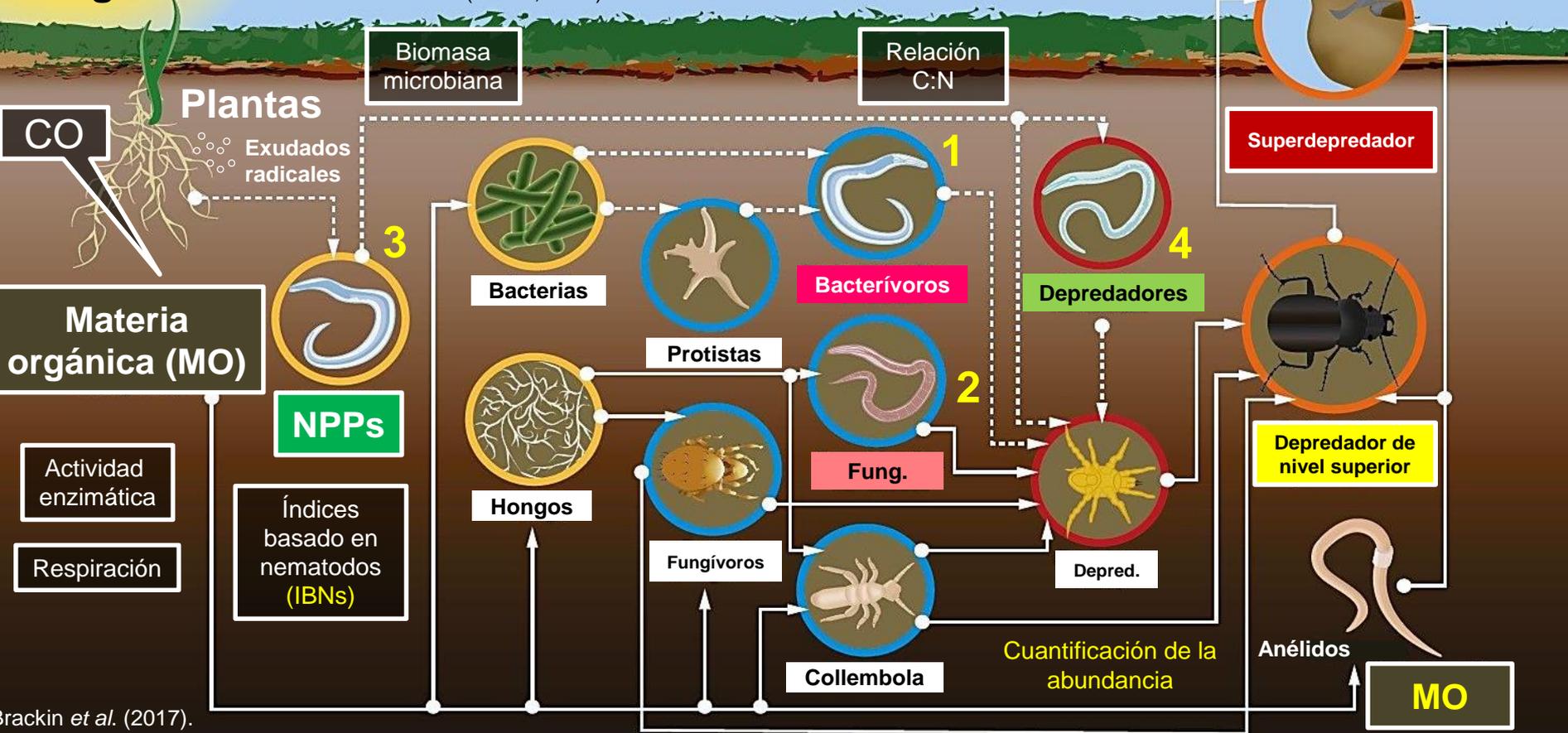
Microbiota	<1	Arqueas y bacterias
Microfauna	<2	Nematodos y protozoa
Mesofauna	2-10	Ácaros y colémbolos
Macrofauna	>10	Anélidos, arañas, crustáceos, miriápodos, etc.



Sharmila *et al.* (2008). Soil biodiversity under forage production systems.
 Brackin *et al.* (2017). Soil biological health-What is it and how can we improve it?.

Energía lumínica

Ilustración tomada y modificada de Agriculture and Horticulture Development Board (AHDB, 2024).



Brackin et al. (2017).

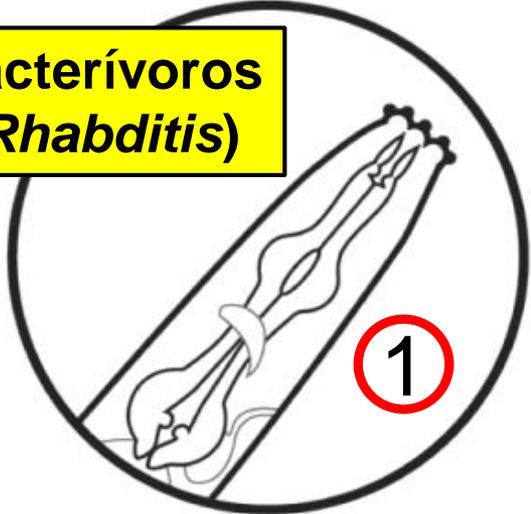
Primer nivel trófico	Segundo nivel trófico	Tercer nivel trófico	Cuarto nivel trófico	Quinto nivel trófico
Organismos fotosintéticos	Descomponedores Mutualistas Parásitos	Bacterívoros Depredadores Micófagos	Depredadores de niveles superiores	Depredadores de niveles superiores

Aspectos importantes dentro de la red edáfica

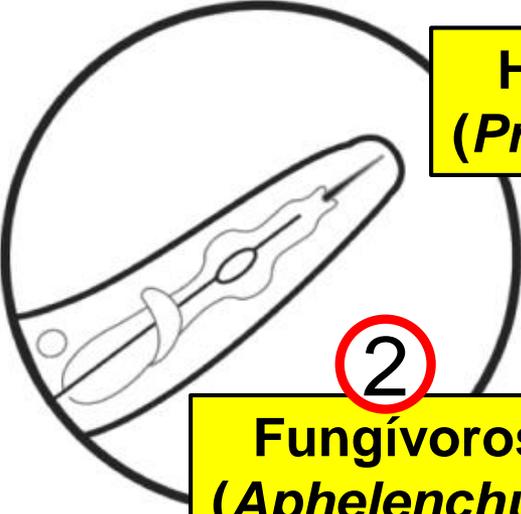
1. La resiliencia estructural y funcional de la red trófica del suelo está determinada por la **redundancia de conexiones**.
2. Los gremios varían en su **sensibilidad a las perturbaciones ambientales**. A menudo, los gremios en niveles tróficos más altos en la red son más sensibles que aquellos en niveles tróficos más bajos.
3. La alteración de la red puede resultar en una **reducción de la abundancia de depredadores de especies oportunistas (NPPs)**.
4. En consecuencia, al enriquecerse con MO o fertilización mineral las especies herbívoras (NPPs) y los descomponedores **pueden aumentar sin regulación**, lo que resulta en daños al productor primario (planta).
5. **El carbono (C) es metabolizado por todos los organismos**. Las cantidades de 'C' (energía) disponible determinan el tamaño y la actividad de la comunidad.

1. Presentan taxones que pueden ser incluidos en al menos **cinco grandes grupos trófico** (variabilidad de tipos de ciclos de vida). Numerosos GF.
2. Los **GT** de nematodos son fácilmente identificables morfológicamente.
3. Son relativamente pequeños y presentan ciclos vitales relativamente cortos (responder rápidamente a cambios en el ambiente).
4. Son ubicuos, aparecen incluso en áreas contaminadas y se encuentran distribuidos a lo largo de todo el perfil del suelo.
5. Debido a su abundancia y tamaño es posible extraerlos del suelo y estimar sus densidades con relativa facilidad.
6. Poseen una cutícula permeable que les hace estar en contacto directo con los contaminantes.
7. Algunos nematodos presentan estados de resistencia o quiescencia. Otros son extremadamente sensibles a los cambios ambientales.

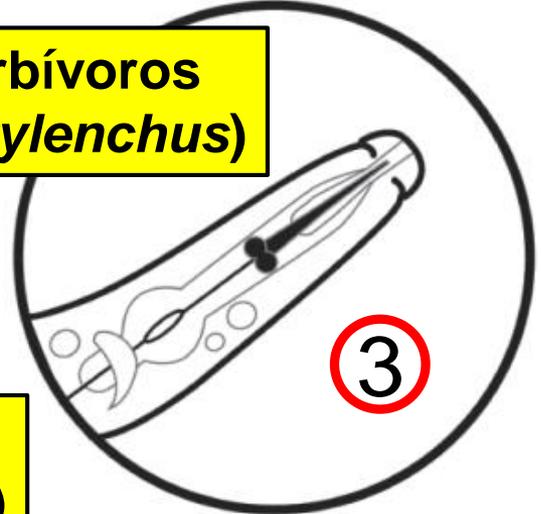
Bacterívoros
(Rhabditis)



Herbívoros
(Pratylenchus)



Fungívoros
(Aphelenchus)

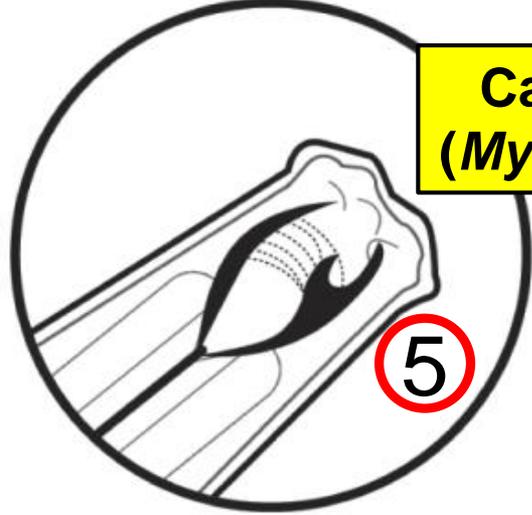


Relación entre la morfología y la función ecológica

Omnívoros
(Eudorylaimus)



Carnívoros
(Mylonchulus)



Clasificación de los nematodos de acuerdo a sus estrategias de vida [**colonizadores: r-estrategas (c)** y **persistentes: k-estrategas (p)**].

Bongers (1990).
Du Preez *et al.* (2022).

c-p 5

Ciclos de vida más largos
tamaños grande, tasas bajas
de fertilidad, mucho más
sensibles a disturbios,
predominantemente
carnívoros y omnívoros.

c-p 4

Ciclos de vida largos y de
baja fecundidad, más
sensibles a disturbios,
pequeñas especies de
omnívoros.

c-p 1

Nematodos con ciclos de
vida cortos, bacterívoros,
comúnmente se alimentan
de medios enriquecidos,
subsisten fácilmente a
disturbios en el suelo.

Escala p-p (2-5)

NPPs

c-p 2

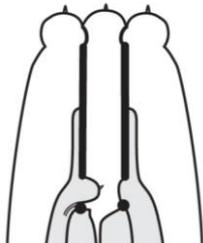
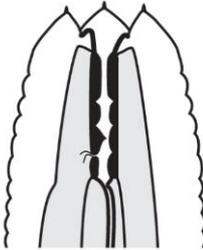
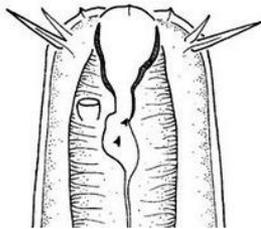
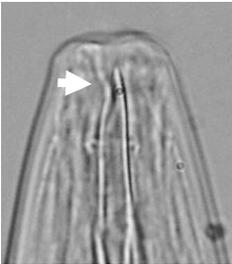
Ciclos de vida largos y de
más baja fecundidad que los
c-p 1, muy tolerantes a
condiciones adversas.

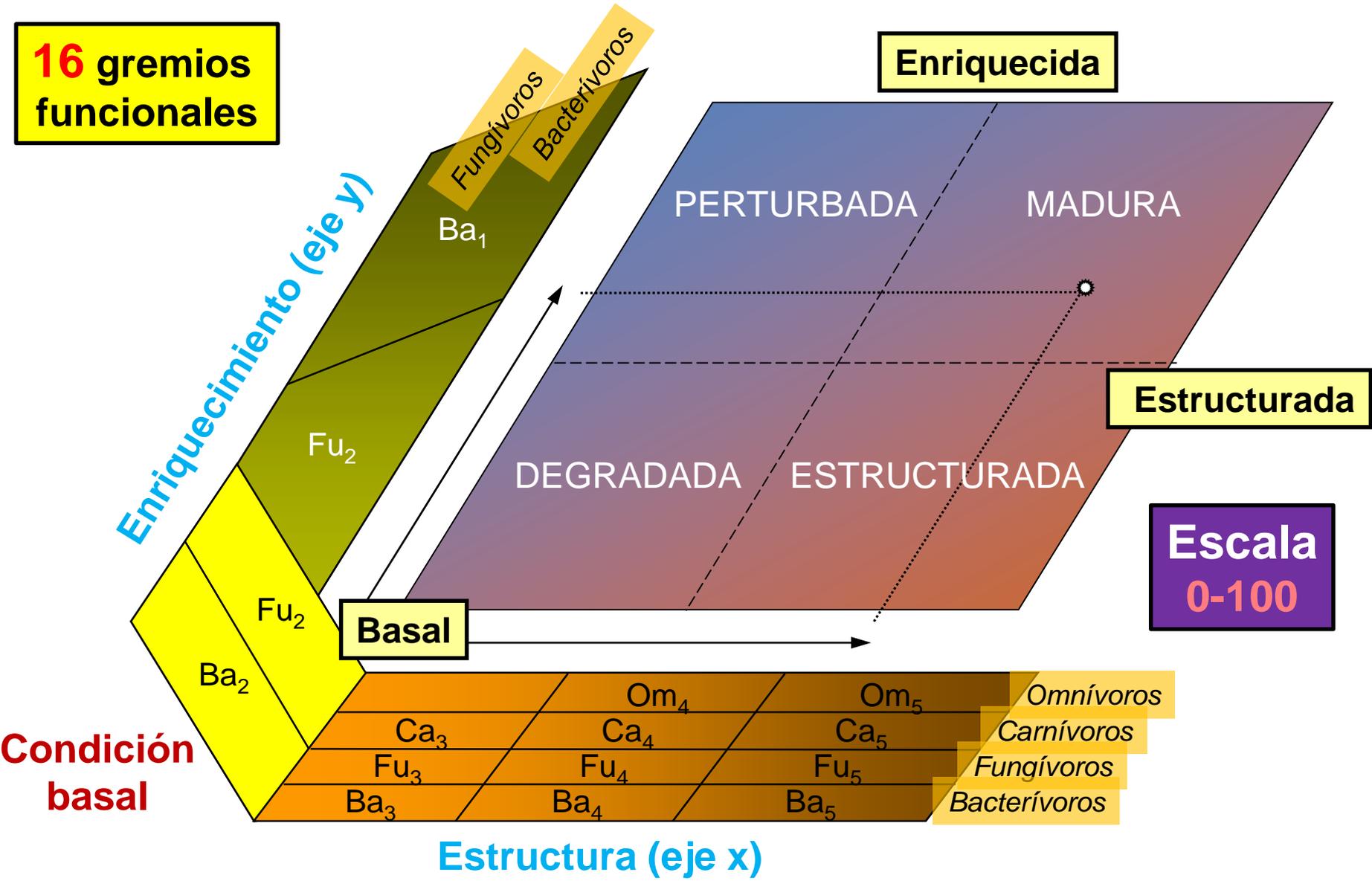
**Escala c-p
(base para el
cálculo de los
índices
ecológicos)**

c-p 3

Ciclos de vida más largos,
más sensibles a condiciones
adversas, fungívoros,
bacterívoros y carnívoros.

Grupos c-p (estructurales) de nematodos

Características	c-p 1	c-p 2	c-p 3	c-p 4	c-p 5
Ciclo de vida	Días o semanas	Semanas	Semanas	Semanas o meses	Muchos meses
Reproduccion	Muy alta	Alta	Media	Media o baja	Baja
Gónadas	Grandes	Grandes	Intermedias	Pequeñas	Pequeñas
N° de huevos	Numerosos	Numerosos	Pocos	Pocos	Pocos
Grupo trófico	B	B, F	B, F	D, O, B	D, O
Metabolismo	Alto	Alto	Moderado	Bajo	Muy bajo
Tolerancia ambiental	Tolerantes (CO)	Tolerantes (TTP)	Baja tolerancia a las perturbaciones	Muy sensibles	No tolerantes
Dauer (J)	Sí	No	No	No	No
Ejemplos	Diplogastridae Rhabditidae	Cephalobidae Monhysteridae	Chromadoridae Tobrilidae	Alaimidae Mononchidae	Dorylaimidae
Morfología del estoma					



Ferris *et al.* (2001). A framework for soil food web diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept.

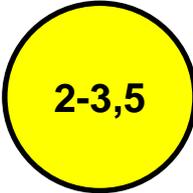
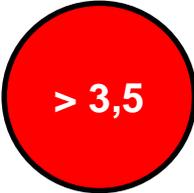
Índices de madurez

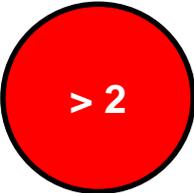
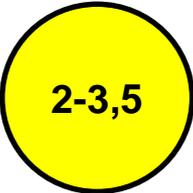
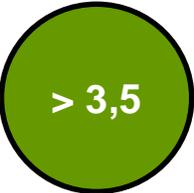
Son indicadores del estado sucesión de la **RTE** y, por lo tanto, de conservación o perturbación del suelo (Bongers, 1990).

$$IX = \sum v(i) \times p(i)$$

$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

Índices de madurez
IM (Escala de 1 hasta 5)
IPP (Escala de 2 hasta 5)

Valores de IPP
 

Valores de IM
  

Relación PPI/IM

> 2: Indican una comunidad (CN) dominada por nematodos c-p 1. **2-3,5:** Reflejan un equilibrio en la abundancia relativa de los nematodos (c) y (p) indicando un suelo en transición donde 'aparentemente' las condiciones están mejorando y la comunidad de nematodos está comenzando a estabilizarse. **> 3,5:** La CN está dominada por nematodos **k-estrategas** (c-p 4 y c-p 5) lo que indica un ecosistema del suelo altamente estructurado (maduro) y estable.

Índices de red trófica

Índices	Inferencias	Fórmulas
IB (Basal)	Nematodos basales (c-p 2). Redes tróficas del suelo degradadas.	$IB = \frac{b}{(b + e + s)} \times 100$
IC (Canal)	Rutas o vías de descomposición de la materia orgánica (MO).	$IC = \frac{(Fu_2 \times w_2)}{(Ba_1 \times w_1 + Fu_2 \times w_2)} \times 100$
IE (Enriquecimiento)	Fertilidad e incremento de las bacterias tras un proceso de enriquecimiento.	$IE = \frac{e}{(b + e)} \times 100$
IS (Estructura)	Complejidad de la red trófica. Capacidad de supresión de plagas (NPPs).	$IS = \frac{s}{(b + s)} \times 100$

La determinación de los componentes b, e y s dentro de las fórmulas de la red trófica se realizan de acuerdo a Ferris *et al.* (2001) y Ferris (2010). Donde $w_1 = 3,2$ y $w_2 = 0,8$ (constantes).

Índices de red trófica

Índices	Val.	Interpretación
Sánchez-Moreno y Ferris (2018). SP = Sensibilidad a plagas		
IB (Basal)	0-30	Ausencia de perturbaciones. Red edáfica preservada.
	30-60	Presencia de algunas perturbaciones en el suelo (físicas o químicas).
	60-100	La red edáfica se encuentra seriamente dañada.
IC (Canal)	0-30	Poca entrada de MOC. Baja participación de hongos en la DMOC.
	30-60	Moderada/Alta entrada de MOC.
	60-100	Alta participación de hongos en la DMOC.
IE (Enriquecimiento)	0-30	Poca presencia de nematodos bacterívoros (c-p 1). Baja fertilidad.
	30-60	Mediana a alta fertilidad del suelo.
	60-100	Alta fertilidad (rápida DMO). Poca entrada de MOC.

IS (Estructura). **0-30:** Red altamente perturbada. **30-60:** Moderada SP. **60-100:** Resiliencia.

Huellas metabólicas de nematodos (HMN)

Tienen en cuenta, además, de las características del ciclo de vida de cada nematodo, la biomasa de éstos en el suelo estudiado.

$$\mathbf{Biomasa\ fresca\ (\mu g) = (D^2 \times L) / 1,6 \times 10^6} \quad \mathbf{Estimación\ del\ C\ (medio)}$$

Andrássy (1956).

HMC: Representa el 'C' (medio) consumido del conjunto completo de nematodos, independientemente de su rol trófico o función dentro del ecosistema.

HME: Se corresponde con la huella de 'C' de los nematodos que responden más rápidamente al enriquecimiento.

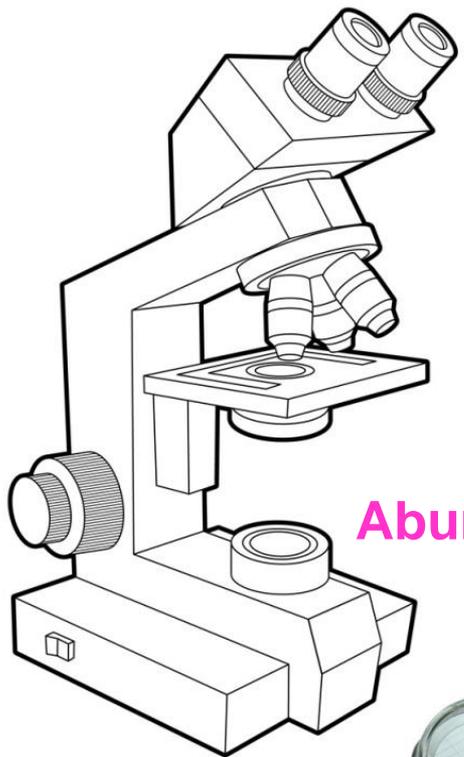
HMS: Esta relacionada con el 'C' consumido por los nematodos ubicados en los niveles tróficos superiores, es decir, aquellos que se caracterizan por tener una función reguladora dentro de la red trófica.



1



2



Abundancia

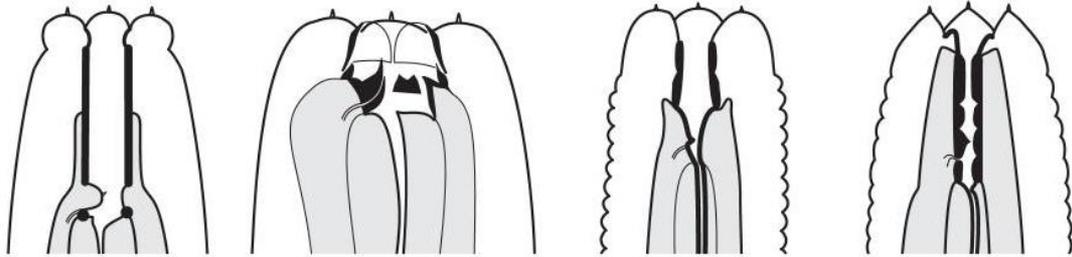
4

Clasificación
Grupo tróficos
Estrategias de vida

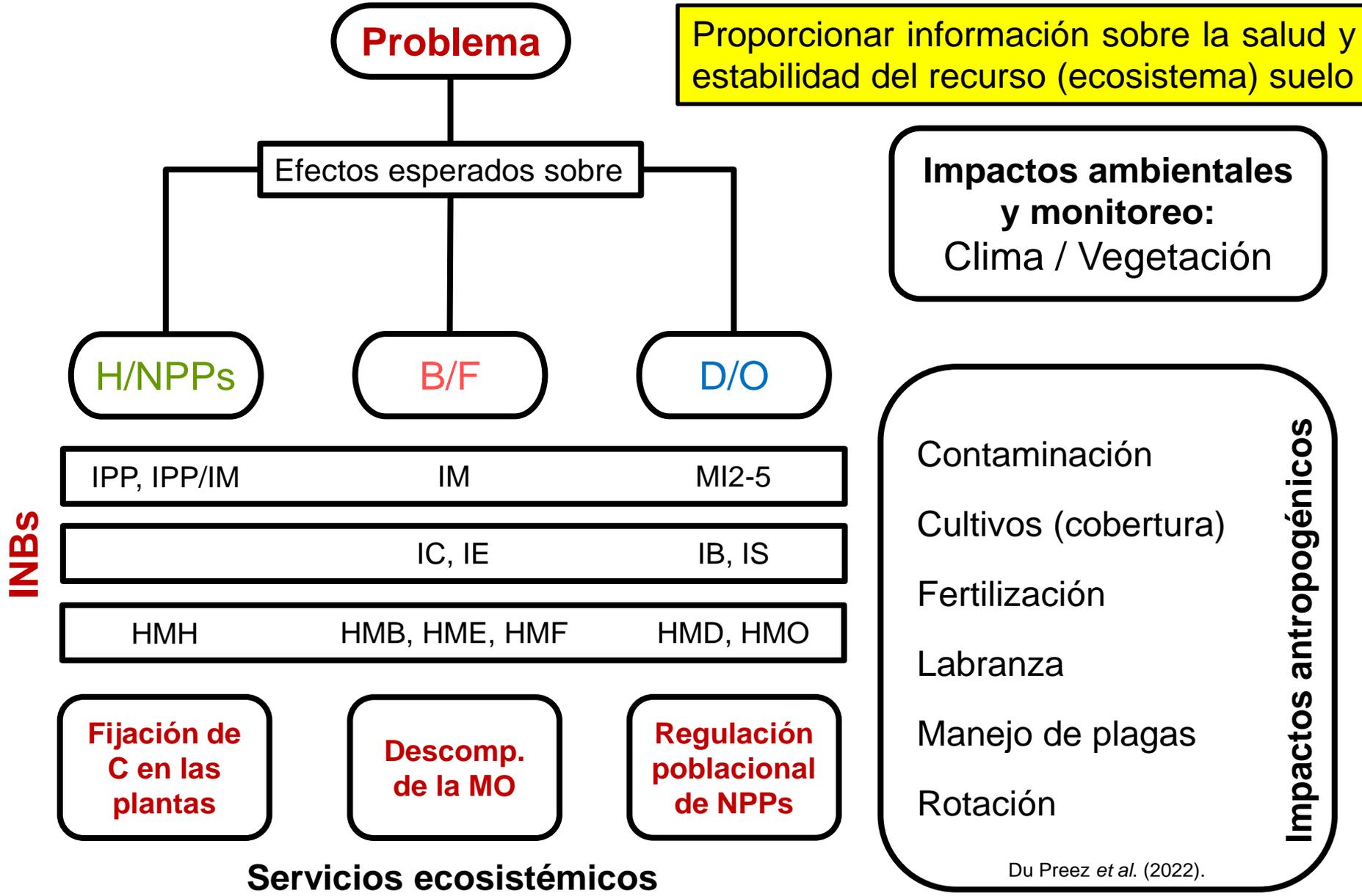


5

Contaje

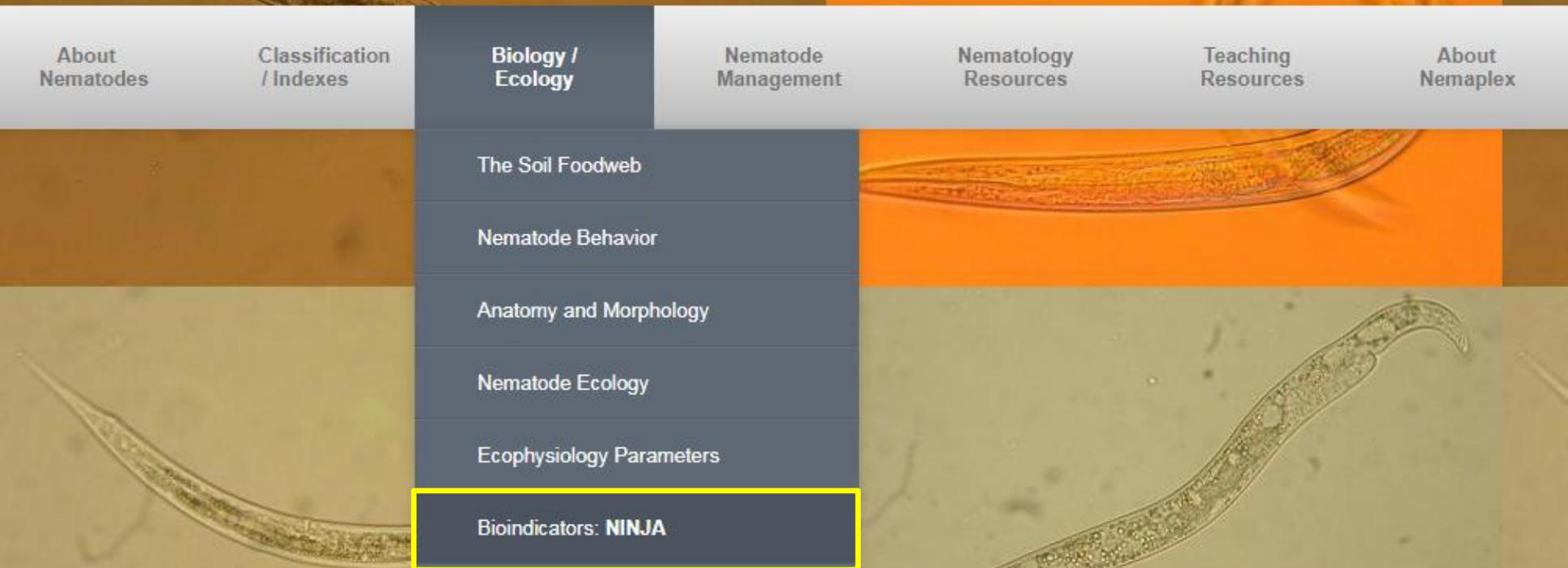


3 **Identificación taxonómica (Familia/Género)**



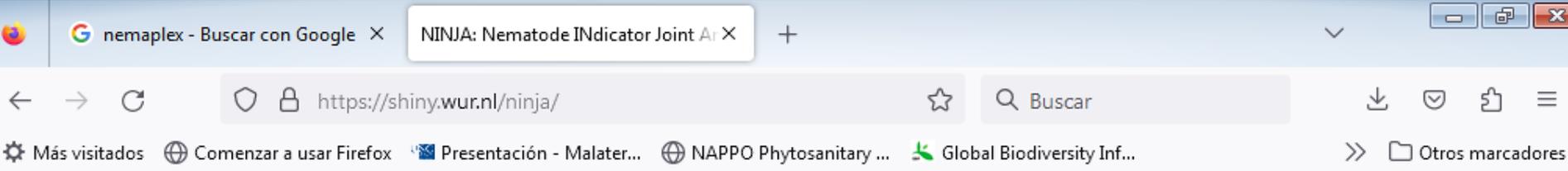
6

Nemalex Main Menu



About Nematodes	Classification / Indexes	Biology / Ecology	Nematode Management	Nematology Resources	Teaching Resources	About Nemalex
		The Soil Foodweb				
		Nematode Behavior				
		Anatomy and Morphology				
		Nematode Ecology				
		Ecophysiology Parameters				
		Bioindicators: NINJA				

ÍNDICES DE MADUREZ, DE RED TRÓFICA Y DE HUELLAS METABÓLICAS



NINJA: Nematode INDicator Joint Analysis

STEP 1 of 2: Arrange an input table as following:

	A	B	C	D
1			Aglencbus	Rhabditidae
2	<your name>	Control	5	25
3	<your name>	Control	6	0
4	<your name>	Control	4	10
5	<your name>	Site A	15	50
6	<your name>	Site A	18	0
7	<your name>	Site A	12	40
8	<your name>	Site B	60.5	200

names of treatments or sampling sites - order alphabetically!

names of families, genera or species, or dauer for dauer larvae

individual sample names (for your convenience only, not used in analysis)

counts normalised per a unit of area/volume/mass

START

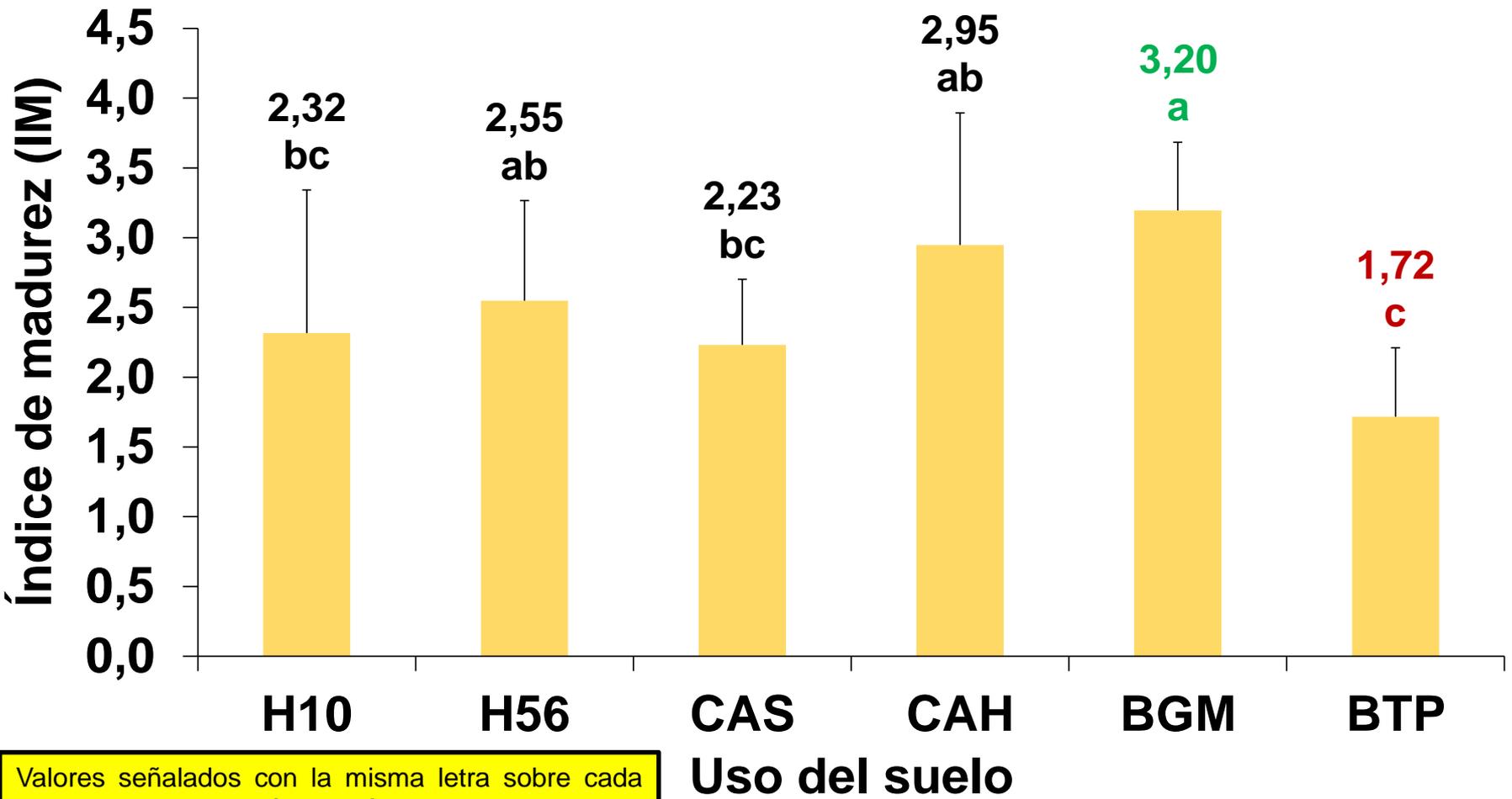
Sieriebriennikov *et al.* (2014). NINJA: An automated calculation system for nematode-based biological monitoring.

<https://shiny.wur.nl/ninja/>

STEP 2 of 2: Save the sheet in the usual

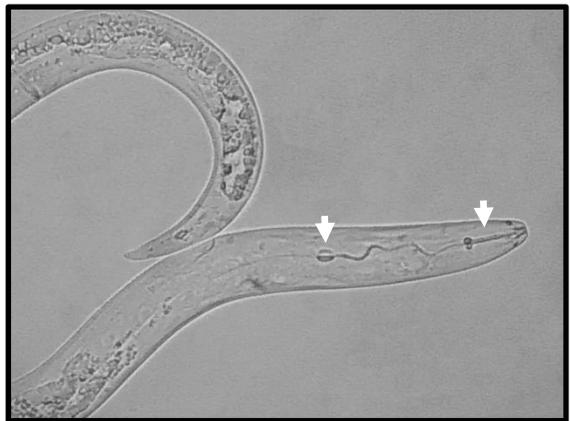
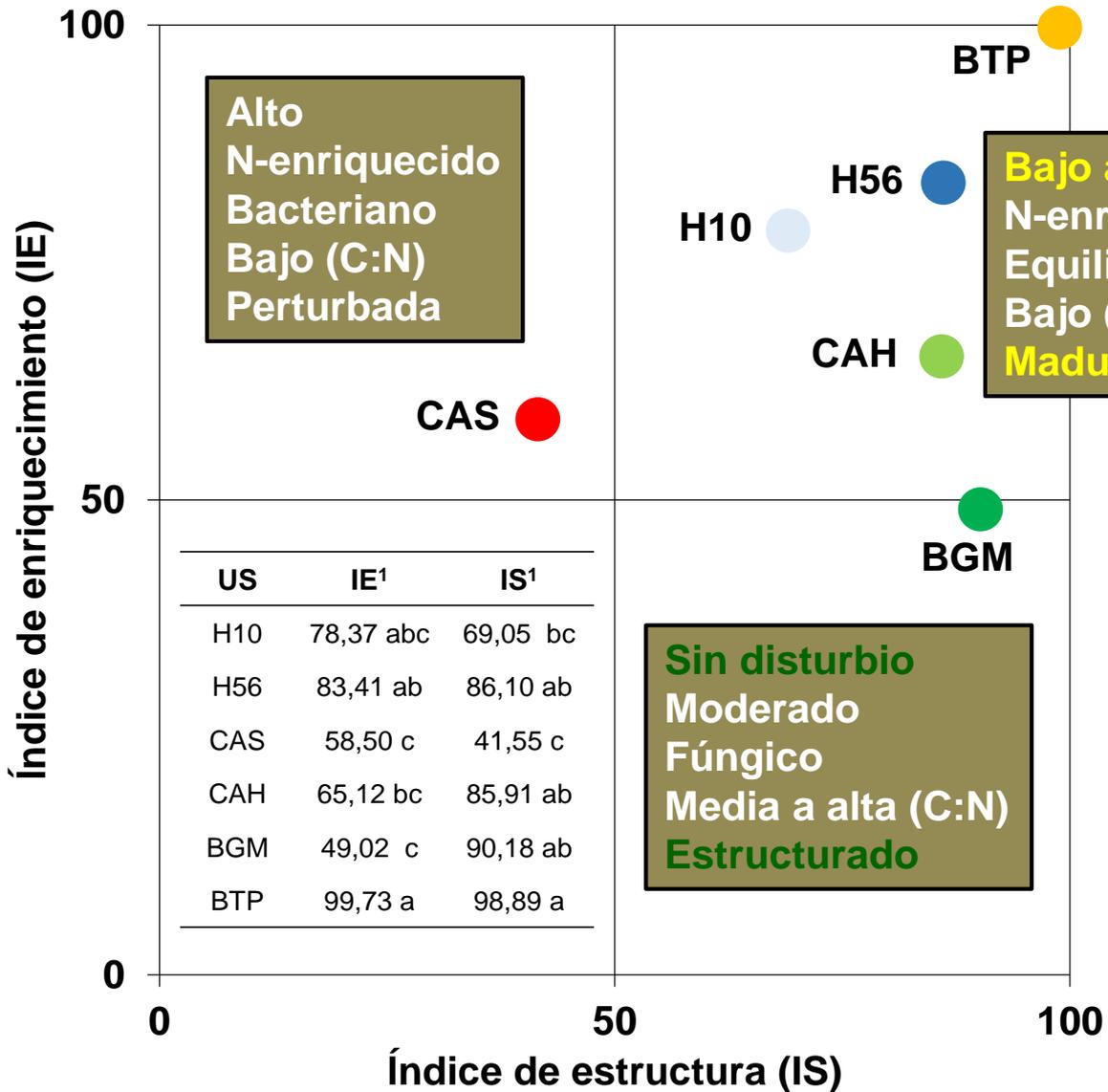


Índice de madurez (IM)

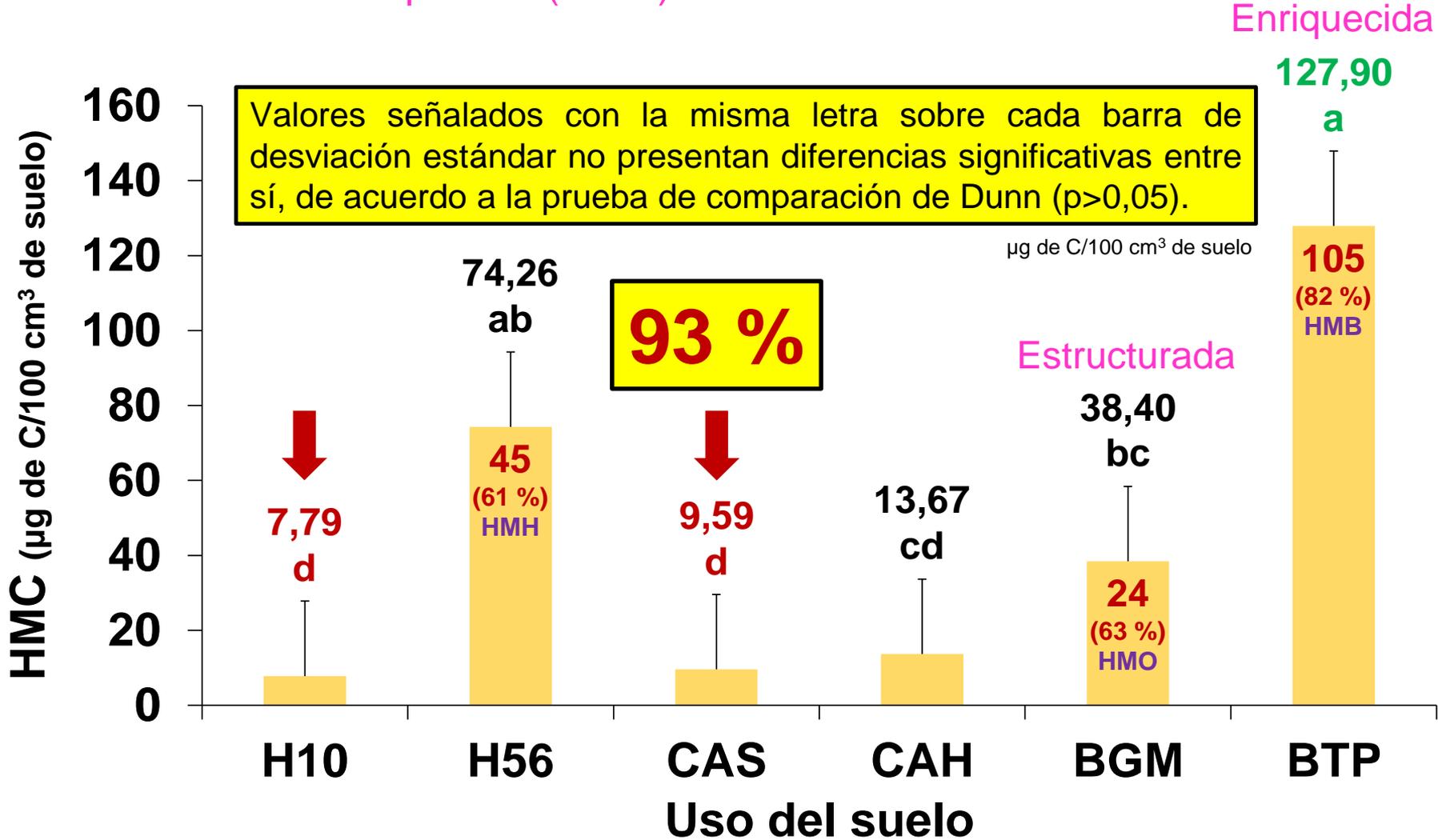


Valores señalados con la misma letra sobre cada barra de desviación estándar no presentan diferencias significativas entre sí, de acuerdo a la prueba de comparación de Dunn ($p > 0,05$).

Diagnóstico de la red trófica edáfica

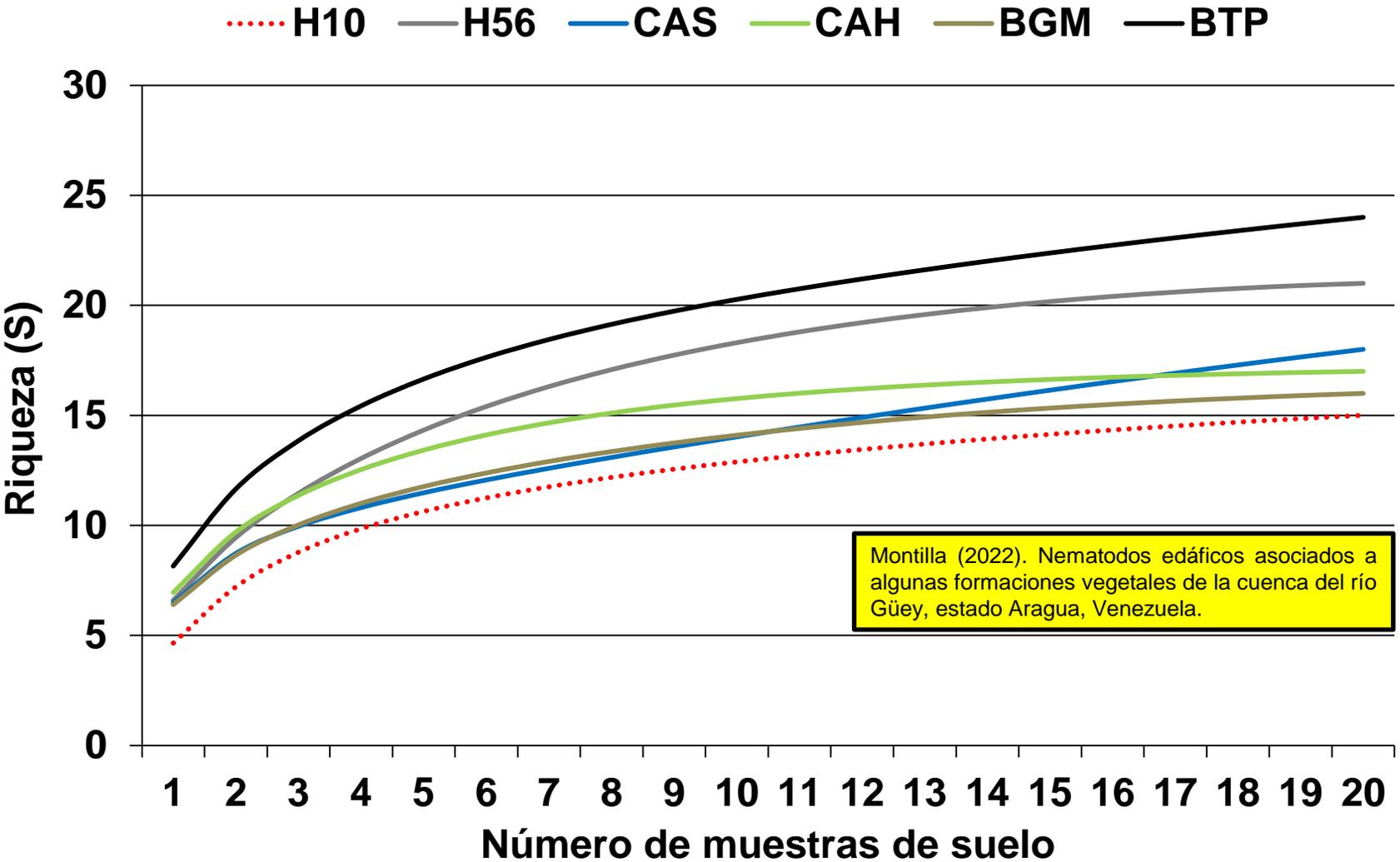


Huella metabólica compuesta (HMC)



Montilla (2022). Nematodos edáficos asociados a algunas formaciones vegetales de la cuenca del río Güey, estado Aragua, Venezuela.

Curvas de acumulación de especies (rarefacción)



Montilla (2022). Nematodos edáficos asociados a algunas formaciones vegetales de la cuenca del río Güey, estado Aragua, Venezuela.

Índices Inferencias Fórmulas

Neher y Darby (2009). General community indices that can be used for analysis of nematode assemblages.

D (Dominancia de Simpson)	La probabilidad (p) de que dos individuos seleccionados al azar en la comunidad pertenezcan a la misma CT.	$D = \sum (pi)^2$
-------------------------------------	--	-------------------

IDS (Diversidad de Simpson)	La 'p' de que dos individuos seleccionados al azar en una comunidad pertenezcan a diferentes CT.	$IDS = 1 - D$
---------------------------------------	--	---------------

H' (Shannon-Weaver)	Es una medida logarítmica de la diversidad de especies (S) en una comunidad.	$H' = - \sum_{i=1}^S pi \times \ln \times pi$
-------------------------------	--	---

Valores comprendidos entre **0-1,35** se consideran de **diversidad baja**, entre **1,36-3,5** **diversidad media** y **> 3,6** **diversidad alta**.

E_{H'} (Equidad)	Se corresponde con una medida de cuán similares son las abundancias de las diferentes especies en la comunidad.	$E_{H'} = \frac{H'}{\ln(S)}$
------------------------------------	---	------------------------------

Cuando $H' < H'_{max}$ = repartición de 'especies' es desigual en la muestra estudiada.
Cuando $H' \geq H'_{max}$ = repartición de 'especies' es homogénea en la muestra estudiada.

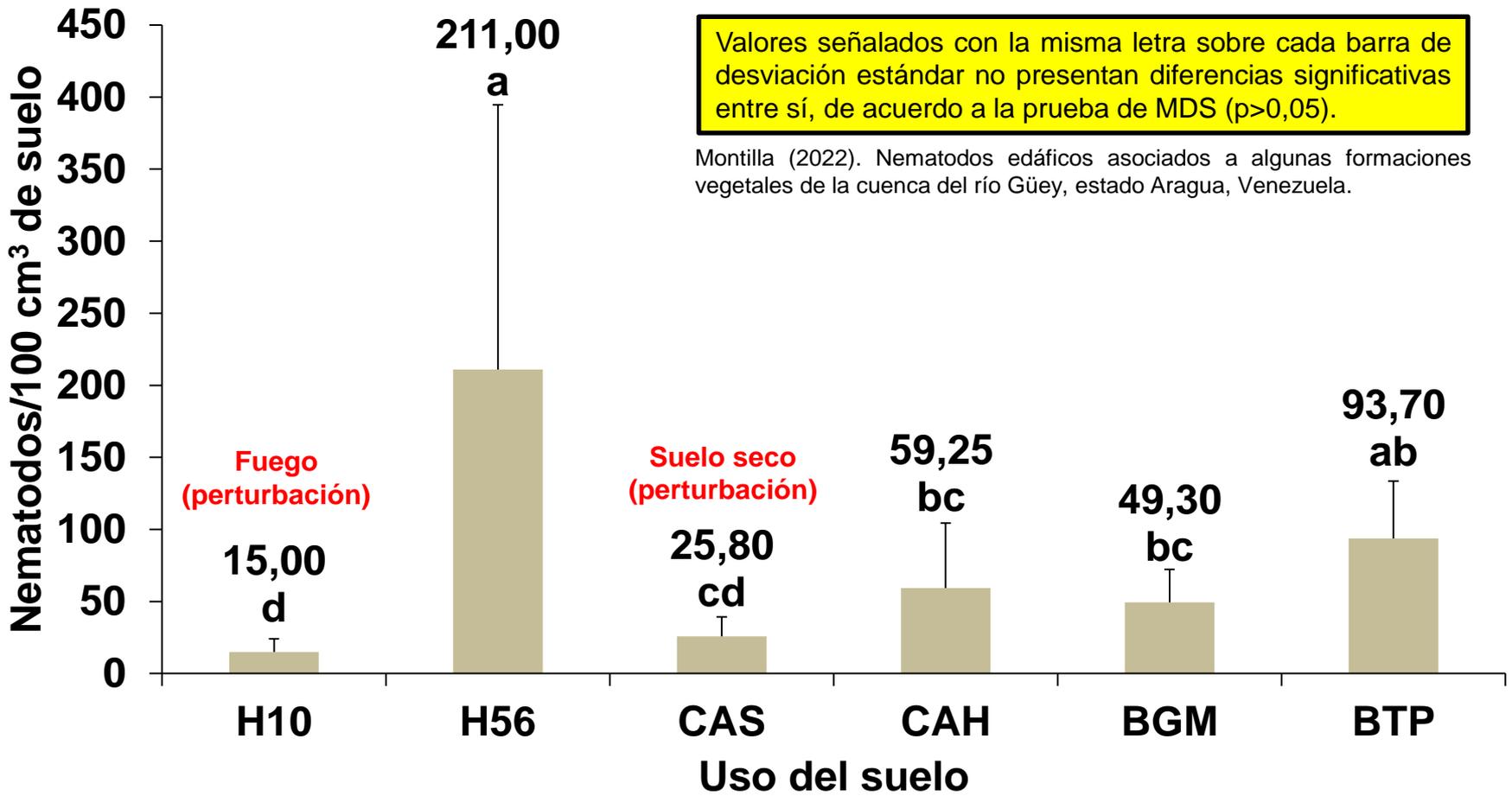
$$pi = \frac{ni}{N}$$

Índices de diversidad biológica

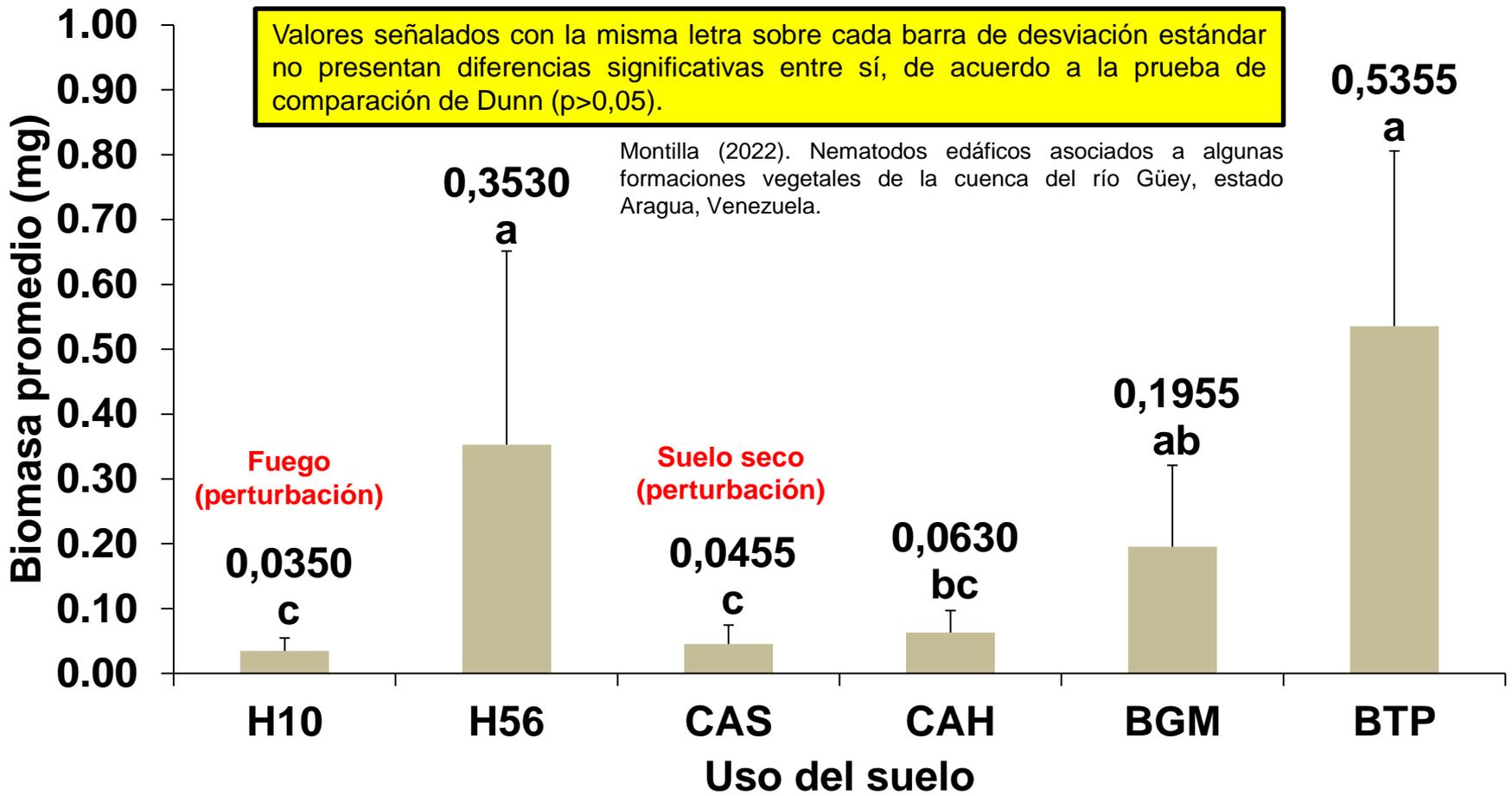
Ecosistema ¹	BN	CO	CC	TO	TC
Descripción	BSA	PMA	Monocultivo	Monocultivo	Monocultivo
Densidad ²	2,5 x 10 ⁶	1,8 x 10 ⁶	9,5 x 10 ⁵	2,1 x 10 ⁶	9,1 x 10 ⁵
H' (Shannon)	4,1	3,2	4,2	3,6	2,8
Equidad	0,58	0,56	0,46	0,48	0,43
IM	3,2	2,4	2,4	2,0	1,6
F/B	0,92	0,2	0,51	0,32	0,32

¹Varela-Benavides (2013). Las comunidades de nematodos como indicadores ambientales. ²Nematodos/m² de suelo.

Abundancia promedio de los nematodos edáficos



Biomasa promedio de los nematodos edáficos



NPPs

Permiten determinar si existe un desequilibrio en los agroecosistemas.

Presión de plagas

Dorylaímidos

Poblaciones muy bajas pueden indicar graves problemas contaminación.

Altamente sensibles

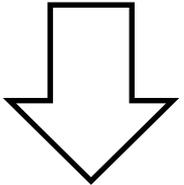
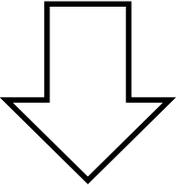
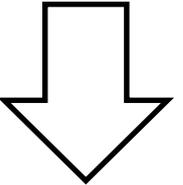
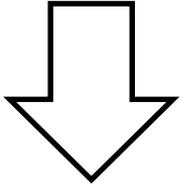
Monónquidos

Ausencia o presencia de poblaciones muy bajas, sugieren redes tróficas poco estructuradas.

Altamente sensibles

Rhabdítidos

Ausencia o presencia de poblaciones muy bajas, indica que la capacidad de biodescomposición de la materia orgánica (MO) es baja o nula.



Interacciones

Tox. ambiental

Presión de herbívoros

Enriquecimiento

Método de manejo

Regulación

Manejo del recurso

Gestión de la MO

Basados en la aplicación de criterios ecológicos en el manejo de los sistemas de producción.

Control de las emisiones (plomo atmosférico) y polución ambiental.

Mejorar condiciones edáficas generales. Usar prácticas agroecológicas.

Incrementar la MO en el suelo. Mineralización del N y P, liberando nutrientes para el crecimiento de las plantas.

1. **Es necesario fortalecer la investigación en el campo de las comunidades de nematodos**, el uso de estos organismos como bioindicadores tiene un futuro prometedor.
2. La gran diversidad que presentan los nematodos los hace excelentes indicadores, sin embargo, esto a la vez constituye una limitante. **La identificación taxonómica tradicional requiere personal capacitado.**
3. Las herramientas o técnicas moleculares, como **complemento de la taxonomía tradicional**, ha permitido mejorar el estudio de la diversidad nematológica.
4. Los nematodos edáficos presentan **características biológicas y ecológicas que les convierten en excelentes indicadores** del estado de conservación o perturbación del suelo en los sistemas agrícolas.
5. Actualmente numerosos científicos se encuentran trabajando en el ámbito de la Nematología Agrícola, y el interés por la **ecología de nematodos y su uso como indicadores ambientales se está incrementando rápidamente.**

La mayoría de las ilustraciones utilizadas en esta presentación provienen de internet. Han sido adaptadas y/o modificadas con fines **DIDÁCTICOS** y **EDUCATIVOS**. Se señala la fuente cuando es posible.

Diseño y composición: Perichi, Guillermo. (©) 2024 (PIEPZA).

Gracias por su atención.



SEMINARIO I

22 de NOVIEMBRE de 2024