



E-MICROPLAST

Soluciones
Ambientales III



Contenido

1. Ficha técnica del proyecto.....	2
2. Antecedentes y motivaciones	3
3. Objetivos del proyecto	3
4. Plan de trabajo	4
5. Resultados obtenidos	6
6. Colaboradores externos e impacto empresarial	25



1. Ficha técnica del proyecto

N.º EXPEDIENTE	IMAMCA/2025/6
TÍTULO COMPLETO	Soluciones ambientales III
PROGRAMA	Plan de actividades de carácter no económica 2025
ANUALIDAD	2025
PARTICIPANTES	(si procede)
COORDINADOR	(si procede)
ENTIDADES FINANCIADORAS	IVACE – INSTITUT VALENCIÀ DE COMPETITIVITAT EMPRESARIAL
ENTIDAD SOLICITANTE	AITEX
C.I.F.	G03182870



2. Antecedentes y motivaciones

El problema de los microplásticos (MPs) y los contaminantes emergentes en aguas residuales constituye una cuestión ambiental crítica en Europa. Estos contaminantes, provenientes de diversas fuentes como la industria textil y cosmética, representan un riesgo significativo para los ecosistemas acuáticos y la salud humana.

Los MPs son fragmentos plásticos de tamaño reducido que se originan por la degradación de productos plásticos y por procesos industriales, especialmente en el sector textil y cosmético. Estos fragmentos son ingeridos por organismos acuáticos, afectando la biodiversidad y entrando en la cadena alimentaria humana, lo que incrementa el riesgo sanitario al transportar toxinas y compuestos peligrosos.

Además, los contaminantes emergentes como metales pesados, productos farmacéuticos y compuestos perfluorados (PFAS) presentan alta toxicidad y persistencia en el medio ambiente, dificultando su eliminación en los tratamientos convencionales de aguas residuales.

Europa ha implementado medidas regulatorias como la Estrategia sobre Plásticos y la Directiva de Aguas Residuales Urbanas, que establecen objetivos para reducir la contaminación por plásticos, promover la economía circular y mejorar la gestión de aguas residuales. Estas normativas incluyen acciones como la prohibición de plásticos de un solo uso, el reciclaje del 50 % de los plásticos para 2025 y la incorporación de controles sobre contaminantes emergentes en los procesos de depuración.

La creciente preocupación por la contaminación por MPs y compuestos tóxicos impulsa la búsqueda de soluciones innovadoras y sostenibles.

Entre las motivaciones principales destacan:

- Reducir el impacto ambiental de los lodos textiles mediante procesos biológicos.
- Aprovechar el potencial agronómico de los lodos tratados para su valorización como biofertilizantes.

3. Objetivos del proyecto

Desarrollar y validar estrategias integradas para la eliminación de contaminantes emergentes y microplásticos presentes en aguas residuales de la industria textil y cosmética, mediante la aplicación de tecnologías avanzadas como la digestión anaerobia y procesos complementarios, asegurando la adaptación a normativas europeas y nacionales vigentes. Asimismo, se evaluará el vermicompostaje como alternativa sostenible para el tratamiento de lodos generados, analizando la eficacia de las lombrices en la reducción de microplásticos y promoviendo soluciones que contribuyan a la economía circular y a la minimización del impacto ambiental.



Atendiendo al objetivo del proyecto, se han definido los siguientes objetivos específicos:

- Identificación y cuantificación de microplásticos en aguas provenientes de la industria cosmética y textil.
- Evaluación de la eficiencia de la digestión anaerobia en la degradación y eliminación de microplásticos en lodos provenientes la industria textil.
- Analizar la viabilidad del vermicompostaje como alternativa sostenible para el tratamiento de lodos, determinando la capacidad de las lombrices para reducir la carga de microplásticos y estabilizar el material.

4. Plan de trabajo

Incluir el cronograma del proyecto, así como los paquetes de trabajo realizados y las tareas llevadas a cabo en cada paquete de trabajo.

El cronograma del proyecto ha sido el siguiente:

PAQUETES DE TRABAJO E-Microplast	MESES											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
PT 1. GESTIÓN Y SEGUIMIENTO DEL PROYECTO												
A1.1. Gestión y seguimiento												
PT 2. EJECUCIÓN TÉCNICA												
A2.1 Estado del arte/Viabilidad técnica/IPR												
A2.2 Experimental-												
A2.3. Caracterización												
A2.4. Coordinación técnica y validación												
PT 3. COMUNICACIÓN, DIFUSIÓN Y TRANSFERENCIA DE RESULTADOS												
A3.1 Comunicación, difusión y transferencia de resultados												
PT 4 SUPERVISIÓN Y SEGUIMIENTO DEL PROYECTO												
A.4.1. Supervisión y seguimiento del proyecto												

Las actividades del proyecto se han encuadrado en el paquete de trabajo 2,3 y 4, el cual se ha dividido en las siguientes actividades:

PT2. EJECUCIÓN TÉCNICA

- ACTIVIDAD 2.1. ESTADO DEL ARTE / VIABILIDAD TÉCNICA / DIAGNÓSTICO DE NECESIDADES
- ACTIVIDAD 2.2. EXPERIMENTAL
- ACTIVIDAD 2.3. CARACTERIZACIÓN
- ACTIVIDAD 2.4. COORDINACIÓN TÉCNICA Y VALIDACIÓN



PT3. COMUNICACIÓN, DIFUSIÓN Y TRANSFERENCIA DE RESULTADOS

- ACTIVIDAD 3.1. COMUNICACIÓN, DIFUSIÓN Y TRANSFERENCIA DE RESULTADOS.

PT4. SUPERVISIÓN Y SEGUIMIENTO DEL PROYECTO

- ACTIVIDAD 4.1. SUPERVISIÓN Y SEGUIMIENTO DEL PROYECTO

5. Resultados obtenidos

APARTADO IMPORTANTE

Descripción detallada de los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto.

- **Identificación y cuantificación de microplásticos en aguas provenientes de la industria cosmética.**

En esta línea del proyecto se han controlado los parámetros del agua de salida de dos empresas cosméticas con el fin de comprobar la eficacia de depuración de estos sistemas analizando y comparando la cuantificación de los MPs eliminados en cada empresa.

Empresa 1:

Los resultados indican que la planta de depuración de la empresa ha conseguido eliminar un 78,34% de los MPs del agua de entrada con respecto a la salida. Tabla 1.

Tabla 1: Cuantificación de MPs en la empresa 1

Origen agua	Concentración Microplásticos (MPs/l)	Longitud mínima (μm)	Longitud máxima (μm)	Longitud media (μm)
Entrada Planta	72.333	11	3.200	508
Salida MBR	15.667	16	2.557	418

En el gráfico 1, se muestra la cantidad de MPs por litro cuantificados a la entrada y a la salida del agua una vez depurada.

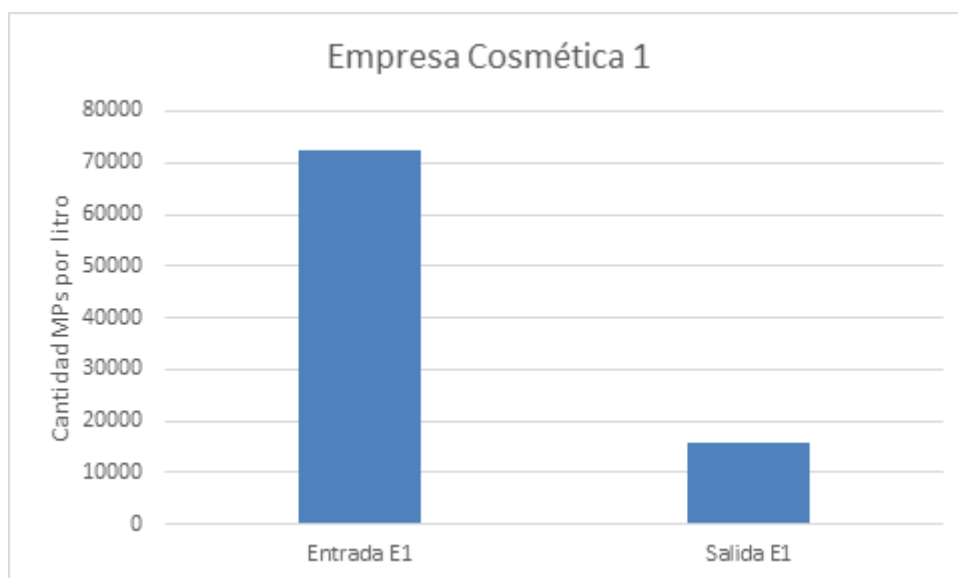


Gráfico 1: Resultados la entrada y salida de la empresa cosmética 1

En el gráfico 2. Se muestran las reducciones por tamaño de los MPs entre la entrada y salida con el agua depurada.

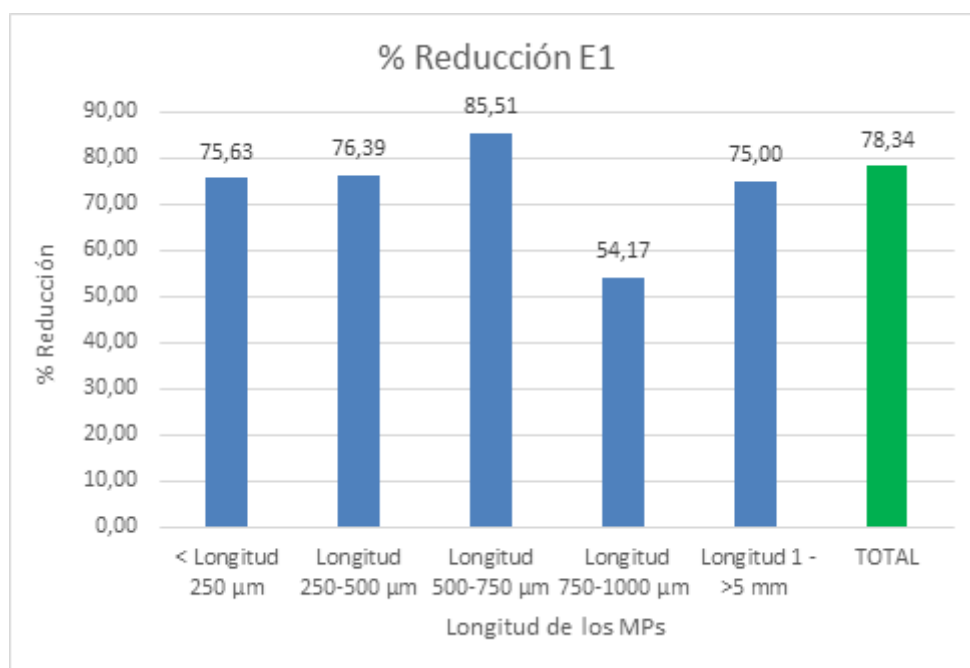


Gráfico 2: Reducciones por tamaño de MPs entre la entrada y salida

Empresa 2:

Los resultados indican que la planta de depuración de la empresa ha conseguido eliminar un 83,88% de los MPs del agua de entrada con respecto a la salida. Tabla 2.

Tabla 2: Cuantificación de MPs en la empresa 2

Origen agua	Concentración Microplásticos (MPs/l)	Longitud mínima (µm)	Longitud máxima (µm)	Longitud media (µm)
Entrada Planta	71.667	38	4.524	483
Salida MBR	11.556	32	1.813	372

En el gráfico 3, se muestra la cantidad de MPs por litro cuantificados a la entrada y a la salida del agua una vez depurada.

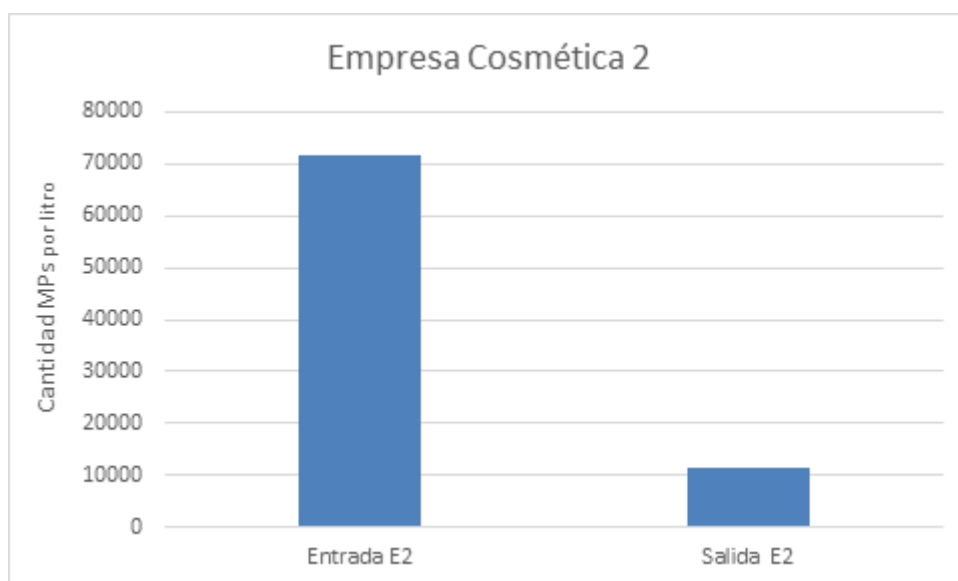


Gráfico 3: Resultados la entrada y salida de la empresa cosmética 2

En el gráfico 4. Se muestran las reducciones por tamaño de los MPs entre la entrada y salida con el agua depurada.

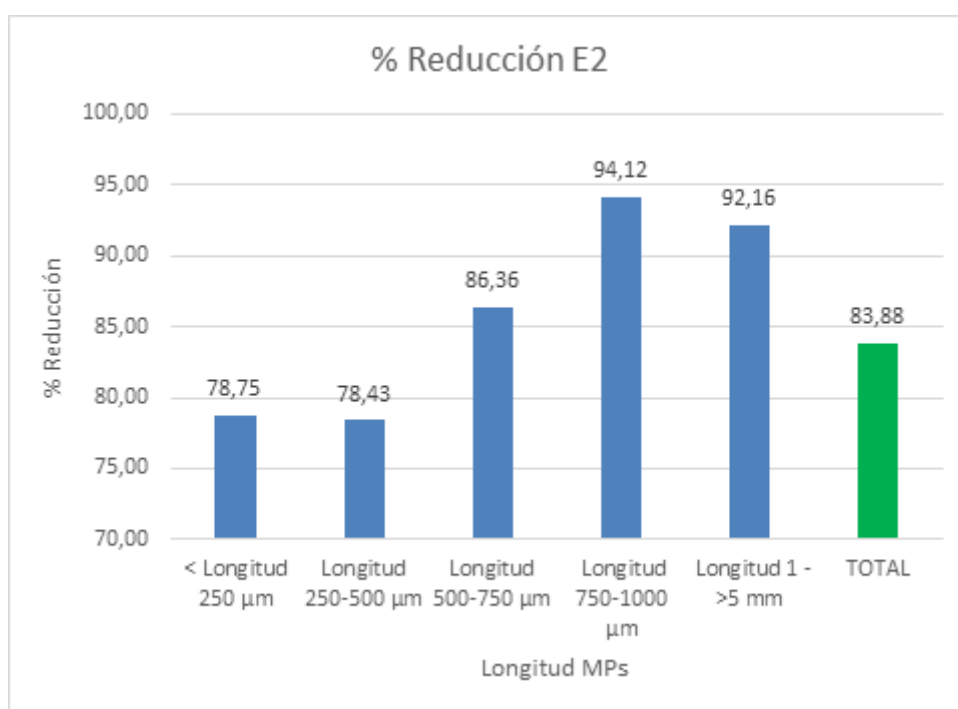


Gráfico 4: Reducciones por tamaño de MPs entre la entrada y salida

Conclusiones:

En los resultados de las mediciones de MPs entre las diferentes aguas se observa que lo sistemas de depuración de las aguas de las empresas analizadas se produce una reducción entre el 78 y 83%, lo que significa que a pesar de los sistemas de depuración de estas plantas aún

existen MPs en las aguas, por tanto, deben estudiarse nuevos métodos de eliminación o sustitución de productos derivados de la industria química.

- **Evaluación la eficiencia de la digestión anaerobia en la degradación y eliminación de microplásticos en lodos provenientes la industria textil.**

En la DIGESTIÓN ANAEROBIA (proceso en el cual microorganismos descomponen el material biodegradable en ausencia de oxígeno), el objetivo de estas pruebas han sido por una parte la eliminación de microplásticos y por otra parte, la generación de metano de los lodos generados en la industria textil. Para la realización de dichas pruebas se ha utilizado el equipo respirómetro.



Imagen 1: Equipo respirómetro

PRUEBAS:

1ª Prueba:

Las muestras utilizadas son las siguientes:

- Inóculo normal + muestra lodo + celulosa
- Inóculo normal + muestra lodo pretratada + celulosa
- Inóculo mezcla + muestra lodo pretratada + celulosa

2ª Prueba:

Las muestras utilizadas son las siguientes:

- Inóculo normal + muestra lodo pretratada
- Inóculo normal + muestra de lodo pretratada + celulosa relación I/S 1

- Inóculo normal + muestra de lodo pretratada + celulosa relación I/S 3

Resultados y conclusiones

Los resultados obtenidos en la **primera prueba** han sido los siguientes:

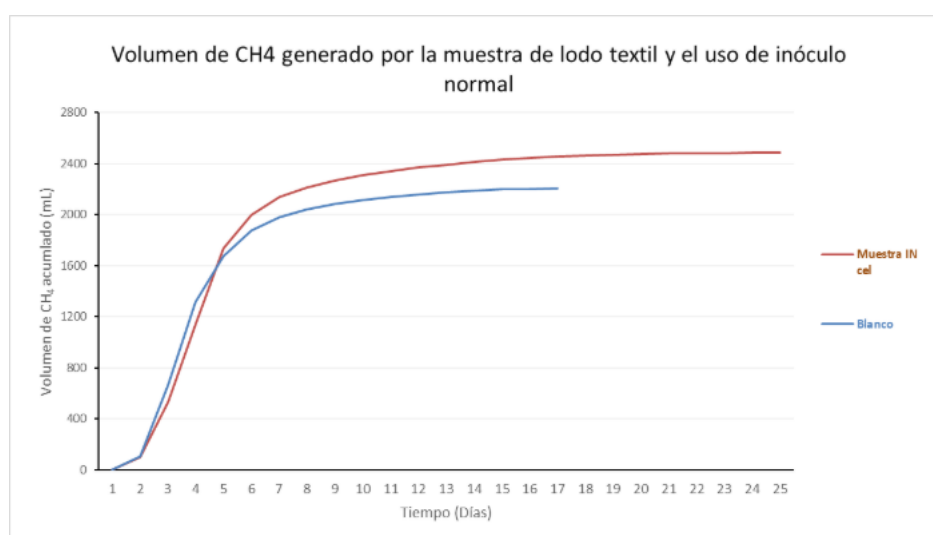


Figura 1: Resultados de generación de metano de la muestra de lodo textil con inóculo normal y celulosa

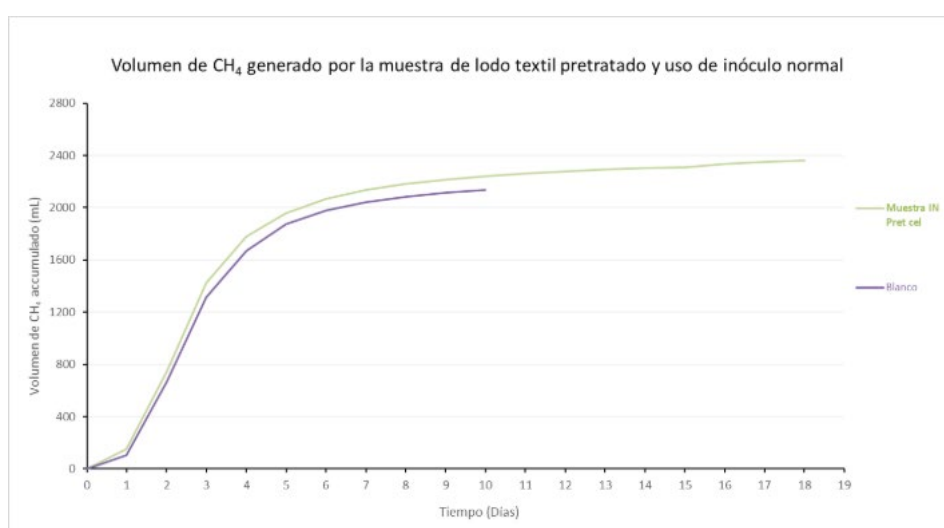


Figura 2: Resultados de generación de metano de la muestra de lodo textil pretratado con inóculo normal y celulosa

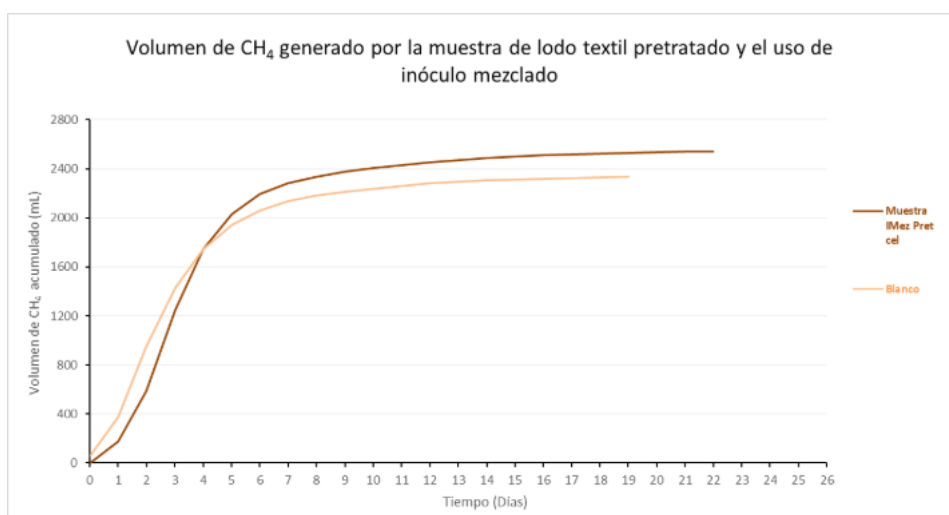


Figura 3: Resultados de generación de metano de la muestra de lodo textil pretratado con inóculo mezclado y celulosa

Como se puede observar en las tres gráficas obtenidas se han obtenido una producción de metano relativamente alta (si se comparan con la producción de metano obtenida el año anterior). La producción de metano de cada una de las muestras ha sido la siguiente:

- Inóculo Normal y con celulosa: 280,15 mL de CH_4 y una biodegradabilidad de 13,58%.
- Inóculo Normal con lodo Pretratado y con celulosa: 153,86 mL de CH_4 y una biodegradabilidad de 7,46%.
- Inóculo Mezclado con lodo Pretratado y con celulosa: 207,85 mL de CH_4 y una biodegradabilidad de 8,4%.

En la siguiente tabla se puede observar el rendimiento de cada muestra por kg de Lodo.

Tabla 3: Rendimiento por Kg de lodo

Muestra	CH_4 total (mL)	CH_4 por kg lodo (L)	CH_4 por kg lodo (m^3)	Energía (kWh/kg lodo)	Biodegradabilidad (%)
Inóculo normal + muestra lodo + celulosa	280,15	11,21	0,01121	0,1117	13,584
Inóculo mezcla + muestra lodo pretratada + celulosa	153,86	6,15	0,00615	0,0614	7,46
Inóculo normal + muestra lodo pretratada + celulosa	207,85	6,93	0,00693	0,0691	8,399

Estos resultados sugieren que es posible que los microorganismos presentes en el inóculo utilicen el lodo textil como sustrato para la generación de metano (puede ser que también haya influido la adición de celulosa), por lo que niega la hipótesis del año pasado que sugería que el lodo textil

presentaba compuestos tóxicos provenientes de los procesos textiles que inhibían la digestión anaerobia.

Tras la realización de estos experimentos se cuantificaron los microplásticos presentes en los digestos obtenidos mediante microscopía estereoscópica para la observación, el software ImageJ para la identificación y clasificación por colores, tamaños y formas, y la tecnología de μ -Raman para la identificación de la composición de cada uno de ellos; y se compararon con unas muestras iniciales antes de la digestión anaerobia para observar si mediante este tipo de procesos biológico es posible su reducción o fragmentación.

Los resultados obtenidos muestras son los siguientes:

Tabla 4: Resultados de la cuantificación de microplásticos de las muestras de la prueba de BMP

	Tiempo	Muestra	Nº MPs
			Concentración (MPs/L)
Prueba 1	t0	Inóculo normal + lodo + cel	400
		Inóculo normal + lodo pretratado + cel	400
		Inóculo mezcla + lodo pretratado + cel	780
	tf	Inóculo normal + lodo + cel	1560
		Inóculo normal + lodo pretratado + cel	1560
		Inóculo mezcla + lodo pretratado + cel	2300

Como se puede observar en la Tabla 4 si se compara la concentración de microplásticos a tiempo inicial y a tiempo final, se puede observar que en todas las muestras tras el proceso de digestión anaerobia la concentración de MPs ha aumentado. En el caso de la muestra de “Inóculo normal + lodo + celulosa” e “Inóculo normal + lodo pretratado + celulosa” el número de MPs ha aumentado 4 veces tras la digestión anaerobia en comparación con la muestra inicial; y en el caso del “Inóculo mezcla + lodo + celulosa” en la muestra final los MPs han aumentado 3 veces en comparación con la muestra inicial.

Los resultados obtenidos en la **segunda prueba** han sido los siguientes:

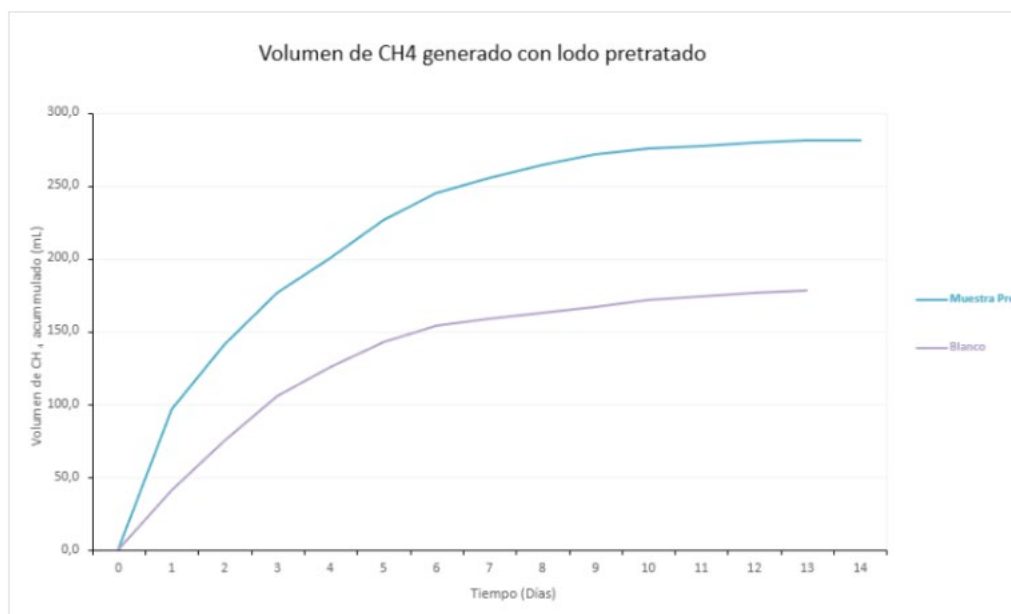


Figura 4: Resultados de generación de metano de la muestra de lodo textil pretratado con inóculo normal

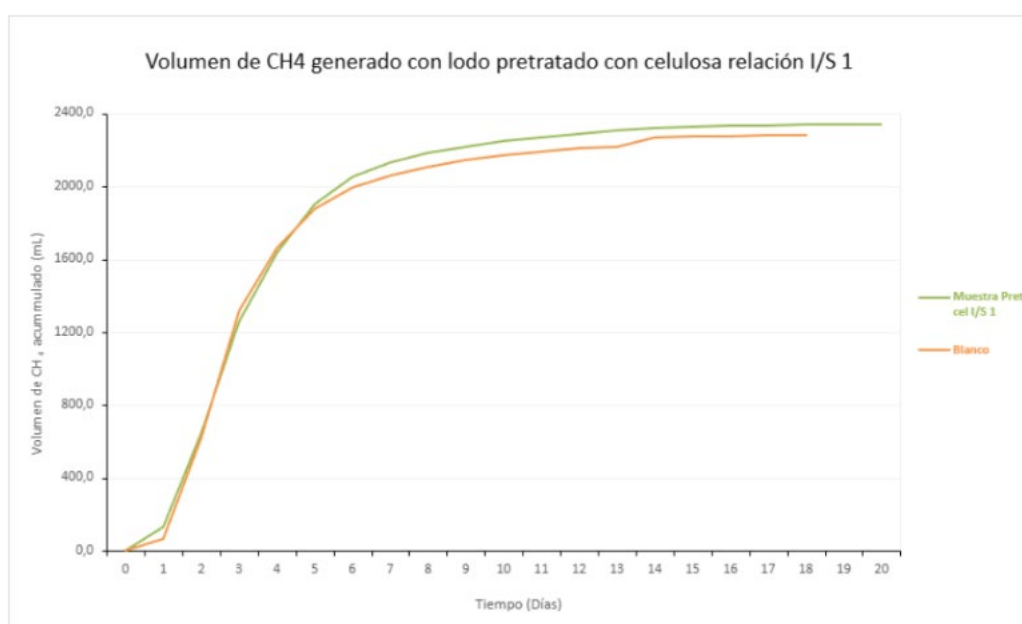


Figura 5: Resultados de generación de metano de la muestra de lodo textil pretratado con inóculo normal y celulosa con

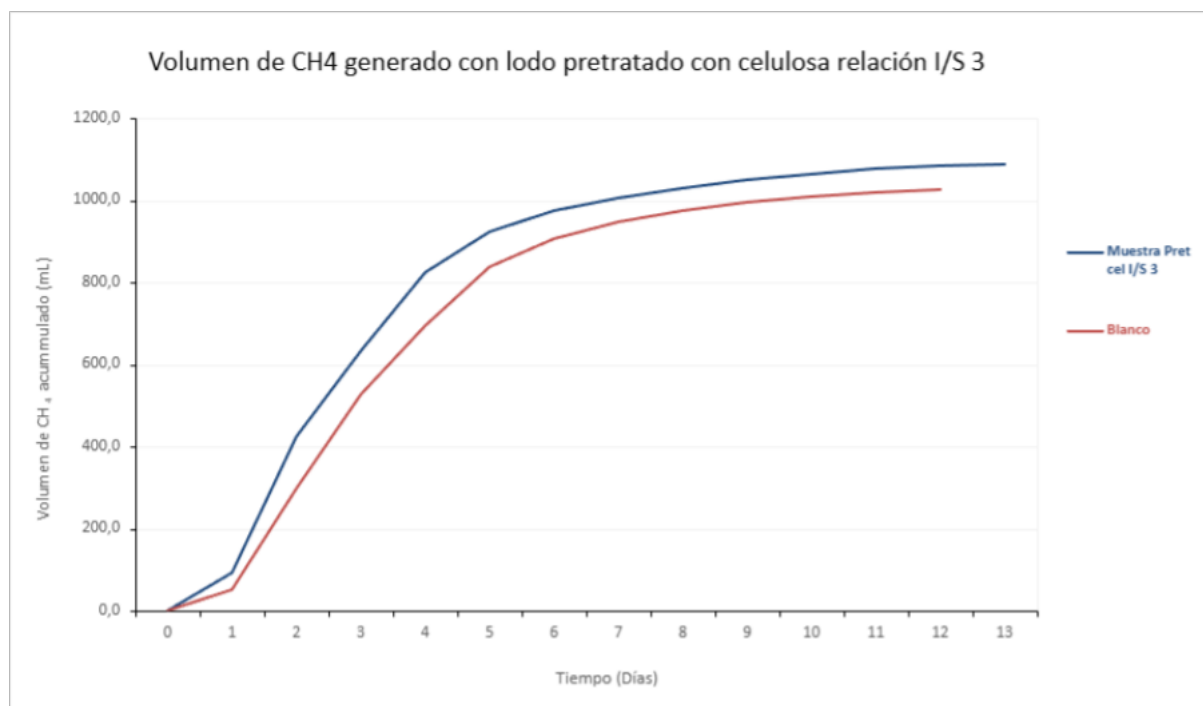


Figura 6: Resultados de generación de metano de la muestra de lodo textil pretratado con inóculo normal y celulosa con relación I/S 3

- Inóculo Normal con lodo Pretratado: 102,63 mL de CH₄ y biodegradabilidad de 7,12 %
- Inóculo Normal con lodo Pretratado y con celulosa relación I/S 1: 59,67 mL de CH₄ biodegradabilidad de 4,14 %
- Inóculo Normal con lodo Pretratado y con celulosa relación I/S 3: 59,30 mL de CH₄ y biodegradabilidad de 4,11 %

En la siguiente tabla se puede observar el rendimiento de cada muestra por kg de Lodo.

Tabla 5: Rendimiento por Kg de lodo

Muestra	CH ₄ total (mL)	CH ₄ por kg lodo (L)	CH ₄ por kg lodo (m ³)	Energía (kWh/kg lodo)	Biodegradabilidad (%)
Inóculo normal + muestra lodo + celulosa	102,63	5,13	0,00513	0,0512	7,119
Inóculo mezcla + muestra lodo pretratada + celulosa	59,67	2,98	0,00298	0,0297	4,139
Inóculo normal + muestra lodo pretratada + celulosa	59,3	5,93	0,00593	0,0591	4,113



Tras la realización de estos experimentos se cuantificaron los microplásticos presentes en los digestatos obtenidos utilizando el mismo método que en la prueba anterior, y se compararon con unas muestras iniciales antes de la digestión anaerobia para observar si mediante este tipo de procesos biológico es posible su reducción o fragmentación.

Tabla 6: Resultados de cuantificación de MPs de las muestras de la segunda prueba de BMP

	Tiempo	Muestra	Nº MPs
			Concentración (MPs/L)
Prueba 2	t0	Inóculo normal + lodo pretratado (1)	1800
		Inóculo normal + lodo pretratado (2)	2080
		Inóculo normal + lodo pretratado (3)	1780
		Concentración media	1886,67
		Inóculo normal + lodo pretratado + cel I/S 1 (1)	1960
		Inóculo normal + lodo pretratado + cel I/S 1 (2)	2400
		Inóculo normal + lodo pretratado + cel I/S 1 (3)	1900
		Concentración media	2086,67
		Inóculo normal + lodo pretratado + cel I/S 3 (1)	1800
		Inóculo normal + lodo pretratado + cel I/S 3 (2)	2340
		Inóculo normal + lodo pretratado + cel I/S 3 (3)	1960
		Concentración media	2033,33
	tf	Inóculo normal + lodo pretratado (1)	1610
		Inóculo normal + lodo pretratado (2)	1470
		Inóculo normal + lodo pretratado (3)	1430
		Concentración media	1503,33
		Inóculo normal + lodo pretratado + cel I/S 1 (1)	1630
		Inóculo normal + lodo pretratado + cel I/S 1 (2)	1270
		Inóculo normal + lodo pretratado + cel I/S 1 (3)	2210
		Concentración media	1703,33
		Inóculo normal + lodo pretratado + cel I/S 3 (1)	1350
		Inóculo normal + lodo pretratado + cel I/S 3 (2)	1470
		Inóculo normal + lodo pretratado + cel I/S 3 (3)	1070
		Concentración media	1296,67

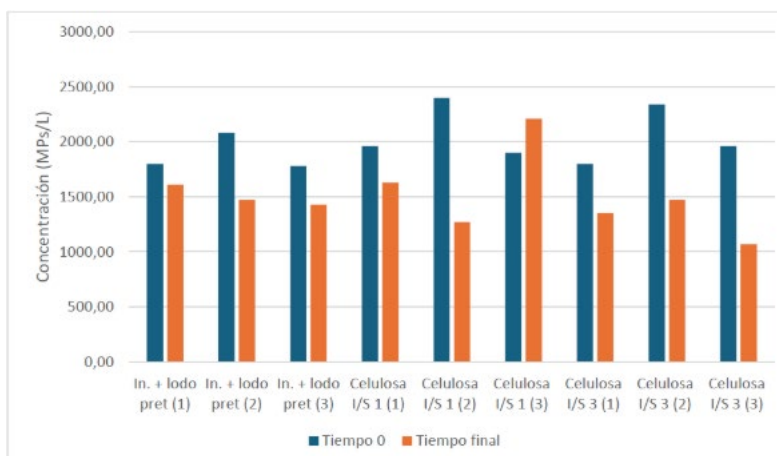


Gráfico 5: Comparación de las concentraciones de microplásticos presentes en las diferentes muestras a tiempo inicial y final

En la Tabla 7 se muestran los resultados de cuantificación de microplásticos obtenidos a tiempo inicial y final de proceso de digestión anaerobia.

Tabla 7: Reducciones de MPs

Muestra	NºMPs T0	NºMPs TF	Reducción
Inóculo normal + Lodo Pretratado	1886,67	1503,33	20,32 %
Inóculo normal + Lodo Pretratado + Cel I/S 1	2086,67	1703,33	18,37 %
Inóculo normal + Lodo Pretratado + Cel I/S 3	20333,33	1296,67	36,23 %

Con los resultados obtenidos se puede decir que en las tres muestras diferentes ha habido una reducción de microplásticos como se puede observar en la tabla 7. En la muestra de **Inóculo + lodo pretratado** la reducción de microplásticos ha sido del **20,32%**; la muestra de **Inóculo + lodo pretratado + celulosa I/S (1)** ha tenido una reducción del **18,37%**; y la muestra de **Inóculo + lodo pretratado + celulosa I/S (3)** ha tenido una reducción del **36,23%**.

La muestra que más reducción ha obtenido ha sido **Inóculo + lodo pretratado + celulosa I/S (3)**

En los análisis de MPs presentes en las muestras también se identificó la composición química de las fibras mediante micro-Raman. Las fibras más comunes en estos lodos textiles fueron látex, PVC, poliamida, poliolefinas y poliéster.

Conclusiones:

En la primera prueba, los resultados mostraron una **producción de metano significativa** (entre 153,86 y 280,15 mL CH₄), lo que confirma que el lodo textil puede ser utilizado como sustrato, especialmente cuando se añade celulosa. Sin embargo, el análisis de microplásticos reveló un aumento en su concentración tras el proceso, aproximadamente entre 3 y 4 veces respecto al valor inicial. Este incremento se atribuye a la fragmentación de partículas por acción microbiana, más que a su degradación. El uso de inóculo mezclado no aportó mejoras frente al inóculo normal.

En la segunda prueba, la producción de metano fue menor que en la primera prueba (59,30–102,63 mL CH₄), pero se observó por primera vez una **reducción real de microplásticos**, con porcentajes entre **18% y 36%**, siendo la mayor disminución en la muestra con celulosa y relación I/S = 3. Esto indica que el pretratamiento del lodo y el ajuste de la relación inóculo/sustrato son factores clave para favorecer la degradación parcial de MPs. *En una comparación total se puede concluir que la prueba más eficiente es “Inóculo Normal con lodo Pretratado y con celulosa relación I/S 3”, ya que es capaz de generar metano más una importante reducción de los MPs.”*

Por tanto, la digestión anaerobia permite una eliminación de MPs hasta un 36% aunque se requiere seguir ajustando las condiciones para maximizar la eliminación y evitar la fragmentación, por otro lado, la digestión anaerobia permite generar metano a partir de lodos textiles, aunque la producción depende de la adición de celulosa y las condiciones del ensayo.

- **Analizar la viabilidad del vermicompostaje como alternativa sostenible para el tratamiento de lodos, determinando la capacidad de las lombrices para reducir la carga de microplásticos y estabilizar el material.**

El objetivo principal de la realización del proceso es poder eliminar la mayor cantidad de Microplásticos procedentes del lodo de la industria textil por medio de la biorremediación, y a su vez conseguir que el lodo pueda reutilizarse ya sea como compost o como abono sin riesgos para el medio ambiente y para la salud humana en procesos agrícolas. En comparación con las pruebas realizadas en el proyecto E-Microplast, la fase experimental se ha realizado en las instalaciones de AITEX siendo una prueba a nivel de planta piloto. Para la realización del proceso se utilizarán lombrices de *Eisenia andrei* y un *Sarther CMC (Microorganismos)* para comprobar otras posibilidades a la hora de la eliminación de MPs.

Procedimiento experimental:

Los lodos residuales de la industria textil (Fig. 7) fueron proporcionados por una empresa textil de la zona a partir mayo del 2025 recogiendo alrededor de 600 Kg para poder realizar el proyecto.

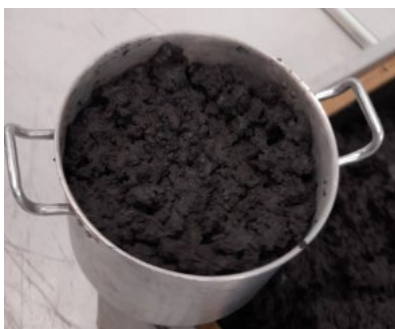


Figura 7: Lodo Textil

El lodo recogido se homogeniza con fibra de coco en una proporción del 50% y distribuido en 4 cajones donde se añadirán las lombrices y los microorganismos dejando uno como control.



Figura 8: Fibra de coco

La distribución es la siguiente:

- Caja 1 (Testigo): Lodo residual + estructurante (fibra de coco) +
- Caja 2: Lodo residual + Starter CMC (microorganismos).
- Caja 3: Lodo residual + estructurante + 2000 individuos de *Eisenia andrei*.
- Caja 4: Lodo residual + enmienda de nitrógeno + Starter CMC + 2000 individuos de *Eisenia andrei*.

El lodo homogenizado con la fibra de coco se mezcla en cada cajón, de manera que la mezcla resultante quede “suelta” en pequeñas “bolas” para el correcto funcionamiento del proceso.

Una vez preparados todos los cajones, las mezclas se tienen que ir volteando regularmente y secando durante las semanas siguientes a su acopio en los cajones, comprobando regularmente la temperatura y humedad de la sala y de las mezclas de los cajones.



Figura 9: Cajón con la mezcla de lodo+fibra de coco

Cuando las condiciones de las mezclas son las adecuadas se añade la urea para equilibrar la relación **C/N** (Carbono/Nitrógeno) en el material a compostar. Las lombrices y los microorganismos necesitan nitrógeno para descomponer la materia orgánica y producir humus, al aumentar el nitrógeno disponible, se estimula la actividad microbiana, lo que acelera la degradación de los residuos orgánicos, para equilibrar la relación C/N con urea se analiza el resultado de la mezcla del lodo+fibra de coco.

PARÁMETROS	MÉTODOS	RD 1051/2022	RESULTADOS	UNIDADES
Caracteres Físico-Químicos				
Carbono orgánico total	UNE-EN 15936:2012 (MÉTODO B)		53.1 ± 14%	%m.s.
Nitrógeno total	PE-COR-042		2.5 ± 10%	%N m.s.



Figura 10: Se añade urea a las mezclas

Una vez añadida la urea y volteadas y aireadas las mezclas se añaden los microorganismo y parte de las lombrices en los cajones seleccionados en su sustrato habitual, para que migren a las mezclas.



Figura 11: Lombrices en sustrato de la caja ensayo

A lo largo de las semanas se debe ir comprando la humedad y la temperatura de los cajones añadiendo regularmente agua si es necesario, durante estas semanas se deben observar los cajones con las lombrices para comprobar por una parte si han migrado al sustrato preparado con el lodo + fibra de coco.



Figura 12: Lombrices en proceso de migración de sustrato en la caja ensayo

Conforme van pasando las semanas las lombrices migran al nuevo sustrato y se debe comprobar regularmente las condiciones de las lombrices, observando su mortalidad y su reducción en el nuevo sustrato, aparte de ir comparando siempre las condiciones del sustrato y de la sala.



Figura 13: Comprobación del estado de las lombrices

Después de la primera inoculación de lombrices y observar que se han adaptado al medio, se añaden el resto de las lombrices, de la misma manera que la primera inoculación.

Durante las semanas siguientes se ha ido observando la migración de las últimas lombrices y comprobando el estado de los huevos en la mezcla.

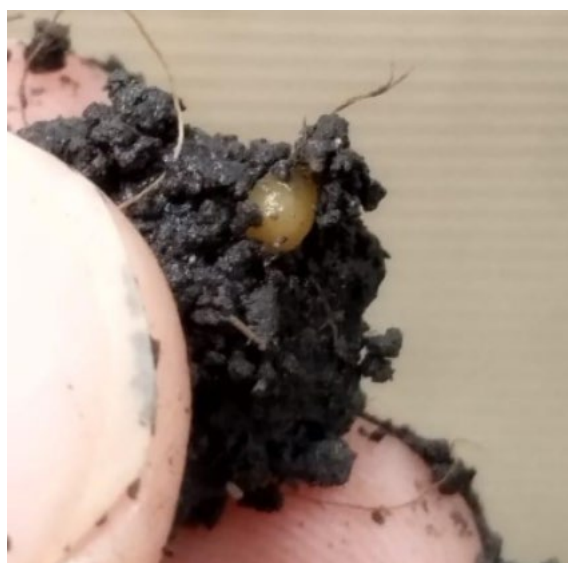


Figura 14: Ejemplo de huevo extraído de las capas más superficiales de la caja 4.

Llegados a este punto se recopilaban muestras de los 4 cajones para enviar a realizar un análisis de la cantidad de microplásticos y comprobar si han disminuido.

Se continuó controlando la temperatura cada dos días y humedeciendo los cajones cuando era pertinente. Las semanas previas a la recogida de las muestras finales, se adicionó más mezcla (fibra de coco + lodo) en forma de fila en el extremo interno de la caja. De modo que cada vez que se

adicionaba nueva mezcla se observaba como las lombrices migraban hacia la zona de nueva adición.

Finalmente, después de todo el proceso de Vermicompostaje se preparan las muestras de la mezcla compostada para su análisis de microplásticos y comprobar si se han reducido o eliminado parte de estos en comparación con la muestra inicial, realizando también los análisis biológicos de las muestras finales para comprobar si la mezcla pudiera utilizarse como compost o fertilizante para el sector agrario. Las muestras finales se tomaron del extremo pegado a la pared del cajón, esto se hizo de modo que las muestras sean tomadas de muestras inalteradas por acción humana desde el tiempo cero. A diferencia del otro extremo de la caja donde debido a la adición de nueva mezcla, la concentración de microplásticos se habrá incrementado al margen de la acción de las lombrices.

Resultados:

La evolución de la concentración total de número de partículas de microplásticos por gramo de materia seca ($\text{MPs} \cdot \text{g}^{-1}$) en los distintos tratamientos a lo largo del proceso se resume en la tabla 8, mostrando una disminución progresiva en todos los casos entre los tiempos 0, 95 y 123 días. Entre el inicio del ensayo y los 95 días, se registraron reducciones relativas heterogéneas hasta un 47 %. En el intervalo comprendido entre los días 95 y 123, se observó una reducción adicional de la concentración total, con descensos relativos que oscilaron entre el 2 % y el 55%. Como resultado, la reducción acumulada entre el tiempo inicial y el final del proceso se situó entre el 48,67 % y el 66,94 %, evidenciando una disminución sostenida de la carga total de microplásticos a lo largo del periodo de estudio en todos los tratamientos evaluados. Un esquema de los resultados obtenidos que acompaña la tabla de muestran a continuación:

	Día 0 $\text{MPs} \cdot \text{g}^{-1}$	Día 95 $\text{MPs} \cdot \text{g}^{-1}$	Día 123 $\text{MPs} \cdot \text{g}^{-1}$	Reducción de día 0 a día 95 (%)	Reducción de día 95 a día 123 (%)	Reducción total de día 0 a día 123 (%)
Módulo 1	362,18	189,34	185,91	47,72%	1,81%	48,67%
Módulo 2	362,18	282	127,13	22,14%	34,08%	64,90%
Módulo 3	362,18	211,89	139,68	41,50%	54,92%	61,43%
Módulo 4	362,18	248,67	119,72	31,34%	51,86%	66,94%

Tabla 8: Cambios en la evolución y reducción de la concentración total de micro plásticos en cada módulo del ensayo a 0, 95 y 123 días en ensayo expresados en $\text{MPs} \cdot \text{g}^{-1}$; número de partículas por gramo de muestra en base seca, acompañados de los % de reducción en relación al contenido en la mezcla inicial. Módulo 1 (control): lodo textil + fibra de coco/ Módulo 2: lodo textil + fibra de coco + Starter CMC/ Módulo 3: lodo textil + fibra de coco + 2000 E. andrei/ Módulo 4: lodo textil + fibra de coco + Starter CMC + 2000 E. andrei.

- Módulo 1 (control): lodo textil + fibra de coco:
 - o A los 95 días, la concentración descendió hasta 189,34 $\text{MPs} \cdot \text{g}^{-1}$, lo que representa una reducción limitada en la primera fase.
 - o Entre los días 95 y 123, la concentración se mantuvo prácticamente estable (185,91 $\text{MPs} \cdot \text{g}^{-1}$), con una reducción adicional baja.
- Módulo 2: lodo textil + fibra de coco + Starter CMC:

- A los 95 días, la concentración se redujo hasta 282 MP $\cdot$ g $^{-1}$, mostrando la menor reducción en la fase inicial.
- Sin embargo, a los 123 días, la concentración descendió de forma marcada hasta 127,13 MP $\cdot$ g $^{-1}$.
- La reducción acumulada final fue del 64,90 %, una de las más elevadas del ensayo.
- Módulo 3: lodo textil + fibra de coco + 2000 E. andrei:
 - A los 95 días, la concentración fue de 211,89 MP $\cdot$ g $^{-1}$, con una reducción moderada respecto al tiempo inicial.
 - A los 123 días, la concentración disminuyó notablemente hasta 139,68 MP $\cdot$ g $^{-1}$.
 - La reducción acumulada alcanzó el 61,43 %, superando claramente al control.
- Módulo 4: lodo textil + fibra de coco + Starter CMC + 2000 E. andrei
 - A los 95 días, la concentración se redujo hasta 248,67 MP $\cdot$ g $^{-1}$.
 - A los 123 días, se alcanzó la menor concentración final del estudio (119,72 MP $\cdot$ g $^{-1}$).
 - La reducción acumulada fue la más elevada, con un **66,94 %**

En el gráfico 6 están representados los resultados obtenidos para los distintos módulos con los distintos tratamientos biológicos para el lodo textil.

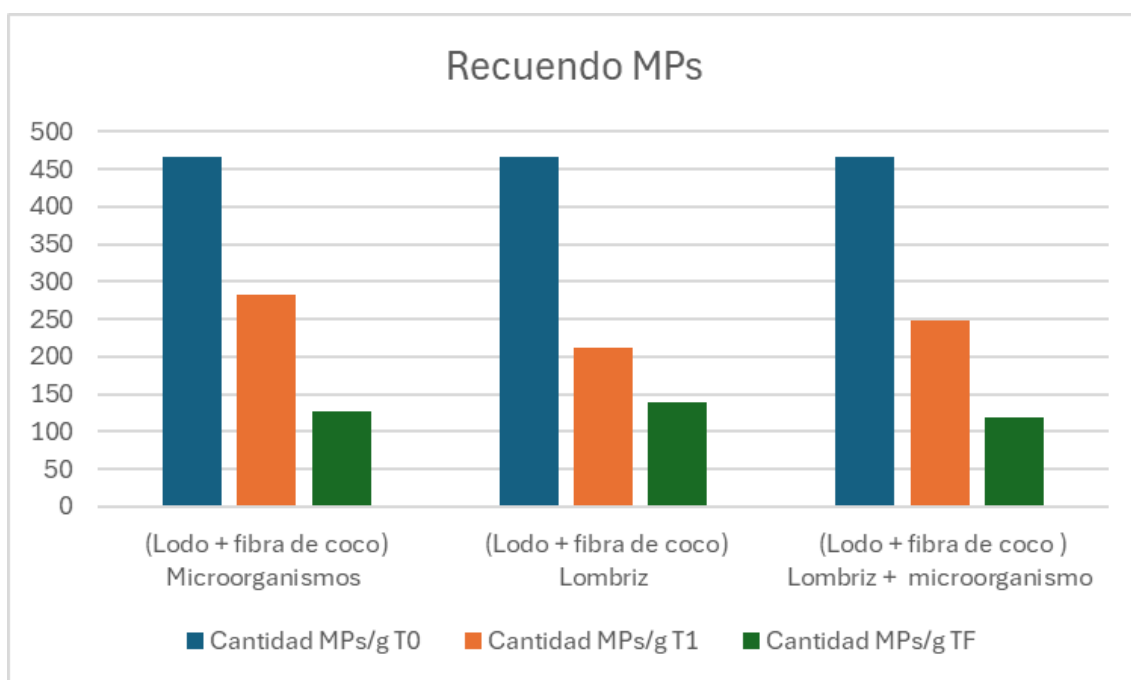


Gráfico 6: Comparación de las concentraciones de microplásticos presentes en las diferentes muestras a tiempo inicial, tiempo 1 y tiempo final.



Conclusión:

Todos los tratamientos partieron de una concentración inicial idéntica ($362,18 \text{ MPs} \cdot \text{g}^{-1} \text{ bs}$), lo que permitió una comparabilidad directa y evidenció una tendencia clara de disminución progresiva de la concentración total de microplásticos entre los tiempos 0, 95 y 123 días en todas las condiciones experimentales. La reducción acumulada final osciló entre el 48,67 % y el 66,94 %, reflejando una pérdida sostenida de microplásticos a lo largo del proceso.

Los resultados obtenidos muestran diferencias significativas entre el control y los tratamientos biológicos en cuanto a la degradación y fragmentación de microplásticos.

En el control, a los 95 días (tiempo 1) se observó que la degradación o fragmentación de los microplásticos se detuvo, indicando una ausencia de mecanismos activos que favorezcan su transformación. Se registró una disminución y fragmentación en el módulo tratado con lombrices, en comparación con el control, lo que aporta evidencia sólida de la influencia de mecanismos biológicos asociados a su actividad. Asimismo, los resultados obtenidos con el inóculo microbiano confirman una eficiencia destacable en la reducción y fragmentación de microplásticos. La combinación de ambos fue la que mostro una mayor capacidad de reducción y fragmentación de microplásticos.

Estos resultados refuerzan el potencial de esta tecnología como estrategia biotecnológica para la mitigación de este tipo de contaminantes.

Otra línea del proyecto ha sido analizar resultado del lodo procesado. Los residuos de los procesos ensayados con las lombrices (Lombrices Lombrices/Microorganismos) permitieron obtener un sustrato estabilizado, caracterizado por un incremento en el contenido de sustancias húmicas y concentraciones de metales dentro de rangos considerados adecuados para su clasificación como fertilizante orgánico. Además, el vermicompost adquiere un valor agregado al reutilizar y revalorizar un residuo cuya gestión suele ser problemática y costosa, su utilización debe restringirse a entornos confinados donde no exista transferencia al medio natural como son; Sistemas de biorremediación confinada sobre superficies impermeabilizadas, jardinería urbana en entornos delimitados (macetas, tejados, paredes verdes, patios o terrazas).



6. Colaboradores externos e impacto empresarial

Para la correcta consecución del proyecto se ha contado con las colaboraciones de los Servicios Externos:

- Multihuerto: Se ha contado con la participación de la empresa Multihuerto empresa ubicada en Mutxamel (Alicante) en el proyecto como servicio externo en el proceso de Vermicompostaje, encargándose de la planificación y formación del personal técnico del proyecto para la realización del proceso de Vermicompostaje en las instalaciones se AITEX, así como del crecimiento y seguimiento de las lombrices a lo largo de la duración del proyecto, así como para la caracterización de los lodos para comprobar su posibilidad como sustrato en la industria agraria y análisis de los resultados.
- Insoagra: Es una Spin-off de la Universidad de Granada, la función dentro del proyecto ha sido el análisis y cuantificación de los microplásticos de los lodos durante la duración del proyecto.

El impacto empresarial en este proyecto se cuantifica en el interés de empresas del sector interesadas en el proyecto, las cuales se han materializado en propuestas para proyectos de AVI (Agencia Valenciana de Innovación).