

Efectos del manejo agronómico en la comunidad de macroinvertebrados y en la microflora autotrófica edáfica en una secuencia de cultivos

Saluso, A.^{1,2}; Sánchez, C.I.¹; Coll, L.²; Cuatrín, A.^{1,2}; Gregorutti, V.C.^{1,2}; Cáceres, C.M.¹; Facendini, V.E.¹; Beltramino, F.¹

Author/es: ¹Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Entre Ríos, Ruta Pcial. N° 11 Km 10,5 Oro Verde - Entre Ríos (3100), Argentina. ²Estación Experimental Agropecuaria (EEA) del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

Contacto: adriana.saluso@uner.edu.ar

ARK: <https://id.caicyt.gov.ar/ark:/s22504559/r52mjhe1t>

RESUMEN

El experimento se llevó a cabo en INTA Paraná. Dentro de una secuencia de cultivos se evaluaron dos tipos de manejo contrastantes Intensificación sustentable (MIS) y Transición hacia la Agroecología (MTA). Se siguió un diseño en bloques con arreglo en parcelas subdivididas de los tratamientos, con tres repeticiones. Se contabilizaron los invertebrados (ind m⁻²) en rastrojo y en tres estratos, mediante monolitos de 25 cm de lado, en tres estaciones por unidad muestral. Se tomaron muestras superficiales para evaluar la comunidad autotrófica a través del contenido de los pigmentos fotosintéticos y se determinó la composición específica de cianobacterias. La densidad de invertebrados (DI) se concentró en los primeros 10 cm del suelo (52%), siendo Oligochaeta, Diplopoda e Insecta, las clases zoológicas predominantes. En la secuencia T-S- CC-M se registró un 26% más de invertebrados en MIS vs MTA. Se observó una relación lineal directa entre MOP y la DI. El contenido de clorofila *a* osciló entre 11,5 y 27,8 mg cm⁻² (MTA) y entre 10,8 y 31,3 mg cm⁻² (MIS). El índice de pigmentos mostró que la comunidad algal se recuperó más rápidamente en MIS vs MTA. MIS registró mayor riqueza específica de cianobacterias, con predominio de especies filamentosas no heterocíclicas.

Palabras clave: Invertebrados edáficos, comunidad autotrófica, cianobacterias, cultivos de renta, cultivos de cobertura, materia orgánica particulada.

Objetivos propuestos y cumplidos

Objetivo General

- Evaluar la factibilidad de alternativas de manejo sustentable y su incidencia en la biota edáfica y en la productividad de los cultivos, en una secuencia integrada por cultivos extensivos y de servicio.

Objetivos Específicos

- Determinar el efecto del cultivo antecesor en la densidad de la fauna y microflora autotrófica edáfica con relación al tipo de manejo agronómico, en una secuencia de cultivos.
- Identificar las clases taxonómicas de la biota edáfica que caracteriza a cada sistema de manejo agronómico.
- Establecer la influencia del tipo de manejo agronómico en la distribución vertical de la edafofauna.
- Relacionar la materia orgánica particulada con la densidad de invertebrados, de acuerdo con el tipo de manejo agronómico, en una secuencia de cultivos.

Marco teórico (síntesis)

Los sistemas agrícolas normalmente se evalúan en términos de productividad y rendimiento económico, con menor énfasis en otros aspectos, tales como, la salud del suelo, la provisión de servicios ecosistémicos y la biodiversidad, los que son esenciales para la multifuncionalidad de los agroecosistemas (Zerbino, 2010; Wittwer *et al.*, 2021). Los organismos del suelo, a través de sus interacciones ecológicas complejas, regulan un rango amplio de funciones ecosistémicas, las que son fundamentales para mantener las propiedades funcionales del suelo (Barrios, 2007). En una primera aproximación, la fauna edáfica comprende aquellos organismos que pasan toda o parte de su vida en el interior del suelo, sobre la superficie inmediata de este, en la hojarasca superficial (Dávila *et al.*, 2022). Las distintas prácticas de manejo y las tecnologías aplicadas ejercen importantes efectos en la composición de las comunidades de la biota y su nivel de actividad (Lavelle *et al.*, 1993). En este sentido se encontró un 76% menos de individuos de la edafofauna en campos agrícolas sometidos a labranza convencional en comparación con aquellos no laboreados (siembra directa) (Saluso *et al.*, 2004). En una revisión bibliográfica sobre los efectos de los fitosanitarios sobre las lombrices se determinó que los mismos interfieren en las actividades enzimáticas, incrementan la mortalidad de los individuos, disminuyen la fecundidad y el desarrollo, producen cambios en el comportamiento tal como la tasa de alimentación y a nivel comunidad, reducen la biomasa y la densidad de los anélidos (Pelosi *et al.*, 2014). Otras investigaciones demostraron que los fungicidas a base de cobre son directamente tóxicos para la oligoetofauna, además de interferir en su comportamiento y afectar las tasas de desarrollo y supervivencia (Eijsackers *et al.*, 2005).

Las algas del suelo, entre las que se incluyen las cianobacterias y las microalgas eucariotas, desempeñan un papel fundamental en el funcionamiento de los ecosistemas y en los procesos ecológicos del suelo (Chang *et al.*, 2025). Por las características fisiológicas, forman parte de la microflora autotrófica edáfica, que habitan los primeros centímetros por lo que están expuestos directamente a las condiciones climáticas y a

las prácticas de manejo agronómico que se realizan en un lote. La descripción de los grupos microbianos que integran parte de la microflora autotrófica en suelos agrícolas fue realizada, entre otros, por Zancan *et al.* (2006), Lin *et al.* (2013), Davis *et al.* (2013), quienes caracterizaron los principales grupos de microalgas eucariotas y cianobacterias que se desarrollan en suelos sujetos a diferentes usos y manejos agronómicos. Las cianobacterias, en particular, son microorganismos procariotas que constituyen un componente fundamental de los suelos, tanto en zonas áridas como en zonas húmedas (Whitton, 2000). Debido a su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico, se estudiaron especialmente en agroecosistemas arroceros en relación con la fertilidad del suelo (Fenandez- Valiente y Quesada, 2004; Saadatnia *et al.* Rihai, 2009).

Por lo expuesto, existe un vacío de información que relacione estrategias de manejo no convencionales con las comunidades de invertebrados y de cianobacterias habitantes del suelo, en secuencias de cultivos extensivos y de servicio. El presente estudio generó bases científicas sólidas en relación con la posibilidad de producir con un enfoque de transición hacia la agroecología, a fin de compatibilizar la sostenibilidad ambiental, productiva y social.

Marco metodológico (síntesis)

El experimento se realizó en un lote de la EEA Paraná del INTA. Se consideraron dos sistemas de manejo diferenciales: Manejo de Intensificación Sustentable (MIS) y Manejo de Transición hacia la Agroecología (MTA). El primero se fundamentó en los criterios relacionados con las buenas prácticas agrícolas en lo que respecta a la reposición de nutrientes y al manejo agronómico de los cultivos involucrados en la secuencia, incluyendo el manejo de organismos perjudiciales (OP) (malezas, invertebrados plaga y patógenos). Este último se sustentó en los umbrales de acción establecidos para cada grupo y la utilización de fitosanitarios de menor impacto ambiental, seleccionados en base al Coeficiente de Impacto Ambiental (EIQ) (Kovach, 1992), al modo de acción (IRAC, 2025) y a la clasificación toxicológica (WHO, 2019). El MTA implicó un uso mínimo y más eficiente de insumos (principalmente fitosanitarios y fertilizantes) de tal manera que se reduzcan sus impactos negativos. También involucró otras prácticas agronómicas tales como el manejo del arreglo espacial del cultivo (distanciamiento entre surcos y densidades de siembra), cultivares con tolerancias específicas y la incorporación de cultivos de cobertura multiespecie (Gliessman *et al.*, 2007; Tittonell, 2019).

Secuencia de cultivos bianual propuesta:

Fase 1: Cultivo de cobertura multiespecie-maíz tardío-trigo-soja

Fase 2. Trigo-soja-cultivo de cobertura multiespecie-maíz tardío

MUESTREOS DE LA BIOTA EDÁFICA

A. Invertebrados edáficos

Previo a la siembra de todos los cultivos de la secuencia propuesta y posterior a la cosecha/supresión de estos se realizó el muestreo de los invertebrados. Se consideran 3 estaciones de muestreo por cada unidad experimental siguiendo un recorrido en M, guardando un distanciamiento entre ellas de 10 m. Para el muestreo de la fauna edáfica se utilizó la metodología propuesta por el Programa Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF) (Anderson *et al.* Ingram, 1993), la que consistió en monolitos de 25 cm x

25 cm y 30 cm de profundidad. En cada uno de ellos se contabilizó la densidad de invertebrados en la interfase rastrojo-suelo (R-S) y en tres estratos: E1:0-10 cm, E2:10-20 cm y E3:20-30 cm (Figura 1).

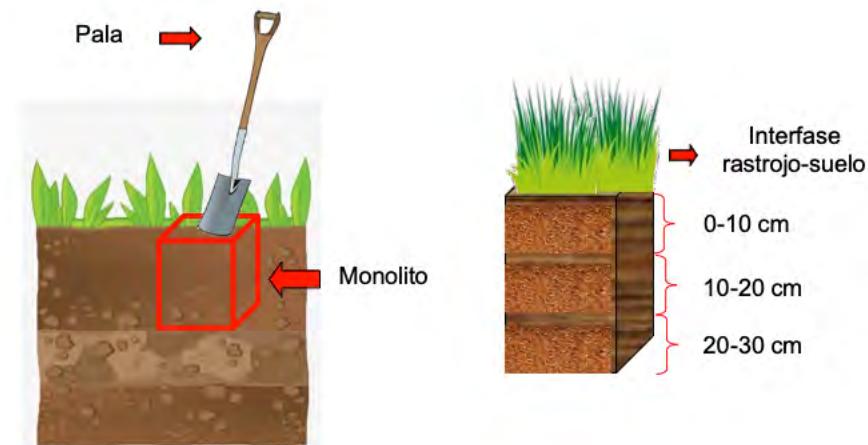


Figura 1. Sistema TSBF para el muestreo de la fauna edáfica.

Análisis de suelo

En el Laboratorio de Análisis de Suelos de la FCA-UNER, se determinó carbono en la fracción de la materia orgánica particulada (C-MOP), obtenido a partir de la fracción de suelo de 53 a 2000 μm (Cambardella y Elliot 1992), con la finalidad de establecer la relación entre la densidad de invertebrados y la mencionada propiedad edáfica. Por tratamiento (MIS y MTA), se tomó una muestra compuesta de suelo, a las tres profundidades: (E1:0-10 cm, E2:10-20 cm y E3:20-30 cm).

B. Microflora autotrófica

Se empleó un aro de 3 cm de diámetro para demarcar un área y se raspó con una espátula los 0,5 cm superficiales de la misma (Metting, 1994) (Figura 2). Se consideraron siete estaciones de muestreo próximos al sitio de muestreo de la fauna edáfica y las muestras se tomaron previo la siembra de todos los cultivos de la secuencia propuesta y posterior a la cosecha/supresión de los mismos.

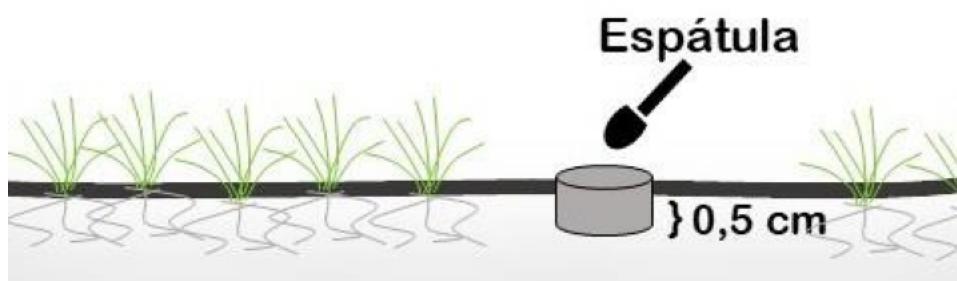


Figura 2. Muestreo de suelo empleando aro metálico para el análisis de la microflora autotrófica.

La muestra superficial de suelo (Figura 2) se separó en dos partes para su análisis en el laboratorio. Una parte se destinó a la determinación del contenido de pigmentos

fotosintéticos, mientras que otra parte se fijó con formol al 5% para la observación y recuento microscópico directo de cianobacterias y otros microorganismos fotosintetizadores.

Determinaciones de variables biológicas

a. Determinación de pigmentos fotosintéticos

La determinación de los pigmentos fotosintéticos se realizó previa extracción con acetona 90% v/v y lectura espectrofotométrica (APHA, 1995). Para facilitar la extracción de los pigmentos fotosintéticos, se trituró en forma mecánica una porción de peso conocido de la muestra de suelo, con ayuda de un mortero. Luego de la extracción, la muestra se conservó durante el lapso de 2 horas en condiciones de oscuridad, momento a partir del cual se procedió a la centrifugación durante 5 minutos a una velocidad de 3500 rpm, y posterior filtrado para separar la fase sólida de la líquida. La determinación de los pigmentos fotosintéticos se realizó mediante espectrofotómetro, midiendo las longitudes de onda 750 nm; 664 nm; 480 nm y 430 nm. El contenido de pigmentos fotosintéticos se estimará a través de la fórmula propuesta por Varela (1981).

b. Observación microscópica de cianobacterias y microalgas (especies presentes)

El recuento de la comunidad autotrófica se realizó en cámara de recuento Neubauer, en cinco de los nueve campos. Se trabajó con aumentos de 400X (Metting, 1994). Se consideró a cada agrupamiento natural de algas (individuos, filamentos, colonia o célula aislada) como una unidad de conteo natural (Acker, 2002). La densidad de los morfolitos reconocidos se expresó en individuos cm^{-2} . En forma paralela se confeccionó un registro fotográfico de las especies observadas, empleando cámara digital incorporada al microscopio óptico. La identificación taxonómica de las especies de cianobacterias presentes en el suelo se realizó mediante las claves de géneros y especies de Desikachary (1959) y Komarek y Anagnostidis (1998; 2005) y Komarek (2013), entre las más importantes.

Diseño Experimental y análisis estadístico

Se siguió un diseño en bloques con arreglo en parcelas subdivididas de los tratamientos, con tres repeticiones.

Invertebrados edáficos

Los datos se analizaron mediante un ANOVA y se utilizó el paquete estadístico R (R Core Team, 2020). La variable densidad de invertebrados (individuo m^{-2}) se transformó a \log_{10} .

Parcela principal: Tratamientos MIS (Manejo de Intensificación Sustentable) y MTA (Manejo de Transición hacia la Agroecología). Subparcelas: Cultivos (cultivo de cobertura, maíz, trigo, soja).

Materia orgánica particulada

Para establecer la relación entre la fracción de carbono de la materia orgánica particulada (C- MOP) y la densidad de invertebrados, se hizo un análisis de regresión lineal para las combinaciones de los factores (tratamiento, cultivos, profundidad, año). Se

utilizó el paquete estadístico R (R Core Team, 2020).

Comunidad autotrófica

Se realizó un ANOVA para medidas repetidas en el tiempo, consignando como tiempo los cultivos de la secuencia establecida, para las variables contenido de clorofila *a* y feopigmentos. Se verificaron previamente los supuestos de normalidad a través de las Prueba de Anderson y de homogeneidad de varianzas en forma gráfica. Se utilizó el paquete estadístico R (R Core Team, 2019). Se consideró como unidad experimental la parcela dentro de cada bloque.

Además, se calculó el índice de pigmentos (Ramirez, 2005) como proporción porcentual entre la concentración de clorofila *a* activa y la concentración de pigmentos totales (clorofila *a* activa + feopigmentos). Este índice se considera una estimación aproximada de la condición fisiológica de la comunidad algal.

Síntesis de resultados y discusión

En los ciclos agrícolas 2020-2023, en la secuencia de cultivos Trigo- Soja-Cultivo de cobertura- Maíz, en el tratamiento MIS se realizaron 42 labores agrícolas mientras que en MTA, se efectuaron 34. En lo que respecta a la secuencia Cultivo de cobertura-Maíz-Trigo-Soja, el número de labores fue similar, 38 y 36 para MIS y MTA, respectivamente (Tabla 1). La gran diferencia entre estos tratamientos radica en la cantidad de aplicaciones con herbicidas (MIS) y en el número de veces que se utilizó los siguientes implementos agrícolas: rolo, reja plana, desmalezadora mecánica y carpidor para el manejo de las malezas (MTA).

Manejo Agronómico	Ciclo 2020-2021			
	Trigo		Cultivo de cobertura	
	MIS	MTA	MIS	MTA
Siembra	1	1	1	1
Fertilización	2	2	1	1
Herbicidas	1	-	1	-
Insecticidas	1	-	-	-
Rulado	-	-	-	2
Reja plana	-	-	-	1
Cosecha	1	1	-	-
Soja		Maíz		
Siembra	1	1	1	1
Inoculación	1	1	-	-
Tratamiento de semillas	1	1	1	1
Herbicidas	2	-	2	-
Insecticidas	1	-	-	-
Fertilización	-	-	1	-
Resiembra	-	-	1	-
Cosecha	1	1	1	1
Ciclo 2021-2022				
Cultivo de cobertura		Trigo		
		MIS	MTA	MIS
Siembra	1	1	1	1
Fertilización	1	1	3	3
Herbicidas	1	-	1	-
Insecticidas	1	-	-	-
Rulado	-	1	-	-
Reja plana	-	1	-	1
Desmalezado	-	-	-	1
Cosecha	-	-	1	1
Maíz		Soja		
		MIS	MTA	MIS
Siembra	1	1	1	1
Inoculación	-	-	1	1
Tratamiento de semillas	1	1	1	1
Herbicidas	2	-	2	-
Insecticidas	-	-	1	-
Fertilización	1	1	-	-
Reja plana	-	1	-	1
Cosecha	1	1	1	1

		Ciclo 2022-2023			
		Trigo		Cultivo de cobertura	
		MIS	MTA	MIS	MTA
Siembra		1	1	1	1
Tratamiento de semillas		1	1	-	-
Fertilización		1	1	-	-
Herbicidas		2	-	2	-
Insecticidas		1	-	-	-
Rolado		-	1	-	2
Reja plana		-	-	-	-
Cosecha		1	1	-	-
		Soja		Maíz	
		MIS	MTA	MIS	MTA
Siembra		1	1	1	1
Inoculación		1	1	-	-
Tratamiento de semillas		1	1	1	1
Herbicidas		2	-	2	-
Insecticidas		4	-	-	-
Fertilización		-	-	1	1
Reja plana		-	2	-	2
Carpidor		-	-	-	1
Cosecha		1	1	1	1
Ciclo 2023					
		MIS	MTA	MIS	MTA
		Cultivo de cobertura		Trigo	
Siembra		1	1	1	1
Tratamiento semillas		-	-	1	1
Fertilización		-	-	1	1
Herbicidas		1	-	2	-
Insecticidas		-	1	-	-
Rolado		-	4	-	-
Reja plana		-	-	-	1
Desmalezado		-	-	-	1
Cosecha		-	-	1	1

Tabla 1. Labores agronómicas realizadas en cada tratamiento, cultivo y ciclo agrícola

Invertebrados edáficos

En lo que respecta a la distribución vertical de los invertebrados de suelo, independientemente de la secuencia de cultivo y del tratamiento, la mayor densidad de invertebrados (DI) se concentró en los primeros 10 cm del suelo (alrededor del 50% del total registrado). Estos resultados coinciden con otras investigaciones, donde reportaron, para esa profundidad, valores de 80% y 56% (Aratat *et al.*, 2002; Noguera-Talavera *et al.* 2017) con respecto a la densidad total de organismos de suelo. Dicha zona correspondería a la interface entre el liter y el dominio del suelo funcional lo que explicaría la elevada concentración de invertebrados (Padoa *et al.*, 2012). Por otro lado, la menor DI se observó en la interfase rastrojo-suelo, aunque estuvo condicionada por los desechos de la cosecha y por la cobertura de los cultivos de servicio (Figura 3 A y B).

En la secuencia T-S-CC-M, en el tratamiento MTA, se registró 20% y 19% más de individuos m-2 en la interfase R-S y en el E2, mientras que en los estratos 1 y 3 las diferencias fueron levemente superiores, en comparación con MIS (Figura 4 A).

En la secuencia CC-M-T-S, en la interfase R-S y en las tres profundidades se registró mayor DI en MIS que en MTA, dentro de un rango comprendido entre 8 y 43% (Figura 4 B).

Independientemente de la secuencia de cultivos y del tratamiento, los cultivos de verano, maíz y soja presentan los mayores valores de DI, a pesar de que son los que tienen un mayor número de labores culturales y fitosanitarios asociados, contrariamente a lo que se esperaría en comparación con los cultivos de cobertura multiespecie. Es

probable que estos últimos contribuyan a una mayor diversidad y abundancia de artrópodos epígeos, en consonancia con la riqueza de polen y néctar que aportan sus flores. La supresión mecánica y química podría ejercer un efecto indeseado en la fauna que habita el suelo, sumado a otros implementos, como la reja plana, en el caso del MTA, requerido para el control de malezas (Rodríguez et al., 2025).

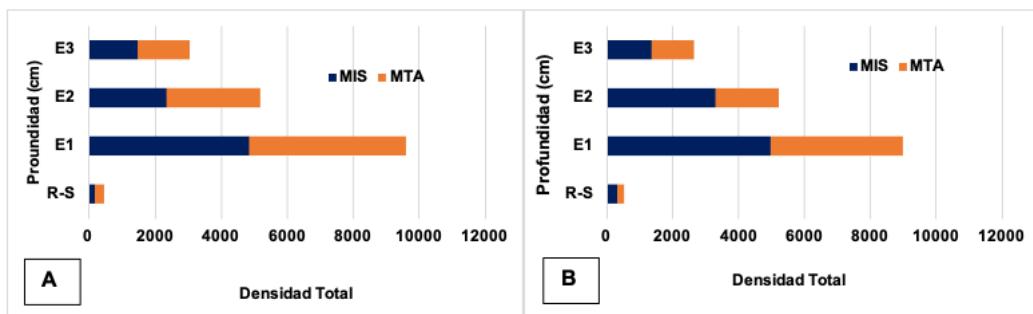


Figura 3. Densidad total de invertebrados (Σ ind m^{-2}) en la secuencia T-S-CC-M (A) y en CC-M- T-S (B), en la interfase rastrojo-suelo y las tres profundidades (E1, E2 y E3) según los tratamientos MIS y MTA.

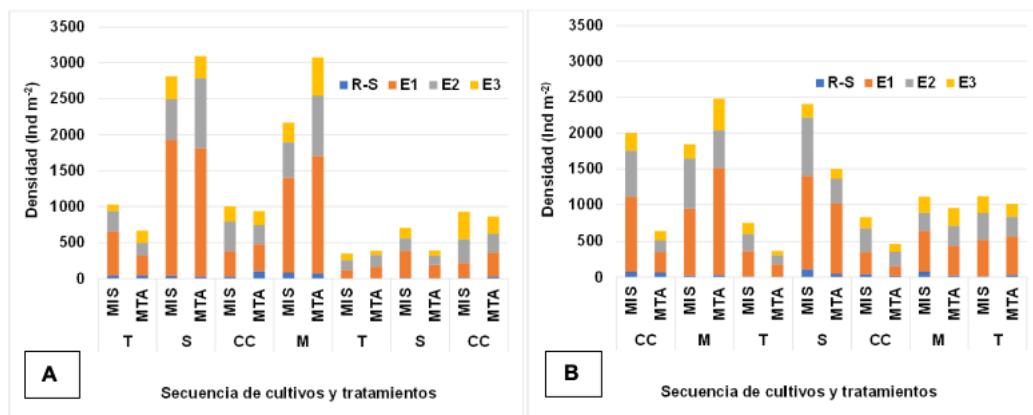
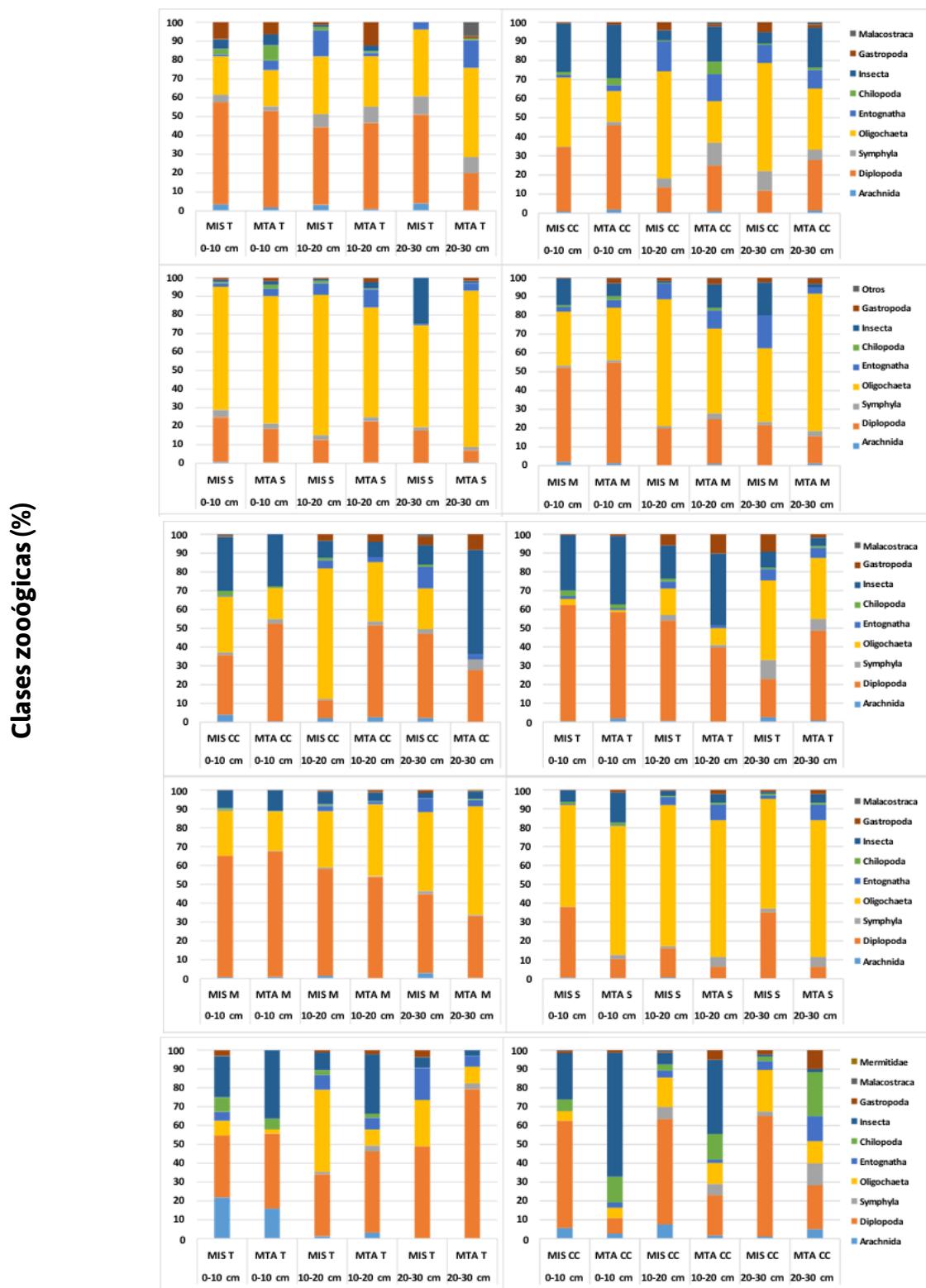


Figura 4. Densidad de invertebrados (ind m^{-2}) en la secuencia T-S-CC-M (A) y en CC-M-T-S (B), en los tratamientos MIS y MTA y en la interfase rastrojo-suelo y las tres profundidades (E1, E2 y E3).

En los muestreos de suelo realizados, en la mayoría de los casos, se hallaron nueve clases zoológicas, independientemente del cultivo y tratamiento. Dentro de ellas, se destacaron por su abundancia Oligochaeta, Diplopoda e Insecta. Cabe consignarse que en los relevamientos no se incluyeron insectos sociales tales como hormigas y termitas (Figura 5).

Dentro de los Oligochaeta se incluyeron los Enchytraeidae. Los integrantes de este grupo son organismos descomponedores, ampliamente estudiados como indicadores de la fertilidad del suelo, entre otros. Varios estudios mencionan que las comunidades de lombrices decrecen en número y biomasa en ambientes perturbados, principalmente con uso excesivo de fitosanitarios, maquinaria pesada y falta de cobertura, en comparación con ambientes menos alterados (Rodriguez, 2000; Bartz et al., 2013; Jouquet et al., 2014).



Clases zoológicas (%)

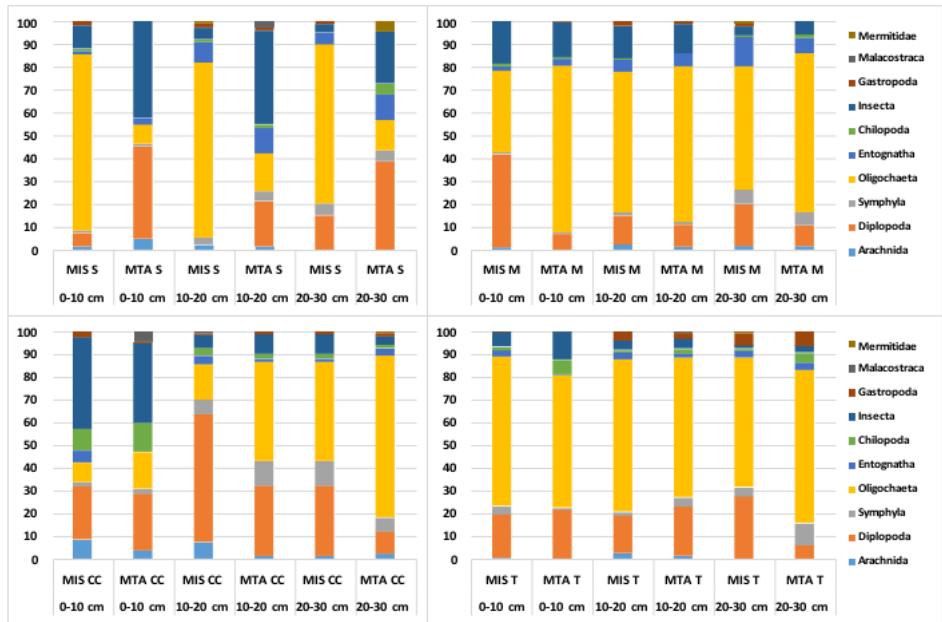


Figura 5. Composición porcentual de las clases zoológicas halladas en los muestreos de suelo, en la secuencia de cultivos evaluada, tratamiento y profundidad.

Tratamiento, cultivo y profundidad

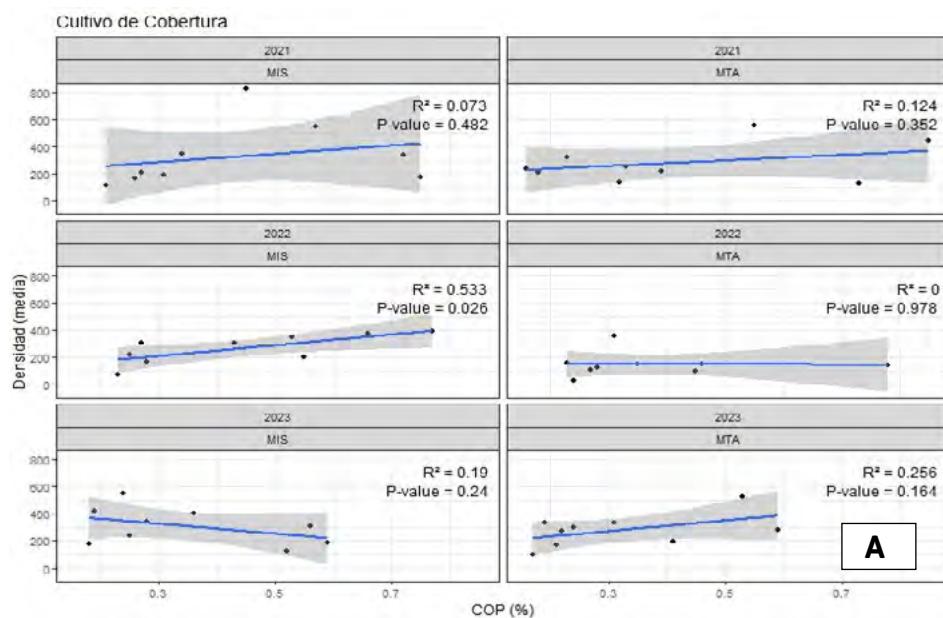
Los análisis de la varianza para cada cultivo, tratamiento y profundidad fueron significativos para la densidad de invertebrados en trigo y soja. En el caso de cultivos de cobertura y de maíz no se hallaron diferencias significativas en la densidad de invertebrados entre tratamientos (MIS vs MTA) pero sí entre esta variable y la profundidad y el año agrícola (Tabla 2). Asimismo, en ninguno de los análisis realizados se hallaron interacciones entre los factores ($p>0,05$), esto es, tratamiento: profundidad; tratamiento: año; profundidad: año; tratamiento: profundidad: año.

Tabla 2. Análisis de la varianza por cultivo, tratamiento, profundidad y ciclo agrícola en relación con los tres años evaluados de la secuencia establecida: trigo, soja, cultivo de cobertura y maíz.

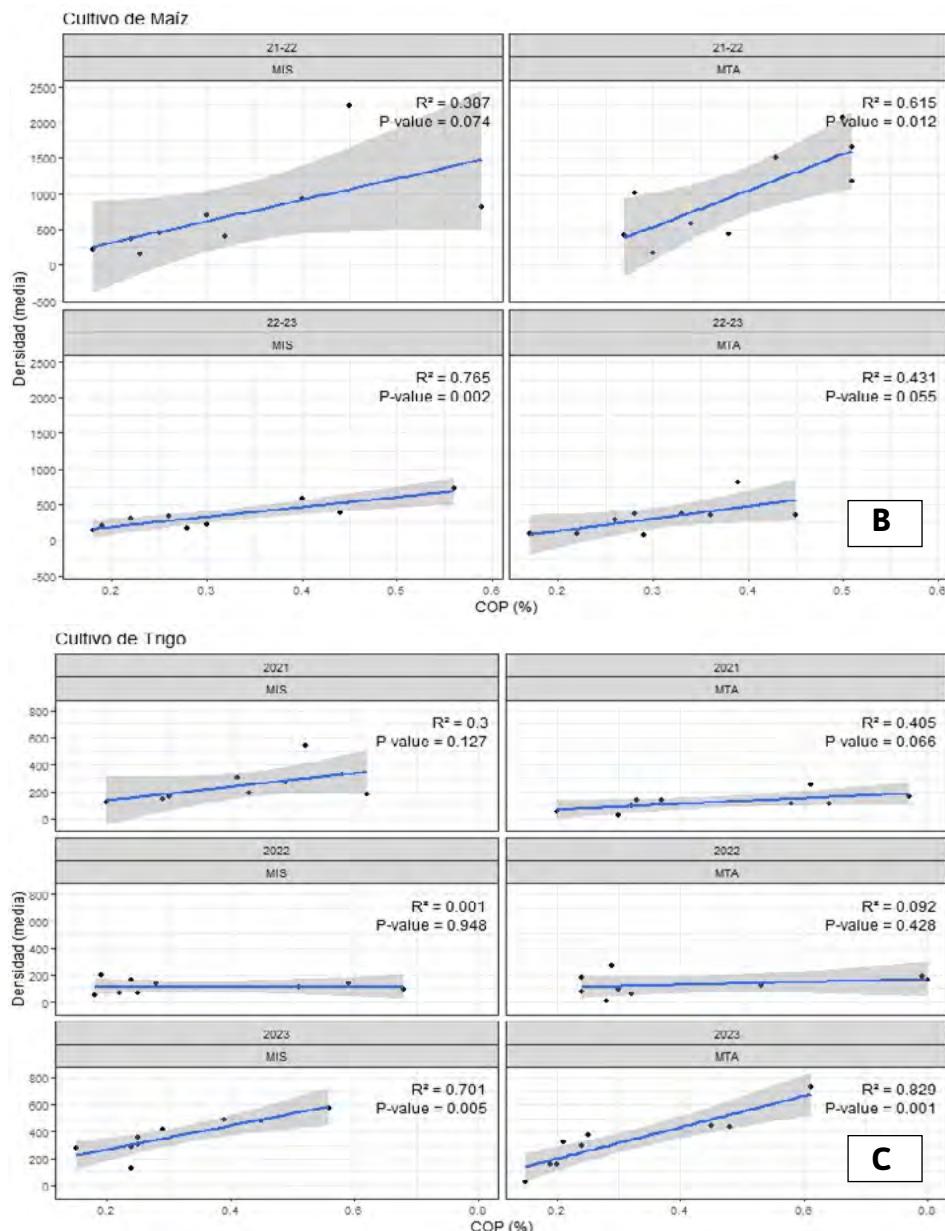
	Tratamiento	Profundidad	Año
TRIGO			
χ^2	7,42	32,37	36,61
p-valor	0,0064	9,35 e ⁻⁰⁸	1,11 e ⁻⁰⁸
SOJA			
χ^2	9,38	33,27	30,02
p-valor	0,0022	5,97 e ⁻⁰⁸	4,28 e ⁻⁰⁸
CULTIVO DE COBERTURA			
χ^2	3,33	6,65	7,33
p-valor	0,068	0,037	0,026
MAÍZ			
χ^2	0,27	24,93	24,48
p-valor	0,59	3,86 e ⁻⁰⁶	7,51 e ⁻⁰⁷

Densidad de invertebrados y su relación la materia orgánica particulada

En general, se observó una relación lineal directa (tendencia creciente) entre la fracción de carbono de la materia orgánica particulada (C-MOP) y la densidad de invertebrados de suelo, independientemente del cultivo, de los tratamientos, del año, de la profundidad y de la secuencia establecida (Figura 6). La materia orgánica (MO) es un componente fundamental del suelo que contribuye a su fertilidad y a su productividad a través del control de sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Gregorich et al. 1994). Una de sus fracciones, llamada MO particulada (MOP), corresponde a restos vegetales, animales y hongos en distintos grados de descomposición, con relativamente alta relación C/N y un rápido reciclo (Cambardella et al Elliot 1992). La MOP es una fracción químicamente lóbil, por lo que, su análisis, permite identificar cambios, producto de las labores agronómicas a las que son sometidas los cultivos (Domínguez et al., 2006). En el caso particular del CC, solo en MIS 2022, se observó una relación lineal entre C-MOP y DI, es decir que el 53% de la variabilidad de DI se explicó por el modelo que tiene al C-MOP como variable independiente (Figura 6A). En las campañas agrícolas evaluadas, el cultivo de maíz presentó una mejor asociación entre las variables consignadas, en términos comparativos (Figura 6B). En trigo 2023, MIS y MTA, la DI se relacionó con el contenido de C- MOP, mientras que, en soja, dicha relación se observó en la campaña 2021-2022 (Figura 6C y D)



Continuación



Continuación

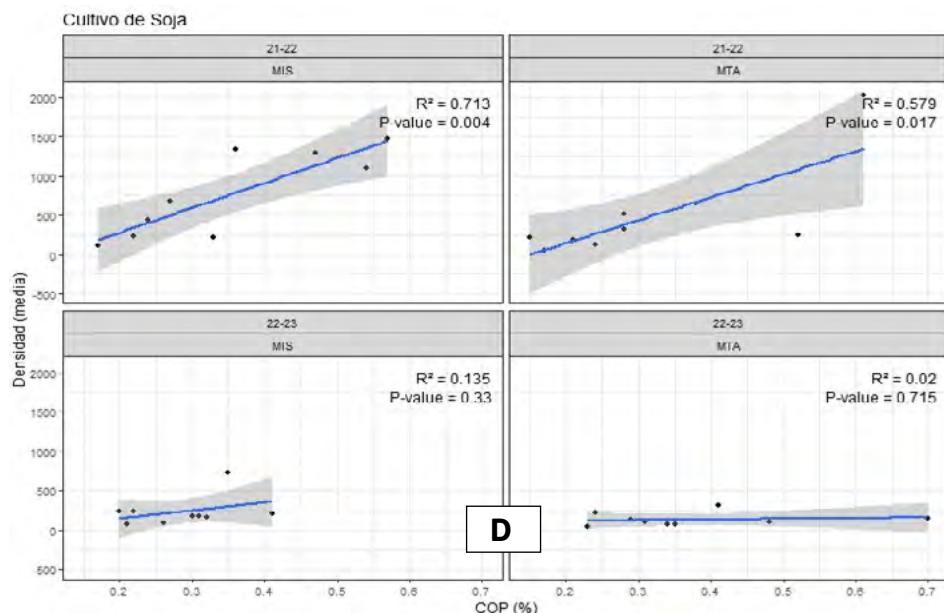


Figura 6. Regresión lineal entre densidad de invertebrados (ind m⁻²) y la fracción de carbono de la materia orgánica particulada (C-MOP, %). A: Cultivo de cobertura; B: Maíz; C: Trigo; D: Soja.

Se demostró que la fracción de carbono de la materia orgánica particulada, como una de las propiedades del suelo, se relacionó positivamente con la abundancia y biomasa de las lombrices (Rodríguez *et al.*, 2020). Diversos estudios reconocieron que la materia orgánica del suelo es el factor clave para el desarrollo de la oiquetofauna, principalmente de aquellas que viven dentro del perfil edáfico (Fragoso *et al.*, 1993; Domínguez *et al.*, 2010). En este sentido, es posible que, si se analizara únicamente este grupo zoológico, las asociaciones entre su densidad y el contenido de C-MOP, sean más fuertes y sostenidas, en la secuencia de cultivo propuesta.

Comunidad autotrófica

a. Pigmentos fotosintéticos

La Cla es un indicador general de la biomasa fotoautotrófica (Colacevich *et al.* 2009), ya que está asociada a todos los grupos microbianos que llevan adelante el proceso de fotosíntesis. A lo largo de la secuencia se encontró una variación en los contenidos de los pigmentos fotosintéticos en MTA y MIS. En cultivo de cobertura, se observaron los menores valores de Cla de todo el estudio en ambos manejos. El IP alcanzado en ambas situaciones fue menor al 50% en ambas situaciones, señalando que la comunidad autotrófica estaba estresada y atravesaba en una fase de deterioro o degradación de la comunidad (Figura 7).

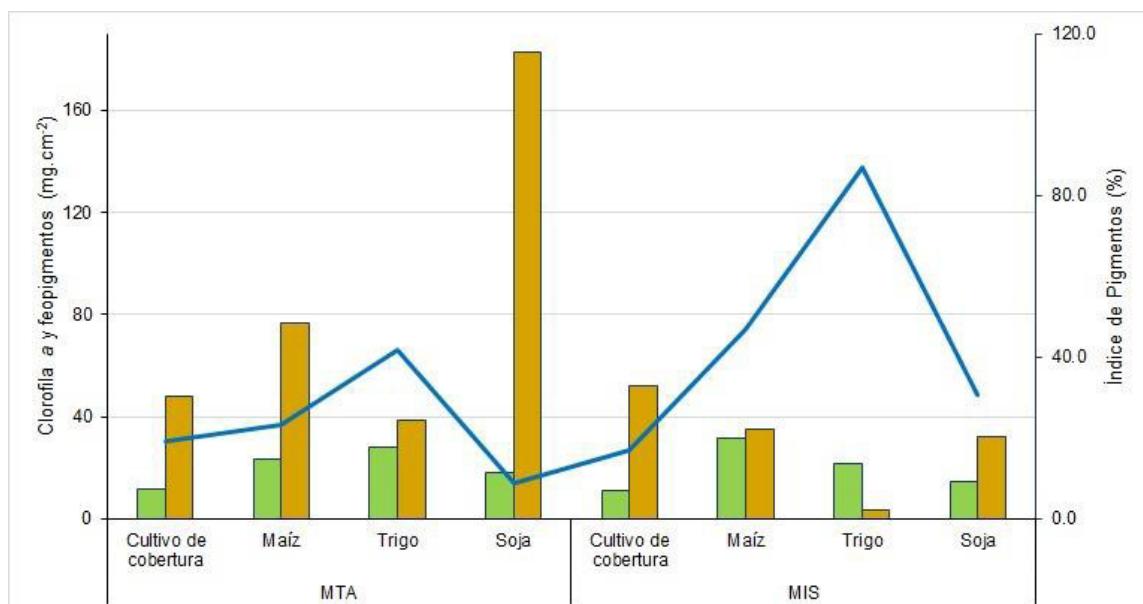


Figura 7. Contenido de clorofila a (barras verdes) y feopigmentos (barras oscuras) en mg cm^{-2} e índice de pigmento (línea azul) en porcentaje, según cultivo y tratamiento,

El análisis general mostró que la comunidad autotrófica sigue una tendencia similar a lo largo de la secuencia de cultivos establecidas y en ambos tratamientos.

Los valores iniciales de clorofila a (cultivo de cobertura) fueron similares en MIS y MTA. Los mayores registros fueron hallados en trigo MTA ($27,8 \text{ mg cm}^{-2}$) y en maíz MIS ($31,3 \text{ mg cm}^{-2}$).

El índice de pigmentos, como medida de la condición fisiológica de las microalgas del suelo, fue marcadamente superior en MIS que en MTA. Es posible que el menor tránsito de maquinaria, en el sistema de intensificación sustentable, favorezca al desarrollo de las cianobacterias y microalgas.

b. Especies de cianobacterias y microalgas presentes en los tratamientos evaluados

En relación con las especies de cianobacterias se halló mayor riqueza específica en MIS (siete especies) respecto a MTA (cuatro especies). La mayoría de ellas correspondieron al grupo de las filamentosas no heterocísticas, principalmente del Orden Oscillatoriiales.

La Tabla 3 muestra las especies identificadas en muestras de suelo frescas en los tratamientos analizados.

Tabla 3: Listado de especies de cianobacterias halladas por manejo agrícola

		MTA
Unicelulares - coloniales		ORDEN CHROOCOCCALES
Filamentosas no heterocísticas		Familia Chroococcaceae
	<i>Chroococcus pallidus</i>	X
		ORDEN SYNECHOOCOCCALES
		Familia Pseudoanabaenaceae
		<i>Pseudoanabaena catenata</i>
		ORDEN OSCILLATORIALES
		Familia Microcoleaceae
		<i>Kamptonea formosum*</i>
		X
		Familia Oscillatoriaceae
		<i>Phormidium corium</i>
		X
		<i>Phormidium kuentingianum</i>
		X
		<i>Phormidium nigrum*</i>
		X
		<i>Phormidium sp</i>
		X
		<i>Oscillatoria tenuis</i>
		X
		<i>Oscillatoria sp.</i>
		X
		Familia Phormidiaceae
		<i>Potamolinea aeurgiocaerulea</i>
		X

Sólo se encontró una especie del grupo morfológico unicelular-colonial en del orden Chroococcales, *Chroococcus pallidus* en el manejo MTA, caracterizada por presentar vaina gruesa (Figura 8).

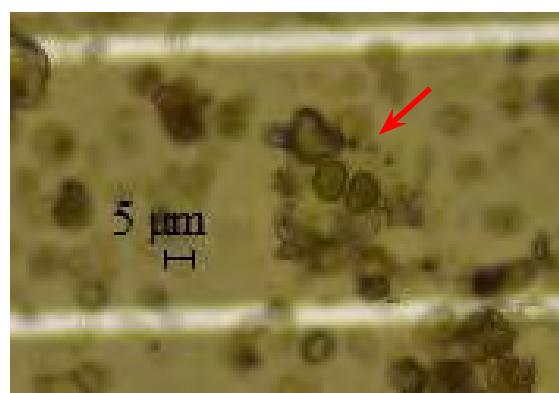


Figura 8. *Chroococcus pallidus*. La flecha roja señala la envoltura exopolisacárica exterior de la especie.

Otros grupos taxonómicos de microalgas eucariotas observados

Si bien no fue objeto de estudio la identificación de las microalgas eucariotas en el suelo, se encontraron en las muestras especies de los grupos taxonómicos Chrysophyta (diatomeas de tipo pennadas) y especies del grupo Chlorophyta (microalgas verdes coloniales y filamentosas (Figura 9). En suelos, estos grupos de organismos mejoran el secuestro de C a través del proceso de fotosíntesis, en algunos casos siendo más eficientes que las plantas superiores por lo que se consideran una alternativa viable para mitigar el cambio climático (Gurau et al., 2004).

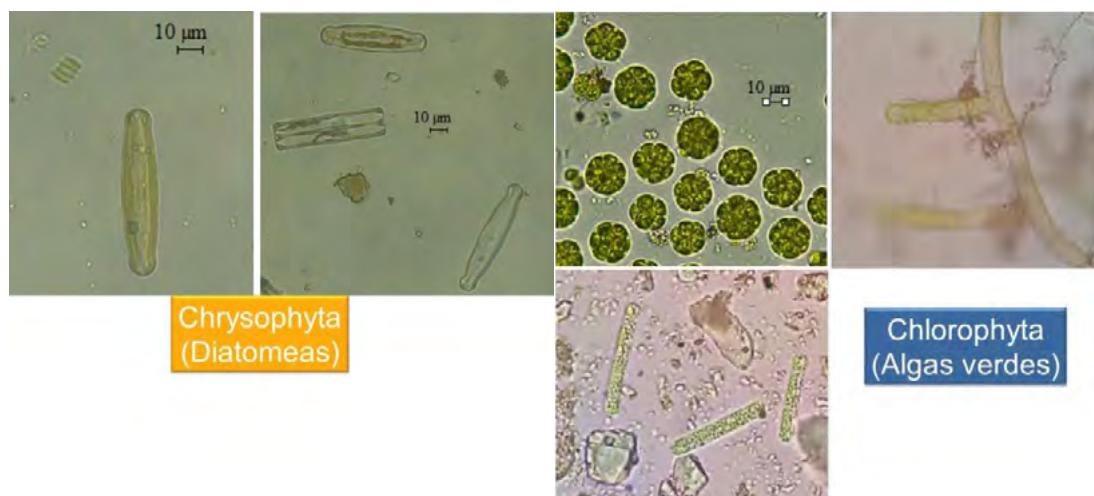


Figura 15. Grupos taxonómicos de microalgas eucariotas observadas.

Conclusiones

- Este estudio caracteriza las comunidades de invertebrados y de cianobacterias y microalgas del suelo, en términos de densidad y composición específica, asociadas a dos estrategias de manejo contrastantes, dentro de una secuencia de cultivos de secano, propuesta para la Provincia de Entre Ríos.
- Se observa un efecto marcado de la profundidad en la distribución vertical de la biota edáfica, que dificulta encontrar diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos y esquema de rotación de cultivos propuestos.
- Los grupos zoológicos y la composición taxonómica de las cianobacterias identificadas son potenciales indicadores biológicos de la disponibilidad de recursos en sistemas agroecológicos de secano.
- Se requiere profundizar en el estudio de las relaciones entre las variables observadas a fin de explicar el comportamiento de las mismas.

Indicadores de producción

Publicaciones con referato

Sánchez, C. I., et al. Gregorutti, V. C. (2024). Cyanobacteria in soils under dryland agricultural production systems. *Revista Argentina de Microbiología*, 56(3), 346-347. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2024.03.003>

Presentaciones en Congresos

- Sangoy Puntin N., Poggio S.L. y Coll L. Estructura de la comunidad de malezas en sistemas agrícolas de intensificación sustentable y de transición ecológica. III Congreso Argentino de Malezas. 9 y 10 de junio de 2021.
- Velazquez, P.D., Cáceres, C.M., Coll, L., Saluso, A. Mancha foliar por *Ramularia* sp. en *Vicia villosa*, en Paraná, Entre Ríos. 5° Congreso Argentino de Fitopatología y 59th Meeting of the APS Caribbean División, 22-23 de septiembre de 2021.
- Gregorutti, Carolina; Sánchez, Cecilia; Cuatrín, Alejandra; Saluso, Adriana. Efecto de diferentes manejos agrícola sobre pigmentos fotosintéticos del suelo. XXIX Reunión Argentina de Ecología, 4 al 6 de agosto del 2021.
- Saluso, Adriana; Cuatrín, Alejandra; Coll, Leonardo. Efectos del manejo agronómico en la comunidad de invertebrados edáficos. XXIX Reunión Argentina de Ecología, 4 al 6 de agosto del 2021.
- Saluso, A., L. Coll, A.L. Cuatrín, V.C. Gregorutti, R.P. Eclesia, F. Beltramo. Densidad de invertebrados en diferentes sistemas de manejo y su relación con propiedades del suelo. XXVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 15-18 noviembre de 2022. Buenos Aires, Argentina.
- Sánchez, C.I., V.C. Gregorutti, A.L. Cuatrín, A. Saluso, L. Coll. Clorofila "a" de la comunidad fotoautotrófica del suelo en secuencias agrícolas con diferentes manejos. 15- 18 noviembre de 2022. Buenos Aires, Argentina (aceptado para presentación oral).
- Saluso, A.; A.L. Cuatrín; L. Coll; F. Beltramo. Abundancia de invertebrados edáficos asociados a dos sistemas de manejo: intensificación sustentable y transición hacia la agroecología. XI Congreso Argentino y XII Congreso Latinoamericano de Entomología. 24-28 de octubre de 2022. La Plata, Argentina.
- Saluso, A. et al. M. Regonat. Presencia de *Aceria tosicella* (Acari: Eriophyidae) en espigas de trigo. XVII Jornadas Fitosanitarias Argentinas. 19 al 21 de octubre de 2022. Pergamino. Buenos Aires, Argentina.
- Saluso Adriana, Cuatrín Alejandra, Coll Leonardo, Beltramo Francisco, Krenz Alexis, Acevedo Nicolás. "Densidad de invertebrados edáficos en una secuencia de cultivos y dos sistemas de manejo". Reunión de Investigación, Extensión y Docencia 2023 (RIED 2023). Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Entre Ríos. Oro Verde, 27 de septiembre de 2023.
- Parrilla Fausto, Saluso Adriana, Decuyper Clarisa, Krenz Alexis, Beltramo Francisco, Acevedo Nicolás, Rabbia Cecilia, Zapata Agustín. "Abundancia y composición específica de gusanos blanco (Coleoptera: Melolonthidae) en una secuencia de cultivos y dos sistemas de manejo". Reunión de Investigación, Extensión y Docencia 2023 (RIED 2023). Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Entre Ríos. Oro Verde, 27 de septiembre de 2023.

SIMPOSIO

Adriana Saluso. Coordinación del Simposio "Los cultivos de servicio como estrategia cultural en el manejo sustentable de las plagas agrícolas", en el marco de la XXIX Reunión Argentina de Ecología. 4 al 6 de agosto de 2021. Tucumán- Argentina (modalidad virtual).

Bibliografía

- Acker, F. (2002). Protocol P 13-50: Preparation of USGS NAWQA Program algal samples for analysis using Palmer Maloney Cells. *Protocols for the analysis of algal samples collected as part of the US Geological Survey National Water-Quality Assessment Program. The Academy of Natural Sciences of Philadelphia (ANSP), Patrick Center for Environmental Research, Phycology Section. Report*, (02-063).
- American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, et al. Water Environment Federation. (1917). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (Vol. 3). American Public Health Association.
- Anderson, J. M., et al. Ingram, J. S. I. (1993). A handbook of methods. CAB International, Wallingford, Oxfordshire, 221, 62-65.
- Ararat, M. C., Aristizabal, A., et al. Mósquera, M. P. (2002). Efecto de cinco manejos agroecológicos de un Andisol (Typic Dystrandpt) sobre la macrofauna en el municipio de Piendamó, departamento del Cauca, Colombia. *Acta Agronómica*, 51(3), 121-129.
- Barrios, E., 2007. Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecol. Econ.* 64, 269-285. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.03.004>.
- Bartz, M. L. C., Pasini, A., et al. Brown, G. G. (2013). Earthworms as soil quality indicators in Brazilian no-tillage systems. *Applied Soil Ecology*, 69, 39-48.
- Camardella, CA et al. ET Elliot. 1992. Particulate soil organic matter. Changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 777-783.
- Colacevich, A., Caruso, T., Borghini, F., et al. Bargagli, R. (2009). Photosynthetic pigments in soils from northern Victoria Land (continental Antarctica) as proxies for soil algal community structure and function. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(10), 2105-2114.
- Chang, C., Gao, L., Zamyadi, A., Wang, H. y Li, M. (2025). Dinámica espacial de las algas del suelo: perspectivas sobre la abundancia, la estructura de la comunidad y las funciones ecológicas en las biocostras mixtas en China. *Applied Soil Ecology* , 208 , 105974. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2025.105974>
- Dávila, G. D. L. C. C., Rendón, J. A. S., et al. de León Lima, D. P. (2022). Macrofauna edáfica: composición, variación y utilización como bioindicador según el impacto del uso y calidad del suelo. *Acta Botánica Cubana*, 221.Rodríguez, M. P., Domínguez, A., et al. Bedano, J. C. (2025). Large-scale organic farming enhances soil properties and earthworm communities in relation to conventional farming in the Pampas region of Argentina. *Applied Soil Ecology*, 206, 105815.
- Domínguez, G. F., Studdert, G. A., Eiza, M. J., Diovisalvi, N. V., et al. Fioriti, N. (2006). Relación entre la materia orgánica y el rendimiento de maíz. In *XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta-Jujuy*, CD-ROM.
- Domínguez, A., Bedano, J. C., et al. Becker, A. R. (2010). Negative effects of no-till on soil macrofauna and litter decomposition in Argentina as compared with natural grasslands. *Soil and Tillage Research*, 110(1), 51-59.
- Ejsackers, H., Beneke, P., Maboeta, M., Louw, J.P.E., et al. Reinecke, A.J. (2005) The implications of copper fungicide usage in vineyards for earthworm activity and resulting sustainable soil quality. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 62(1), 99-111.
- Fernández-Valiente, E., et al. Quesada, A. (2004). A shallow water ecosystem: rice-fields. The relevance of cyanobacteria in the ecosystem. *Limnetica*, 23(1-2), 095-107.

- Fragoso, C.; Barois, I.; Gonzalez, C.; Arteaga, C.; Patron, J.C. Relationship between earthworms and soil organic matter levels in natural and managed ecosystems in the Mexican tropics. In Soil Organic Matter Dynamics and Sustainability of Tropical Agriculture, 1st ed.; Mulongoy, K., Merckx, R., Eds.; Wiley-Sayce Co-Publication: Chichester, UK, 1993; pp. 231–239, ISBN-13 978-0471939153
- Gliessman, S.R., Rosado-May, F.J., Guadarrama-Zugasti, C., Jedlicka, J., Cohn, A., Méndez, V.E., Cohen, R., Trujillo, L., Bacon, C., Cohn, A., et al. Jaffe, R. (2007). Agroecología: promoviendo una transición hacia la sostenibilidad. Revista Ecosistemas, 16(1).
- Gurau, S., Imran, M., et al. Ray, R. L. (2024). Algae: A cutting-edge solution for enhancing soil health and accelerating carbon sequestration-A review. *Environmental Technology et al. Innovation*, 103980.
- Gregorich, EG; MR Carter; DA Angers; CM Monreal et al. BH Ellert. 1994. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soil. *Can. J. Soil Sci.* 74:367- 385.
- IRAC Insecticide Resistance Action Committee (2025). <https://irac-argentina.org/>
- Jouquet, P., Blanchart, E., et al. Capowiez, Y. (2014). Utilization of earthworms and termites for the restoration of ecosystem functioning. *Applied soil ecology*, 73, 34-40.
- Komárek, J. et al. Anagnostidis, K. (1998) *Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales*. Germany: Ettl, H.; Gärtner, G.; Heynig, H.; Mollenhauer, D. (Eds.).
- Komárek, J. et al. Anagnostidis, K. (2005) *Cyanoprokaryota 2. Teil/ 2nd Part: Oscillatoriales*. Germany: Büdel, B.; Krienitz, L.; Gärtner, G.; Schagerl, M. (Eds.), Elsevier/Spektrum, Heidelberg,
- Komárek, J. (2013) *Cyanoprokaryota 3. Teil/3rd Part: Heterocytous genera*. Germany: Elsevier/Spektrum, Heidelberg
- Kovach, J., Petzoldt, C., Degni, J., and Tette, J. 1992. A method to measure the environmental impact of pesticides. New York's Food and Life Sciences Bulletin 139:1-8.
- Lavelle, P., Blanchart, E., Martin, A., Martin, S., Barois, I., Toutain, F., Spain, A., et al. Schaefer, R. (1993) A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems. Application to soils in the humid tropics. *Biotropica*, 25, 130-150.
- Lin, C. S., Chou, T. L., et al. Wu, J. T. (2013). Biodiversity of soil algae in the farmlands of mid- Taiwan. *Botanical Studies*, 54, 1-12.
- Metting Jr, F. B. (1994). Algae and cyanobacteria. *Methods of Soil Analysis: Part 2 Microbiological and Biochemical Properties*, 5, 427-458.
- Noguera-Talavera, A., Reyes-Sánchez, N., et al. Mendieta-Araica, B. (2017). Diversidad y distribución de la macrofauna edáfica en dos sistemas de manejo de *Moringa oleifera* (Lam.): relación con las propiedades del suelo. *La Calera*, 17(29), 78-86.
- Padoa, L., Eberhardt, D. N., Marchão, R. L., Corbeels, M., Scopel, E., Muraoka, T., da Silva Souza Filho, L. F., et al. Becquer, T. (2012). Soil macrofauna and its relationship with carbon and nitrogen contents under conservation agriculture systems in the cerrado of Unaí, MG.
- R CORE TEAM. (2020) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponible en <https://www.R-project.org/>
- Ramírez, B., et al. Pizarro, E. (2005). Distribución de clorofila ay feopigmentos en los canales australes chilenos comprendidos entre Puerto Montt y la laguna San Rafael, Chile. *Ciencia y Tecnología del Mar*, 28(1), 45-62.

- Rodríguez, C. (2000). Comunidades de lombrices de tierra en ecosistemas con diferente grado de perturbación. *Rev. Biología*, 14.
- Rodríguez, M. P., Domínguez, A., Moreira Ferroni, M., Wall, L. G., et al. Bedano, J. C. (2020). The diversification and intensification of crop rotations under no-till promote earthworm abundance and biomass. *Agronomy*, 10(7), 919.
- Rodríguez, M. P., Domínguez, A., et al. Bedano, J. C. (2025). Large-scale organic farming enhances soil properties and earthworm communities in relation to conventional farming in the Pampas region of Argentina. *Applied Soil Ecology*, 206, 105815.
- Saadatnia, H., et al. Riahi, H. (2009). Cyanobacteria from paddy fields in Iran as a biofertilizer in rice plants. *Plant Soil Environ*, 55(5), 207-212.
- Saluso, A., Ermácora, O., Romero, C., et al. Debona, C. (2004) Variación estacional de la abundancia y diversidad de la artropodofauna edáfica en dos agroecosistemas. Libro de Resúmenes. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. p. 122.
- Varela, M. (1981). El problema de la determinación de clorofila a en el fitomicrobentos: discusión sobre la metodología. *Oecologia aquatica*, 5(5), 7-19.
- Tittonell, P. (2019) Las transiciones agroecológicas: múltiples escalas, niveles y desafíos. En: Dossier de Agroecología. (Coord. Tonolli, A.J., Greco, S., et al. Sarandón, S.). Revista FCA UNCUYO, 51(1), 231-246 ISSN (en línea) 1853-8665.
- Whitton, B. A., et al. Potts, M. (Eds.). (2007). *The ecology of cyanobacteria: their diversity in time and space*. Springer Science et al. Business Media.
- WHO (2019). Recommended Classification of Pesticides by Hazard and Guidelines to Classification <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/chemical-safety-and-health/health-impacts/chemicals/pesticides>
- Wittwer, R.A., Bender, S.F., Hartman, K., Hydbom, S., Lima, R.A., Loaiza, V., Van Der Heijden,
- M.G. (2021). Organic and conservation agriculture promote ecosystem multifunctionality. *Sci. Adv.* 7, eabg6995. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abg69>.
- Zancan, S., Trevisan, R., et al. Paoletti, M. G. (2006). Soil algae composition under different agro- ecosystems in North-Eastern Italy. *Agriculture, ecosystems et al. environment*, 112 (1), 1- 12.
- Zerbino, M.S. (2010) Evaluación de la macrofauna del suelo en rotaciones cultivos-pasturas con laboreo convencional. *Acta zoológica mexicana*, 26(2), 189-202.

PID2224

Denominación del Proyecto

Efectos del manejo agronómico en la comunidad de macroinvertebrados y en la microflora autotrófica edáfica en una secuencia de cultivos.

Directora

SALUSO, Adriana

Codirectora

SANCHEZ, Cecilia Isabel

Unidad de Ejecución

Universidad Nacional de Entre Ríos

Dependencia

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Contacto

adriana.saluso@uner.edu.ar

Cátedra/s, área o disciplina científica

Metodología de la Investigación. Biología. Microbiología Agrícola. Fitopatología.

Instituciones intervinientes públicas o privadas

Estación Experimental Agropecuaria del INTA Paraná. Convenio Marco de Cooperación entre la FCA (UNER) y la EEA INTA Paraná.

Integrantes del proyecto

Docentes UNER: Cáceres Carina Mabel; Nolla José Daniel; Facendini Victoria Elisa; Gregorutti, Viviana Carolina. Integrantes externos: Coll Leonardo (EEA INTA Paraná); Cuatrín Alejandra Lorena (EEA INTA Paraná). Colaboradora: Gamboa Daniela Marina. Becarios de Formación vinculado a PID: Beltramino, Francisco; Banegas Sacks, Nicolás. Becario CIN: Beltramino, Francisco

Fechas de iniciación y de finalización efectivas

02/03/2020 y 22/01/2024

Aprobación del Informe Final por Resolución C.S. N° 198/25 (04-07-2025)