



# **Formación Técnica Avanzada (REGROW ATF)**

*REGROW Advanced Technical  
Formation (REGROW ATF)*



# Curso on-line sobre Restauración Ambientalmente Sostenible de Balsas en desuso de Alpechín (ERAOWP)

*E-learning Course on Ecological Restoration of  
Abandoned Olive Waste Ponds (ERAOWP)*



# 6.13. Establecimiento de cascada de tratamientos BRS aplicables a escala real

Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente. UMH-EPSO.

Dra. María Dolores Pérez Murcia

Dr. José A. Sáez Tovar

D. **Alberto Vico López**

Dr. Raúl Moral Herrero



Coordinador:



Socios:



# Fundamentos y fase de estudio

**Fase A:** Estudio de la contaminación de las balsas de alpechín.



**Fase B.1 y B2:** Demostración de las tecnologías de Biorremediación propuestas (BRS)

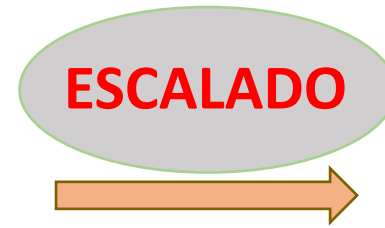
## Estrategias de Biorremediación

Landfarming	Compostaje	Vermi-Compostaje	Fitorremediación



**Fase B.2:** Escalado mejores estrategias

# Fundamentos y fase de estudio



## FASE B.2:

- Aumento a escala de los protocolos de biorremediación (BRS) obtenidos en la acción B.1.
- Preparación, implantación y desarrollo del suelo escala completa en **balsa 3 (2400 m<sup>2</sup>)** y **balsa 6 (4534 m<sup>2</sup>)**
- Demostración potencial recuperación, extracción y degradación de contaminantes específicos.
- Producción de biomasa, cobertura vegetal de la superficie.

# Fundamentos y fase de estudio

## Concepto de tratamientos en cascada:

Adecuación de los  
tratamientos al medio  
contaminado, utilización  
de diferentes escalas y  
organismos...



# Adaptación a la escala real...



## Balsa 3



### Estado inicial :

- Superficie de 2.400 m<sup>2</sup>.
- Balsa de **naturaleza inorgánica**.
- **Contenido medio de Polifenoles Hidrosolubles 15.718 mg/kg.**
- Elevado pH y gran contenido en sales como NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y metales (Fe, Mn, Zn, Ni, Li, Cr, Co, Al, etc.).

# Adaptación a la escala real...



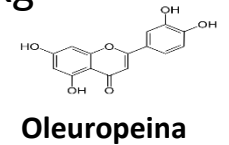
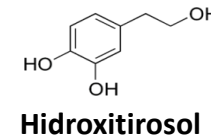
Balsa 6



## Estado inicial :

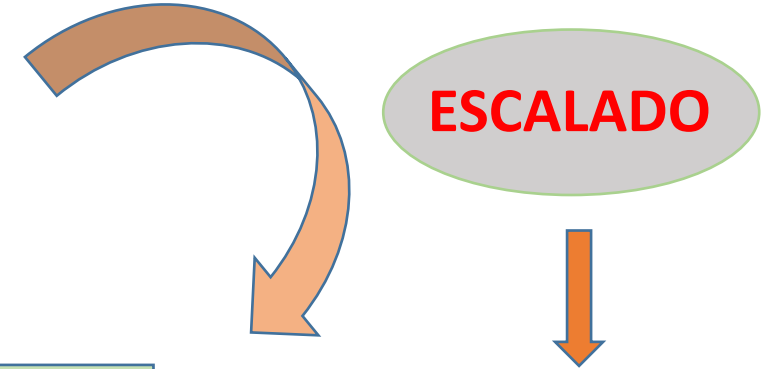
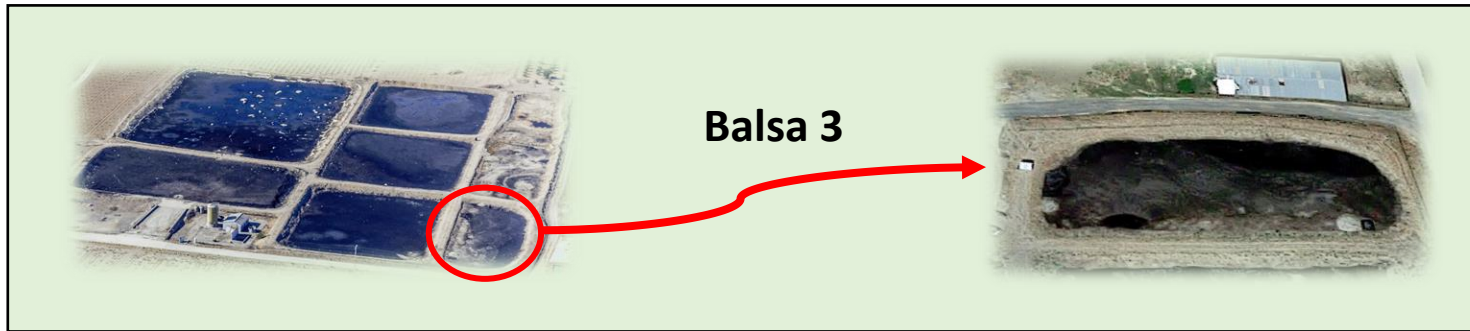
- Superficie de 4534 m<sup>2</sup>.
- Balsa de **naturaleza orgánica**.
- **Contenido alto de Polifenoles Hidrosolubles 49.414 mg/kg**
- gran contenido en MO ,COT ,NT, pH neutro ( $\approx 7$ )

Gran contenido en **COR**  
2.761 mg /kg





# Desarrollo: Cadena de biorrestauración 1



## LANDFARMING + FITOREMEDIACIÓN



- **Landfarming:** estimula la acción degradativa aerobia de los microorganismos.
- **Fitoremediación:** favorece la regeneración biótica de los sedimentos de alpechín

# Desarrollo: Cadena de biorrestauración 2



## COMPOSTAJE + VERMICOMPOSTAJE



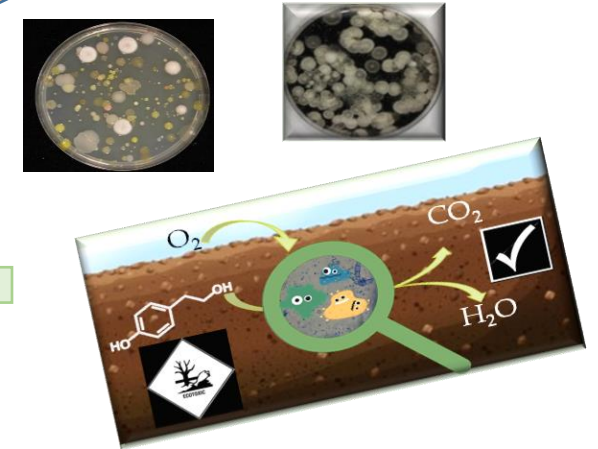
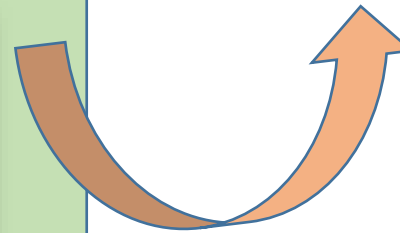
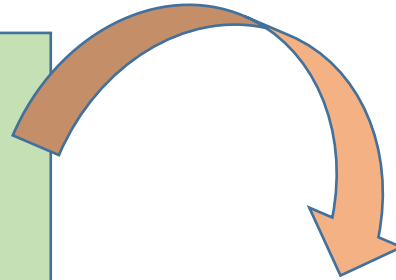
- **Compostaje:** gran efectividad en la degradación de **COR**
- **Vermicompostaje:** mejora la **calidad** del producto, favorece la reducción de sales

# Desarrollo: Cadenas + Inoculación

## LANDFARMING + FITOREMEDIACIÓN



## COMPOSTAJE + VERMICOMPOSTAJE



- **Bioaumentación:** aplicación del consorcio de microorganismos +**REMOU.**

# Desarrollo: CBR 1 – Landfarming + Fitorremediación



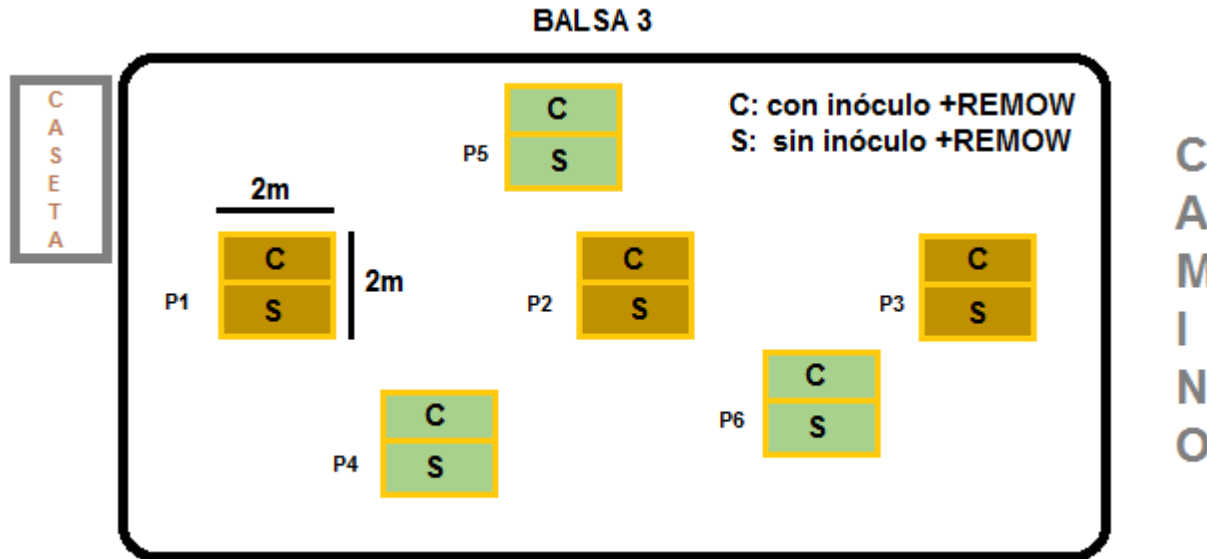
Elaboración de una mezcla que aporte los nutrientes necesarios para que los microorganismos degraden los contaminantes, gracias al expertise adquirido en fase B.1.

**Material contaminado:** Material inorgánico Alpechín Balsa 3

+

**Materia orgánica fresca:** Conjunto de enmiendas orgánicas

# Desarrollo: CBR 1 – Landfarming + Fitorremediación



- Se establecen **6 subparcelas de 2 x 2 m**:
  - 3 subparcelas fueron establecidas sobre suelo original contaminado a modo control.
  - 3 subparcelas con mezcla orgánica compleja.
- En cada subparcela se delimita un área sin inóculo y otra de igual superficie con el consorcio inóculo **LIFE+REMOW**.

Parcelas de suelo original sin tratar		Parcelas con mezcla compleja	
P1		P4	
P2		P5	
P3		P6	



# Desarrollo: CBR 1 – Landfarming + Fitorremediación

ESPECIE	COMPOSICION(%)
<i>Moricandia arvensis</i>	10,00
<i>Moricandia moricandioides</i>	5,00
<i>Psoralea bituminosa</i>	2,00
<i>Asphodelus fistulosus</i>	10,00
<i>Lygeum spartum</i>	2,00
<i>Hordeum murinum</i>	2,00
<i>Atriplex halimus</i>	0,50
<i>Chenopodium album</i>	10,00
<i>Brachypodium distachyon</i>	17,50
<i>Brachypodium retusum</i>	5,00
<i>Polygonum aviculare</i>	5,00
<i>Sinapis alba</i>	20,00
<i>Dittrichia viscosa</i>	5,00
<i>Scirpus holoschoenum</i>	2,00
<i>Juncus acutus</i>	2,00
<i>Juncus inflexus</i>	2,00

- **16 especies** de semillas silvestres seleccionadas de entornos mediterráneos. 3 herbáceas perennes, 9 herbáceas anuales, 1 arbusto y 3 plantas humedal
- Se delimitaron **24 parcelas de 55m<sup>2</sup>**
- Se sembraron en una densidad de **6 g semilla/ m<sup>2</sup>**



 **Semillas Silvestres**



Ayuntamiento de  
mora  
tierra de olivos



**UNIVERSITAS**  
Miguel Hernández



**UNIVERSIDAD**  
DE ALMERÍA



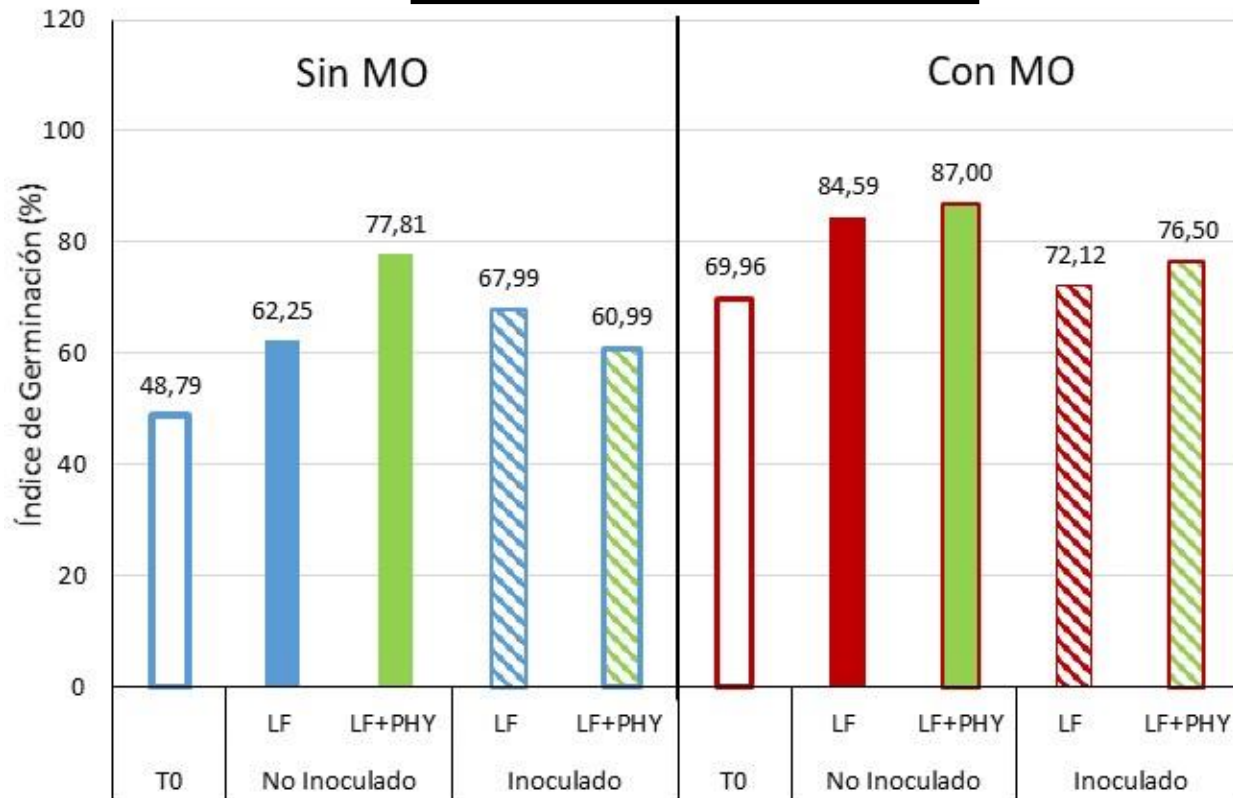
GESREMAN S.L.  
I+D+i y Medio Ambiente  
www.gesreman.com



ASOCIACIÓN ESPAÑOLA  
DE MUNICIPIOS DEL OLIVO

# Resultados: CBR 1 – Landfarming + Fitorremediación

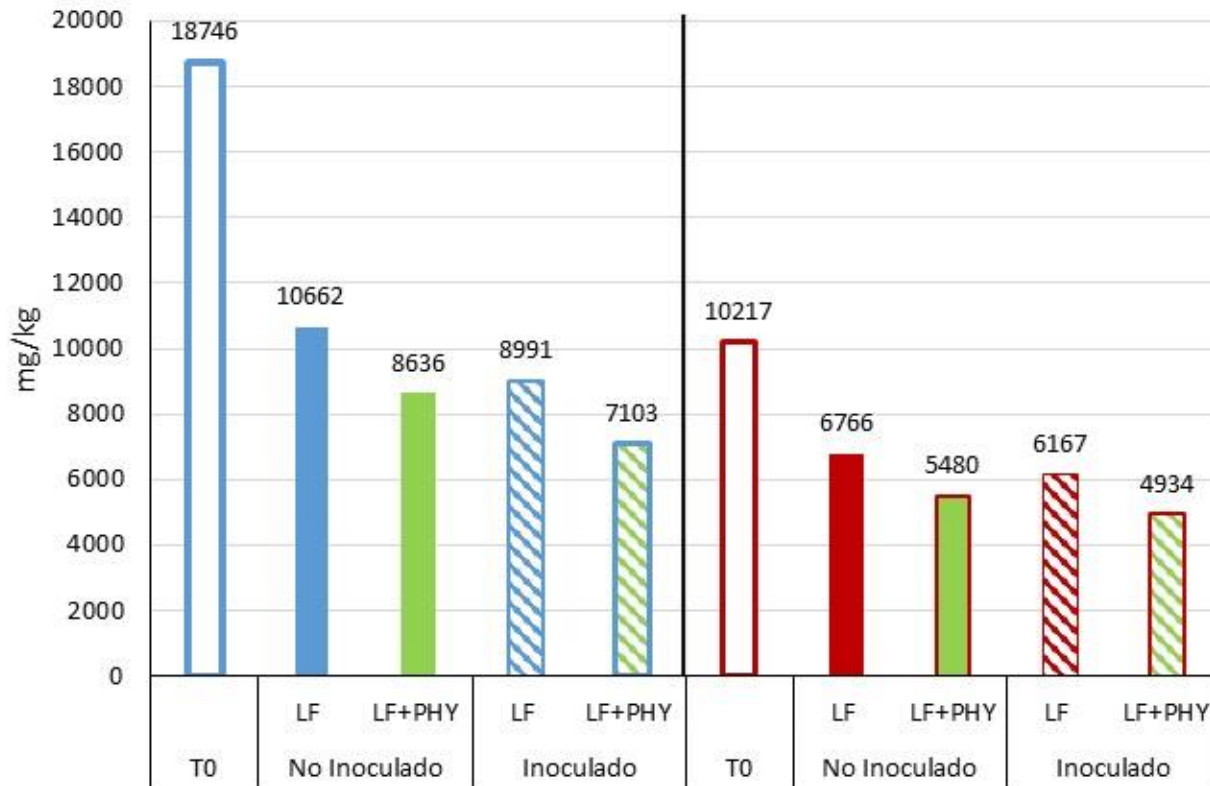
## FITOTOXICIDAD



- Los tratamientos con y sin MO **reducen** fitotoxicidad (%IG>50%)
- LF y LF+PHYTO + MO **eliminan** fitotoxicidad (%IG>80)
- Inóculo **no influye**
- MO: **favorece** descontaminación

# Resultados: CBR 1 – Landfarming + Fitorremediación

## COMPUESTOS FENÓLICOS

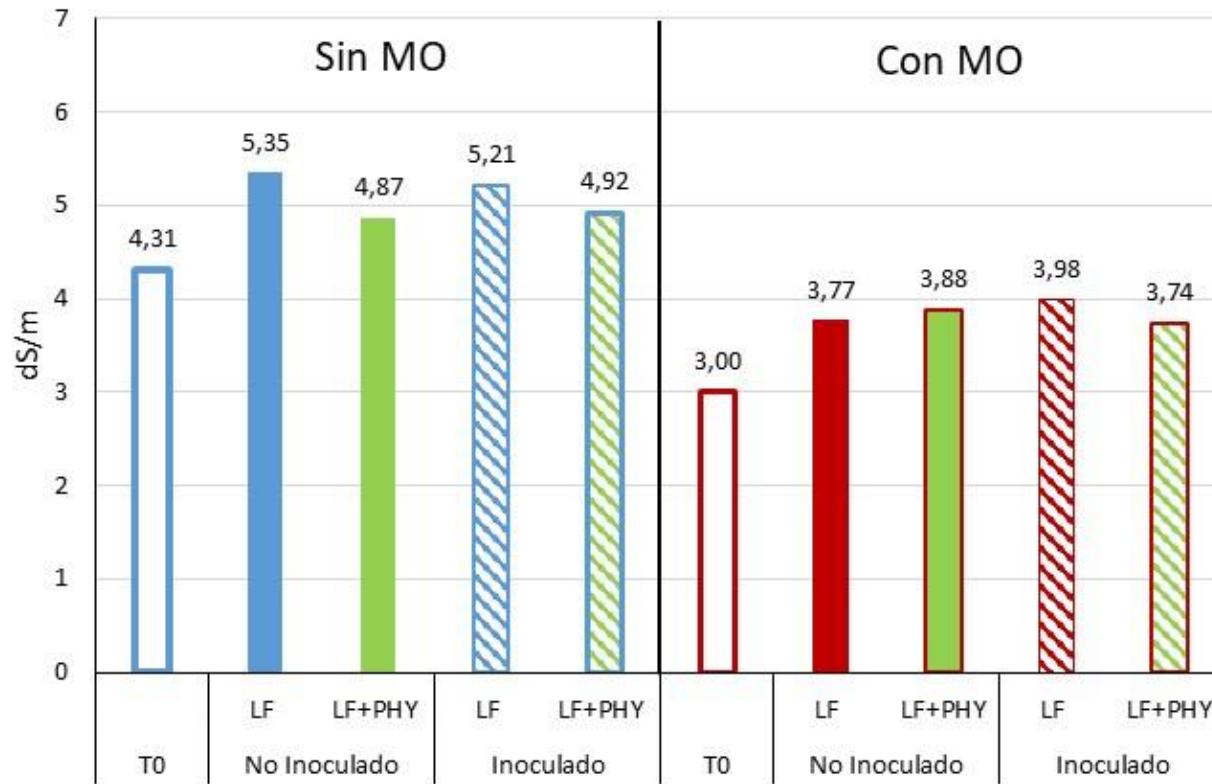


- LF y LF+PHYT **REDUCEN** contenido en **compuestos fenólicos**
- La **MO** estimula **degradación** fenólicos
- El inóculo LIFE+REMOW **FAVORECE** eliminación de compuestos fenólicos.



# B2.1. Resultados: CBR 1 – Landfarming + Fitorremediación

## CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA



- La presencia **MO** favorece **reducción** de CE < 4 dS/m
- **PHYT** favorece generalmente la ↓ CE
- **Inóculo LIFE+REMOW**: no influye

# Resultados: CBR 1 – Landfarming + Fitorremediación



## BALANCE DE MASAS

### Material Life+ REGROW

- Balsa 3 = 986 m<sup>3</sup> (1219 t s.m.f.)

**INPUT**

### Material Exógeno

- Mezcla madre= 87 m<sup>3</sup> (25 t s.m.f.)



**OUTPUT**

### Suelo Restaurado

1021 m<sup>3</sup>  
(1189 t s.m.f.)

## Cadena 01: LAND-PHYTO



# Desarrollo: CBR 2 – Compostaje + Vermicompostaje



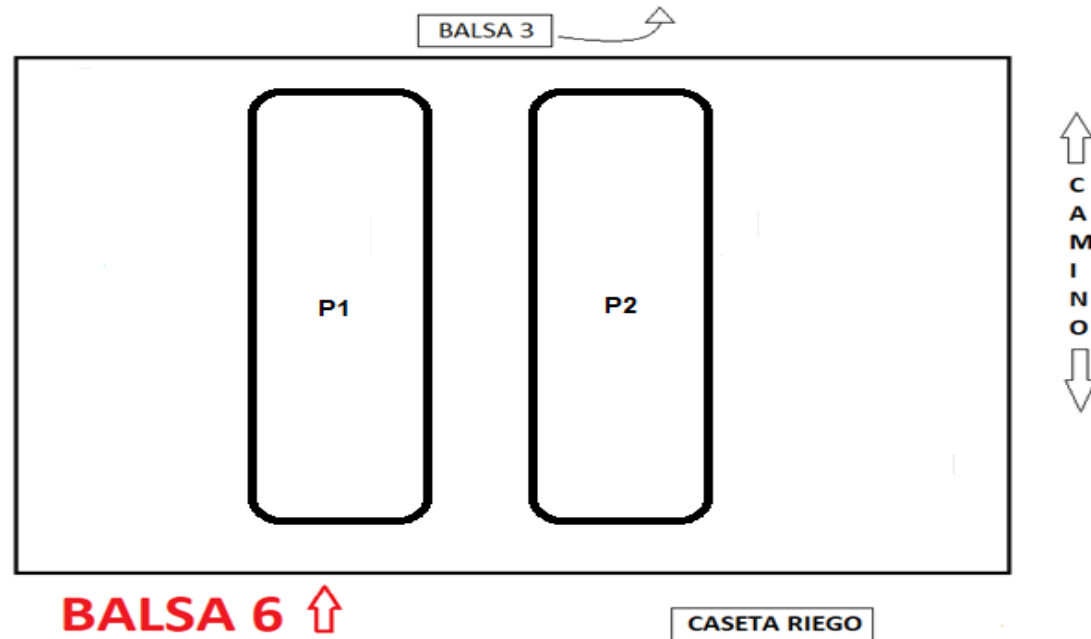
Elaboración de una mezcla de sedimentos de alpechín de balsas orgánicas y residuo ganadero (estiércol de vaca) que aporte los nutrientes necesarios para que los microorganismos degraden los contaminantes

**Material contaminado:** Material orgánico Alpechín Balsa 5 y Balsa 6

+

**Materia orgánica fresca:** Residuo ganadero (Estiércol vacuno + cama de paja)

# Desarrollo: CBR 2 – Compostaje + Vermicompostaje



La Pila 1 cumple con los requisitos para proceder a su registro como fertilizante como compost clase A, a falta de conocer el análisis de granulometría (solicitado).

- Formación de dos pilas de compostaje de 635 m<sup>3</sup> y 401 m<sup>3</sup>
- Inoculación de una de las Pilas con el consorcio **LIFE +REMOV**
- **Incorporación** de la lombriz roja de California (*Eisenia fetida*)



# Desarrollo: CBR 2 – Compostaje + Vermicompostaje



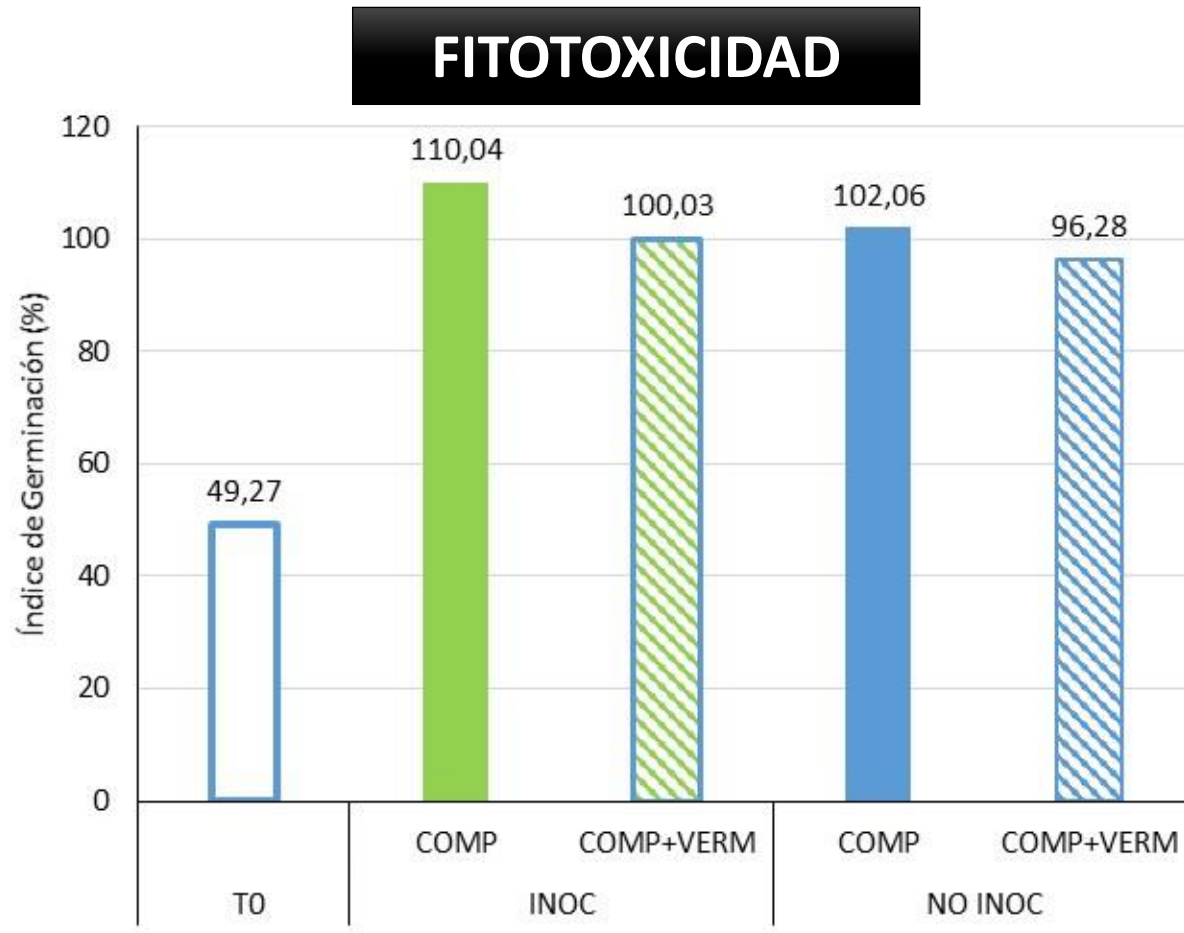
- Se prepararon dos trincheras para vermicompostaje de **4,5 m<sup>3</sup> cada una de ellas** usando el material de las pilas resultantes del compostaje (una de ellas sin inocular y la otra inoculada con consorcio inocular **+REMOV al inicio de la Cadena**).
- Se introducen las lombrices al terminar la fase biooxidativa (día 154)
- Se realiza seguimiento periódico de supervivencia y crecimiento de las lombrices



Lombriz roja de California (*Eisenia fetida*)

Densidad de inoculación **2500 ind./m<sup>3</sup>**

# Resultados: CBR 2 – Compostaje + Vermicompostaje

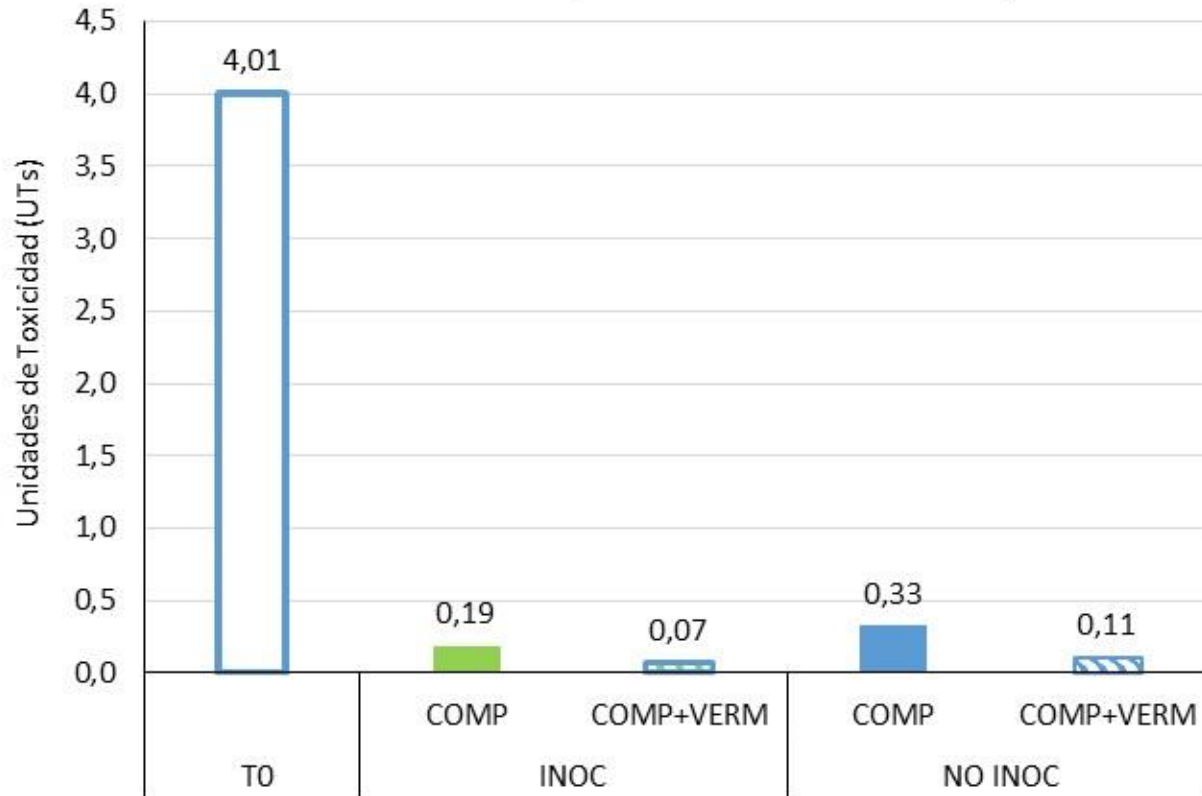


- **Compostaje y vermicompostaje eliminan la fitotoxicidad (%IG>80%)**
- Tratamiento más efectivo: Compostaje + inóculo **110% IG**
- El **compost** presentó capacidad **fitoestimulante** (IG%>100%)

# Resultados: CBR 2 – Compostaje + Vermicompostaje

## ECOTOXICIDAD

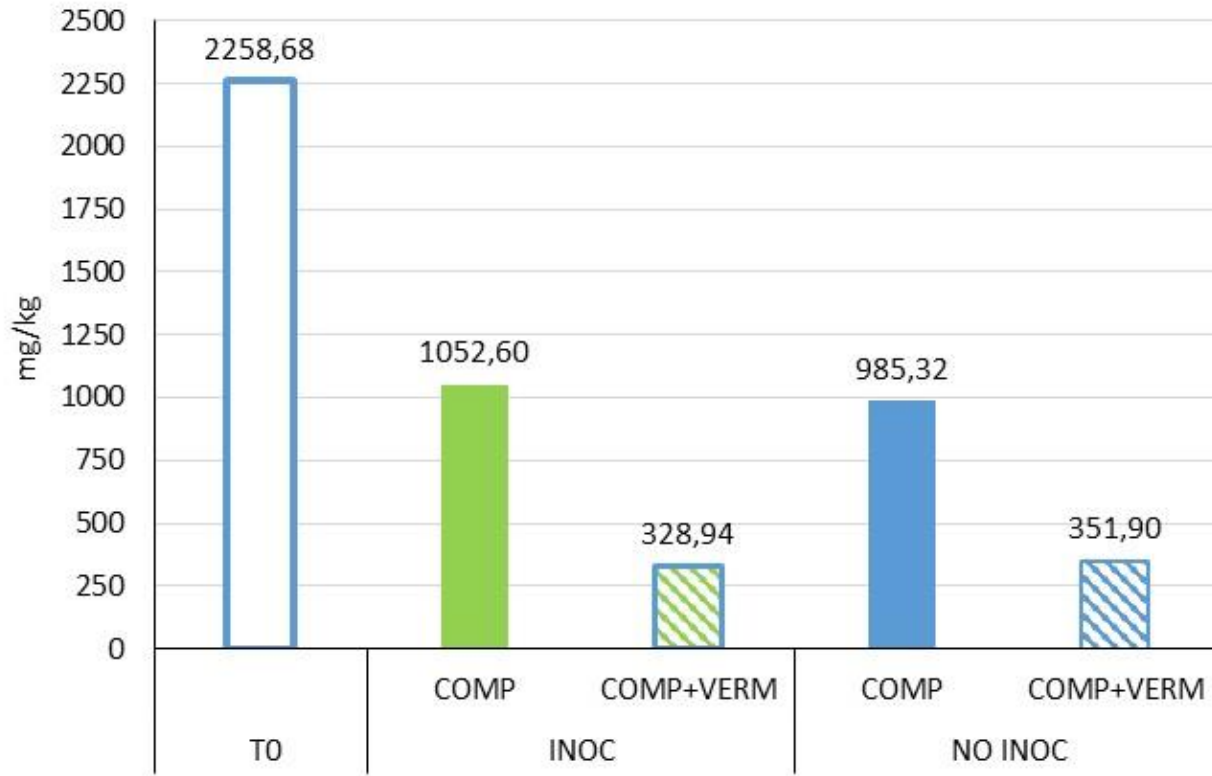
Ecotoxicidad (Unidades de Toxicidad)



- **Compostaje y vermicompostaje eliminan la ecotoxicidad (UT<0.4)**
- **Vermicompostaje: 98% REDUCCIÓN** ecotoxicidad = tratamiento + efectivo
- **Inóculo LIFE+REMOW: mejora** la eficacia descontaminadora de las técnicas

# Resultados: CBR 2 – Compostaje + Vermicompostaje

## COMPUESTOS FENÓLICOS



- **Compostaje y Vermicompostaje FAVORECEN** la degradación de compuestos fenólicos
- **REDUCCIÓN** Vermicompostaje: **98%**
- **REDUCCIÓN** Compostaje: **95%**
- El inóculo LIFE+REMOW no influye en la eliminación de compuestos fenólicos.



# Resultados: CBR 2 – Compostaje + Vermicompostaje

## CARACTERÍSTICAS COMPOST/VERMICOMPOST FINAL

Parámetros	Valores óptimos	Compost		Vermicompost	
		Con Inóculo	Sin Inóculo	Con Inóculo	Sin Inóculo
Humedad (%)	40% máx.*	30	25	47	41
MOT (%)	30-35%*	21	18	24	20
C/N	<20*	13	12	23	15
pH	6.5-8.5**	8.0	8.6	7.5	8.2
CE (dS/m)	<4*	3.7	2.8	0.7	0.8
AH/AF ratio	>1**	2.3	2.0	2.2	2.1

- Compost y vermicompost final presentan las características requeridas para su uso como **fertilizante**

\*De acuerdo con normativa vigente (BOE-A-2013-7540)

\*\*De acuerdo con bibliografía

Metales Pesados	Compost		Vermicompost	
	Con Inóculo	Sin Inóculo	Con Inóculo	Sin Inóculo
Fe (g/kg)	13.8	12.2	14.2	12.1
Cd (ppm)	0.10	0.11	0.13	0.13
Cu (ppm)	26.6	33.2	29	37.8
Ní (ppm)	21.7	31.4	18.4	24.1
Pb (ppm)	11.0	20.3	10.0	21.0
Zn (ppm)	104.2	103.2	118.5	121.5
Cr (ppm)	77.2	78.1	67.7	61.0

Según normativa vigente (BOE-A-2013-7540)  
Real decreto sobre productos fertilizantes

**CLASE A**

Los productos fertilizantes elaborados con materias primas de origen animal o vegetal no podrán superar el contenido de metales pesados indicado en el Cuadro siguiente, según sea su clase A, B o C:

Metal pesado	Límites de concentración		
	Sólidos: mg/kg de materia seca		
	Clase A	Clase B	Clase C
Cadmio	0,7	2	3
Cobre	70	300	400
Níquel	25	90	100
Plomo	45	150	200
Zinc	200	500	1.000
Mercurio	0,4	1,5	2,5
Cromo (total)	70	250	300
Cromo (VI) *	No detectable según método oficial	No detectable según método oficial	No detectable según método oficial

# Resultados: CBR 2 – Compostaje + Vermicompostaje



## BALANCE DE MASAS

### Material Life+ REGROW

- Balsa 5 = 190m<sup>3</sup> (131 t s.m.f.)
- Balsa 6 = 656m<sup>3</sup> (562 t s.m.f.)

**INPUT**



**OUTPUT**



**Biofertilizantes  
(COMP/VERMI)**

568 m<sup>3</sup> (321 t s.m.f.)

### Material Exógeno

- R. ganadero = 190 m<sup>3</sup>  
(66 t s.m.f.)

## Cadena 02: COMP-VERMI



# Indicadores – Conclusiones

## Indicadores específicos

- Superficie DEMO-UA
- Reducción de polifenoles e hidroxitirosol
- Reducción metales
- Estabilización del N
- Reducción P disponible
- Reducción CE
- Reducción fitotoxicidad
- Aumento biodiversidad microbiana
- Aumento biodiversidad vegetal
- Aumento biodiversidad animal
- Estabilización MO
- Incremento MO biodegradable
- Aumento Respirimetría
- Aumento Biomasa del suelo
- Aumento cociente metabólico
- Aumento cobertura vegetal

INDICADOR	N	VALORES DEL INDICADOR (unidades y límites)	Resultados – Balsa 3 Cascada 01: Landfarming + Fitorremediación	Resultados – Balsa 6 Cascada 02: Compostaje + Vermicompostaje
DEMO-UA adaptada	24	2400m <sup>2</sup>	Balsa 3: 2310 m <sup>2</sup>	Balsa 6: 4543 m <sup>2</sup>
Reducción de los polifenoles totales del suelo a concentraciones iguales a los niveles basales del área	25	Reducción >50% valores iniciales	% cambio (sin / con inóculo) • LF: sin MO -47%/-55%, con MO -66%/-69% • LF+PHYTO: sin MO -57/-64%, con MO -73/-75%	% cambio (sin / con inóculo) • COMP: -95%/95% • COMP+VERMI: -98%/-98%
Reducción del hidroxitirosol a concentraciones iguales a los niveles basales del área	26	Reducción >80% valores iniciales	% cambio (sin / con inóculo) • LF: sin MO -100%/-100%, con MO -100%/-100% • LF+PHYTO: No detección	% cambio (sin / con inóculo) • COMP: -100%/-100% • COMP+VERMI: No detection
Reducción del nivel de disponibilidad de Fe, Cu, Mn y Zn en el suelo restaurado	27	Fe < 50mg/kg; Cu < 3.0 mg/kg o inmovilización en formas no disponibles	% cambio (sin / con inóculo) Fe: valores medios Fe <50 mg/kg • LF: sin MO 208%/200%, con MO 226/275% • LF+PHYTO: sin MO 202%/204%, con MO 211/223% Cu: valores medios Cu >3 mg/kg (=32mg/kg) • LF: sin MO 77%/84%, con MO 54%/100% • LF+PHYTO: sin MO 70%/74%, con MO 43%/70% Mn: • LF: sin MO 151%/143%, con MO 196%-251% • LF+PHYTO: sin MO 132/125%, con MO 169%-180% Zn: • LF: sin MO 30%-34%, con MO 226%-275% • LF+PHYTO: sin MO 21%-28%, con MO 211%-223%	% cambio (sin / con inóculo) Fe: valores Fe <50 mg/kg • COMP: 131%/161% • COMP+VERMI: 129%/169% Cu: • COMP: 56%/25% • COMP+VERMI: 77%/36% Mn: • COMP: 526%/261% • COMP+VERMI: 464%/251% Zn: • COMP: 39%/78% • COMP+VERMI: 29%/54%
Reducción-estabilización del nitrógeno total del suelo en suelo restaurado	29	< 0,3%	N: % cambio (sin / con inóculo) • LF: sin MO 68%/82%, con MO 69%/67% • LF+PHYTO: sin MO 54%/67%, con MO 55%/54% Valor medio N (%) = sin MO 1,4/con MO 1,3	No aplicable
Reducción del P disponible en el suelo restaurado	30	< 28 mg/kg o inmovilización mediante precipitación	P: % cambio (sin / con inóculo) • LF: sin MO -22%/-7%, con MO -22%/-39% • LF+PHYTO: -31%/-17%, con MO -30%/-46%	No aplicable
Reducción de la conductividad eléctrica (CE) del suelo y estabilización bajo umbral de salinidad	31	<4mS/cm	CE: % cambio (sin / con inóculo) • LF: sin MO -27%/-29%, con MO -48%/-45% • LF+PHYTO: sin MO -33%/-33%, con MO -47%/-49% Valor medio CE (mS/cm) = sin MO 4,5/con MO 3,8	% cambio (sin / con inóculo) • COMP: -61%/-50% • COMP+VERMI: -89%/-90% Valor medio CE (mS/cm) = 2,0
Reducción de la fitotoxicidad hasta umbral aceptable	32	>50%	IG: % cambio (sin / con inóculo) • LF: sin MO 10%/20%, con MO 49%/27% • LF+PHYTO: sin MO 37%/50%, con MO 53%/35% Valor medio IG% = sin MO 73/con MO 80	% cambio (sin / con inóculo) • COMP: 80%/94% • COMP+VERMI: 70%/76% Valor medio IG% = 102
Aumentar la biodiversidad microbiana	33	Evolución de indicadores de biodiversidad de actividad microbiana (Shannon) desde	% cambio (sin / con inóculo) • LF: sin MO 3%/7%, con MO 28%/13% • LF+PHYTO: sin MO 25%/29%, con MO 32%/18%	% cambio (sin / con inóculo) • COMP: 23%/25% • COMP+VERMI: 31%/33%
Aumentar la biodiversidad vegetal	34	Evolución de indicadores desde	Valoración en progreso	
Aumentar la biodiversidad animal	35	Evolución de indicadores desde	Indicador descrito en la Tabla 7- Acción C1 (no ligado a	Indicador descrito en la Tabla 7- Acción C1 (no
Reducción y estabilización de la materia orgánica total del suelo (<5%)	36	<5%	% cambio (sin / con inóculo) • LF: sin MO -20%/-13%, con MO -32%/-24% • LF+PHYTO: sin MO -16%-16%, con MO -29%/-24% Valor medio MO% = sin MO 37/con MO 32	% cambio (sin / con inóculo) • COMP: -64%/-52% • COMP+VERMI: -61%/-49% Valor medio MO% = 21
Incremento de la materia orgánica biodegradable en el suelo	37	<2%	% cambio (sin / con inóculo) • LF: sin MO 18%/27%, con MO -31%/-31% • LF+PHYTO: sin MO -10%/-10%, con MO -43%/-43% Valor medio Ch% = sin MO 1/con MO 0,5	% cambio (sin / con inóculo) • COMP: -58%/-53% • COMP+VERMI: -64%/-62% Valor medio Ch% = 0,4
Respirometría del suelo	38	>100% del nivel inicial de respirometría del suelo	% cambio (sin / con inóculo) • LF: sin MO +52/+56%, con MO +42/+107% • LF+PHYTO: sin MO 36-39%, con MO 26-85% Valor medio: 669 mg CO <sub>2</sub> /kg suelo/día (+64%)	No procede
Biomasa del suelo	39	>100% de la biomasa inicial del suelo	% cambio (sin / con inóculo) • LF: sin MO 488%/502%, con MO 399%/426% • LF+PHYTO: sin MO 577/592%, con MO 509/542%	% cambio (sin / con inóculo) • COMP: -61/-56% • COMP+VERMI: -36/-28%
Cociente metabólico del suelo	40	% Incremento de la respirometría >200, durante el Proyecto	% cambio (sin / con inóculo) • LF: sin MO 286-286%, con MO 252-154% • LF+PHYTO: sin MO 399-398%, con MO 383-248%	No procede
Cobertura vegetal	41	50% del total de la superficie	Superficie cubierta (%) (sin / con inóculo)* • LF+PHYTO: sin MO: 26%/29% • LF+PHYTO: con MO: 35%/38%	



# Indicadores – Conclusiones

- **Área total restaurada 6.853 m<sup>2</sup> > 2400 m<sup>2</sup> inicialmente previstos.**
- **Las dos cascadas fueron efectivas para eliminar los compuestos contaminantes y mejorar las condiciones para el establecimiento de una cobertura vegetal.**
- En todos los escenarios, la **conductividad eléctrica se redujo** por debajo del máximo establecido (<4 mS/cm), se **eliminó la fitotoxicidad del material (IG>60%)**, se **incrementó la biodiversidad microbiana y la materia orgánica biodegradable.**
- El **segundo tratamiento de cada cascada (fitorremediación o vermicompostaje) contribuyó a mejorar las condiciones de restauración iniciadas con el primer tratamiento.**

MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN

