Life RIBERMINE
LIFE18 ENV/ES/000181

JORNADA TÉCNICA Y TALLER:

LIFE RIBERMINE

Toledo, 6 de abril de 2022

Escuela de Administración Regional

30 years of bringing green ideas to LIFE

Disclaimer
The LIFE RIBERMINE project has been funded with the support of the **LIFE Programme of the European Union**.
This publication reflects the views only of the author/s, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

Life RIBERMINE
LIFE18 ENV/ES/000181

Queremos ser vanguardia en las restauraciones mineras y transferir lo aprendido:

El proyecto LIFE RIBERMINE

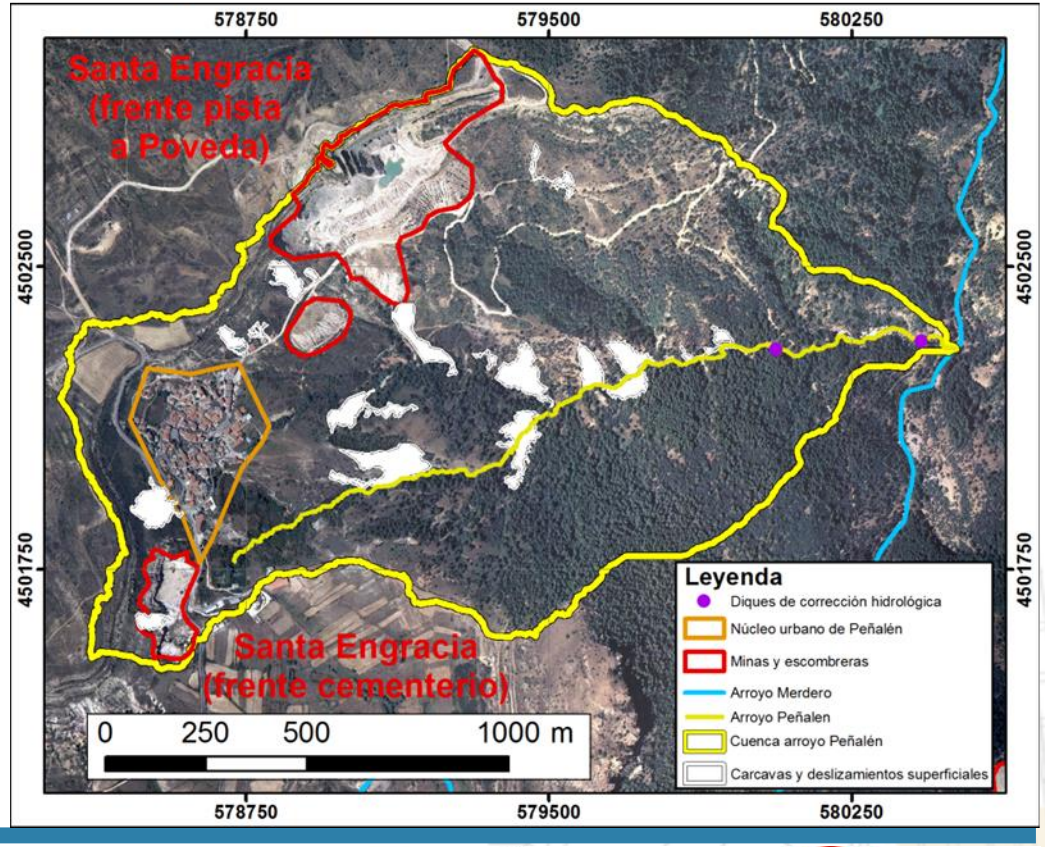
Javier de la Villa (JCCM)
Jorge Relvas (CCV Lousal)

Disclaimer
The LIFE RIBERMINE project has been funded with the support of the **LIFE Programme of the European Union**.
This publication reflects the views only of the author/s, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

EL PROYECTO LIFE RIBERMINE: Antecedentes (I)

- Existencia de un importante pasivo ambiental generado por la actividad minera en la zona del Alto Tajo. Mina inactiva desde 1990. Posteriormente muchos problemas con la empresa
- El **Parque Natural del Alto Tajo** (PNAT), en 2007, consciente del problema contacta con CAOBAR y la Universidad Complutense (UCM) para buscar soluciones.
- Necesario conseguir una fuente de financiación muy importante para recuperar los terrenos afectados por la mina Santa Engracia, extendiendo la Red Natura 2000 existente
- La UCM, que tenía experiencia con Proyectos LIFE, ya estaba trabajando en la zona y contactó con la D.G. de Industria, Energía y Minería.
- Se decidió buscar socios para el proyecto:
  - ✓ **Coordinador: Dirección General de Industria, Energía y Minería**
  - ✓ CAOBAR, empresa minera de la zona
  - ✓ CIEMAT
  - ✓ GEACAM, organismo de la JCCM
  - ✓ Consejería de Agricultura, Medio Ambiente. PNAT
  - ✓ Universidades. UCM, UCLM, Zaragoza
- Posible Apoyo del programa europeo LIFE 2014-2020

Cuenca del arroyo Peñalén, donde se localizan los frentes de explotación de la mina Santa Engracia

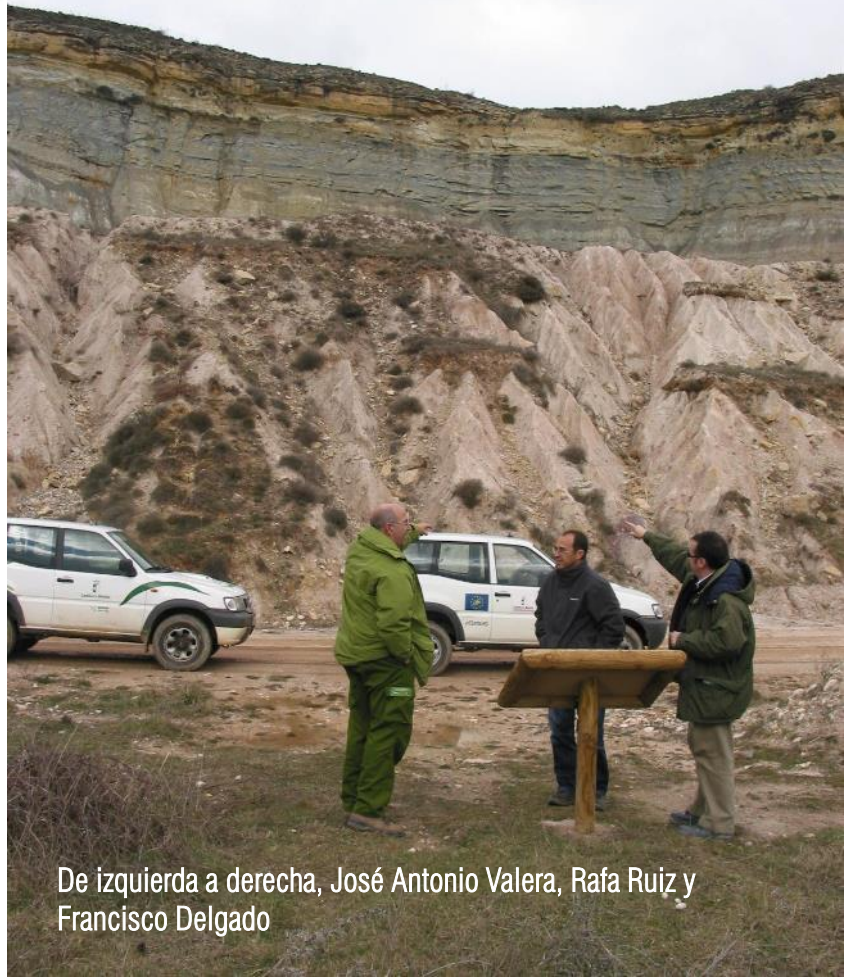


EL PROYECTO LIFE RIBERMINE: Antecedentes (II)

parque natural Alto Tajo

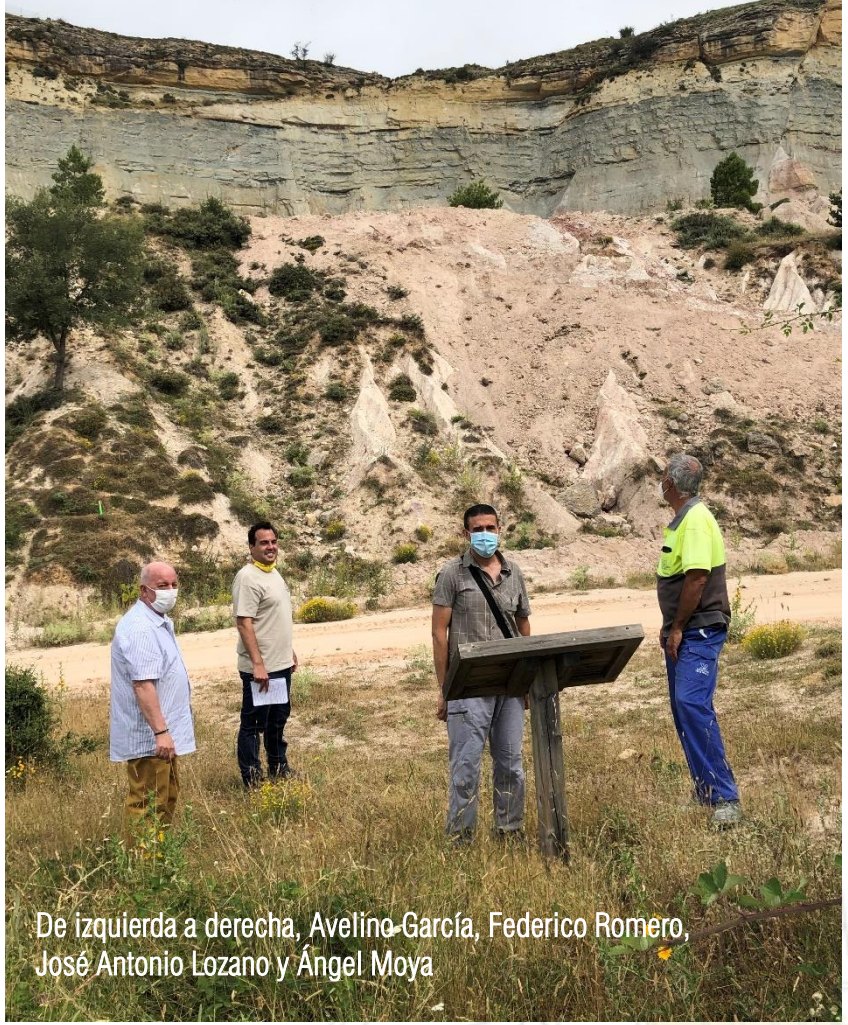
La dirección del PNAT actuó como catalizador, en el año 2007, de toda una serie de acciones colaborativas dirigidas a reducir el impacto ambiental de la minería en el entorno del PN del Alto Tajo. Ello desembocó en la creación de un grupo de trabajo, específico, que incluyó a UCM, UZAR, CAOBAR, Minas-JCCM, CHT y el propio PNAT. LIFE RIBERMINE es, de algún modo, la culminación de ese germen.

FEBRERO 2007



De izquierda a derecha, José Antonio Valera, Rafa Ruiz y Francisco Delgado

JULIO 2020



De izquierda a derecha, Avelino García, Federico Romero, José Antonio Lozano y Ángel Moya

EL PROYECTO LIFE RIBERMINE: Antecedentes (III)

- **Primer intento** en 2015: ***LIFE-GER4HabitatRecovery***

✓ *GeoEcological mine Restoration for Natura 2000 network habitat recovery (SCI(SAC)-SPA ALTO TAJO, Guadalajara, Spain)*

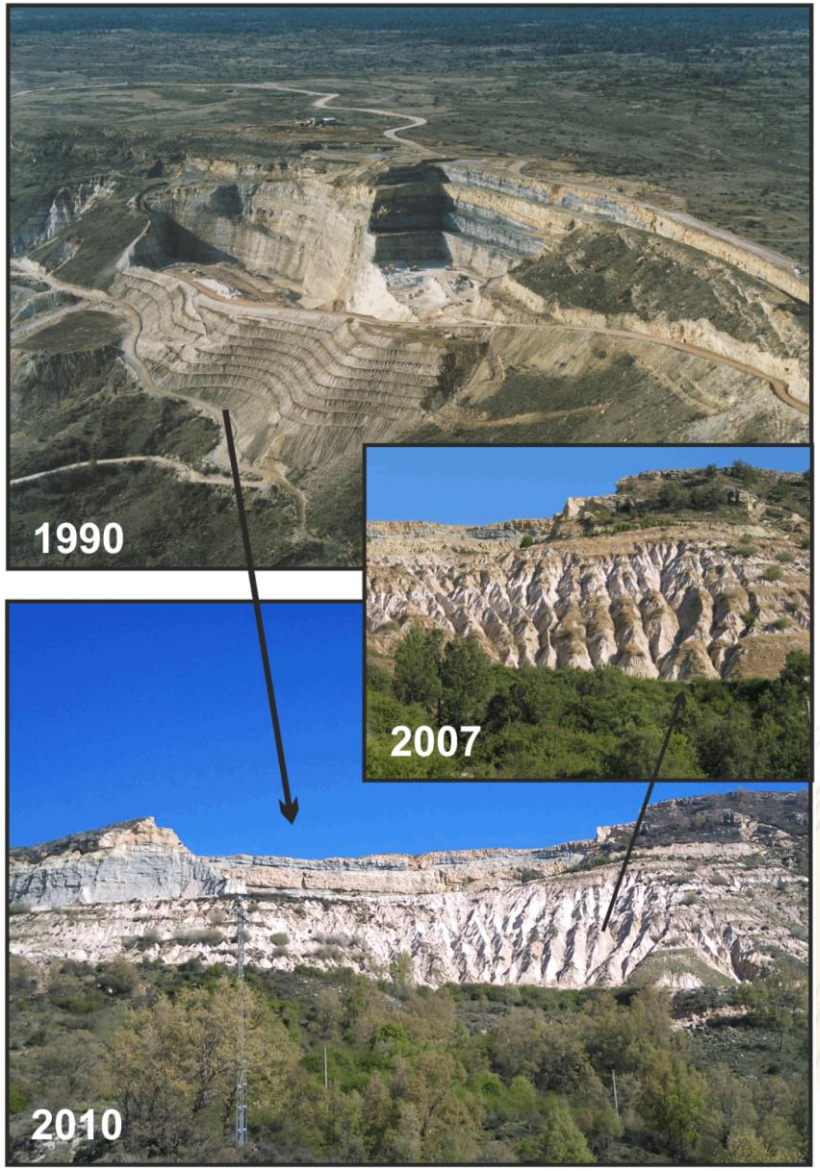
✓ 7 socios

✓ Solicitado por línea de Naturaleza

✓ Presupuesto solicitado: 3.826.970 €

✓ Ayuda solicitada. 2.577.399 € (67,35%)

✓ <u>DENEGADO</u>



EL PROYECTO LIFE RIBERMINE: Antecedentes (IV)

- **Segundo intento** en 2016: ***LIFE-ECOHEALING-ALTO TAJO***

✓ *Priority Habitats Recovery in Natura 2000 sites (Alto Tajo-Spain) by Best Available Mine Restoration Techniques*

Interior del Frente de la Pista. Autora: Esther Rubio

- ✓ 6 socios
- ✓ Solicitado por línea de Naturaleza
- ✓ Presupuesto solicitado: 3.841.745 €
- ✓ Ayuda solicitada. 2.635.003 € (68,59%)
- ✓ **DENEGADO**

EL PROYECTO LIFE RIBERMINE: Antecedentes (V)

- Tras los dos intentos de 2015 y 2016, ambos denegados, se plantea la posibilidad de conseguir un socio europeo para apoyar más y mejor el Proyecto.
- Se contacta con **Centro Ciência Viva do Lousal.**
- **Tercer intento en** 2017: ***LIFE RIBERMINE***

Primera reunión conjunta el 5 y 6 de julio de 2017

LIFE RIVERMINE ??...

Península Ibérica..

LIFE RIBERMINE

✓ Priority Habitat Types and Fluvial Recovery by Best Available Mine Restoration Techniques in the Iberian Peninsula

✓ 5 socios

✓ Solicitado por línea de Naturaleza

✓ Presupuesto solicitado: 3.697.588 €

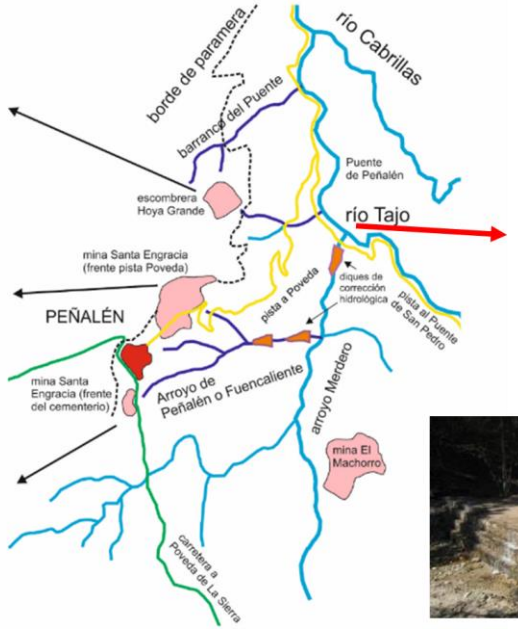
✓ Ayuda solicitada. 2.761.002 € (74,67%)

✓ **Denegado**

EL PROYECTO LIFE RIBERMINE: Antecedentes (VI)

- Cuarto intento en 2018:

LIFE RIBERMINE



- ✓ ***Fluvial freshwater habitat recovery*** *through geomorphic-based mine ecological restoration in* ***Iberian Peninsula***
- ✓ 5 socios
- ✓ Solicitado por línea de Medio Ambiente
- ✓ Presupuesto solicitado: 2.941.280 €; 2.934.928 € elegibles
- ✓ Ayuda solicitada: 1.613.979 € (54,99% del elegible)

✓¡¡¡ APROBADO !!!

DATOS RELEVANTES DEL PROYECTO

LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO:

- **Peñalén (Guadalajara-España)**
- **Lousal (Portugal)**

DURACIÓN: **Comienzo**: ***16/09/19*** - **Fin**: ***16/03/24***

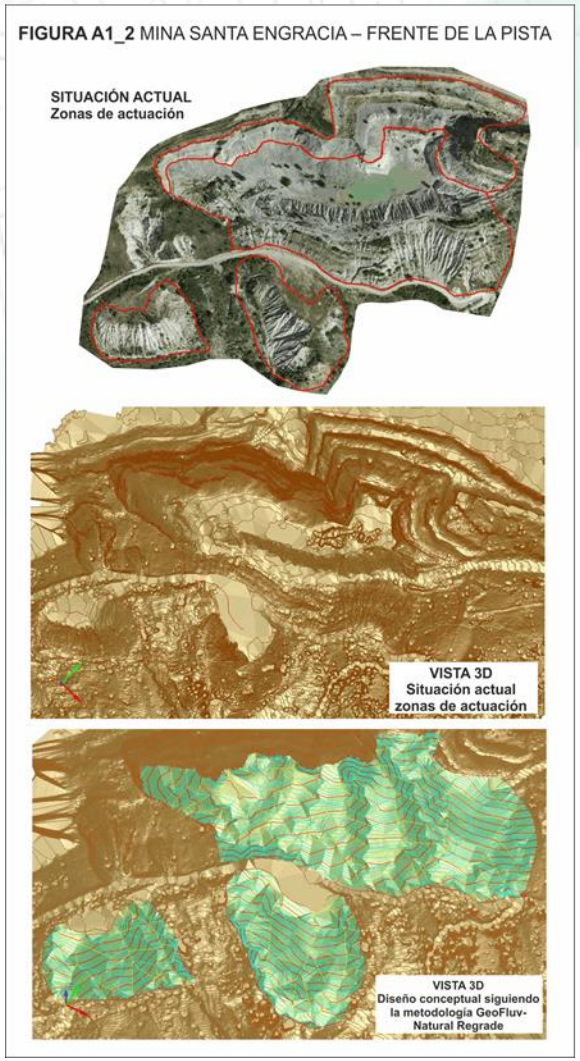
PARTICIPANTES:

Beneficiario Coordinador: Dirección General de Transición Energética. Gobierno de Castilla-La Mancha Con el apoyo del PNAT.

Beneficiarios Asociados:

- **CAOBAR** (Empresa Minera)
- **CCV- Lousal** (Associação Centro Ciência Viva)
- **GEACAM** (Gestión Ambiental de C-LM)
- **UCM** (Universidad Complutense de Madrid), que coordina a UCLM, UZ, UPM, URJC y UAH

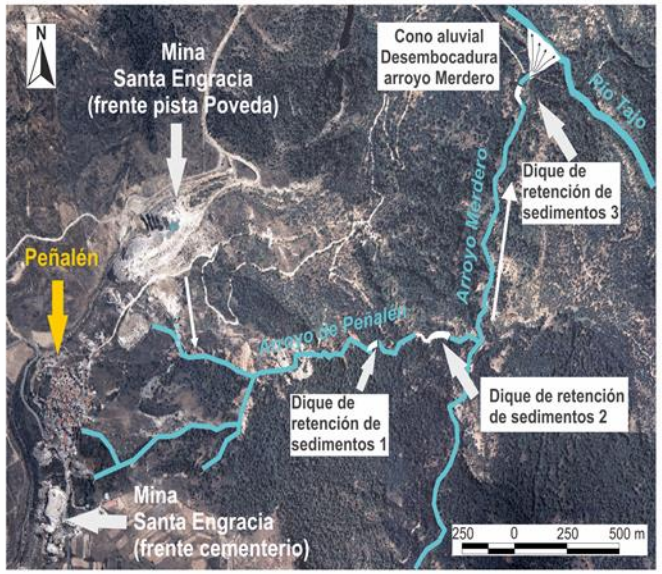
OBJETIVOS Y ALCANCE



1.- Reducción de las presiones hidromorfológicas y de la contaminación física y química en cuerpos de agua dulce mediante la mejora de la calidad y la dinámica del agua en dos cuencas hidrográficas —Tajo (España) y Corona (Portugal) — después de la restauración de dos áreas severamente degradadas (explotaciones mineras abandonadas)

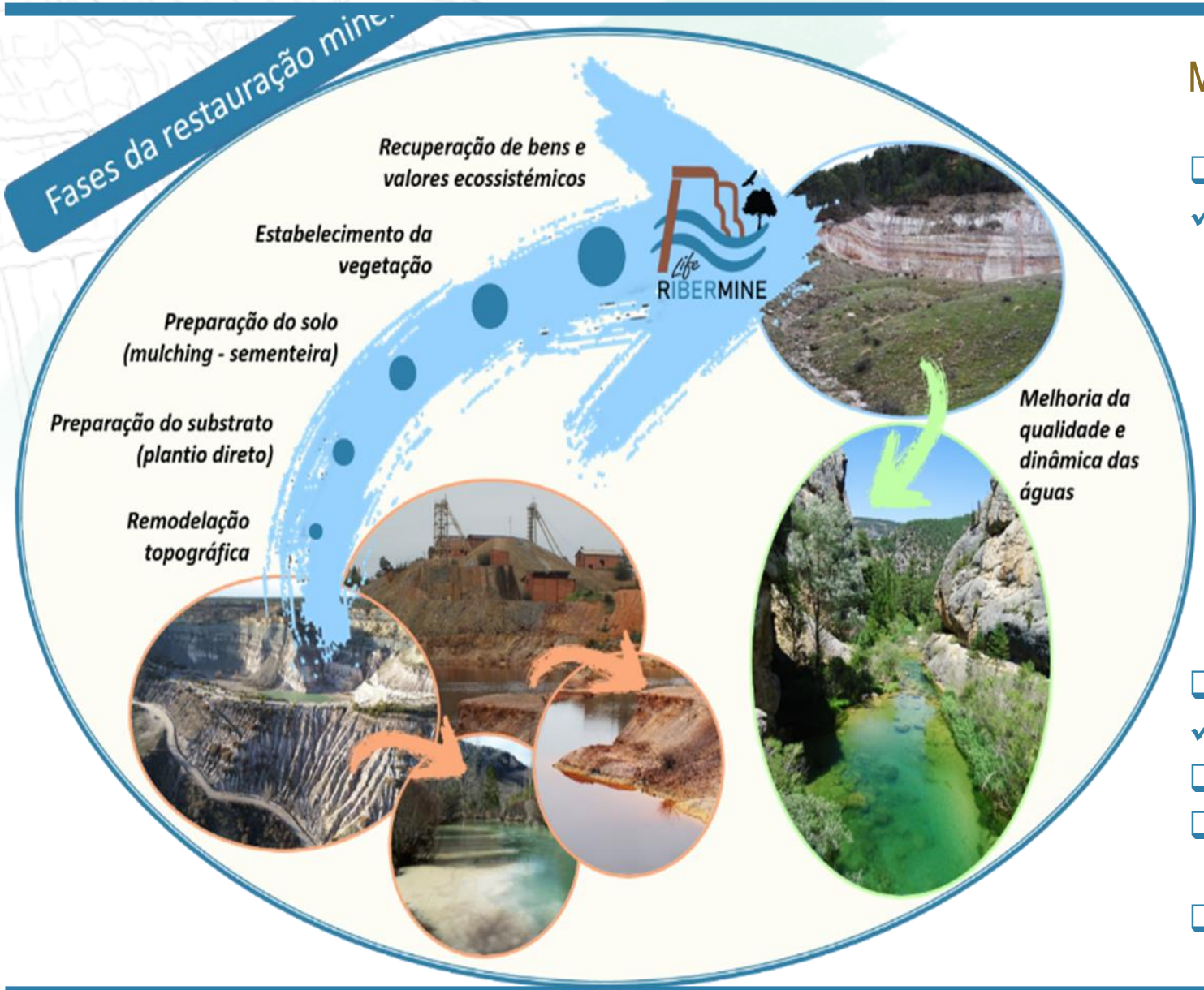
2.- Aplicación y adaptación de una combinación de las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) para la restauración de minas, basadas en soluciones fluvio-geomórfológicas y su transferencia a otras zonas mineras degradadas de la UE

Figura 2 Conexión hidrológica de la cuenca de Peñalén



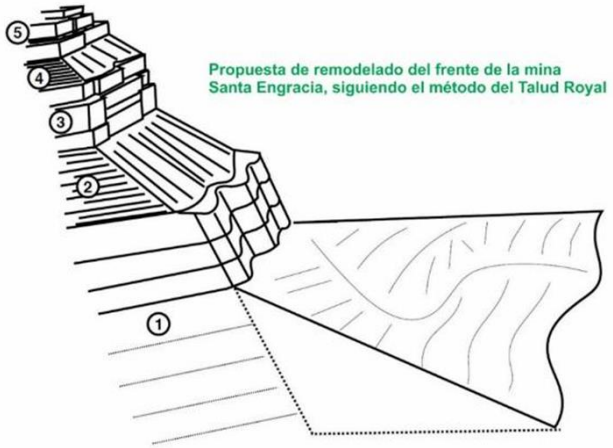
- ***RIBERMINE contribuye a Objetivos de LIFE:***
  - Aplicar las mejores prácticas y soluciones **replicables** para el agua y los cursos fluviales afectados por las actividades mineras
  - Implicaciones políticas y legislativas para la evaluación de la industria minera.

Queremos ser vanguardia en las restauraciones mineras y transferir lo aprendido: El proyecto LIFE RIBERMINE



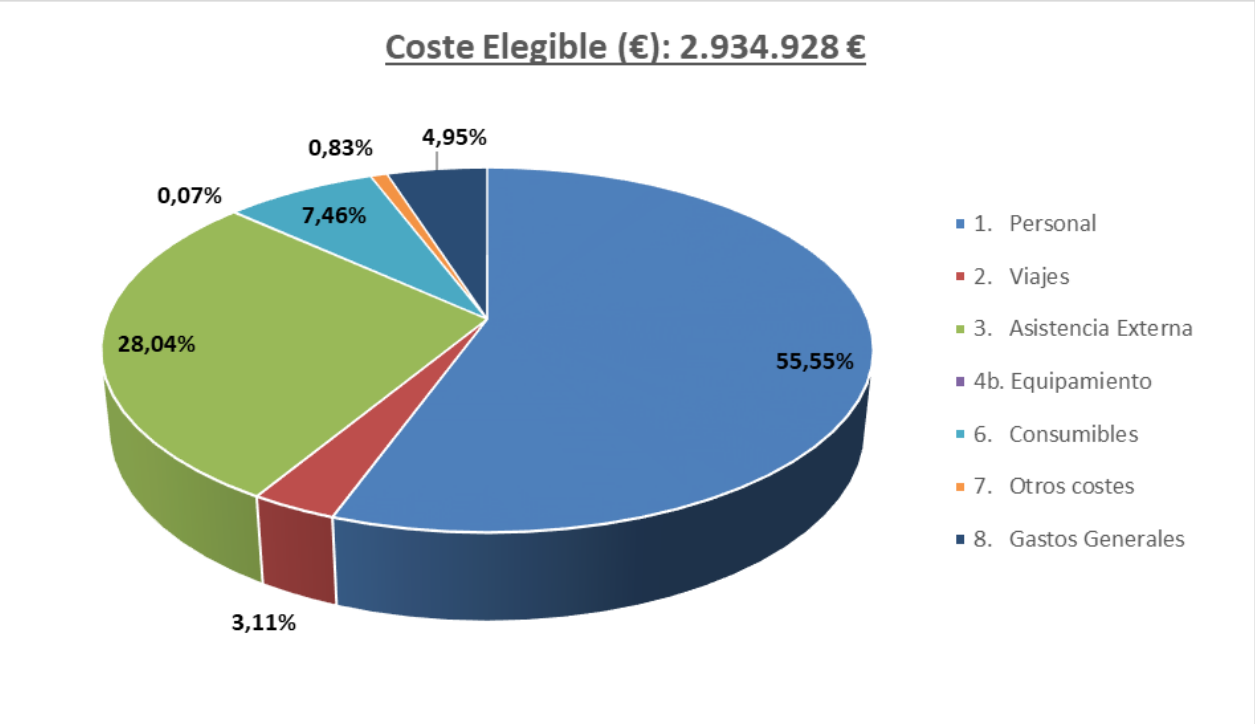
Mejores Técnicas Disponibles (MTD):

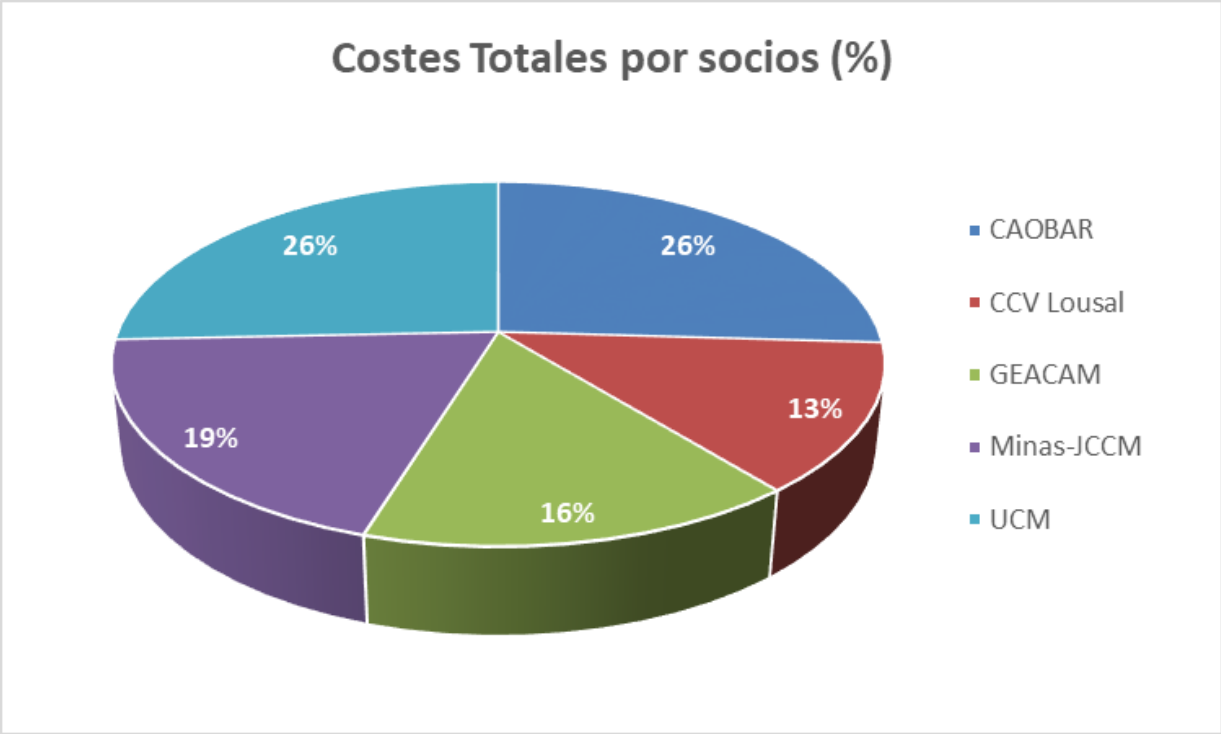
- ❑ Métodos de Restauración Geomorfológica:
  - ✓ Talud Royal y Geofluv- Natural Regrade



- ❑ Métodos estimación estabilidad geotécnica:
  - ✓ ILA, Slide Software
- ❑ Modelos de Evolución del paisaje SIBERIA
- ❑ Técnicas avanzadas de mitigación de aguas ácidas de mina (DMA)
- ❑ Mejores técnicas de tratamiento de suelos

PRESUPUESTO DEL PROYECTO





REPLICACIÓN Y TRANSFERENCIA

- **La metodología (Restauración geomorfológica combinada con "Talud Royal" y estabilización geoquímica) es una forma de restauración para mejorar las cuencas hidrográficas afectadas en su cabecera por una explotación minera, que puede y debe ser utilizada en otras explotaciones mineras.**
  - Se ha elaborado el Plan de Replicación y Transferencia, para garantizar la implementación de los logros del proyecto en otras localidades.
    - Se cuenta ya con 3 ubicaciones en los que se replicarán las técnicas de restauración empleadas en LIFE RIBERMINE,
      - *Frente María Pilar VII, superficie 24,8 ha. SAMCA (Cuenca)*
      - *Claudia, 3,8 ha. SAMCA (Cuenca)*
      - *Posibilidad de actuación sobre 18,5 ha en Minas de Rio Tinto en Huelva.*
    - Dentro del Programa de recuperación de Huecos Mineros con garantías incautadas, se han desarrollado dos más, por el momento:
      - *La Nariz y Ampliación La Nariz en Humanes (Guadalajara): 0,56 ha.*
      - *El Recuenco en Tondos (Cuenca): 1,1 ha.*

REXPLOTACIÓN Y DIFUSIÓN AFTER LIFE

PARTIDARIOS RIBERMINE

- Los puntos clave del Plan de Explotación y Difusión After-LIFE serán, entre otros:
  - Excursiones universitarias y visitas a las zonas restauradas
  - Visitas explicativas con estudiantes y público en general a **Peñalén** y a la zona piloto de **Lousal**
    - **Mantener la actividad de la red** más de cinco años después de haber terminado y proponer nuevos proyectos entre los socios y las partes interesadas
    - Colaborar con los partidarios en acciones reales de restauración en sus minas en Europa
  - Organizar talleres internacionales sobre las mejores prácticas de restauración o cierre de minas
  - Cursos de Formación

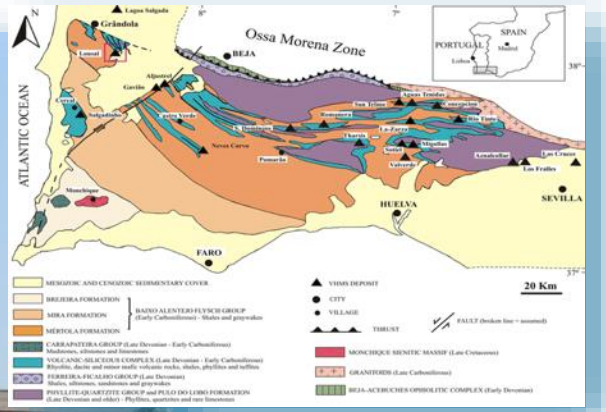
DONDE ESTAMOS…

ACTIONS			2019				2020				2021				2022				2023				2024			
	Name of Action		I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
A. Preparatory actions (if needed)																										
A.1	Tramitación de permisos y licencias y elaboración de proyectos de obra y reforestación	Prop.			■	■	■	■																		
		Actual			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■											
A.2	Caracterización de los escenarios y diseño de las actuaciones (medio abiótico)	Prop.			■	■	■																			
		Actual			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■												
A.3	Caracterización de los escenarios y diseño de las actuaciones (medio biótico)	Prop.			■	■	■	■																		
		Actual			■	■	■	■	■	■	■	■														
B. Implementation actions (obligatory)																										
B.1	Reconstrucción geomorfológica	Prop.							■	■	■	■	■													
		Actual							■	■	■	■	■	■	■	■										
B.2	Activación de los procesos de edafogénesis: enmiendas y acolchadosemillado	Prop.							■	■	■	■	■	■	■											
		Actual							■	■	■	■	■	■	■	■										
B.3	Revegetación	Prop.			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
		Actual			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
C. Monitoring of the impact of the project actions (obligatory)																										
C.1	Seguimiento y evaluación de las acciones del proyecto (medio abiótico)	Prop.										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
		Actual						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
C.2	Seguimiento y evaluación de las acciones del proyecto (medio biótico)	Prop.														■	■	■	■	■	■	■	■			
		Actual										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
C.3	Seguimiento y evaluación del impacto socio-económico del proyecto y de la incidencia sobre los servicios ecosistémicos.	Prop.				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
		Actual							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
C.4	Seguimiento y evaluación de los indicadores LIFE de eficiencia (LIFE Key project level indicators)	Prop.			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
		Actual			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
D. Public awareness and dissemination of results (obligatory)																										
D.1	D.1 Comunicación y divulgación general del proyecto	Prop.			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
		Actual			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
D.2	D.2 Divulgación técnica del proyecto	Prop.					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
		Actual					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
D.3	D.3 Plan de Replicación y Transferencia	Prop.			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
		Actual			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
E. Project management (obligatory)																										
E.1	Gestión del proyecto	Prop.			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
		Actual			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
E.2	Plan After-LIFE	Prop.																				■	■			
		Actual																				■	■			

Onde fica e o que foi o Lousal?

O Lousal era uma mina de pirite

Explorava Pirite para Extrair Enxofre



Lisboa

Minas do Lousal

Faro

88 ANOS DE VIDA DA MINA

- ✓ Iniciou exploração em 1900
- ✓ Profundidade máxima: 545 m
- ✓ Nº máximo de trabalhadores: 1100
- ✓ Couto mineiro: auto-suficiente

  (Hospital, Estação Comboio, Polícia, Escola, Mercado, etc.)

- ✓ Encerra em 1988
- ✓ Colapso socioeconómico
- ✓ Degradação ambiental e urbana
- ✓ Autosuficiência → Sociodependência
- ✓ Abandono da população mais jovem
- ✓ Envelhecimento e dependencia

PROJETO RELOUSAL

I – Recuperação Ambiental

II – Regeneração Urbana

III – Dinamização Social e Económica

IV – Divulgação da Ciência e Tecnologia

V – Património Mineiro

Museu Mineiro

Centro de Artesanato

Restaurante – Armazém Central

Casa da Direcção
Albergaria Stª Bárbara dos Mineiros

Reconversão dos trabalhadores

Centro de Artesanato

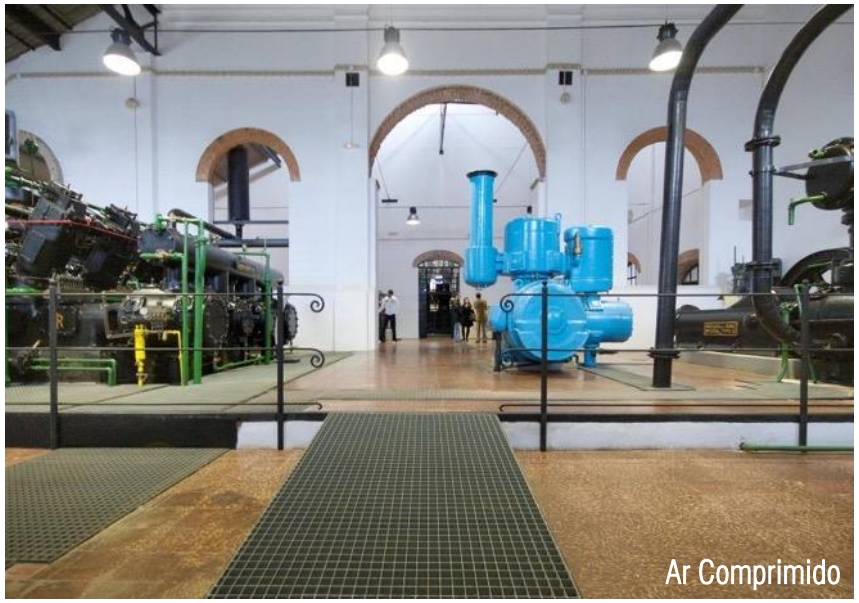
Central Elétrica – Museu Mineiro

Armazém Central – Restaurante

Casa da Administração – Hotel Rural de 4*

Museu Mineiro

Central Elétrica

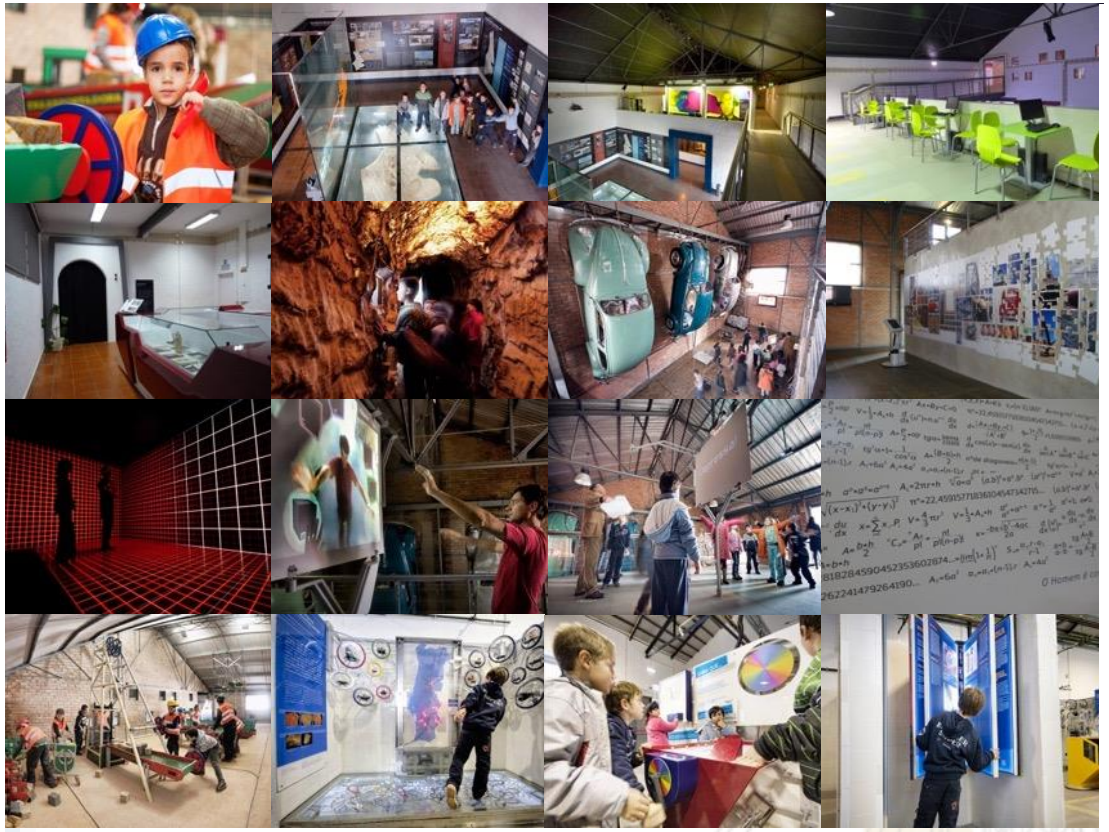

Ar Comprimido

Geradores

Modelos

PROJETO RELOUSAL – FASE 2

Centro Ciência Viva do Lousal – Mina de Ciência



LOUSAL: o presente passado no futuro

Corta Mineira

Bioturismo

Arqueologia

Astronomia

Geoturismo

Turismo aventura

PROJETO RELOUSAL – FASE 3

Projeto Descida à Mina – Galeria Mineira Waldemar

~200,000 visitantes

Obrigado pela vossa atenção

Obrigado pela vossa atenção

Life RIBERMINE
LIFE18 ENV/ES/000181

JORNADA TÉCNICA Y TALLER:

LIFE RIBERMINE

Toledo, 6 de abril de 2022

Escuela de Administración Regional

30 years of bringing green ideas to LIFE

Disclaimer
The LIFE RIBERMINE project has been funded with the support of the **LIFE Programme of the European Union**.
This publication reflects the views only of the author/s, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

Life RIBERMINE
LIFE18 ENV/ES/000181

La estabilidad geotécnica en las restauraciones mineras

CONTROL DE HUECOS Y ESCOMBRERAS

JOSE MARÍA IRAIZOZ FERNÁNDEZ
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y MINERA.
UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA.

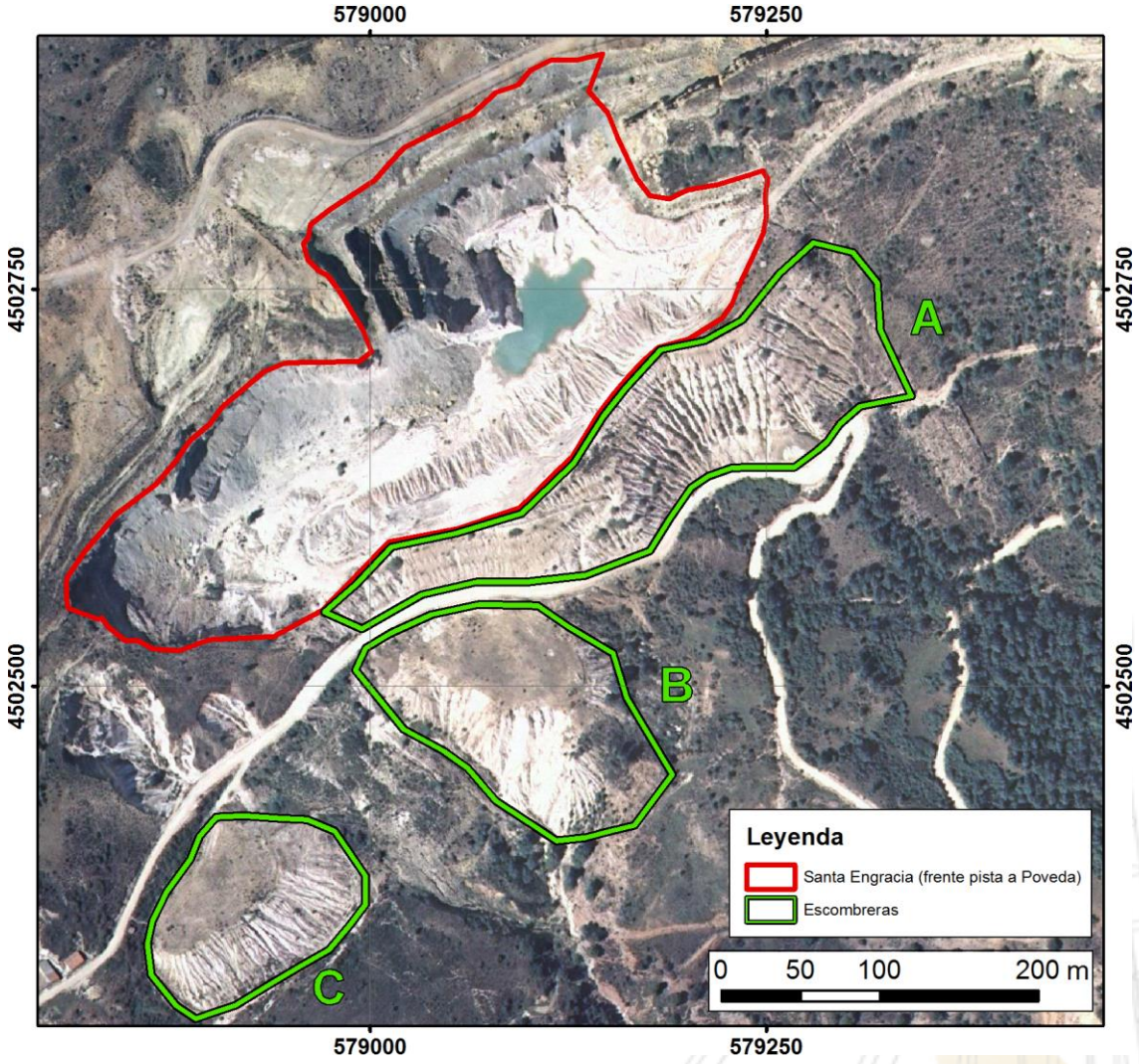
Disclaimer
The LIFE RIBERMINE project has been funded with the support of the **LIFE Programme of the European Union**.
This publication reflects the views only of the author/s, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

OBJETO DEL ESTUDIO

- En los trabajos de restauración geomorfológica en antiguas zonas de actividad minera de arenas caoliníferas por parte de la empresa CAOBAR, S.L. en el término municipal de Peñalén (Guadalajara) se realizó un estudio de estabilidad geotécnica de los frentes finales de la mina Santa Engracia, así como de sus escombreras exteriores derivadas de las labores extractivas de la explotación minera mencionada.

- Se simularon mediante software adecuado (ILA/SLIDE) las diversas posiciones de estabilidad con sus coeficientes de seguridad determinados en los cálculos geotécnicos que se realizan.

- Estas simulaciones se realizaron en el estado inicial (actual) y en el final (zona restaurada según proyecto) para ambos tipos (frente de mina y escombreras exteriores).



PROYECTO DE RESTAURACIÓN. SEGURIDAD

- **INTEGRACIÓN GEOMORFOLÓGICA (RESTITUCIÓN ESTADO ORIGINAL)**

  Diseño, siguiendo criterios de GEO-FLUW mediante el software especializado Natural Degree

- **REUTILIZACIÓN DEL ESPACIO (NEGOCIO)**

- **ESTABILIDAD PERMANENTE (A LARGO PLAZO).**

  Calculo de Factor de Seguridad. SLIDE / ILA

En la práctica general de la Ingeniería y en todos sus Códigos se emplean Factores de Seguridad (FS) que tienen como objetivo final, no siempre explícito, tanto evitar la falla de los elementos diseñados y construidos, como tender a su optimización.**(Económica).**

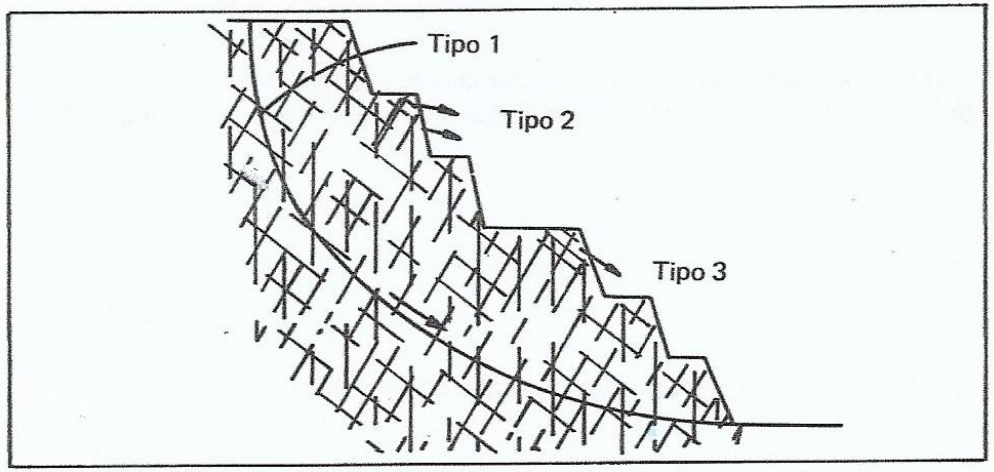
DECISIÓN INDIVIDUAL

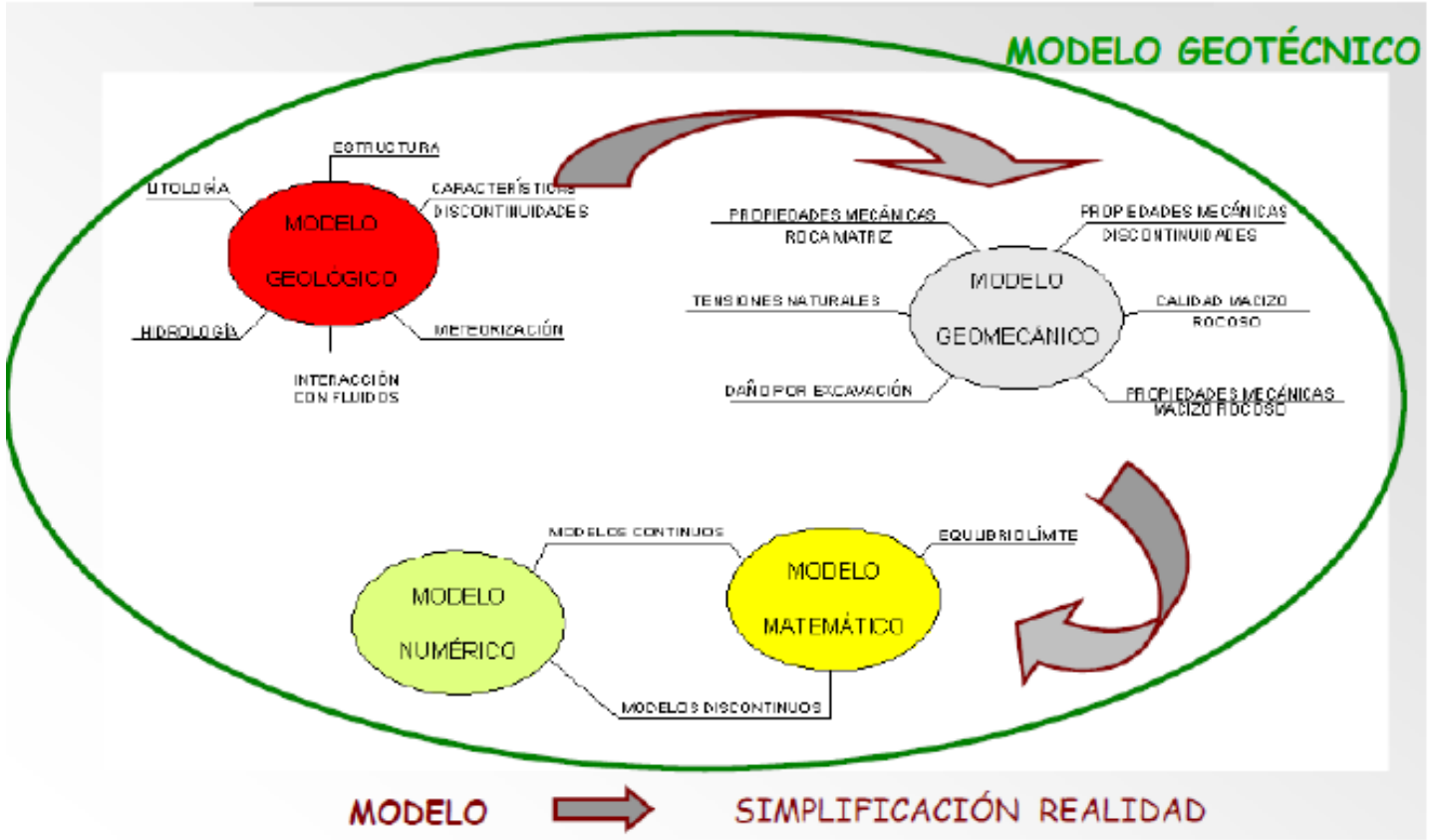
BUSQUEDA DEL EQUILIBRIO

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO. MODELOS DE TRABAJO

MECANISMOS TIPICOS DE ROTURA

- **Tipo 3**: Talud heterogéneo. Deslizamiento a favor de una discontinuidad.
- **Tipo 2**: Talud heterogéneo. Deslizamiento controlado por discontinuidades.
- **Tipo 1**: Talud homogéneo. Deslizamiento progresando por el propio macizo.





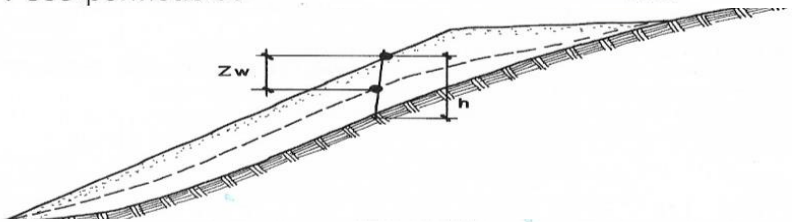
MODELOS MATEMÁTICOS. MÉTODOS DE EQUILIBRIO LÍMITE.MODELOS NUMÉRICOS (ILA / SLIDE)

- Actualmente, el diseño de taludes suele basarse en los ***métodos de equilibrio límite***, en los que las condiciones de estabilidad están expresadas en términos de un Factor de Seguridad que puede definirse como un factor por el que los parámetros resistentes de corte deben reducirse para hacer llegar al talud a un estado de equilibrio límite a través de una superficie de deslizamiento dada.
- Los principales métodos de equilibrio límite, que son ampliamente usados son los siguientes.
- De entre la variedad de modelos numéricos de resolución de este tipo de simulaciones de estado de equilibrio se opta por dos softwares especializados como son **el ILA (Geosoft) y SLIDE (Rockscience)** como los más adecuados. Método de Bishop.

TIPO DE ROTURA	MÉTODO DE ANÁLISIS	OBSERVACIONES
Rotura plana	• Métodos gráficos analíticos (Hoek y Bray, 1981).	Permite efectuar una estimación rápida del Factor de Seguridad; aunque realmente ocurre en taludes rocosos.
Rotura en cuña	• Ábacos de estabilidad (Hoek y Bray, 1981). • Métodos analíticos (Hoek y Bray, 1988).	Válido solamente para diaclasas friccionales. Válido para geometrías complejas con superficies planares.
Rotura circular (Raramente ocurre en taludes rocosos; normalmente se produce en materiales blandos como rocas intensamente fracturadas y meteorizadas, en terraplenes y escombreras de estériles y residuos mineros o en suelos).	• Ábacos de estabilidad (Janbu, 1973; Hoek y Bray, 1981; Duncan et al., 1987). • Método ordinario de rebanadas (Fellenius, 1927). • Método modificado de Bishop (Bishop, 1935).	Bastante adecuado para muchos fines; más rápido que el análisis por ordenador detallado; requiere interpolación. No satisface el equilibrio de fuerzas o solamente satisface el equilibrio de momentos. Satisface el equilibrio de momentos y el de fuerzas verticales; no satisface el equilibrio de fuerzas horizontales.
Rotura no circular	• Método de Janbu generalizado (Janbu, 1973). • Método de Morgenstern y Price (Morgenstern y Price, 1965). • Método de Spencer (Spencer, 1967).	Satisface todas las condiciones de equilibrio; problemas numéricos más frecuentes que con otros métodos. Satisface todas las condiciones de equilibrio. Satisface todas las condiciones de equilibrio; se supone que las fuerzas laterales son paralelas.
Rotura por vuelco Vuelco de bloques Vuelco por flexión	• Método de Goodman (Goodman y Bray, 1976). • Método de Aydan y Kawamoto (Aydan y Kawamoto, 1992; Adhikary et al., 1996)	Válido solamente para bloques apoyados sobre bases inclinadas. Fácil de usar; satisface todas las condiciones de equilibrio; precisa calibración de campo.

ZONAS Y PERFILES DE ESTUDIO DE ESTABILIDAD

Escombreras	z_w
Muy permeables	4 m.
Permeables	3 m.
Poco permeables	1 m.



COEFICIENTES DE SEGURIDAD MINIMOS REQUERIDOS EN EL PROYECTO DE ESCOMBRERAS

CASO I

Implantaciones sin riesgo para personas, instalaciones o servicios.

$H \leq 15$ m o $V \leq 25.000$ m^3 ó $H > 15$ m en escombreras en manto	Pueden constituirse con el ángulo de vertido de los escombros ($F \simeq 1$)	
	F_1	F_2
$15 < H \leq 30$ m, talud conformado para	1,20	1,10
$H > 30$ m, talud conformado para	1,30	1,20

CASO II

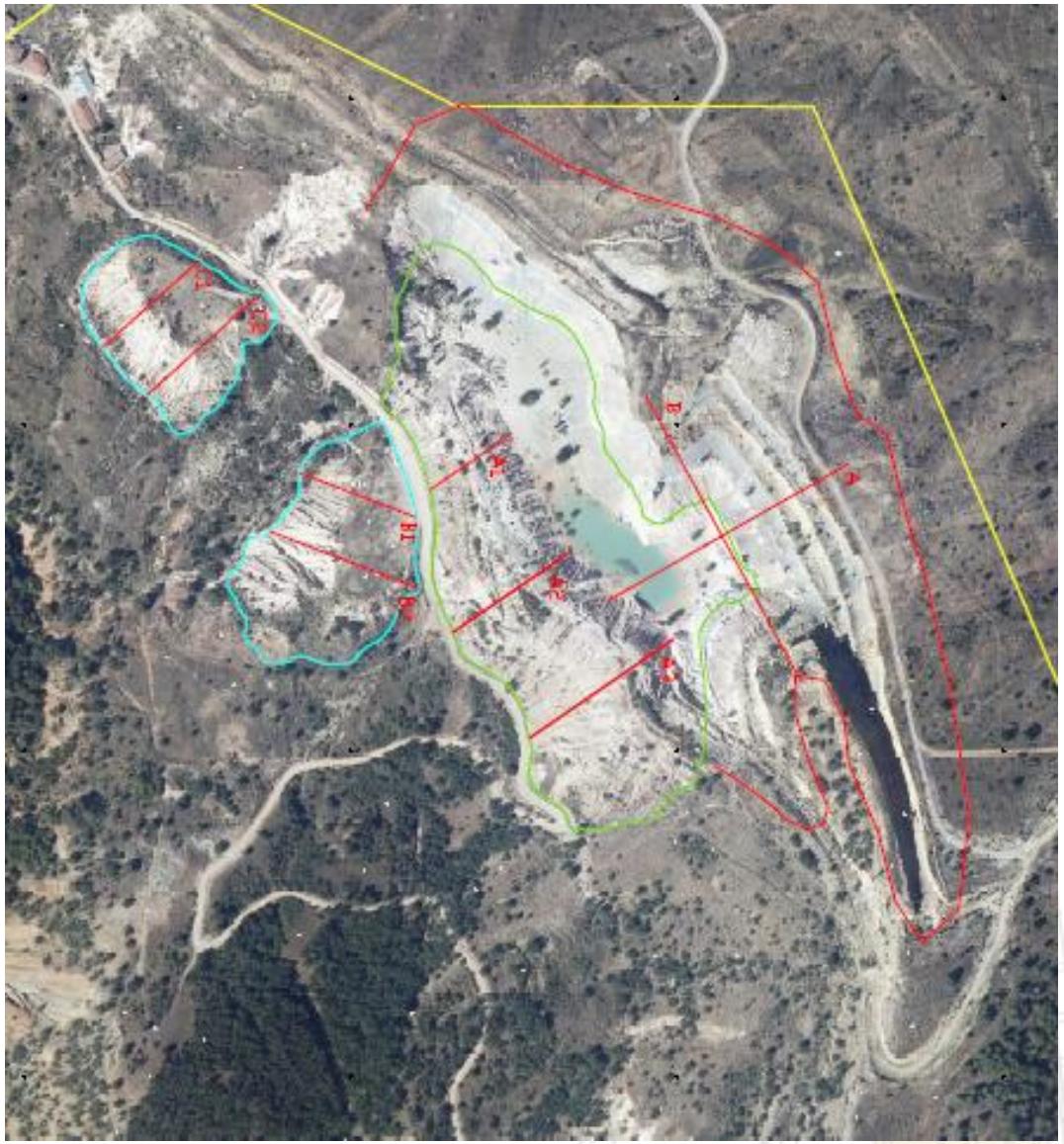
Implantaciones con riesgo moderado.

	F_1	F_2	F_3
$H \leq 15$ m o $V \leq 25.000$ m^3 o $H > 15$ m, en escombreras en manto	1,20	1,15	1,00
$15 < H \leq 30$ m	1,35	1,25	1,10
$H > 30$ m	1,45	1,30	1,15

CASO III

Implantaciones con riesgo elevado.
Se proscriben las escombreras en manto sin elementos de contención o desviación al pie.

	F_1	F_2	F_3
$H \leq 20$ m	1,40	1,20	1,10
$H \geq 20$ m	1,60	1,40	1,20



ESTABILIDAD DEL TALUD FINAL CANTERA PREVIA DATOS OBTENIDOS

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR (Bieniawski)

Obr cantera de Sta Engracia
Est: Arenas de Utrillas

Localidad: Peñalén
Observaciones
Talud de la cantera de Sta. Engracia

Cliente:

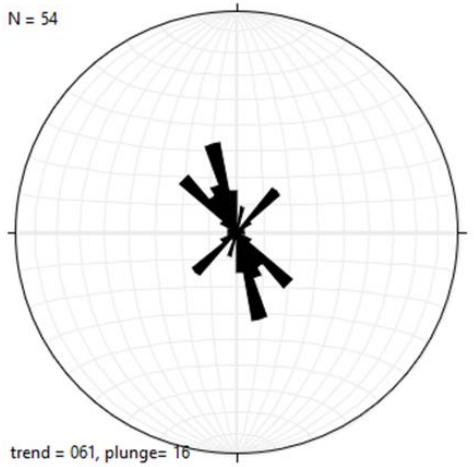
	X	Y	Z
Coordenadas (X,Y,Z):	579892	4502690	1352

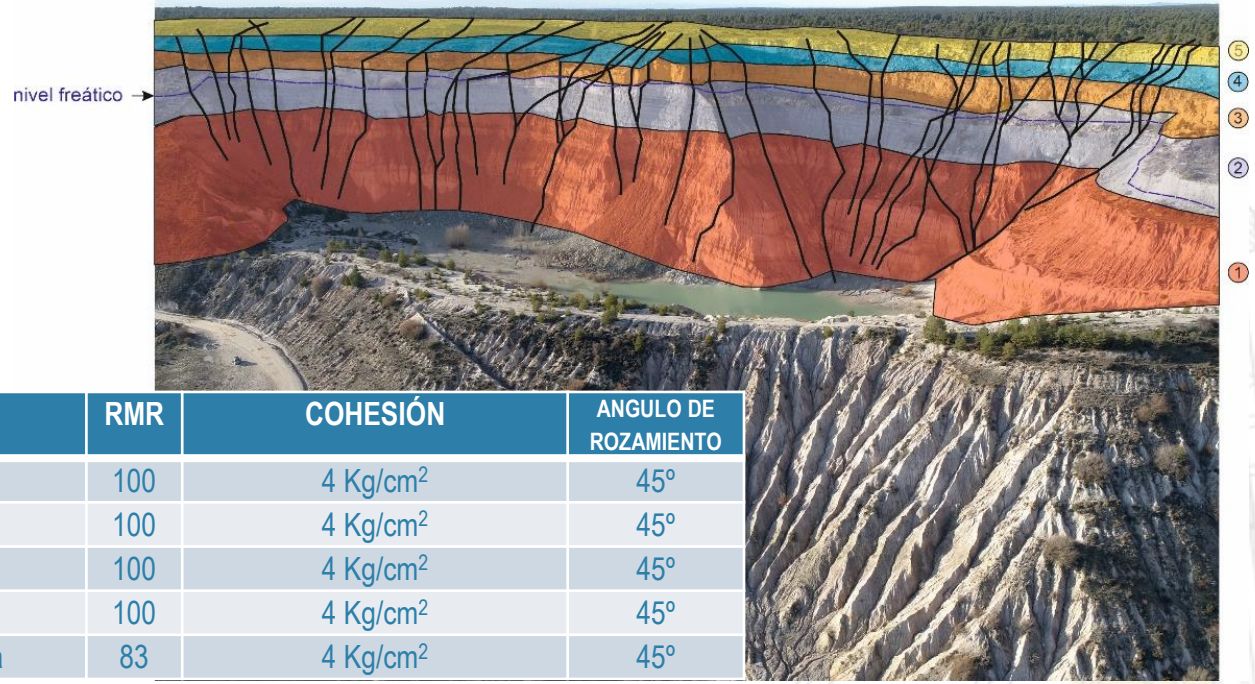
Pámetros de clasificación	Clasificación	Puntuación
1 Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)		
Ensayo de carga puntual	No aplica	0
Compresión simple	50-25	4
2 Índice RQD de la roca		
RQD (%)	< 25	3
3 Separación entre diaclasas		
Separación entre diaclasas (m)	0,6-2	15
4 Estado de las discontinuidades		
Longitud de la discontinuidad (m)	< 1	6
Abertura (mm)	< 0,1	5
Rugosidad	Rugosa	5
Relleno	Relleno blando, < 5 mm	2
Alteraciones	Ligeramente Alterada	5
5 Agua freática		
Caudal por 10 m de tunel	Nulo	15
Presión agua/Tensión principal mayor	0	15
Estado general	Seco	15
Corrección por discontinuidades	**Clasificación**	**Puntuación**
Túneles	No aplica	0
Cimentaciones	No aplica	0
Taludes	Favorable	-5

CLASIFICACIÓN RMR				
Calidad	Clase	Tiempo/Longitud de sostenimiento	Cohesión [Kg/cm²]	Angulo de rozamiento [°]
Muy buena	I	10 años con 15 m de vano	> 4	> 45

Foto o croquis de la estación geomecánica

Orientación de las discontinuidades en el túnel							
Dirección perpendicular al eje del túnel				Dirección paralela al eje del túnel			Rozamiento 0°-20°, Cualquier dirección
Excavación con buzamiento		Excavación contra buzamiento					
Buz. 45-90	Buz. 20-45	Buz. 45-90	Buz. 20-45	Buz. 45-90	Buz. 20-45		
Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable	Media	Desfavorable	





UNID	FORMACIÓN	RMR	COHESIÓN	ANGULO DE ROZAMIENTO
1	Arenas de Utrillas	100	4 Kg/cm²	45º
2	Margas de Chera	100	4 Kg/cm²	45º
3	Dolomías de Alatoz	100	4 Kg/cm²	45º
4	Margas de Casa Medina	100	4 Kg/cm²	45º
5	Dolomías de la Ciudad Encantada	83	4 Kg/cm²	45º

ESTABILIDAD TALUD FINAL CANTERA PREVIA. FACTOR DE SEGURIDAD

Clasificación

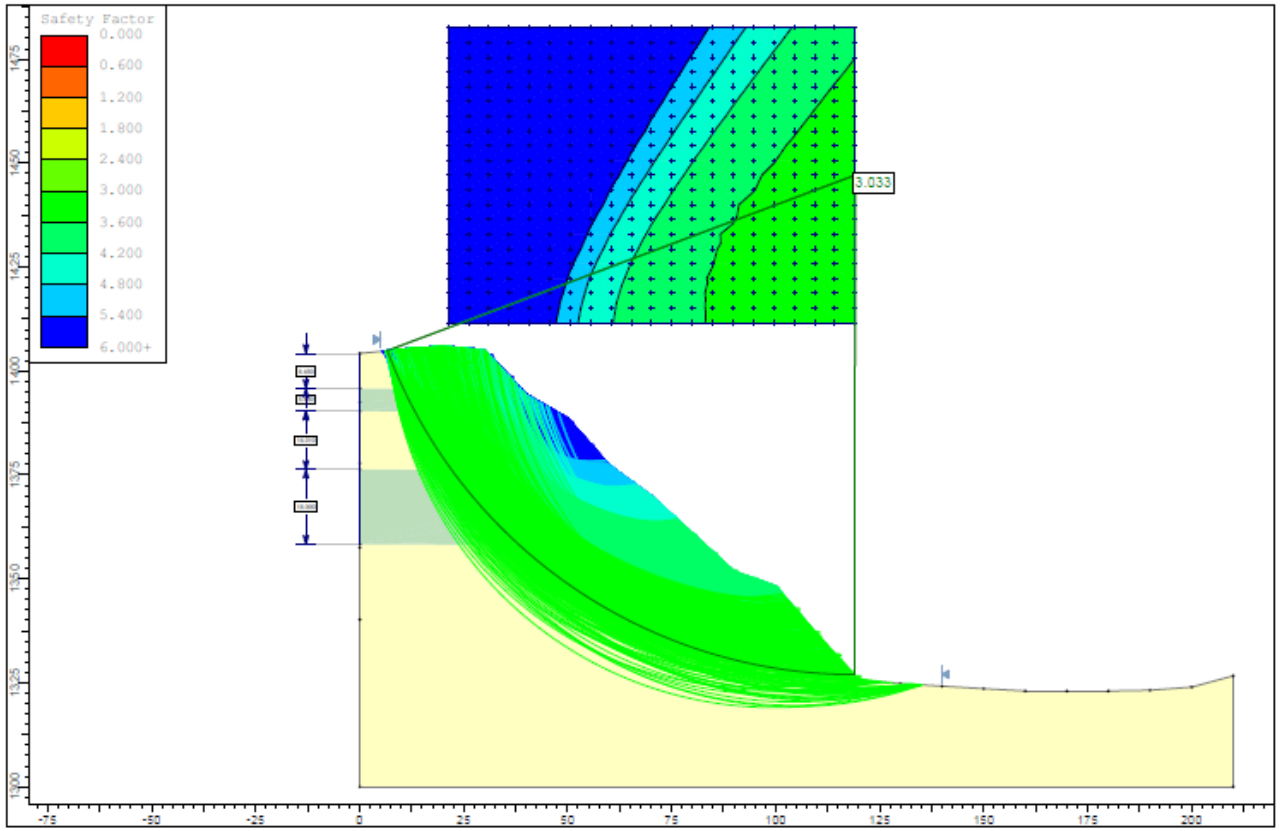
Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy Buena	Buena	Media	Mala	Muy Mala
Valoración	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20

Características

Clase	I	II	III	IV	V
Tiempo de mantenimiento y longitud	10 años con 5 m de vano	6 meses con 8 m de vano	1 semana con 5 m de vano	10 horas con 2,5 m de vano	30 min. Con 1 m de vano
Cohesión	> 4 Kp/cm^2	3 - 4 Kp/cm^2	2 - 3 Kp/cm^2	1 - 2 Kp/cm^2	< 1 Kp/cm^2
Ángulo de rozamiento	> 45°	35° - 45°	25° - 35°	15° - 25°	15°

Orientación de las Diaclasas

Dirección Perpendicular al eje del túnel				Dirección paralela al eje del túnel		Buzamiento 0°-20° cualquier dirección
Excav. Con buzamiento		Excav. Contra buzamiento				
Buz. 45 - 90	Buz. 20 - 45	Buz. 45 - 90	Buz. 20 - 45	Buz. 45 - 90	Buz. 20 - 45	
Muy Favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy Desfavorable	Media	Desfavorable



Cohesión (estimada por RMR) **C = 400 KN/m^2**

Angulo de rozamiento (estimado por RMR) **Φ = 45º**

FACTOR DE SEGURIDAD MÍNIMO FS = 3.00

ESTABILIDAD TALUD FINAL ESCOMBRERA PREVIA. FACTOR DE SEGURIDAD

En este caso y comprobando la antigüedad de las escombreras, sus materiales, el "grado de asiento" y compactación aparente, y teniendo en cuenta escombreras de materiales similares y caso particular de estériles de carbón, se opta por darle un grado de cohesión a la escombrera de:

C´= 0.5 Kg/cm² = 50 KN/m²

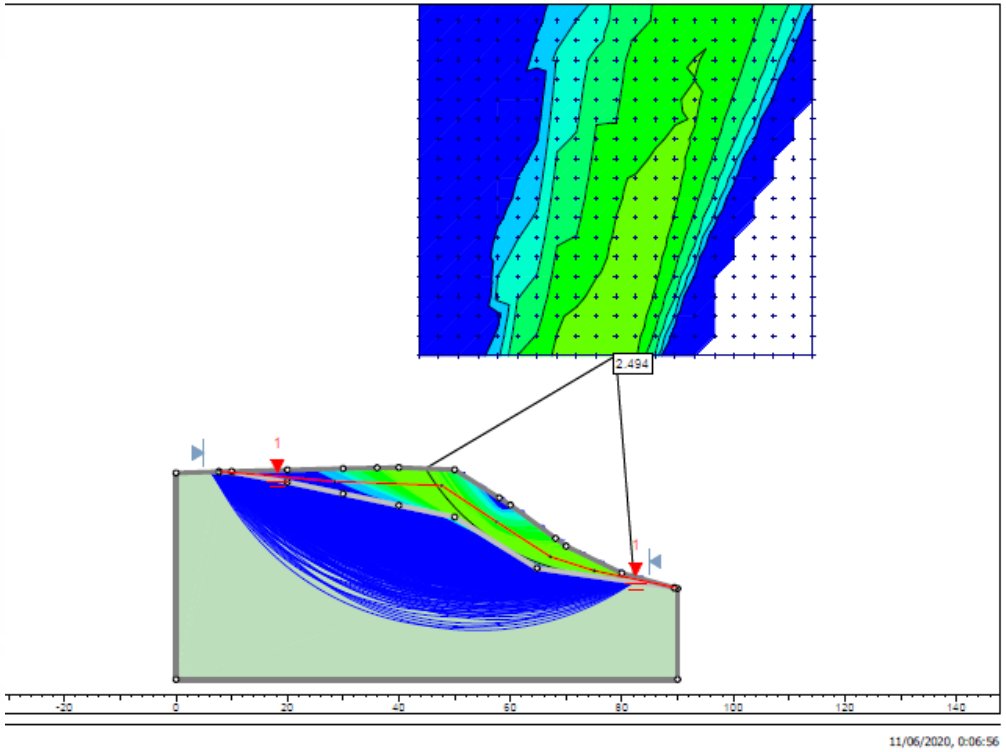
ESTIMACION DEL ANGULO DE ROZAMIENTO DE ESCOMBROS MINEROS

$\phi' = (M + \phi'_1 + \phi'_2 + \phi'_3 + \phi'_4 + \phi')\ \alpha$

Naturaleza	M	silicea	36°
		carbonatada	34°
		esquistosa	32°
		arcillosa	30°
Compacidad	ϕ'_1	suelta	—5°
		media	0°
		compacta	+5°
Forma y rugosidad	ϕ'_2	angulosa	+2°
		media	0°
		lajosa	-1°
		redondeada	-2°
		muy redondeada	-3°
Tamaño	ϕ'_3	arena	0°
		grava fina	1°
		grava gruesa	2°
		bloques, bolos	3°
Granulometría	ϕ'_4	uniforme	-3°
		media	0°
		extendida	+3°
Nivel de tensiones (altura de escombros)	α	bajo (H<20 m.)	1,1
		medio (20<H<40 m.)	1,0
		alto (H>40 m.)	0,9

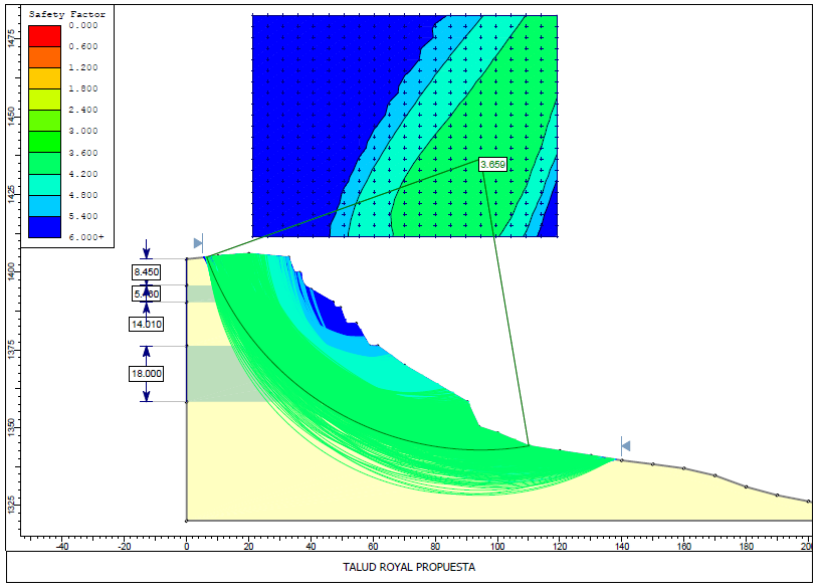
un ángulo de rozamiento interno efectivo de los escombros de **Φ´ = 32º**

ESCOMBRERA EXTERIOR B – PERFIL 1

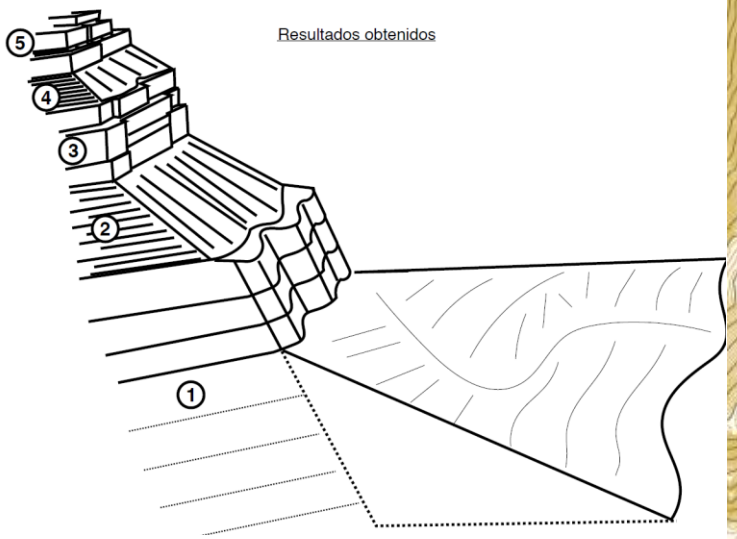


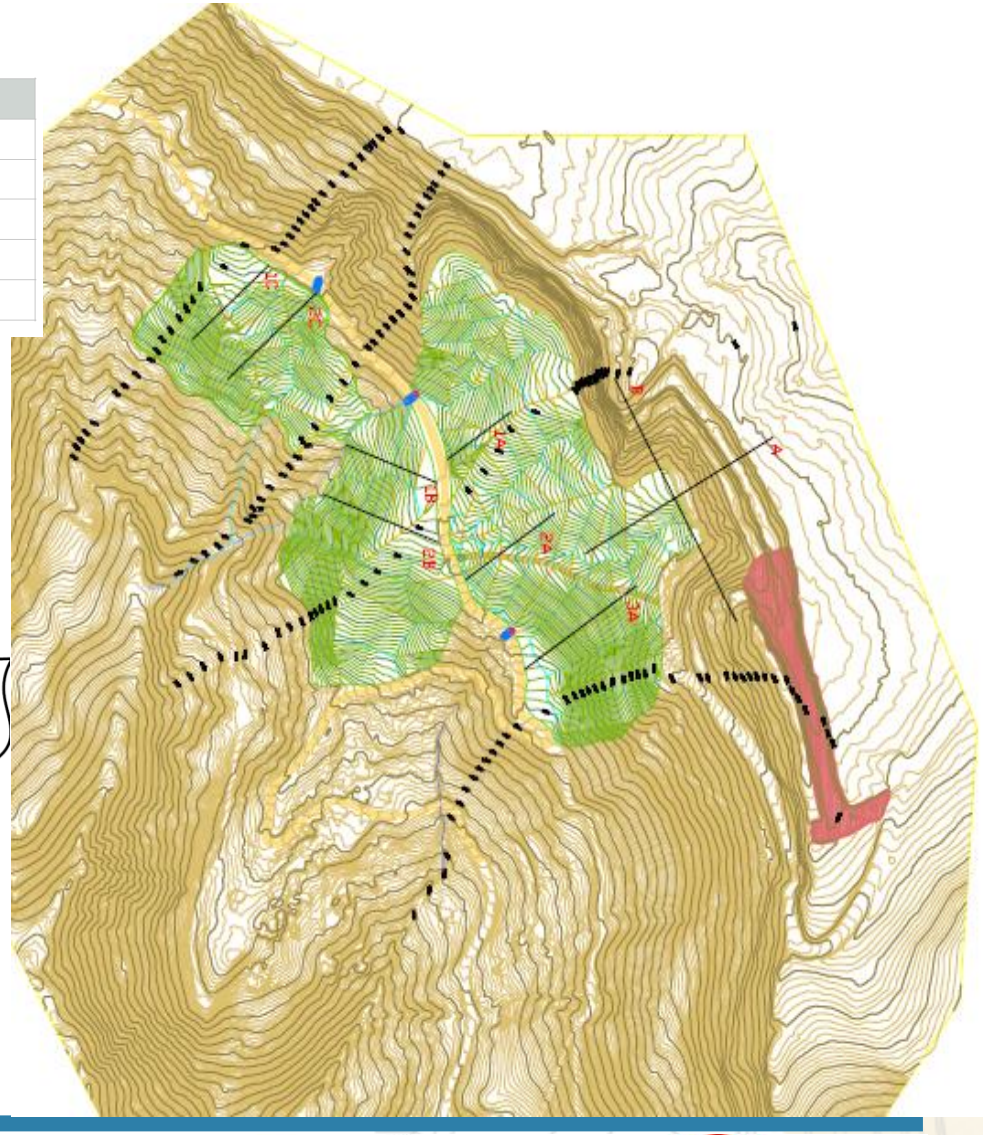
FACTOR DE SEGURIDAD MÍNIMO FS = 2.49

PROYECTO DE RESTAURACION (GEOFLUW / Natural Degree). DISEÑO FRENTE CANTERA Y ESCOMBRERAS

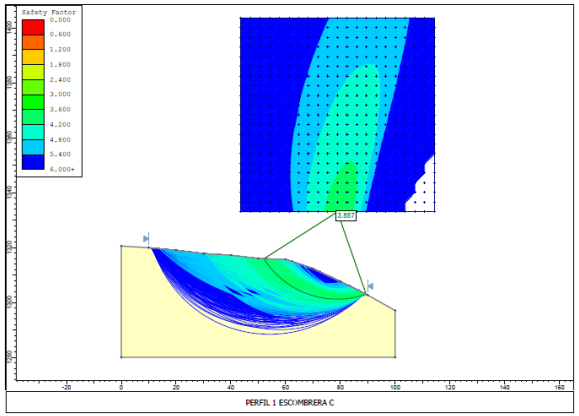


	Facies	Espesor m	Pendiente ds estabilidad
5	**Calizas con bancos de margas**	> 15	70° (80°)
4	**Margas intercalades**	4 à 7m	30°
3	**Calizas dolomiticas**	10-12	70° (80°)
2	**Margas inferiores**	20	30°
	Arenas caoliniferas		En disposición natural





FACTOR DE SEGURIDAD MÍNIMO FS = 3.65



FACTOR DE SEGURIDAD MÍNIMO FS = 3.85

CONCLUSIONES FINALES

- **CONCLUSIÓN PRIMERA:** La situación geotécnica actual de los frentes finales de la antigua explotación minera Santa Engracia es de absoluta estabilidad. En el supuesto de producirse roturas Tipo 1, está garantizada su estabilidad con **factor de seguridad mínimo de FS = 3.0.**

- **CONCLUSIÓN SEGUNDA:** Los factores de seguridad FS del análisis de estabilidad geotécnica de las tres escombreras exteriores A, B y C tiene como valores mínimos de FS =. En general **los FS fluctúan entre 2.5 a 3**.

- **CONCLUSIÓN TERCERA:** Planteada la reconformación de las escombreras exteriores y el talud final de la explotación minera mediante la propuesta planteada en el Plan de Restauración (geofluw) ,se comprueba que desde el punto de vista de estabilidad geotécnica ha mejorado de forma muy significativa la estabilidad en todas estas estructuras de vertido y cantera. **Los FS aumentan en todos los supuestos, aumentando el factor de seguridad entre un 50% y 100 %.**

MUCHAS GRACIAS POR SU DEFERENCIA Y ATENCIÓN

Jose.iraizoz@uclm.es

Life RIBERMINE
LIFE18 ENV/ES/000181

JORNADA TÉCNICA Y TALLER:

LIFE RIBERMINE

Toledo, 6 de abril de 2022

Escuela de Administración Regional

30 years of bringing green ideas to LIFE

Disclaimer
The LIFE RIBERMINE project has been funded with the support of the **LIFE Programme of the European Union**.
This publication reflects the views only of the author/s, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

Life RIBERMINE
LIFE18 ENV/ES/000181

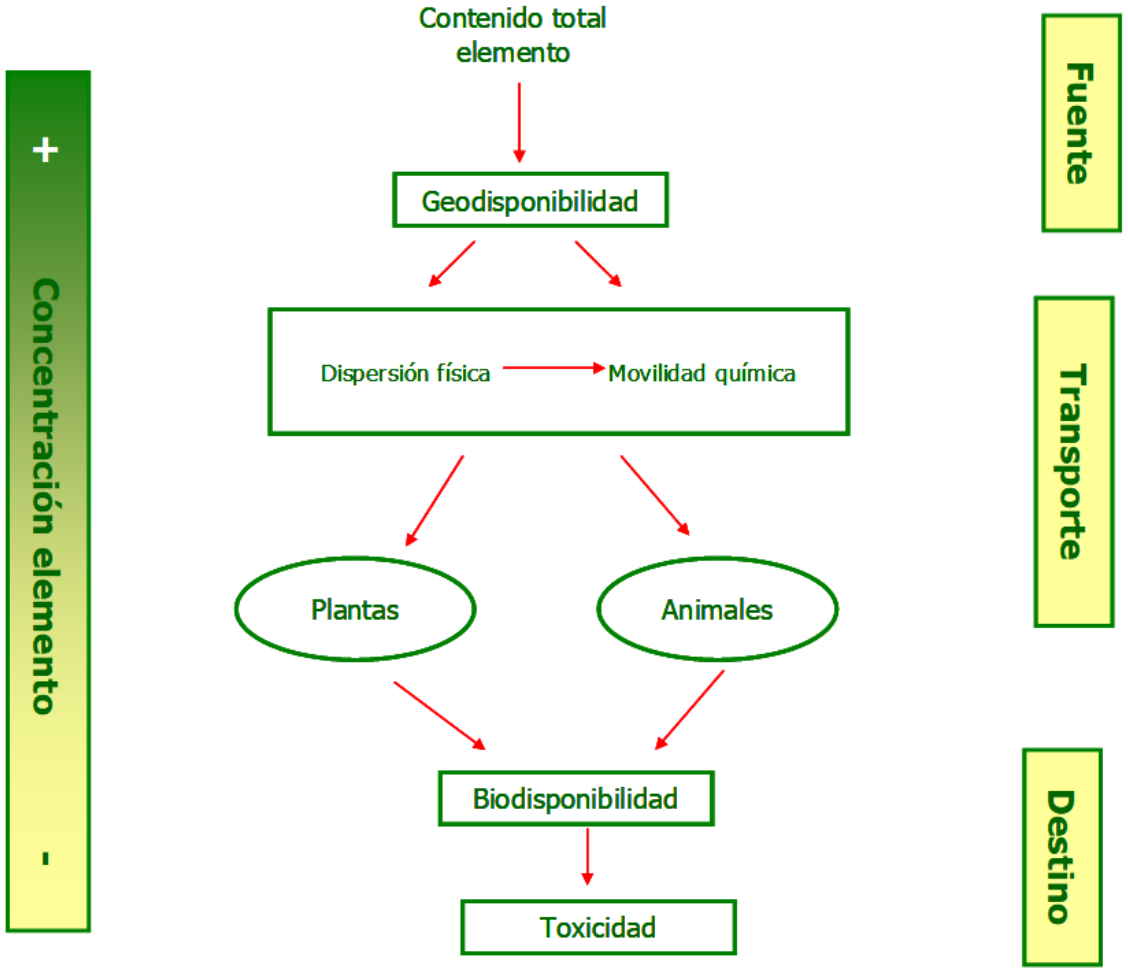
¡Si lo sigues lo consigues!

Caracterización geoquímica, movilidad de contaminantes y su toxicidad para evaluar el impacto ambiental de escenarios de minería metálica

Jornada Técnica LIFE RIBERMINE
06/04/2022
Elena Crespo y Luz García (UCM)

Disclaimer
The LIFE RIBERMINE project has been funded with the support of the **LIFE Programme of the European Union**.
This publication reflects the views only of the author/s, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

¿Cómo caracterizamos un emplazamiento contaminado por EPTs?



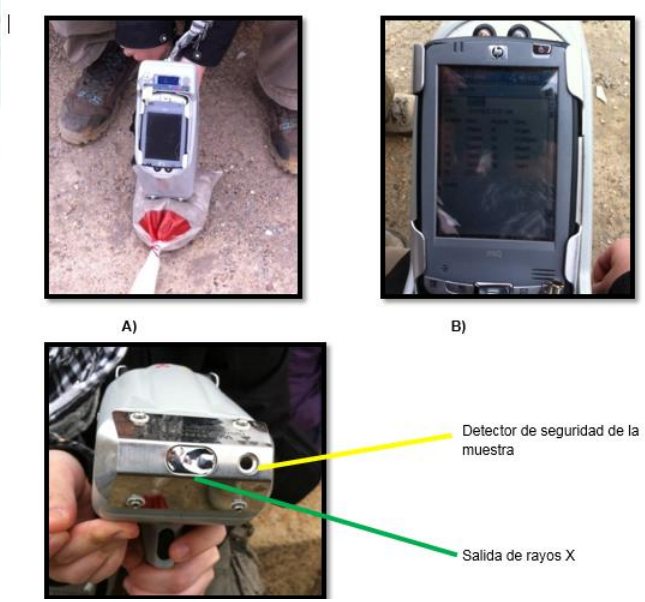
- A la hora de caracterizar un emplazamiento contaminado por elementos potencialmente tóxicos (EPTs) es importante determinar su disponibilidad de éstos en los organismos.
- La disponibilidad depende tanto del organismo como de factores abióticos

1. Total: ¿Qué cantidad de contaminante hay?
2. Geodisponibilidad: ¿Qué cantidad del contenido total puede ser liberada a la superficie o en zonas cercanas a ella?
3. Biodisponibilidad: ¿Qué cantidad de contaminante puede ser incorporado a un organismo vivo?

Determinación del contenido total: caracterizando la fuente

Caracterización geoquímica:

- Determinación in situ
- Determinación en el laboratorio

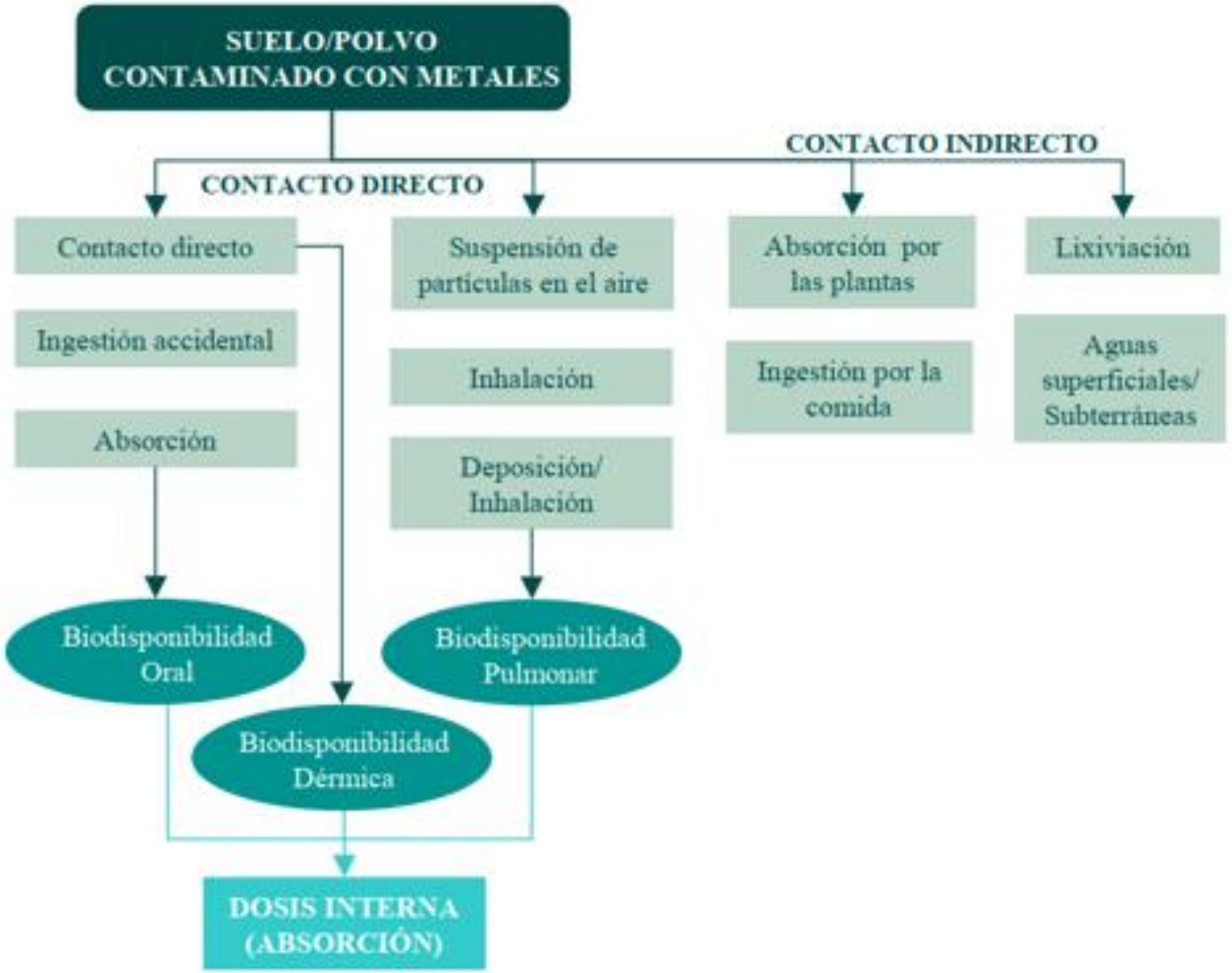


El contenido total no lo es todo: vías de transporte

- La distribución, movilidad, biodisponibilidad y toxicidad de los elementos traza no sólo depende de la concentración total de los mismos, sino también de la forma en la que aparecen.
- Análisis de la especiación: estudiamos las diferentes formas químicas en las que se encuentran los EPT´s, que nos proporciona información de la biodisponibilidad
- Simulación de distintas condiciones ambientales:
  - ¿Qué pasa si llueve?
  - ¿Qué pasa si se sumergen?
  - ¿Qué pasa si llega un aporte ácido?

¿Qué efecto tienen los EPT´s en los organismos?

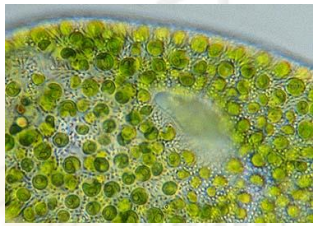
- Evaluamos el efecto de los contaminantes tanto en la especie humana como en los ecosistemas
- Sin conocer la toxicidad es imposible analizar el riesgo.
- Establecido en el RD 9/2005*

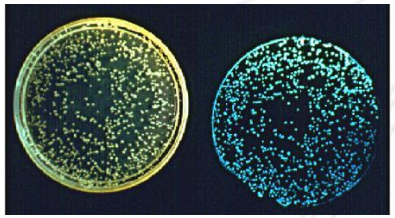


¿Qué efecto tienen los EPT´s en los organismos?

2. Ecosistemas

- Baterías bioensayos
  - Lombrices
  - Algas
  - Bacterias
  - Plantas
  - Crustáceos…





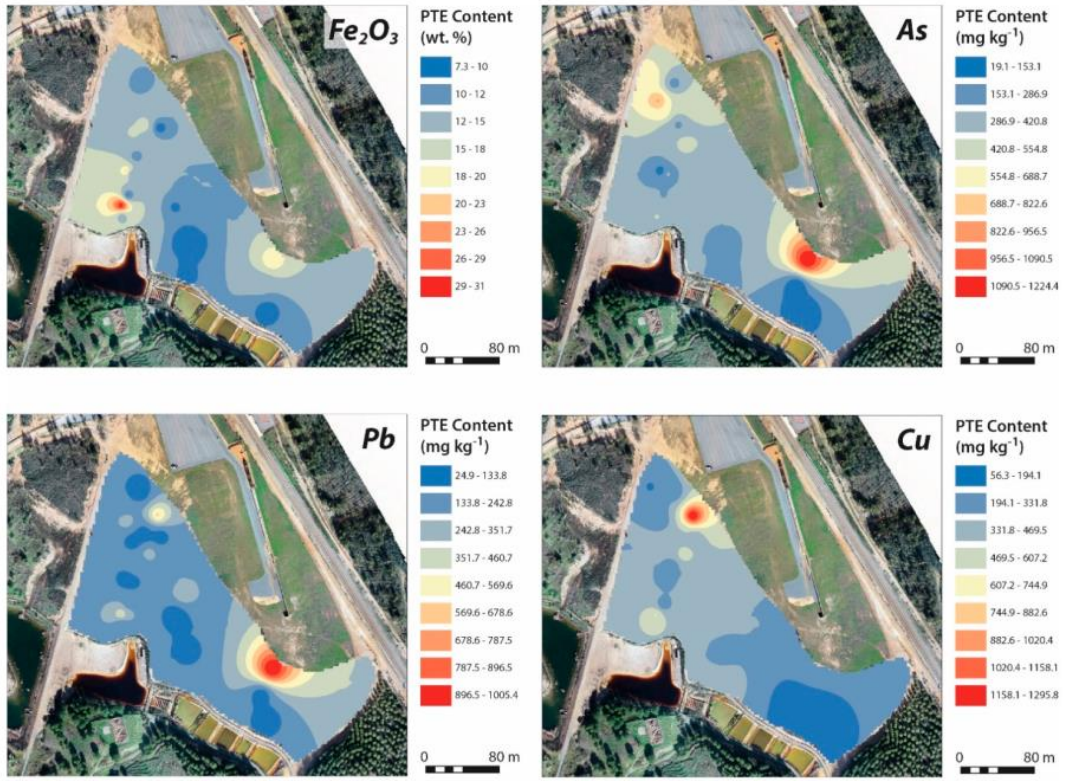
¿Podemos integrar todos los resutados?

Análisis de riesgos (EPA)

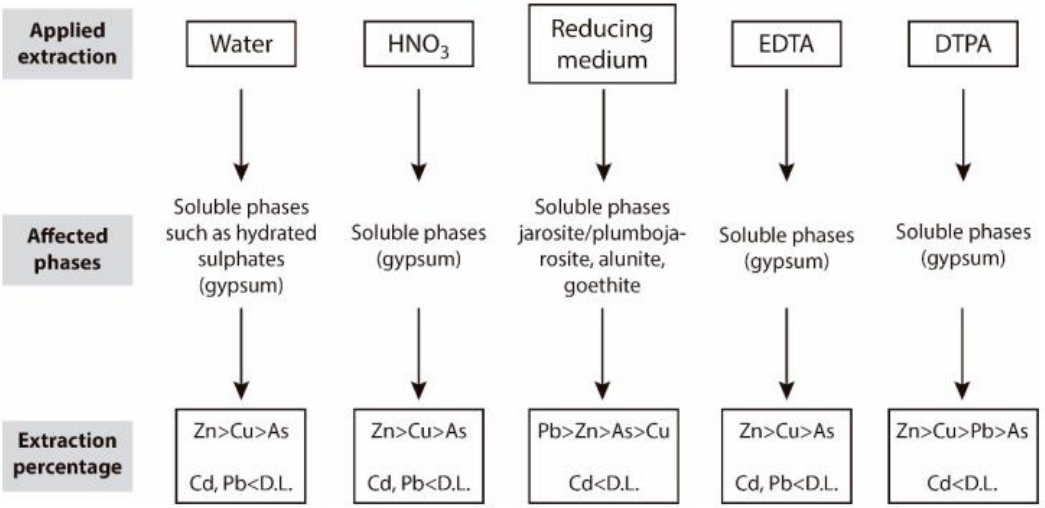
- Identificación de peligros (FUENTE)
- Evaluación de la toxicidad (VÍAS)
- Análisis de la exposición (DESTINO)
- ***Caracterización del riesgo***

¿Qué efecto tienen los EPT´s en los organismos?

1. Contenido total



2. Geodisponibilidad



Article

Geochemical Characterization and Trace-Element Mobility Assessment for Metallic Mine Reclamation in Soils Affected by Mine Activities in the Iberian Pyrite Belt

Ramón Sánchez-Donoso [1,2,*], Mari Luz García Lorenzo [3], José María Esbrí [4], Eva María García-Noguero [4], Pablo Higueras [4] and Elena Crespo [3]

¿Podemos integrar todos los resutados?

3. Ecotoxicidad: transferencia suelo-planta

BCF

Muestra	EPT				
	As	Cd	Cu	Pb	Zn
JE1	0,14	0,04	0,12	0,25	0,04
JE2	0,04	-	0,49	0,15	0,53
JE3	0,02	-	0,09	<0,02	0,02
JE4	0,07	-	0,45	0,10	0,36
JE5	/	/	/	/	/
JE6	0,13	-	0,73	0,24	0,47
JE7	0,16	-	0,59	0,40	0,56
Promedio	0,09	0,04	0,41	0,19	0,33
PH1	0,06	<0,33	0,04	<0,12	0,07
PH2	0,37	-	0,10	0,14	0,11
PH3	0,70	<0,03	**1,46**	0,22	0,44
PH4	**6,00**	-	**3,67**	**2,65**	**1,64**
PH5	0,61	**>4**	0,66	0,27	0,26
PH6	0,18	-	0,41	0,15	0,24
PH7	0,53	-	**1,95**	0,46	**4,73**
PH8	0,21	-	0,69	0,35	**1,41**
PH9	0,15	-	0,60	0,14	0,61
Promedio	0,98	0,18	**1,06**	0,50	**1,06**

TF

Muestra	As	Cd	Cu	Pb	Zn
JE1	0,11	<0,98	0,04	<0,98	0,02
JE2	0,55	-	0,14	<0,08	0,71
JE3	0,11	-	0,68	**>1,10**	0,37
JE4	0,02	-	0,06	<0,32	0,46
JE5	/	/	/	/	/
JE6	0,28	-	0,12	<0,38	0,17
JE7	0,03	-	0,05	<0,05	0,20
Media	0,18	-	0,18	0,48	0,32
PH1	0,27	-	0,23	-	0,41
PH2	0,01	-	0,11	**3,93**	0,34
PH3	0,08	-	0,10	0,48	0,95
PH4	/	/	/	/	/
PH5	0,02	<0,25	0,05	<0,07	0,11
PH6	0,01	-	0,03	<0,15	0,13
PH7	0,42	-	0,39	<0,33	0,28
PH8	0,29	-	0,38	0,21	0,23
PH9	0,11	-	0,30	<0,27	**1,29**
Media	0,15	-	0,20	0,78	0,47

¡GRACIAS!
Life

Life RIBERMINE
LIFE18 ENV/ES/000181

JORNADA TÉCNICA Y TALLER:

LIFE RIBERMINE

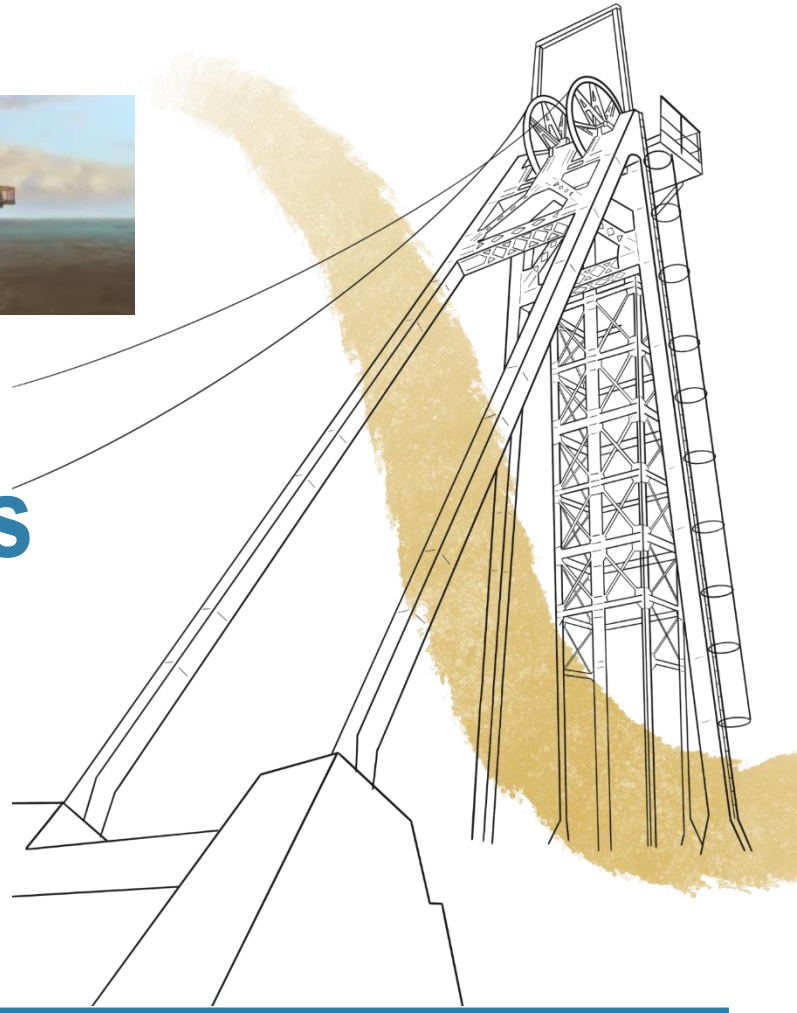
Toledo, 6 de abril de 2022

Escuela de Administración Regional

30 years of bringing green ideas to LIFE

Disclaimer
The LIFE RIBERMINE project has been funded with the support of the **LIFE Programme of the European Union**.
This publication reflects the views only of the author/s, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

Life RIBERMINE
LIFE18 ENV/ES/000181



Fabricamos paisajes artificialmente naturales

Restauración geomorfológica y modelos de erosión

J.F. Martín Duque, M. Tejedor, Universidad Complutense de Madrid

Disclaimer
The LIFE RIBERMINE project has been funded with the support of the **LIFE Programme of the European Union**.
This publication reflects the views only of the author/s, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

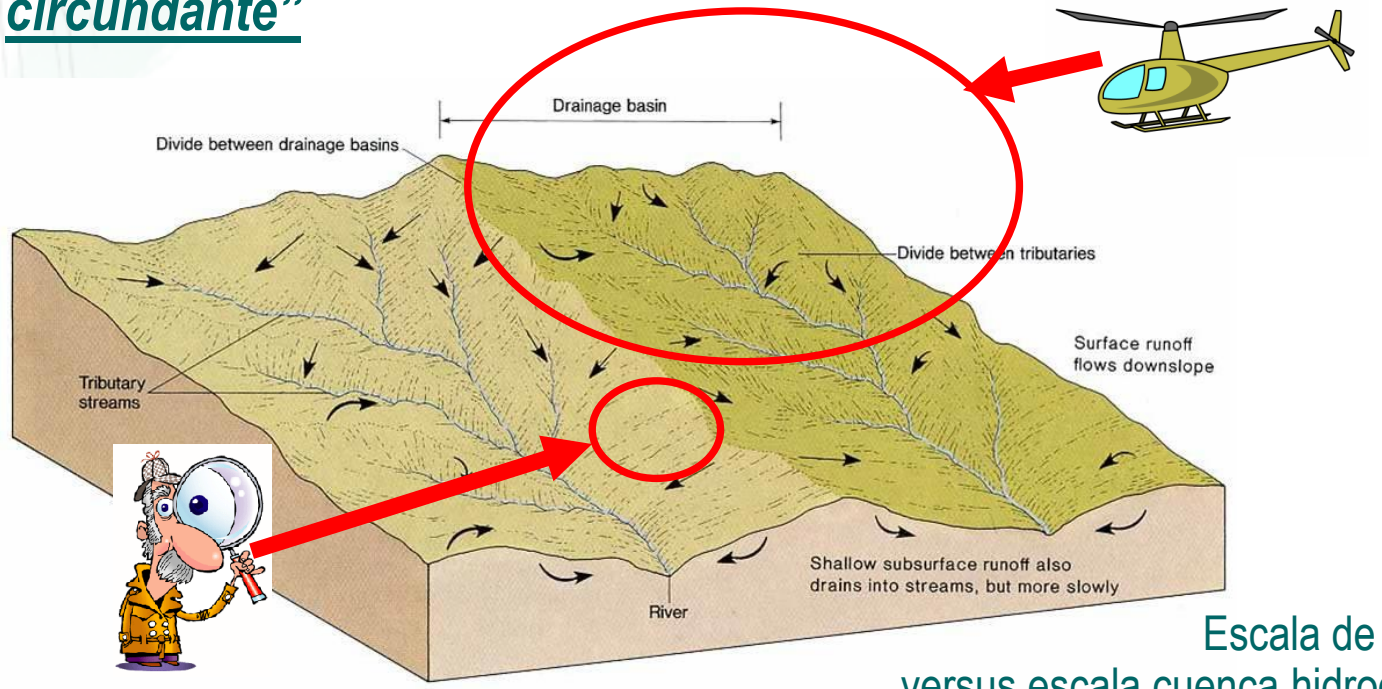
Castilla-La Mancha · Universidad Complutense Madrid · Centro Ciência Viva do Lousal · Caobar, S.A. · Geacam

I. LOS ELEMENTOS NO CONSIDERADOS (O POCO CONSIDERADOS) AÚN EN REHABILITACIONES MINERAS

SMCRA 1977- *Surface Mining Control and Reclamation Act*

Cuencas hidrográficas como unidades de planificación de las restauraciones mineras

Se requiere que las zonas mineras rehabilitadas ***"se integren y complementen con el patrón de drenaje del terreno circundante"***



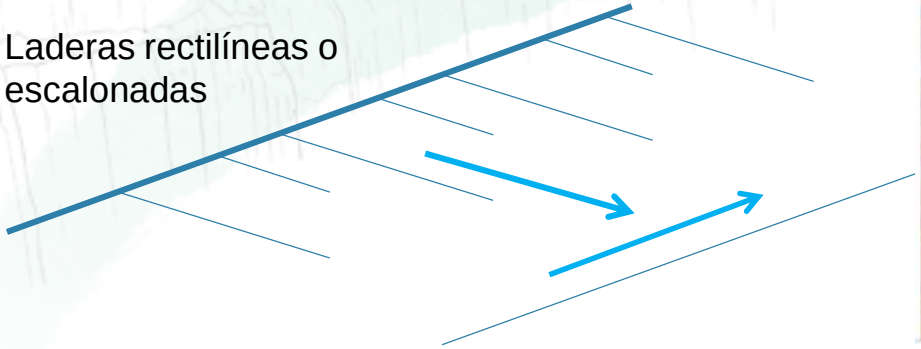
Escala de ladera versus escala cuenca hidrográfica

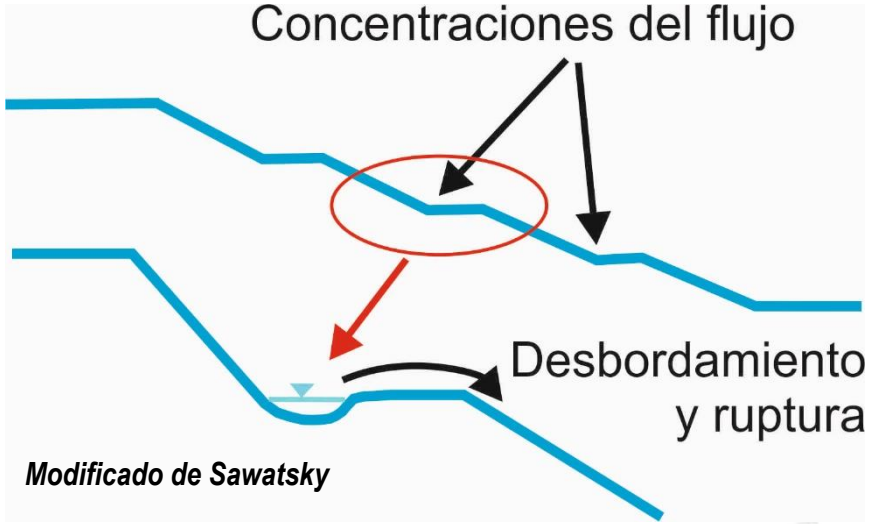
FUENTE: http://www.bedfordcountyconservation.com/Watersheds/wsheds.htm

Fotos: N. Bugosh

La propuesta supone un verdadero cambio de paradigma

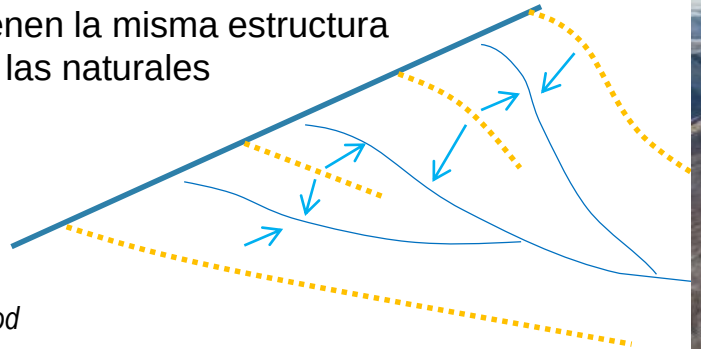
Laderas rectilíneas o escalonadas





Las redes de drenaje natural fluyen pendiente abajo (y no en paralelo a las curvas de nivel) (L. Sawatsky)

Laderas que tienen la misma estructura de drenaje que las naturales

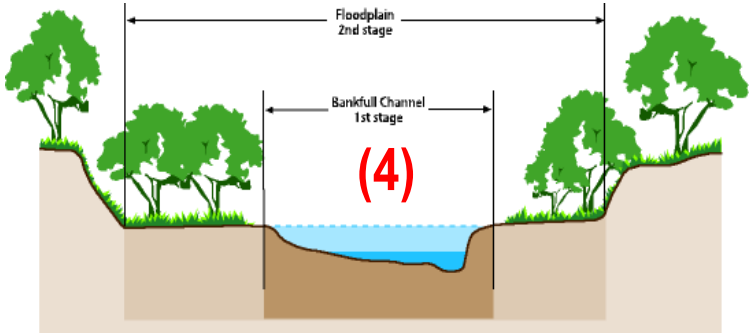


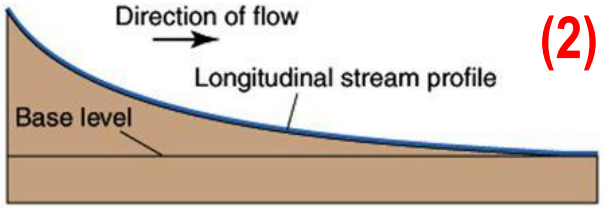
Fuente: C. Waygood

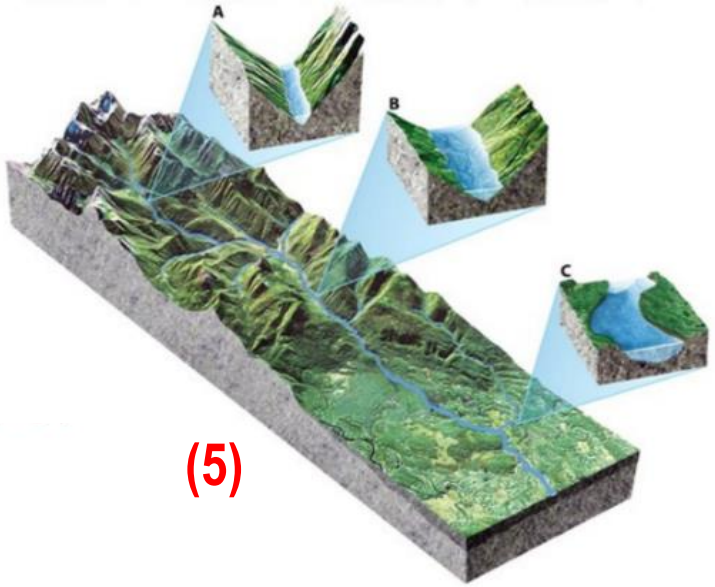
El método GeoFluv-Natural Regrade

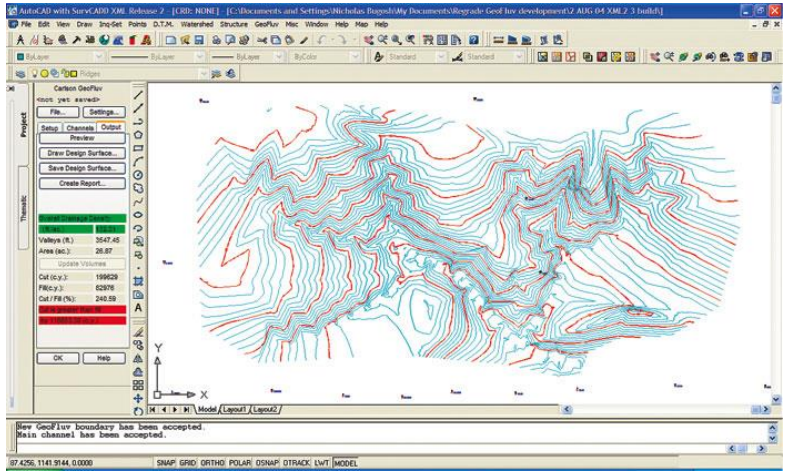
Fuente ilustraciones: Varias Fuentes, material didáctico www.restauraciongeomorfologica.es

A) Red de canales fluviales 3D (1) con perfiles cóncavos (2) que drenan hacia un nivel de base local (3)
B) La geometría de las secciones transversales se basa en los distintos niveles de caudal (4). El área de la sección trasversal aumenta hacia aguas abajo, (5)
C) Las laderas de los interfluvios tienen perfiles **convexo - cóncavos** (6)





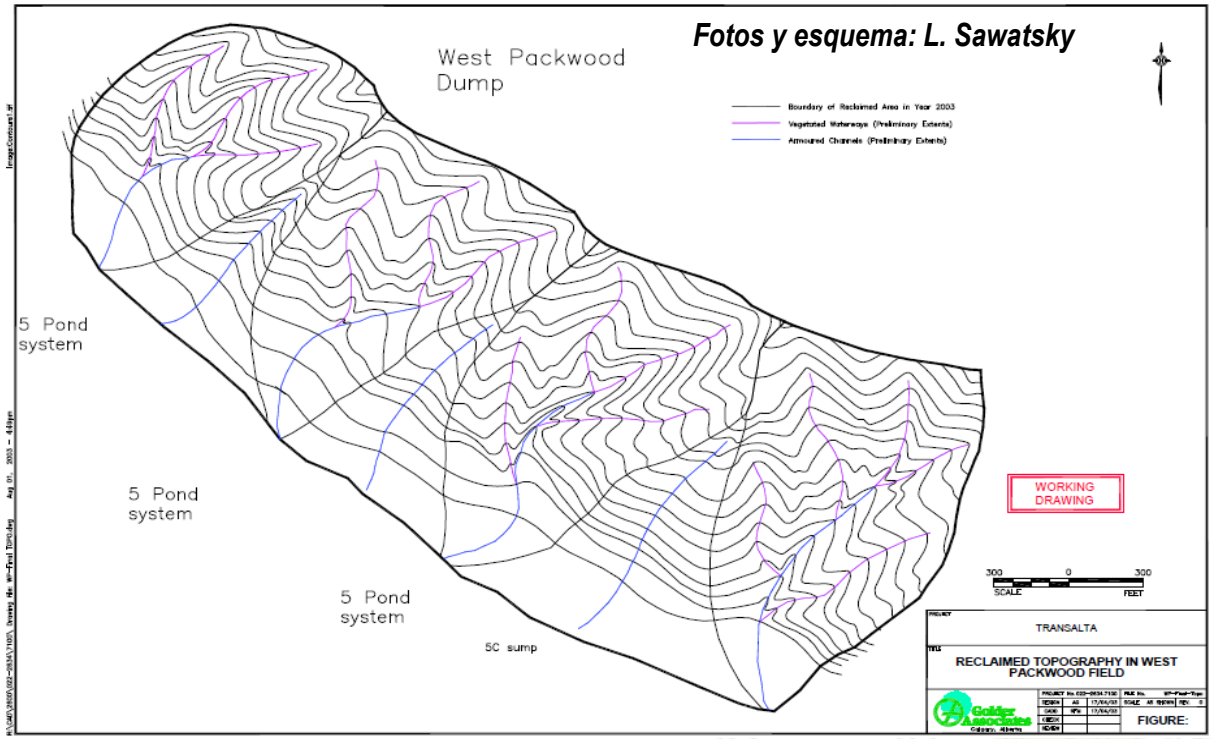




El método canadiense de restauración geomorfológica

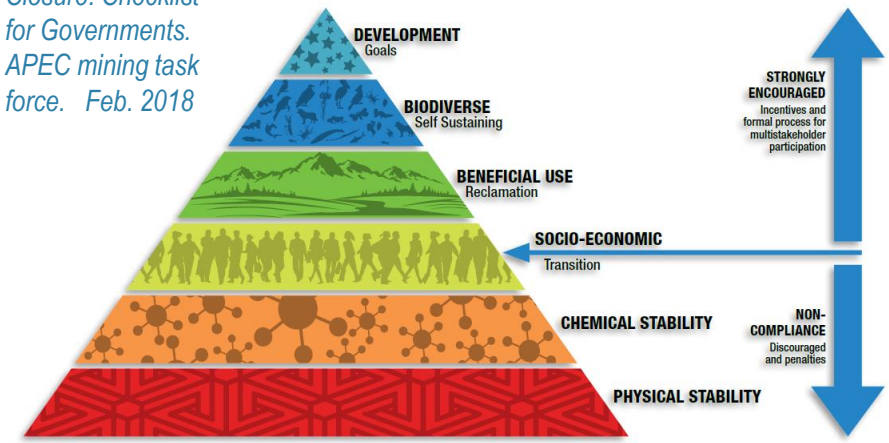
https://es.wikipedia.org/wiki/Arenas_de_alquitr%C3%A1n_de_Athabasca

https://corpethics.org/the-tar-sands-campaign/



Manejo de Formaciones superficiales y suelos. Modelos de Evolución del Paisaje e hidrológicos-hidráulicos

Ilustración: Mine Closure. Checklist for Governments. APEC mining task force. Feb. 2018



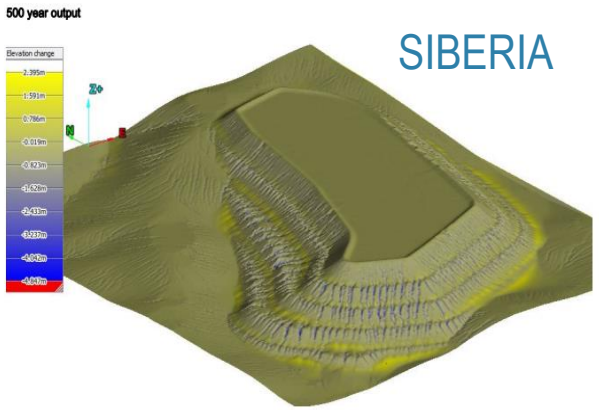


Imagen: www.soilwatergroup.com

Materiales dispersivos (Na)

CAESAR

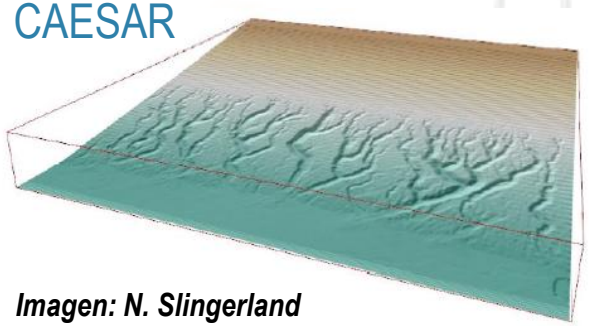


Imagen: N. Slingerland

Fotos: J.F. Martín

II. RESTAURACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y MODELOS DE EROSIÓN EN LIFE RIBERMINE

Fotos: J.F. Martín

Fontanería de cuencas hidrográficas

Recuperación de la conectividad hidrológica

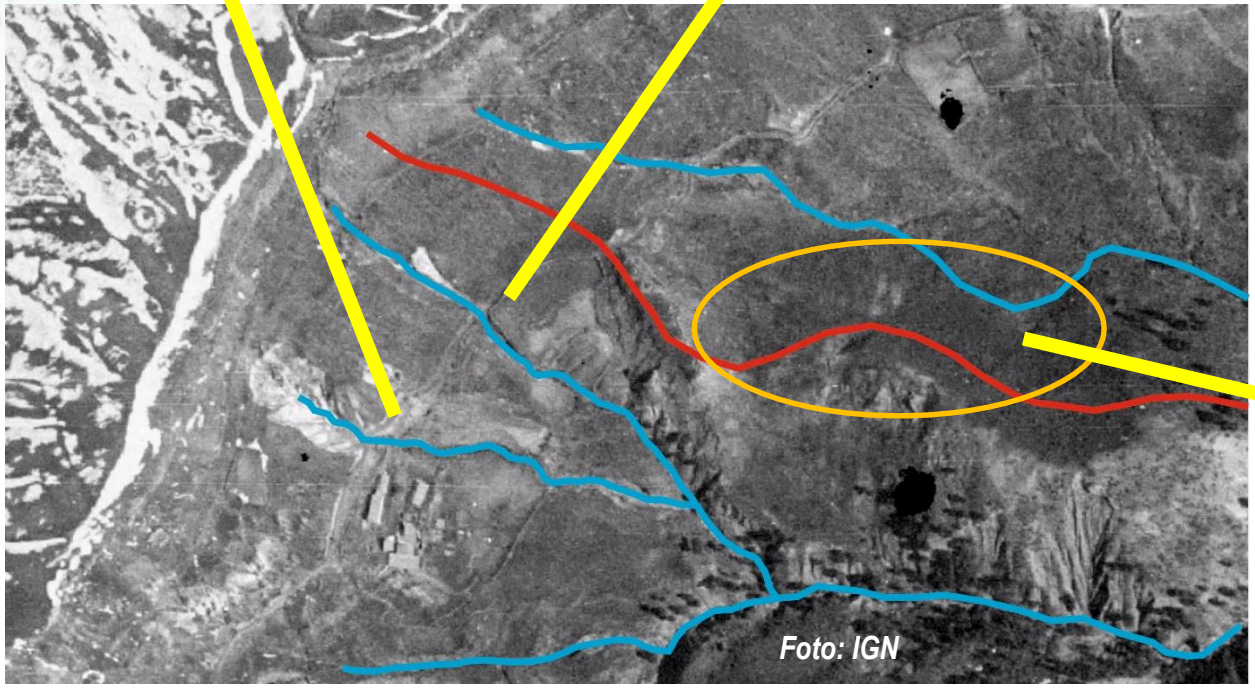


Foto: IGN

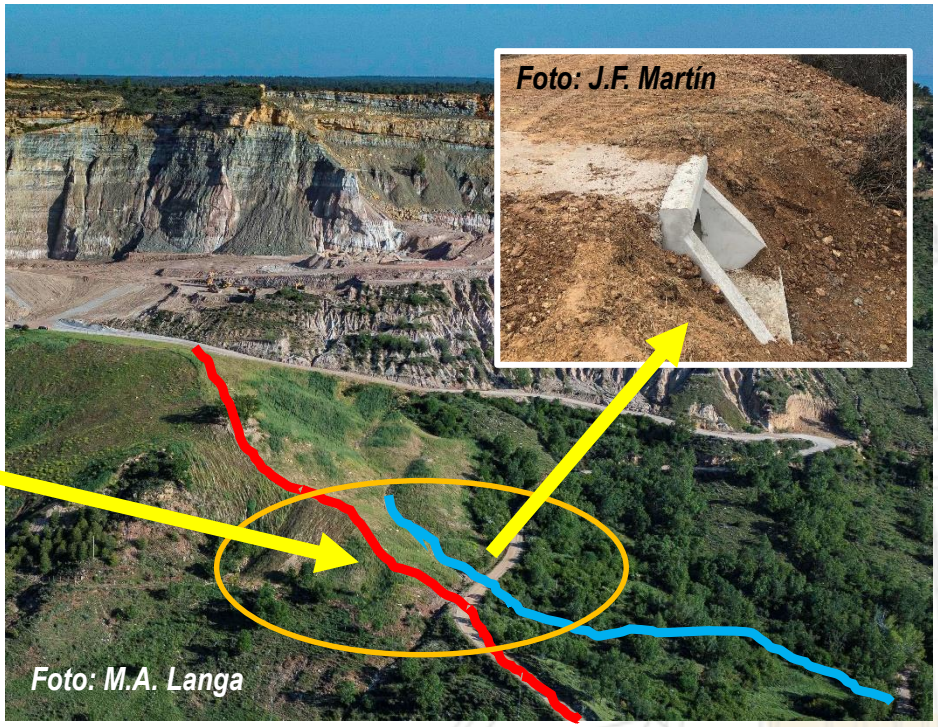
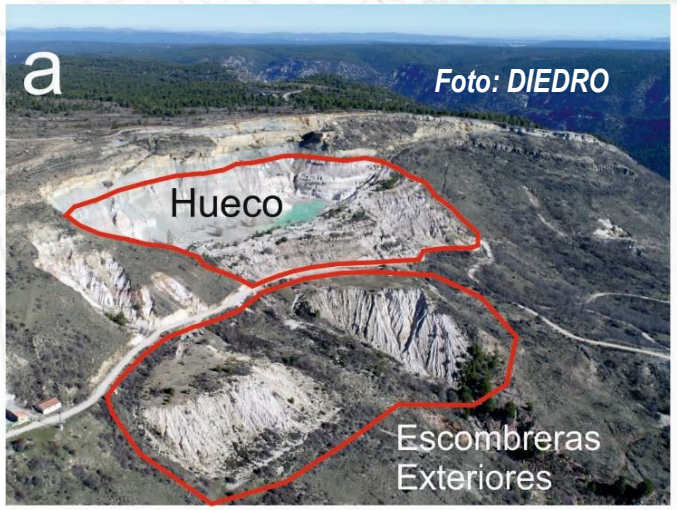
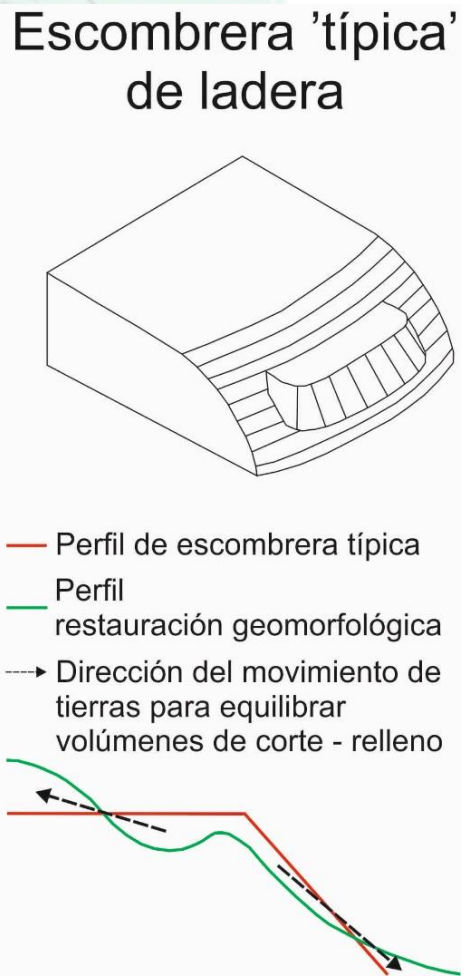


Foto: M.A. Langa

Foto: J.F. Martín

Restauración Geomorfológica Fluvial (GeoFluv). Nuevo modelo de RG para RM

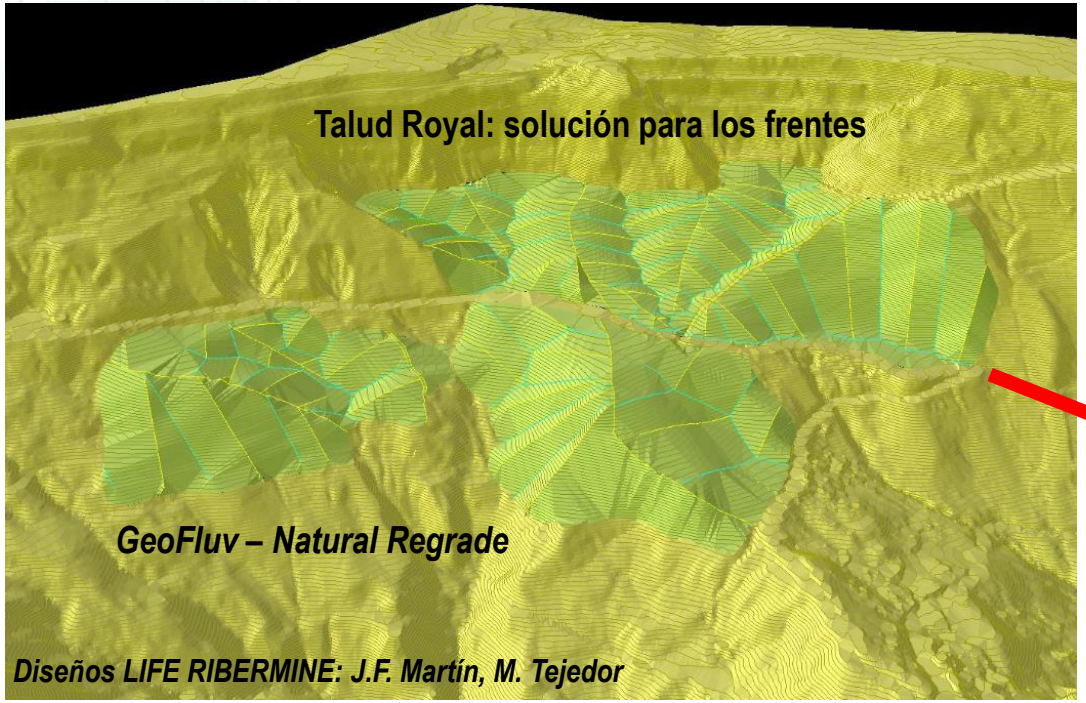




Ventajas de incrementar la superficie afectada

Sin RG, las RM estarán siempre incompletas

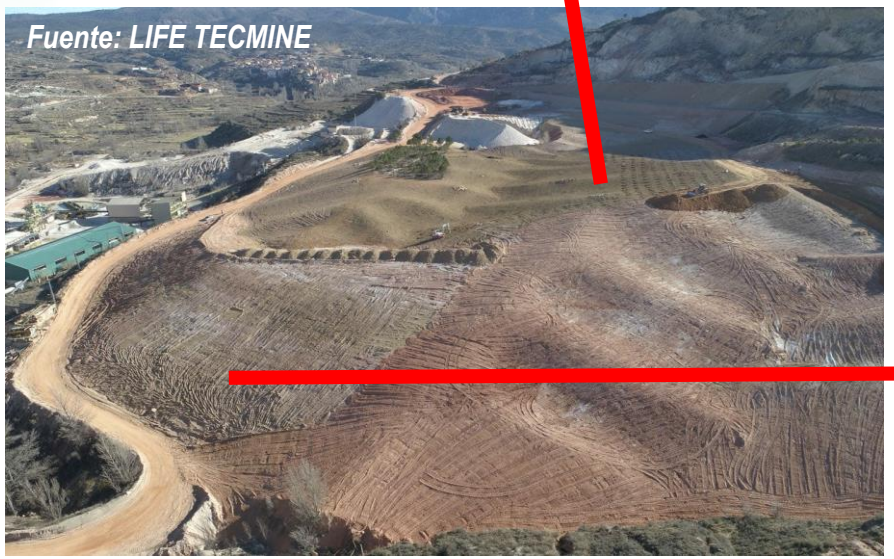
GeoFluv-Talud Royal. La imperiosa necesidad de cambiar los modelos. Seguir proponiendo pantallas visuales o “tapar frentes”, no sólo es antiguo, sino ineficiente

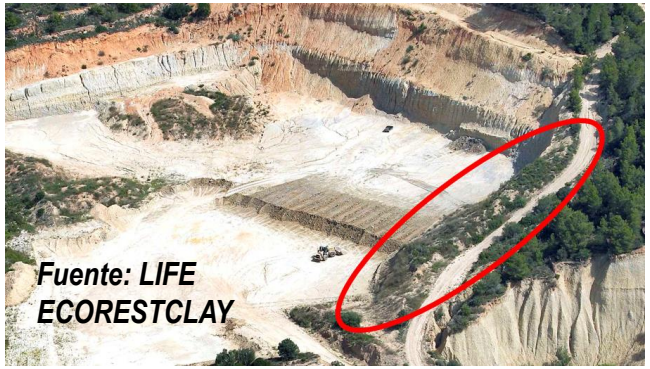


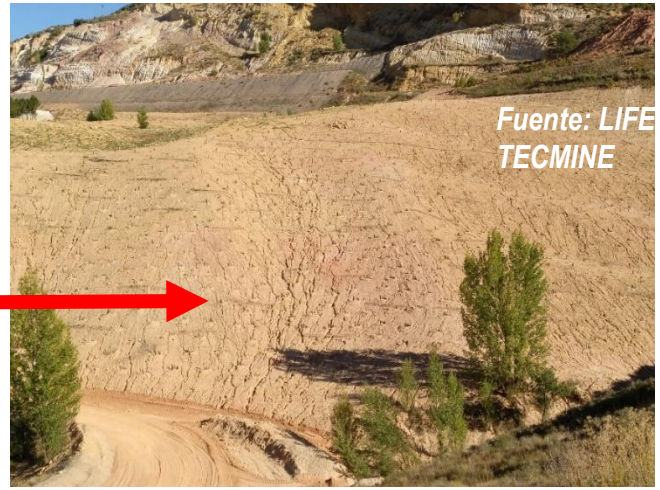
Cauces fluviales que imitan a los naturales e ingeniería hidráulica amigable. ¿Qué tal un poco menos de hormigón?

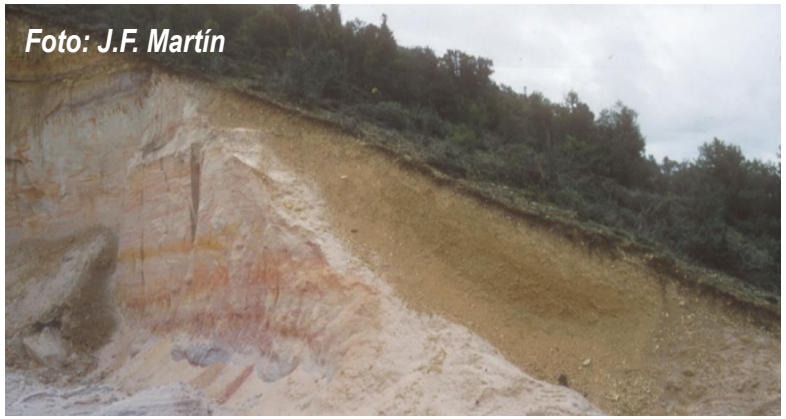
Fotos: J.F. Martín

Uso de Formaciones Superficiales (coluvión)



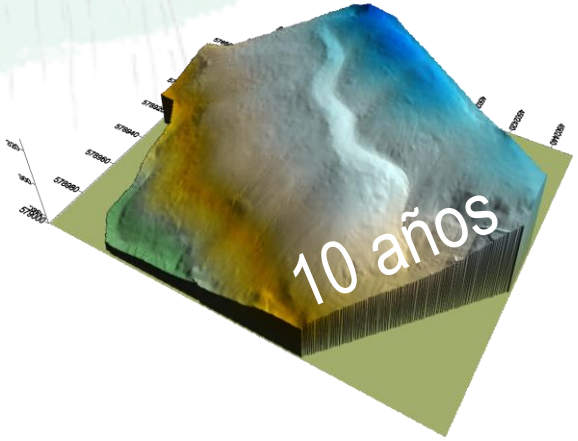


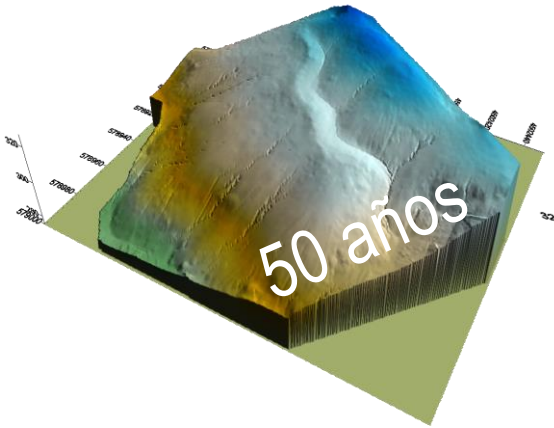


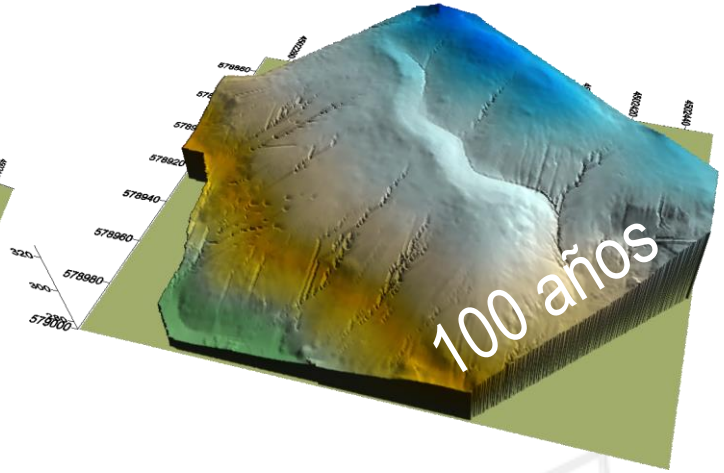


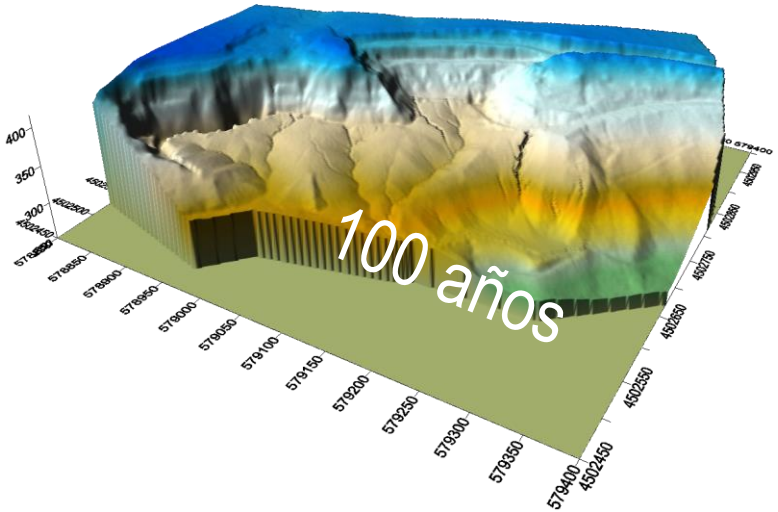
Uso de SIBERIA en LIFE RIBERMINE

Imágenes y datos: modelaciones Greg Hancock para LIFE RIBERMINE









	Escombrera Este			Escombrera Oeste		
	10 años	50 años	100 años	10 años	50 años	100 años
Tasa erosión (t ha^{-1} año^{-1})	5.0	5.1	5.25	5.25	5.9	6.3

	Hueco minero		
	10 años	50 años	100 años
Tasa erosión (t ha^{-1} año^{-1})	24	17.4	15.2

Life RIBERMINE
LIFE18 ENV/ES/000181

JORNADA TÉCNICA Y TALLER:

LIFE RIBERMINE

Toledo, 6 de abril de 2022

Escuela de Administración Regional

30 years of bringing green ideas to LIFE

Disclaimer
The LIFE RIBERMINE project has been funded with the support of the **LIFE Programme of the European Union**.
This publication reflects the views only of the author/s, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

Life RIBERMINE
LIFE18 ENV/ES/000181

Reproduciendo paisajes naturales sobre frentes residuales

Lázaro Sánchez Castillo (CAOBAR)

Disclaimer
The LIFE RIBERMINE project has been funded with the support of the **LIFE Programme of the European Union**.
This publication reflects the views only of the author/s, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

LA INTERVENCIÓN SOBRE LOS FRENTES

- Las técnicas de restauración geomorfológica están preferentemente enfocadas a la restauración de amplias superficies de plataformas de fondo de corta, laderas de escombreras, etc..

- A pesar de preverse que los resultados de una intervención sobre los frentes apenas trascenderían sobre el objetivo fundamental del proyecto LIFE (calidad de los sistemas acuáticos vinculados al río Tajo) se decidió su introducción ya que este método obedece al concepto holístico del proyecto. Restauración geomorfológica **INTEGRAL** del antiguo hueco minero, incluidos los **frentes**.

- La técnica seleccionada ha sido la denominada **TALUD ROYAL®**.

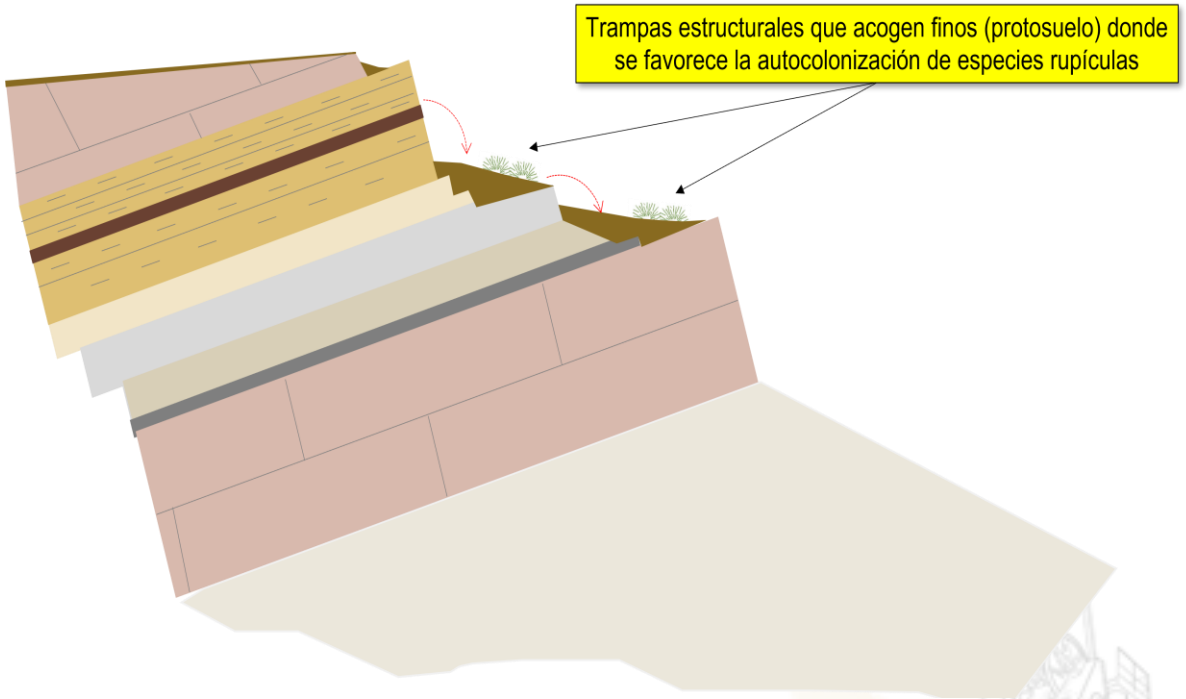
LA METODOLOGÍA TALUD ROYAL®

- Talud Royal® es una **técnica de restauración geomorfológica** creada por el ingeniero geólogo francés Paul Royal (1995).

- Empleada en la ingeniería civil (trincheras o taludes de carreteras o vías férreas), **propone intervenir los frentes residuales de excavación sobre macizos de rocas compactas, siguiendo las pendientes estructurales naturales (estratificación y diaclasas).**

- **Se asegura** no solo la estabilidad geotécnica del conjunto (concepción matemática o ingenieril tradicional) sino también **el "respeto" estético al paisaje natural (formas del relieve y tonalidades**-hace visibles no solo los colores de las rocas sino también las pátinas de oxidación/alteración existentes sobre las discontinuidades).

LA METODOLOGÍA TALUD ROYAL ®



- Este tipo de intervenciones **propicia la introducción natural de flora y fauna autóctona en las depresiones generadas por el método, que son ocupadas por material mas fino procedente de la alteración de los materiales geológicos.**

- La **implantación y desarrollo de las especies rupícolas se ve favorecida por el abastecimiento de agua** procedente de la **red de fisuras** preexistentes que han originado los nichos o trampas.

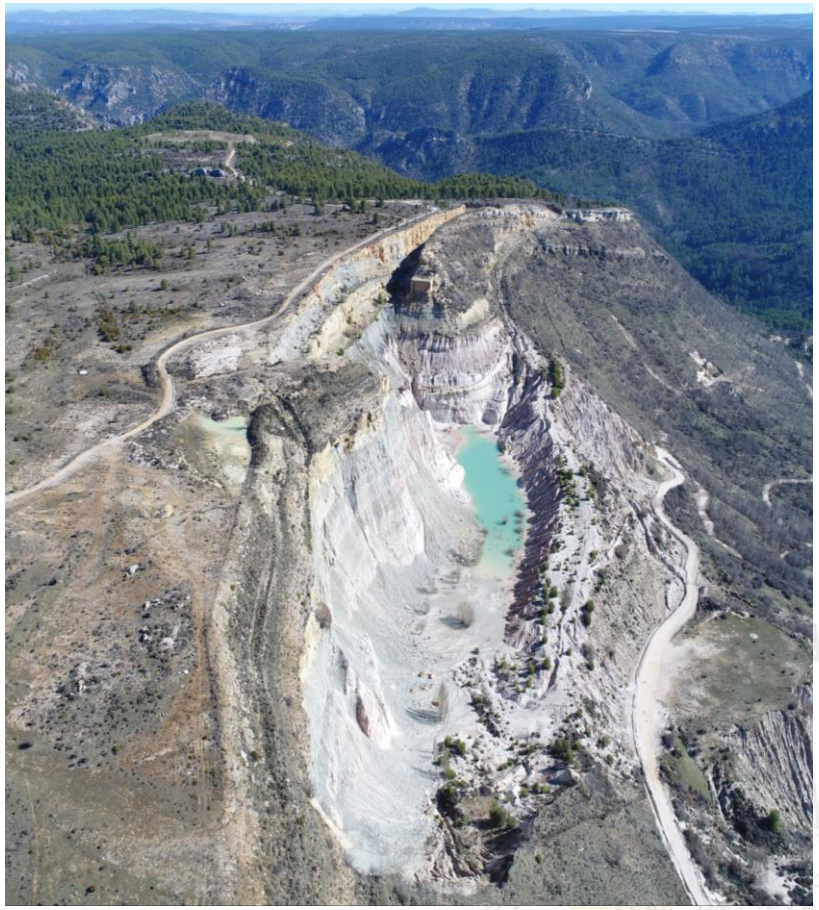
- El frente intervenido precisa un **nulo o bajo grado de mantenimiento**, fiel al principio de la **perdurabilidad y autosostenibilidad** de las intervenciones geomorfológicas (Sawatsky, L.F. et al., 2000).

- Es una metodología de resultado FINAL, es decir, aplicable de forma exclusiva a **TALUDES FINALES o RESIDUALES.**

Especialmente útil para la restauración de PASIVOS AMBIENTALES.

De forma previa ha de **identificarse** si los frentes a intervenir constituyen un **hábitat de especies (faunísticas o vegetales) rupícolas.**

OBJETIVOS Y ALCANCE: EL VALOR DEL TALUD ROYAL EN EL PROYECTO LIFE



- Aplicar el método analizando las posibilidades "reales" de implantación: Se trata de una tecnología de restauración **MTD (Mejor Técnica Disponible) e INÉDITA** en las operaciones mineras llevadas hasta la fecha en España.

  → Ha inferido al proyecto RIBERMINE una componente de **I+D+i, aspecto valorado por el programa LIFE.**

  → Ha posibilitado la **experimentación/aplicación de determinadas metodologías y herramientas de última generación (tratamiento digital)**, que vendrían a suponer un **complemento al método**, todo ello sin apartarse del concepto ideado por Paul Royal.

- La acción se ha concretado con la **intervención sobre los niveles superiores de un tramo del frente principal residual de la antigua explotación Santa Engracia.**

- **Hándicaps:**
  - **Intercalación** entre los niveles de roca compacta de **materiales poco cohesivos.**
  - Frentes residuales de **altura muy superior** a los abordados tradicionalmente por la metodología Talud Royal, con **escasa accesibilidad a los planos de trabajo.**

EJECUCIÓN DEL TALUD ROYAL EN LIFE RIBERMINE (I)

1 ANÁLISIS PREVIO

Ayuda a analizar la "potencialidad arquitectónica o escultural" del macizo y con ello la capacidad de conformar un relieve final acorde con el paisaje.

Análisis del relieve (formas) y paisaje.
- ✓ Análogos naturales a replicar.

Caracterización del macizo rocoso.
- ✓ Estudio petrológico y geomecánico de materiales (rocas y suelos) (c' y ϕ' en las superficies de deslizamiento). Se requiere lograr la estabilidad geotécnica de todos los niveles que conforman el macizo (estabilidad de banco y global).

Estudio estructural.
- ✓ Análisis fractográfico de detalle. El método aprovecha las pendientes estructurales naturales (planos de estratificación y discontinuidades de deformación frágil – diaclasas - *major y minor joints*)

FASE DE PROYECTO

2 Diseño de los perfiles finales de excavación.

Modelización del relieve final

3 Verificación de la estabilidad geotécnica del frente final

4 Diseño de voladuras y labores de limpieza.

FASE DE CONSTRUCCIÓN

Ejecución de las voladuras

Voladuras de destroza

Voladuras de "contorno"

Labores de limpieza y saneamiento de la zona

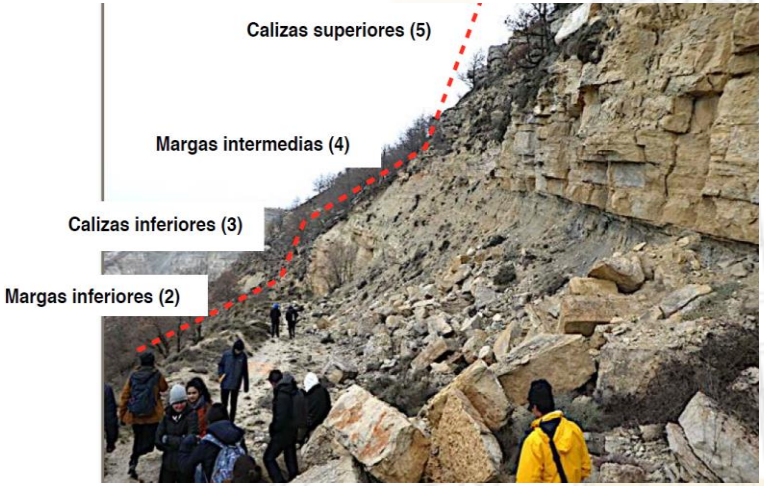
Acabado final

EJECUCIÓN DEL TALUD ROYAL EN LIFE RIBERMINE (II)

FASE DE PROYECTO

- **Análisis del relieve y paisaje.**
  - **Paisaje:** Superficies altas coronando un valle fluvial muy encajado (cañones). Bosque de pinar (repoblación) ocupando parcialmente las superficies de paramera y vertientes de ladera, junto a otras especies arbóreas (roble y enebro) y arbustivas (boj, aulaga, etc.)
  - **Formas naturales:** De tipo estructural (materiales mesozoicos). Buzamiento de capa a contrapendiente (condición favorable).
    - En **plano superior** (sobre materiales competentes o rocosos): relieve tipo escarpe. Laderas casi verticales. Predominio de procesos gravitacionales (bloques).
    - En **plano inferior** (sobre materiales poco cohesivos): relieves tipo cuesta. Laderas de elevado desarrollo y pendiente. Erosión lineal muy incisiva, deslizamientos, *creep*, riesgo extremo de erosión, etc.
  - **Análogos:** Cantiles que hay entre el pueblo y el propio hueco de Santa Engracia.
  - **Zona a intervenir: Zona superior del frente.** Secuencia combinada: escarpe (dolomías)-talud (margas superiores - arenas) – escarpe (dolomías) – talud (margas inferiores)

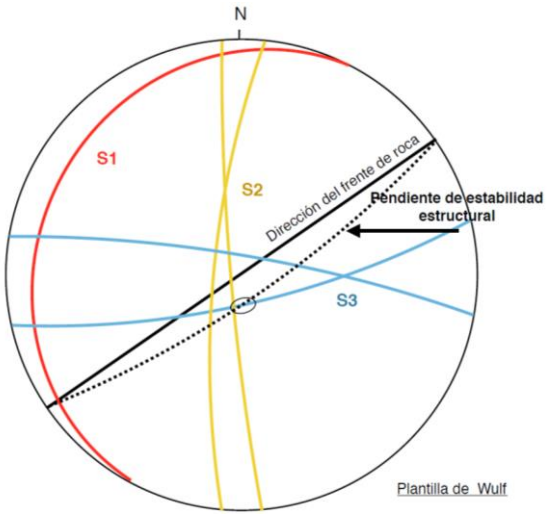
- **Caracterización del macizo rocoso.**
  - **Materiales (zona superior del frente):** Dolomías (Fm. Dolomías de Alatoz) intercaladas por niveles métricos, y concordantes, de margas y areniscas.
  - **Características geomecánicas (c';ϕ'):** Dolomías (disc.) (50 kPa; 36º), margas (38 kPa; 30-32º) y areniscas (25 kPa; 30º). Grado de saturación: variable, de seco a **saturado** (presión de poro en arenas μ ~1,0 kPa/m).



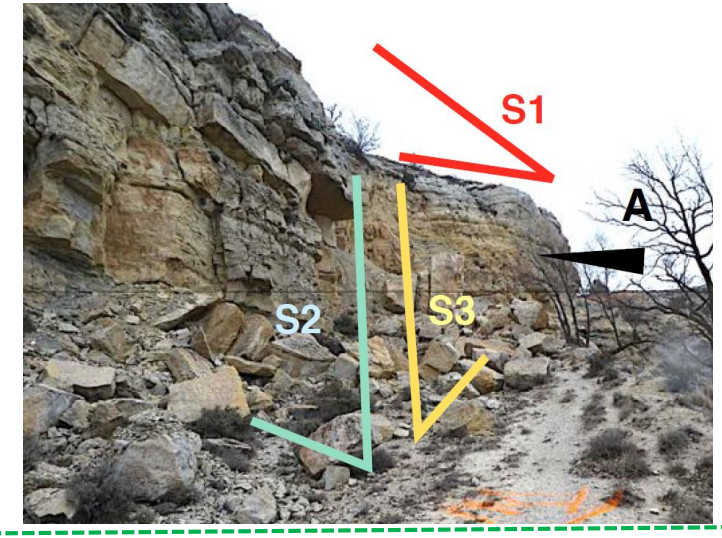
EJECUCIÓN DEL TALUD ROYAL EN LIFE RIBERMINE (III)

FASE DE PROYECTO

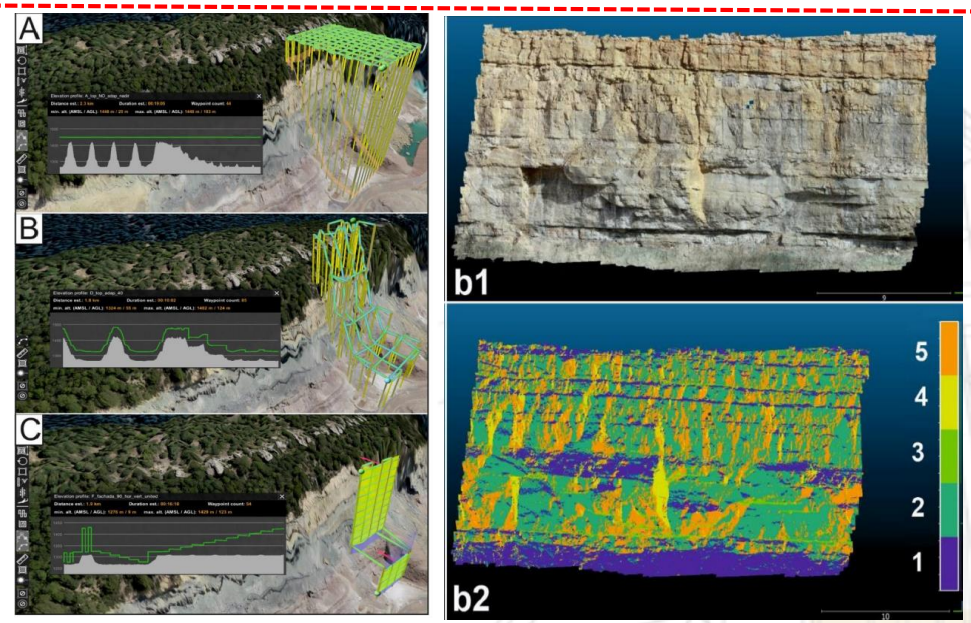
- **Análisis fractográfico de detalle**



- Técnicas tradicionales. **Diagramas Rosa o Estereograma polar equiareal- -Histogramas**



- Posible introducción de nuevas metodologías. **Análisis de imágenes (tomadas con dron con cámara nadir). Permite detectar casi un 95% discontinuidades. Es un método rápido y <u>seguro</u>.** Especialmente útil en nuestro caso pues la zona de análisis previo es de alto riesgo por la inestabilidad que presentan algunos bloques de roca).



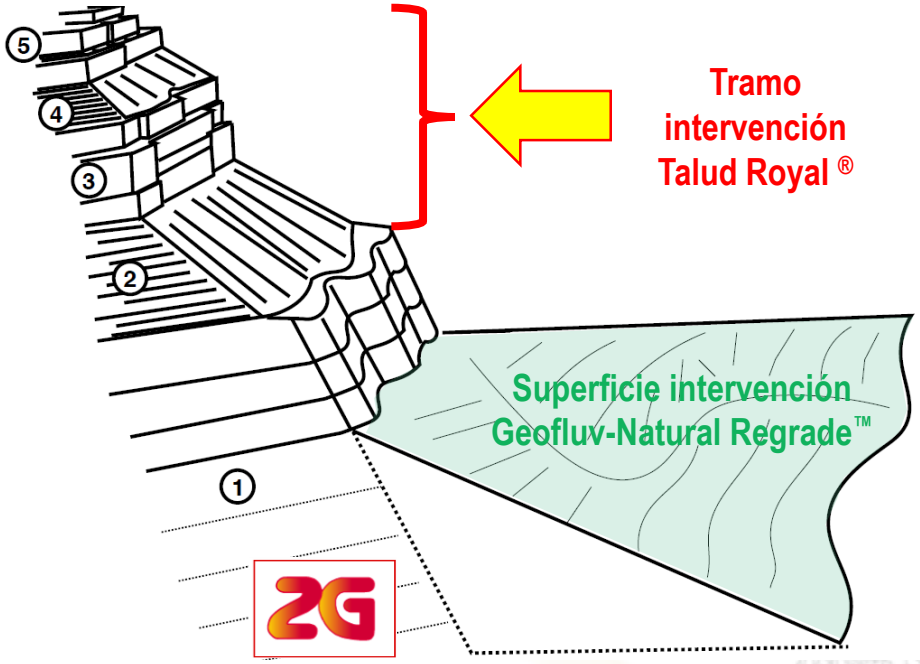
EJECUCIÓN DEL TALUD ROYAL EN LIFE RIBERMINE (IV)

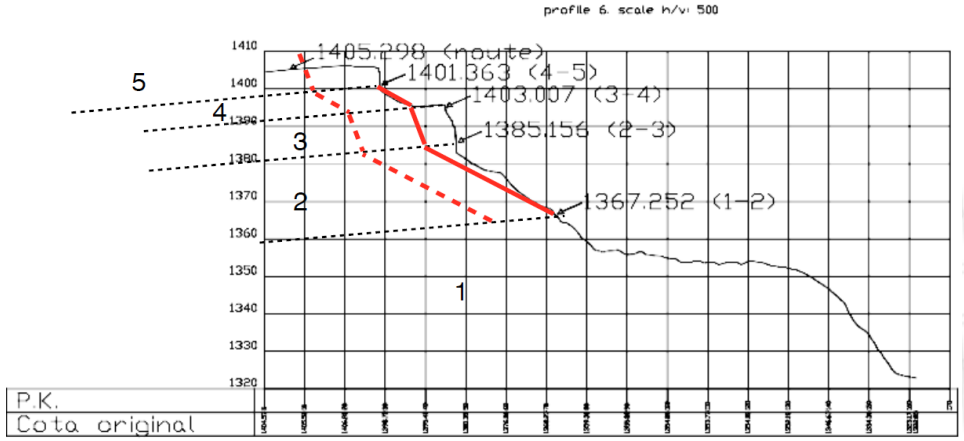
FASE DE PROYECTO

- **Modelización 3D del relieve final.**
  Autor: GÉNIE GÉOLOGIQUE (Paul Royal). Réplica de cantiles adyacentes, considerando la disposición estructural de los distintos niveles litológicos, sus espesores y sus características geomecánicas.

- **Diseño de los perfiles.**
  Dibujo de los perfiles transversales teóricos. Partiendo de la perfilometría actual se dibujan las superficies finales teóricas. Las superficies reales serán aquellas obtenidas por modificaciones de las superficies teóricas, de modo que la reconstrucción del talud "compuesto" sea técnica (según modelo de desarrollo descendente, con alturas de banco y anchuras de bermas residuales de dimensiones suficientes para acometer la labores con seguridad en función de la maquinaria – retroexcavadora – a emplear) y económicamente factible.

- **Verificación de la estabilidad geotécnica.** (Cond. FS > 1,2)
  Premisa: "La inestabilidad de los bloques se produce a partir de la erosión regresiva de los materiales menos cohesivos (arenas y/o margas) saturados, y posterior rotura, por vuelco, de los estratos carbonatados". Método empleado: numérico de equilibrio límite Morgenstern-Price (1965) empleando el software SLOPE/W (Geo-Slope Int. Ltd.).





EJECUCIÓN DEL TALUD ROYAL EN LIFE RIBERMINE (V)

FASE DE PROYECTO

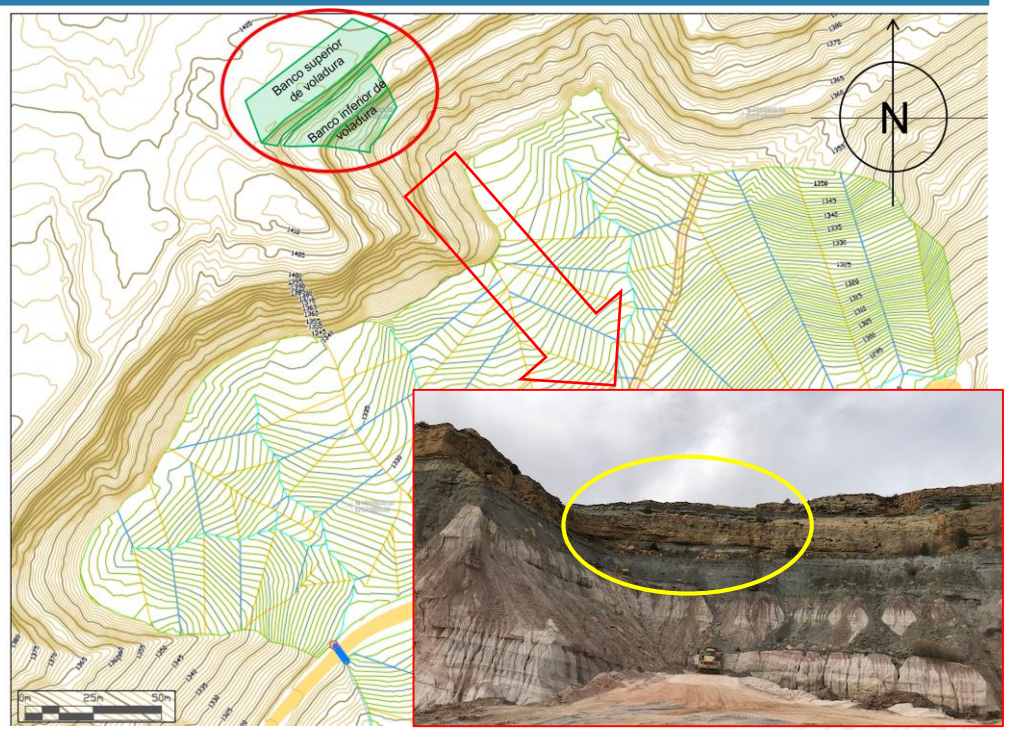
- **Selección del área:** Se busca una **estructura geológica favorable.**
  - Continuidad lateral de capas.
  - Buzamiento laso ligeramente a contrapendiente (formación de trampas).
  - Jv en el rango 3-5.
  - Espesor de roca compacta (alturas de trabajos de limpieza y acabado abordables).

- **Diseño de la voladura**

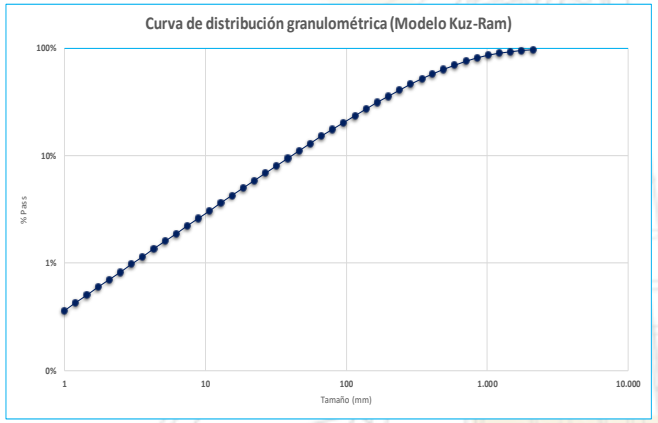
- La escasa accesibilidad de los planos de trabajo y la situación de inestabilidad de megabloques contiguos obliga a realizar:

  - Análisis predictivo del **espectro de respuesta** (amplificación de desplazamiento/velocidad/aceleración) del terreno adyacente por el posible **riesgo de inestabilizar los bloques contiguos** (s/datos de voladuras tomadas sobre terrenos similares) (**Newmark & Hall, 1982**). **Relación Q-D.**

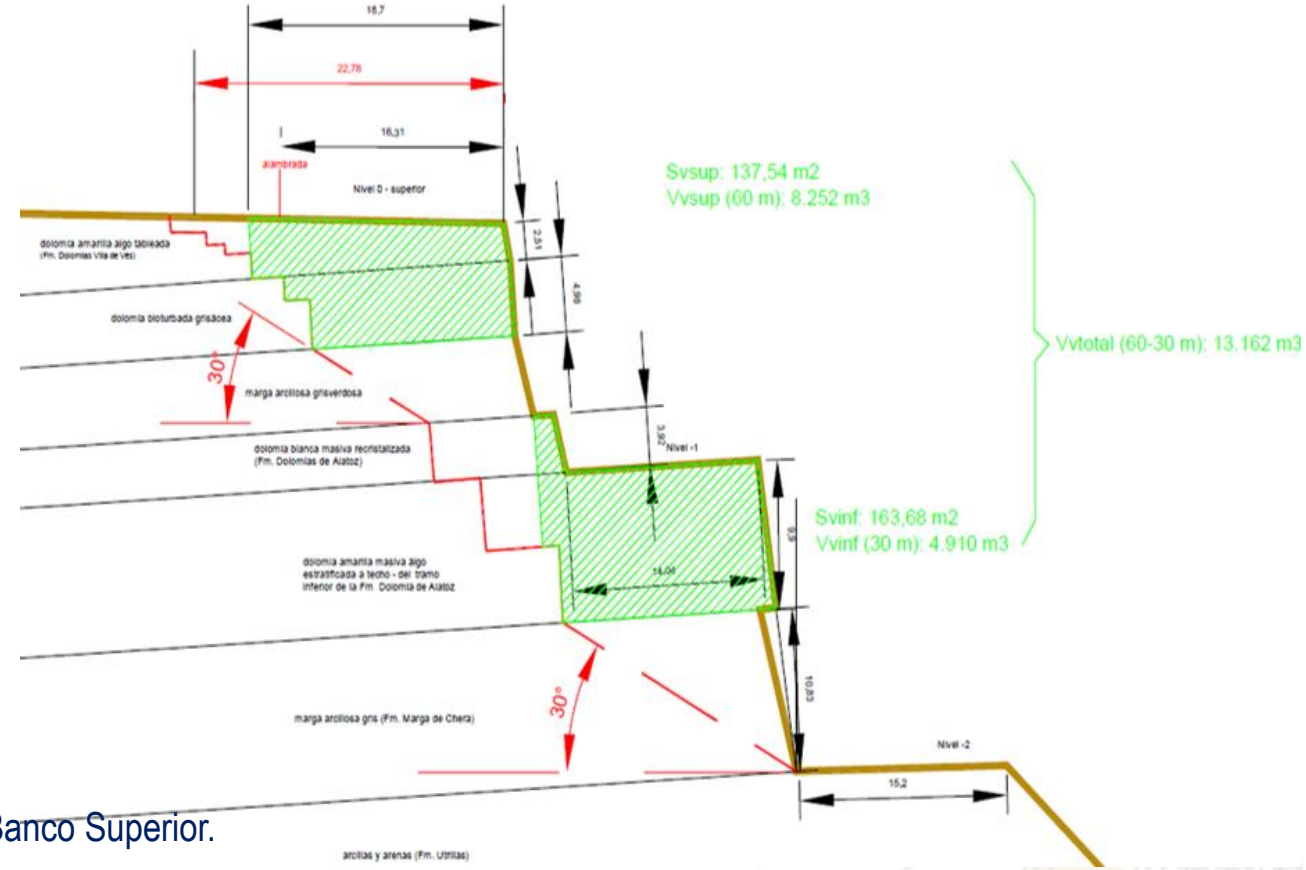
  - Análisis predictivo de fragmentación modelo **Kuz-Ram** en orden a establecer una carga específica adecuada para que los tamaños medios (X_{50}) de **fragmentos resultantes de la voladura sean manejables** por la maquinaria de limpieza a emplear. En nuestro caso X_{50} en el rango 300-500 mm.



Gráfica distribución granulométrica



EJECUCIÓN DEL TALUD ROYAL EN LIFE RIBERMINE (VI)



FASE DE PROYECTO

- **<u>Diseño de la voladura</u>:** **Perfil REAL**

Dos voladuras secuenciadas: 1er disparo Banco Inferior y 2º disparo sobre Banco Superior.

Dos tramos: Filas exteriores de **destroza (3,5 x 4,0 m)**, **zona de amortiguación** (1 fila sin cargar) y fila interior de **recorte (Esp.: 1,5 m)**.

Los barrenos deben quedar 50 cm por encima del plano inferior de despegue (techos de las capas de margas).

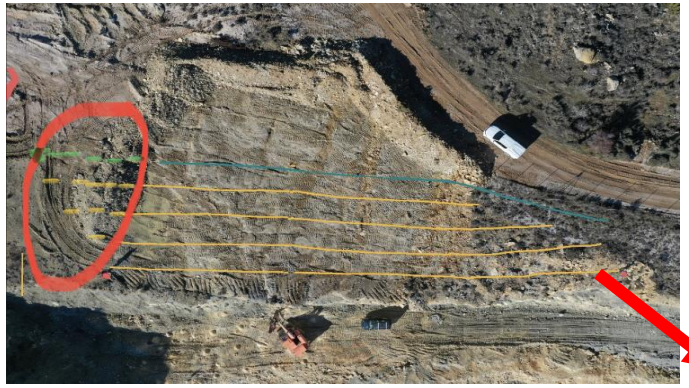
Debe propiciar el desarrollo de bermas de anchura suficiente para el trabajo posterior de limpieza y esculpido final de la retroexcavadora, aprovechando discontinuidades)

EJECUCIÓN DEL TALUD ROYAL EN LIFE RIBERMINE (VII)

FASE DE CONSTRUCCIÓN.

GEOMEX S.L.

EPC GROUPE



- **Ejecución de la voladura**

- Hasta el momento se ha realizado una única voladura (diciembre 2021), interviniendo un **frente de longitud de 66 m lineales y dos niveles de roca (dolomías) distintos, sobre una altura de frente global de 23 m** .

- Un poco de autocrítica: El **factor de escala** hace que la **intervención hasta ahora realizada sea escasamente perceptible**. Recomendable expansión de la intervención hacia el Este.

- Esquema voladura: 108 barrenos de destroza, en 4 filas al tresbolillo (malla rectangular 3,5 x 4 m), y 53 barrenos de recorte en la fila previa a la superficie de acabado. Antes del recorte se deja una franja de descompresión (fila vacía), atenuante de la onda trasmitida al entorno, muy fracturado, que podía amenazar la seguridad de los trabajos a realizar en los planos inferiores. Altura máxima de barreno: 8,50 m (banco inferior), dejando siempre 0,5 m antes de los planos de estratificación/contacto.

- Explosivos y accesorios:
  - Columna: ANFO (1.875 kg) y emulsión (550 kg), por presencia de agua en barrenos. Fondo: Gelatinoso (50 kg).
  - Cordón detonante 12 g/m (250 m). 120 detonadores-conectores no eléctricos. 4 detonadores eléctricos.
  - Carga operante: 22 kg.

- Medición de vibraciones y onda aérea.

  Resultado: vibraciones por debajo del umbral de detección en 2 estaciones situadas en la zona periurbana de Peñalén – nave y torre eléctrica.

DESARROLLO DE LA VOLADURA

EJECUCIÓN DEL TALUD ROYAL EN LIFE RIBERMINE (VIII)

FASE DE CONSTRUCCIÓN.

- **Limpieza (fase pendiente- prev. junio 2022)**

Después de la voladura los **bancos** del tramo de frente **han de tratarse mecánicamente buscando la fragmentación de la roca compacta a favor de la pendiente de los planos o discontinuidades naturales**.

El **operario debe tener siempre la visión del frente** en el que se esté trabajando con el fin de tener en cuenta las grandes discontinuidades **($H_{final\ banco}$ <5 m).**

Para **desgajar la roca, de acuerdo con su patrón estructural de corte**, los **esfuerzos del cazo** (dientes) se producirán en el **plano horizontal**, de cara al frente que se está tratando, por lo que la operación debe realizarse con la retroexcavadora trabajando por encima del nivel de las cadenas de la máquina.

Deben evitarse las fracturas artificiales en la roca por lo que está **prohibido el "peinado" tradicional y sistemático a favor de los planos de despegue**, debiendo **extraer los fragmentos siguiendo exclusivamente planos de discontinuidad naturales mediante esfuerzos tangenciales**.

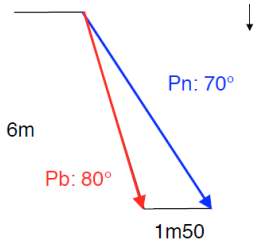
EJECUCIÓN DEL TALUD ROYAL EN LIFE RIBERMINE (IX)

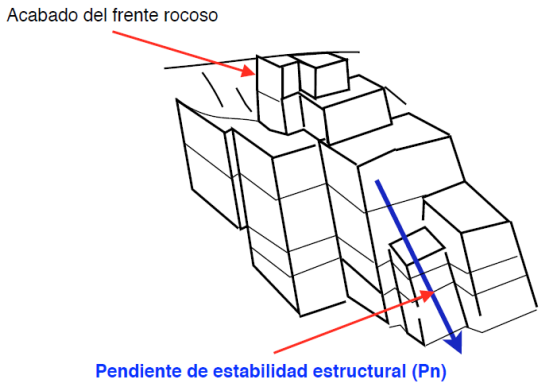
FASE DE CONSTRUCCIÓN.

- **Acabado final (fase pendiente- prev. junio-julio 2022)**

En las partes rocosas, la retroexcavadora dejará, inevitablemente, bloques y otros fragmentos de roca más o menos estables, por lo que **será indispensable**, **para dejar unos planos expuestos limpios y seguros**, efectuar **limpiezas o saneos manuales** de los frentes de roca, con la **retirada de todos los bloques o fragmentos de tamaño superior a 30 mm**, así como la retirada de cualquier masa o placa consideradas inestables.

Las herramientas manuales a utilizar serán la **palanca y el rastrillo**. La **seguridad** del personal se garantizará, en caso preciso, mediante **líneas de vida**.





Life RIBERMINE
LIFE18 ENV/ES/000181

JORNADA TÉCNICA Y TALLER:

LIFE RIBERMINE

Toledo, 6 de abril de 2022

Escuela de Administración Regional

30 years of bringing green ideas to LIFE

Disclaimer
The LIFE RIBERMINE project has been funded with the support of the **LIFE Programme of the European Union**.
This publication reflects the views only of the author/s, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

Life RIBERMINE
LIFE18 ENV/ES/000181

Como evitar que media tabla periódica acabe en el arroyo más cercano. Estabilización química de residuos mineros y del drenaje ácido de mina

Pablo L. Higueras Higueras (UCLM)
José María Esbrí Víctor (UCM)

Disclaimer
The LIFE RIBERMINE project has been funded with the support of the **LIFE Programme of the European Union**.
This publication reflects the views only of the author/s, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

CONTENIDOS

- El Drenaje Ácido de Mina (DAM), contaminador de aguas de entornos mineros
- El DAM en la Faja Pirítica Ibérica
- ¿DAM en Castilla-La Mancha?
- Posibilidades de estabilización química del DAM
- Aspectos docentes

El DAM, contaminador de aguas de mina

- El Drenaje Ácido de Mina es el mayor problema que enfrenta la minería de minerales metálicos sulfurados, si bien puede afectar a otras minerías, como la del carbón

Emisión de DAM en una mina abandonada de Virginia Occidental, en 2016.
Imagen cortesía de "Friends of the Cheat".

El DAM, contaminador de aguas de mina

Se produce en 3 etapas:

1. Oxidación del sulfuro (pirita) en presencia de oxígeno y agua
2. Oxidación del hierro ferroso a férrico en presencia de bacterias
3. Hidrólisis y formación de complejos férricos coloidales

¡¡Una vez que comienza es difícil de parar!!

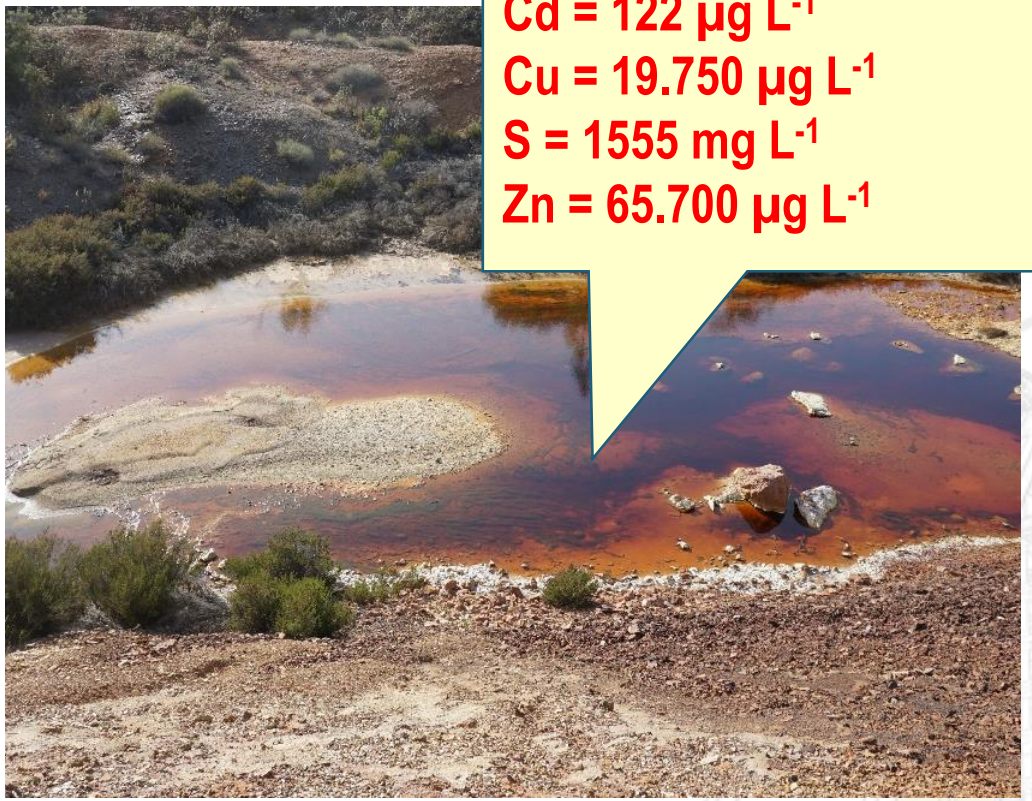
Pirita sana

Pirita en proceso de alteración bacteriana, museo de la EIMIA

Drenaje Ácido de Mina en La Faja Pirítica Ibérica

pH = 2,3
Cond. eléctr. = 4,8 mS/cm
As = 7,4 µg L^{-1}
Cd = 122 µg L^{-1}
Cu = 19.750 µg L^{-1}
S = 1555 mg L^{-1}
Zn = 65.700 µg L^{-1}

Corta Atalaya (Huelva)



Sao Domingos (Portugal)

Drenaje Ácido de Mina en Castilla-La Mancha

- Mina de San Quintín
- Complejo filoniano (Pb, Zn, Ag)
- Abandonada desde 1988
- Metales: Pb, Zn, As, Cd, Hg
- Drenaje ácido de mina activo

pH = 3,4
Electr. cond. = 1,2 mS/cm
Hg = 65 ppb
Cd = 24 ppm
Cu = 70 ppm
Pb = 1 ppm
Zn = 1.544 ppm

Posibilidades de estabilización química del DAM

Prevención: La mejor defensa. Una vez que la reacción comienza es casi imposible detenerla.

- Uso de bactericidas
- Barreras de oxígeno (recubrimiento seco y con agua)
- Pasivación de superficies
  - Pasivación orgánica
  - Recubrimiento a base de silano
  - Microencapsulación
  - Tecnología de microencapsulación portadora

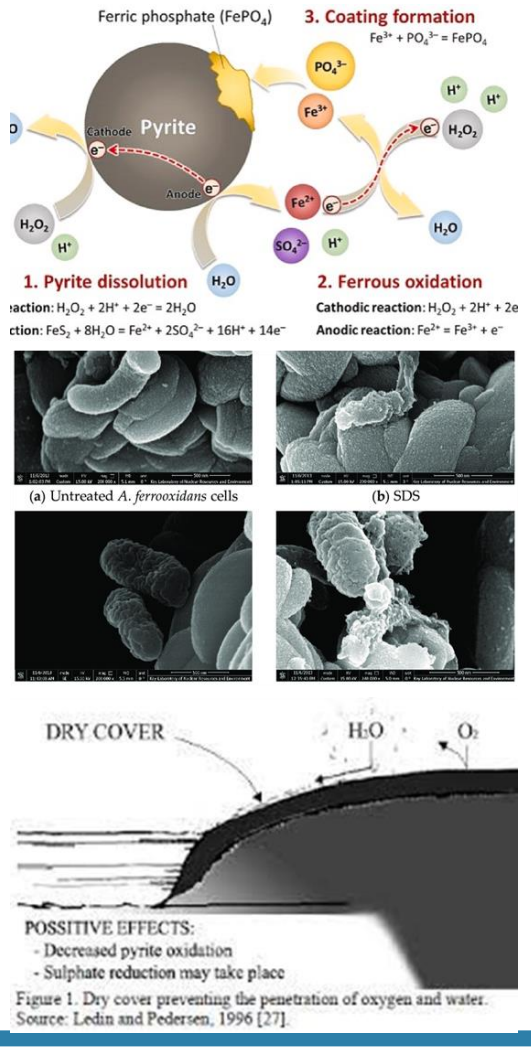


Figure 1. Dry cover preventing the penetration of oxygen and water. Source: Ledin and Pedersen, 1996 [27].

Formas de control:

- Tratamiento activo
  - Neutralización química alcalina
  - Precipitación
  - Adsorción
  - Tecnología de membranas
- Tratamiento pasivo
  - Humedales
  - Drenajes de caliza
  - Barreras reactivas permeables
  - Biorreactores de reducción de sulfato.

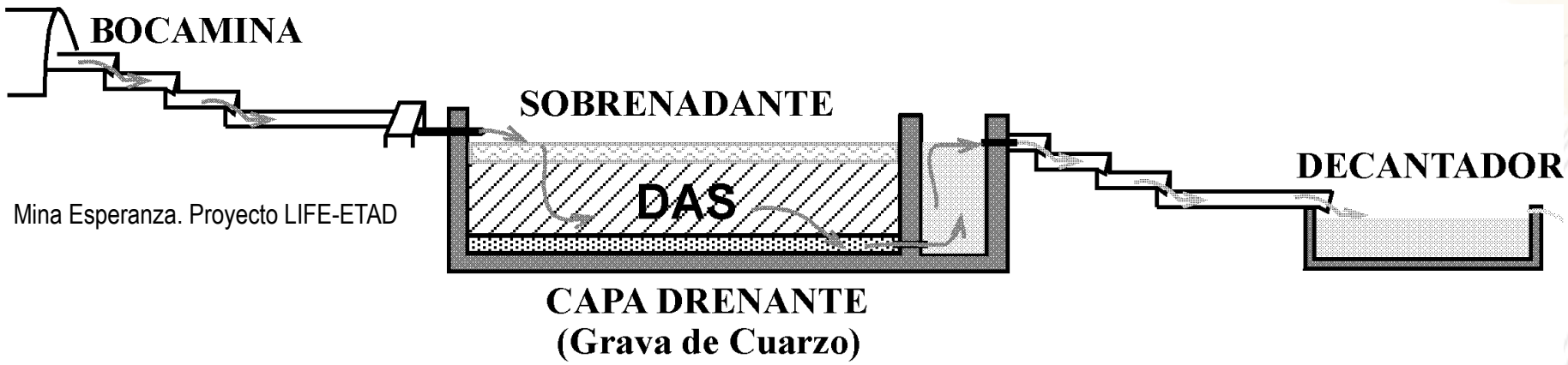
Posibilidades de estabilización química del DAM

Sustrato Alcalino Disperso (DAS)

Consiste en el uso de un sustrato inerte, formado por virutas de madera, mezclado con un material alcalino de grano fino, en este caso arena caliza

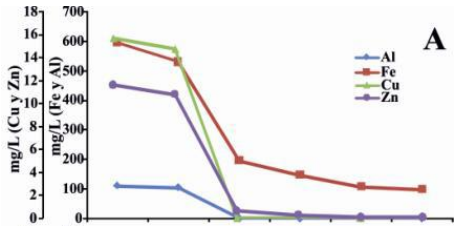
Las virutas de madera proporcionan una elevada conductividad hidráulica a la mezcla, reduciendo los problemas de pérdida de permeabilidad debidos a la precipitación mineral dentro del material reactivo.

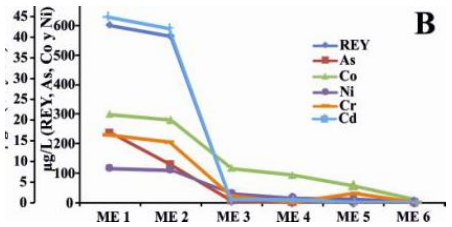
El pequeño tamaño de los granos de caliza proporciona una gran superficie específica, reduciéndose así la «pasivación» del material e incrementándose la capacidad de reacción del sustrato.

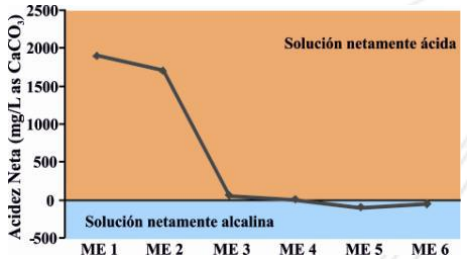


Mina Esperanza. Proyecto LIFE-ETAD

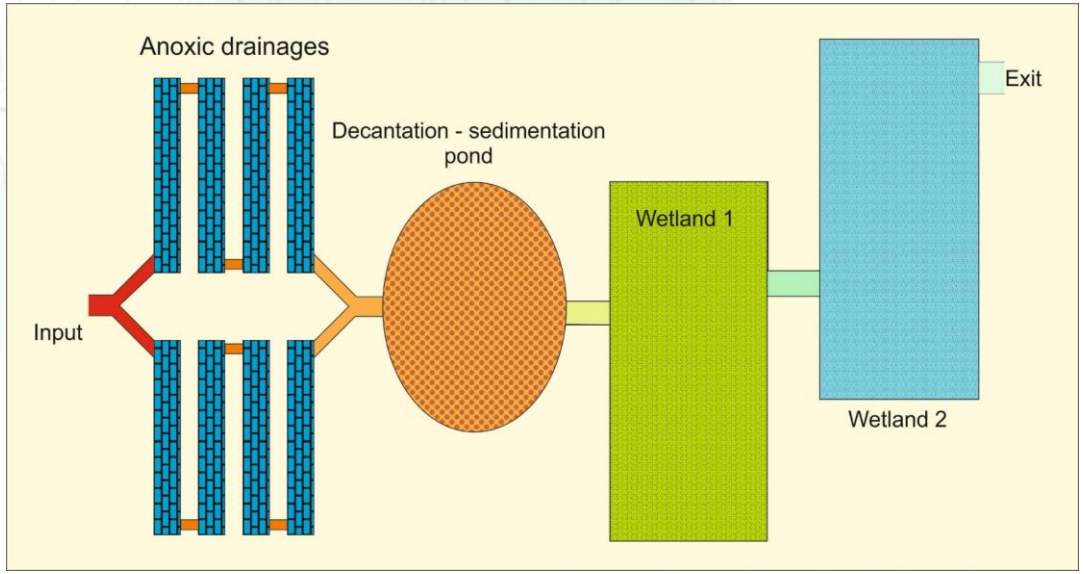
Sustrato alcalino disperso







Posibilidades de estabilización química del DAM



Combinación de métodos ‘clásicos’

Un caso real también combinando el empleo de caliza como agente neutralizante y humedales sucesivos. Lousal, Portugal

Posibilidades de estabilización química del DAM

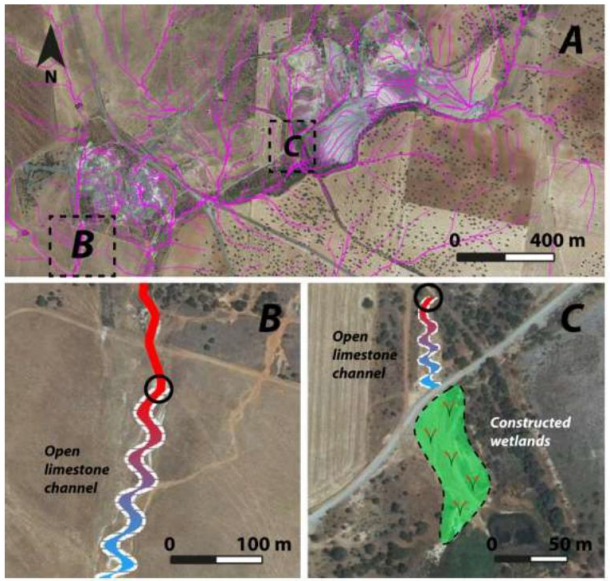
Plantas industriales de tratamiento activo de DAM

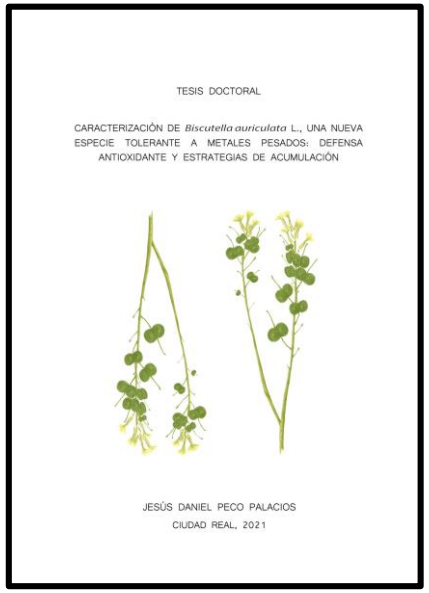
Montana (EEUU)

Witwatersrand (Sudáfrica)

Aspectos docentes. San Quintín (Cabezarados)

- Excelente ejemplo de zona minera abandonada **sin restaurar**
- Docencia de aspectos geoquímicos y geomorfológicos en Grados (Minas, Geología y Ambientales) y Máster (Minas, Geoquímica ambiental y Restauración) de varias universidades (UCLM, UCM, UAH, URJC)
- 6 TFG, 10 TFM, 2 Tesis doctorales

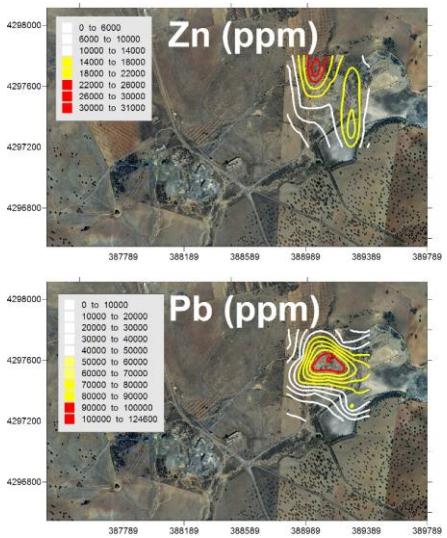



TESIS DOCTORAL

CARACTERIZACIÓN DE *Biscutella auriculata* L., UNA NUEVA ESPECIE TOLERANTE A METALES PESADOS: DEFENSA ANTIOXIDANTE Y ESTRATEGIAS DE ACUMULACIÓN

JESÚS DANIEL PECO PALACIOS

CIUDAD REAL, 2021



Mina de San Quintín
¡¡Gracias por su atención!!

Life RIBERMINE
LIFE18 ENV/ES/000181

JORNADA TÉCNICA Y TALLER:

LIFE RIBERMINE

Toledo, 6 de abril de 2022

Escuela de Administración Regional

30 years of bringing green ideas to LIFE

Disclaimer
The LIFE RIBERMINE project has been funded with the support of the **LIFE Programme of the European Union**.
This publication reflects the views only of the author/s, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

Life RIBERMINE
LIFE18 ENV/ES/000181

Rugoso, heterogéneo y con laboreo a favor de la pendiente

Hacia un cambio total de paradigma en el manejo del suelo en la restauración

S. De Alba Alonso, UCM

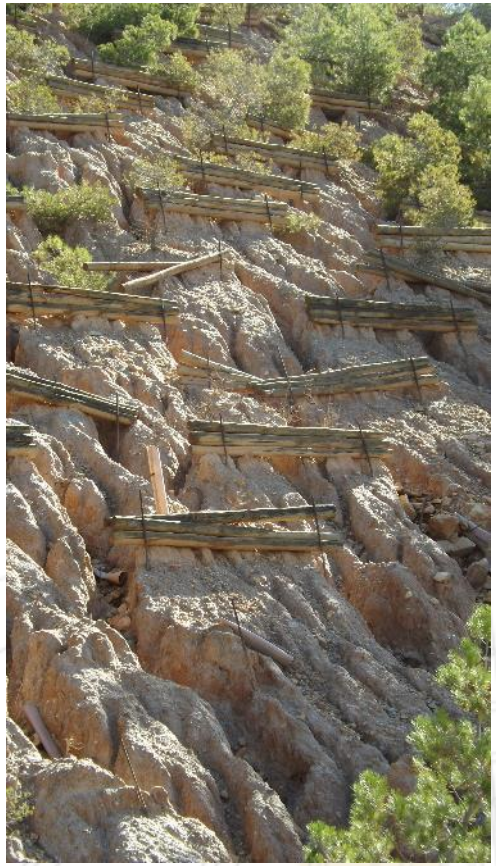
Disclaimer
The LIFE RIBERMINE project has been funded with the support of the **LIFE Programme of the European Union**.
This publication reflects the views only of the author/s, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

En la restauración minera el control de la erosión hídrica es la clave que condicionará la estabilidad de las laderas y canales de drenaje, el desarrollo de una cubierta vegetal estable y en definitiva el éxito de toda la restauración.

Los modelos tradicionales de restauración aplicados en la minería del sur de Europa no son válidos

En restauración minera el control de la erosión hídrica es la clave que condicionará la estabilidad de las laderas y canales de drenaje, el desarrollo de una cubierta vegetal estable y en definitiva el éxito de toda la restauración.

Los modelos tradicionales de restauración aplicados en la minería del sur de Europa no son válidos



Caracterización de los episodios erosivos relevantes en escenarios de restauración minera

- *El fenómeno erosivo es un proceso discontinuo no uniformemente distribuido que ocurre durante episodios de lluvia singulares.*

  Los episodios erosivos extremos son los responsables de más del 85% de las tasas anuales de erosión hídrica (Poesen et al. 1996; De Alba et al. 1998, García Ruiz y López Bermúdez, 2009).

- Dos **situaciones meteorológicas críticas que provocan volúmenes elevados de escorrentía** superficial:

  1.- Episodios aislados de elevada intensidad de lluvia, asociados a células convectivas (ej: tormentas de verano en el Sur de Europa)

  Precipitaciones de elevada intensidad

  2.- Situaciones de temporal con el suelo en estado próximo a la saturación hídrica.

  Periodos de acumulación elevada de precipitación aunque puede ser de moderada y baja intensidad

- En consecuencia: En la restauración minera deben ser aplicados aquellos manejos y prácticas de restauración que sean realmente efectivas frente a este tipo de episodios erosivos extremos.

Tras la restauración geomorfológica de la mina, en ausencia de cobertura la respuesta hidrológica y erosiva de las laderas dependerá de la propia morfología y propiedades físicas de la superficie del suelo.

Objetivos clave para reducir la erosión:
- **Maximizar la tasa de infiltración**
- **Reducir la concentración de la escorrentía superficial**
- **Generar una cubierta vegetal lo más densa y rápido posible**

Crear acabados de superficies de elevada rugosidad (Random roughness)

Manejo de la pedregosidad superficial, cubiertas de ramas y hojarasca, microtopografía…

A mayor rugosidad superficial:

- Mayor retención de agua en superficie
- Mayor tasa de infiltración en sumideros puntuales
- Menor conectividad hidrológica superficial
- Menor velocidad y energía en la escorrentía superficial
- Menor potencial erosivo
- Menor lavado de nutrientes y semillas
- Huecos y rugosidades actúan como trampas de captación y retención de agua, nutrientes y semillas

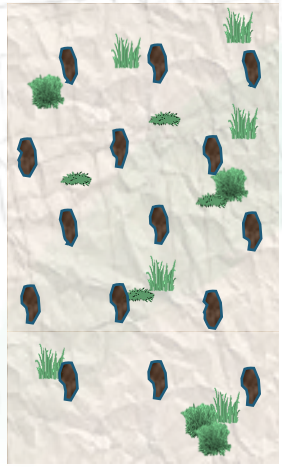
A nivel internacional solo hay antecedentes que incorporan el manejo de la rugosidad superficial en restauraciones mineras en Australia

'Rugoso y heterogéneo'

vs.

'Liso y pulido'
Acabado convencional

Descompactación puntual en mosaico sin alterar las matas existentes de vegetación



Método de descompactación de la superficie que incluye la realización de roturas puntuales, aisladas, de la costra superficial del suelo, creando microdepresiones distribuidas en forma de mosaico.

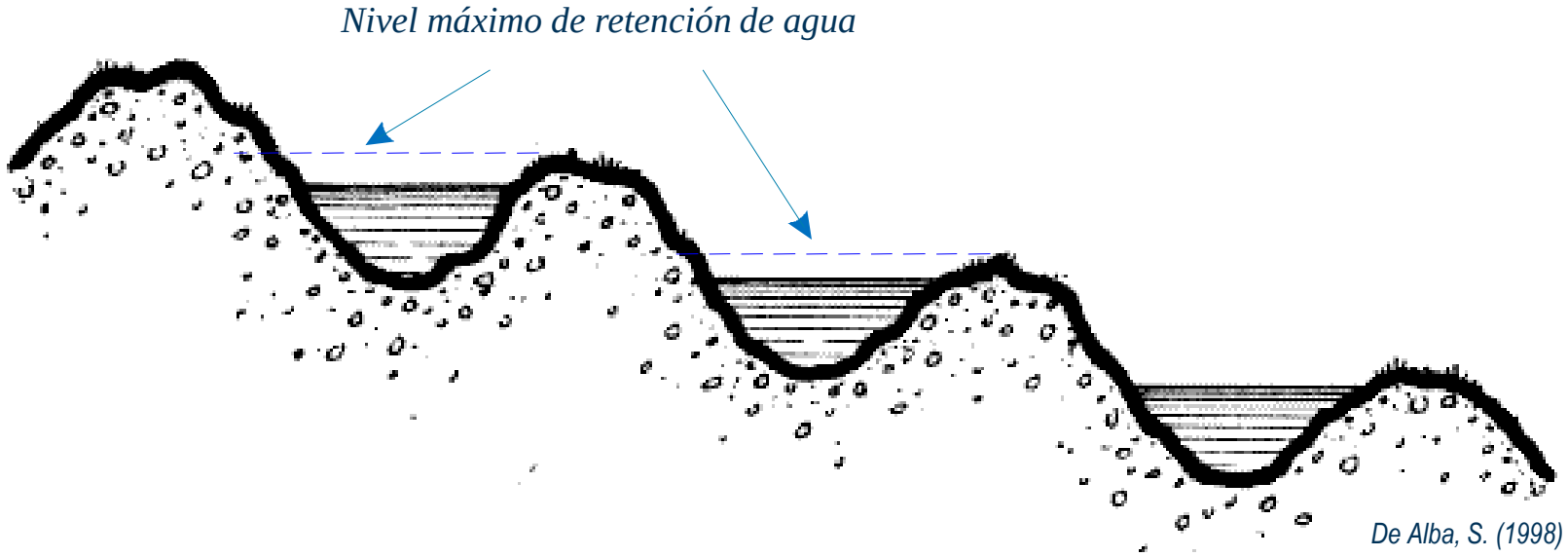
- Sumideros puntuales de escorrentía
- Trampas de semillas y nutrientes
- Microambiente mejorado para el desarrollo de la vegetación

- Puede ser utilizado durante las fases de:
  - Construcción y acabado de las superficies
  - Labores de mantenimiento (minimiza afección a la vegetación existente)

Mayo 2022- Escombrera de Hoya Grande, Mina de Santa Engracia

PATENTE: METODO PARA LA DESCOMPATACIÓN DE LA SUPERFICIE DE TALUDES
Número de patente: ES-2796423 B2 (2021)
MODELO DE UTILIDAD DE APERO PARA LA DESCOMPATACIÓN
Número de título: ES1264549 (2021)
Inventores: S. De Alba Alonso, J.F. Martín Duque y I. Mola Caballero De Rodas
Entidad titular: Universidad Complutense de Madrid

Canales paralelos a las curvas de nivel: ¿Una estrategia para evitar la erosión?
Laboreo en contorno: ¿Una práctica universal de conservación del suelo?

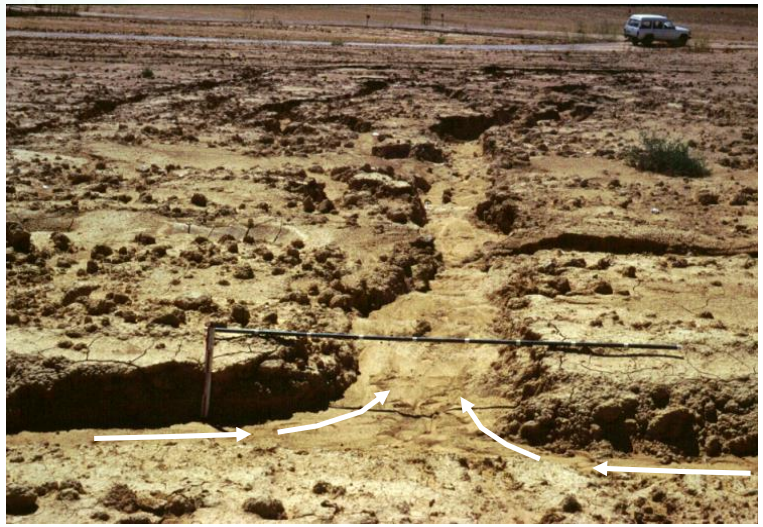


De Alba, S. (1998)

Episodios de elevada acumulación de escorrentía → Rotura de presas en cascada

Intensificación de los procesos de reguerización y acarcavamiento ladera a bajo

Ladera labrada en contorno

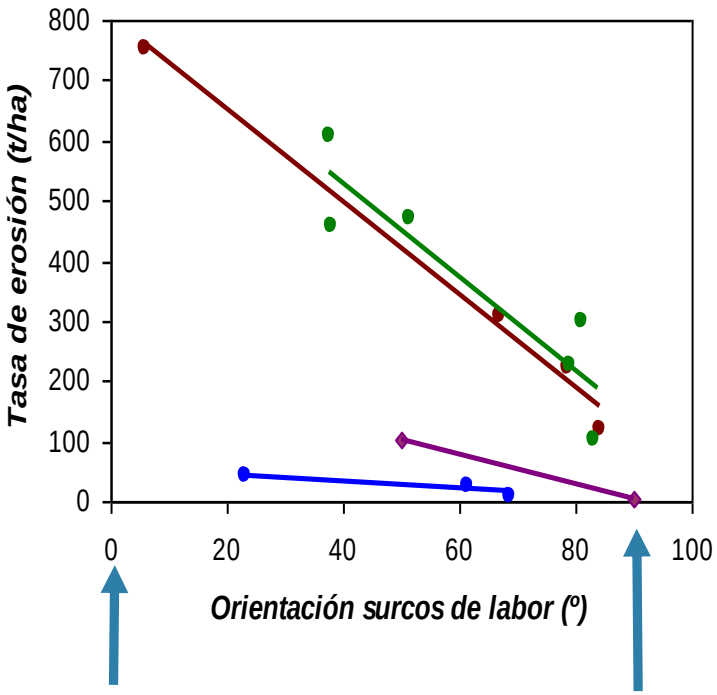


Concentración lateral de la escorrentía y punto inicial de desbordamiento

Episodios erosivos extremos

Tormentas aisladas

Factor clave: elevada intensidad de lluvia

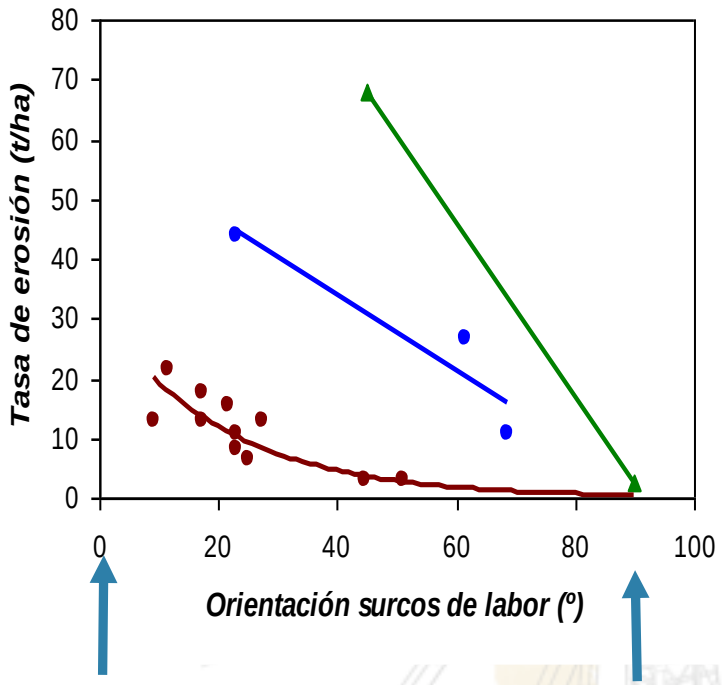


A nivel

A favor de la pendiente

Situaciones de temporal

Factor clave: suelos saturados



A nivel

A favor de la pendiente

De Alba, S. (2008)

Morfología de la red de drenaje vs. orientación de la rugosidad

Redes de canales paralelos

- Desarrollo de **regueros confinados** en los surcos labrados en la superficie
- Cada canal drena el agua de precipitación recibida en el surco.
- Baja capacidad erosiva

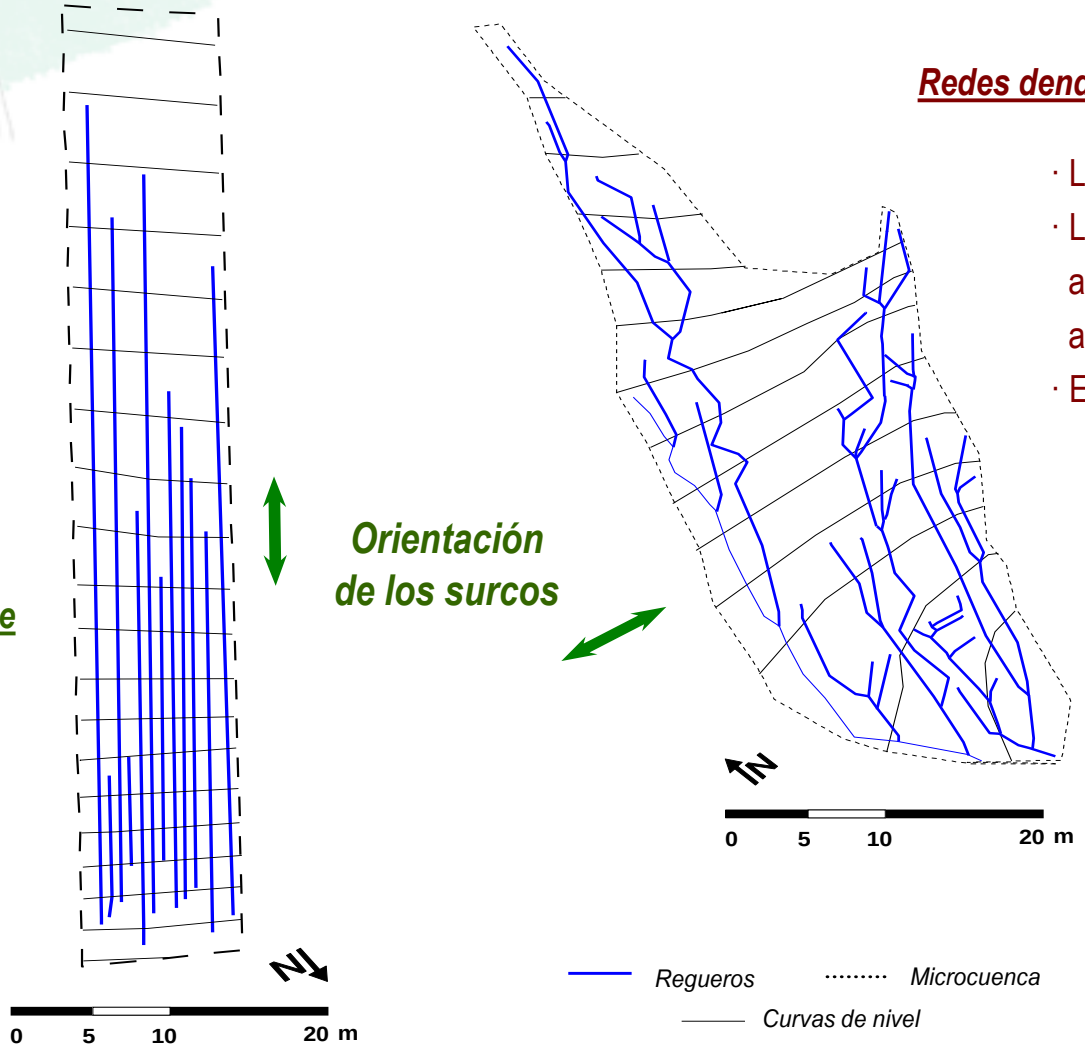
Redes dendríticas

- Los canales convergen ladera abajo.
- La superficie drenada por el canal aumenta de forma exponencial ladera abajo.
- Elevada capacidad erosiva

Orientación de los surcos

Surcos a favor de la pendiente

Surcos en contorno

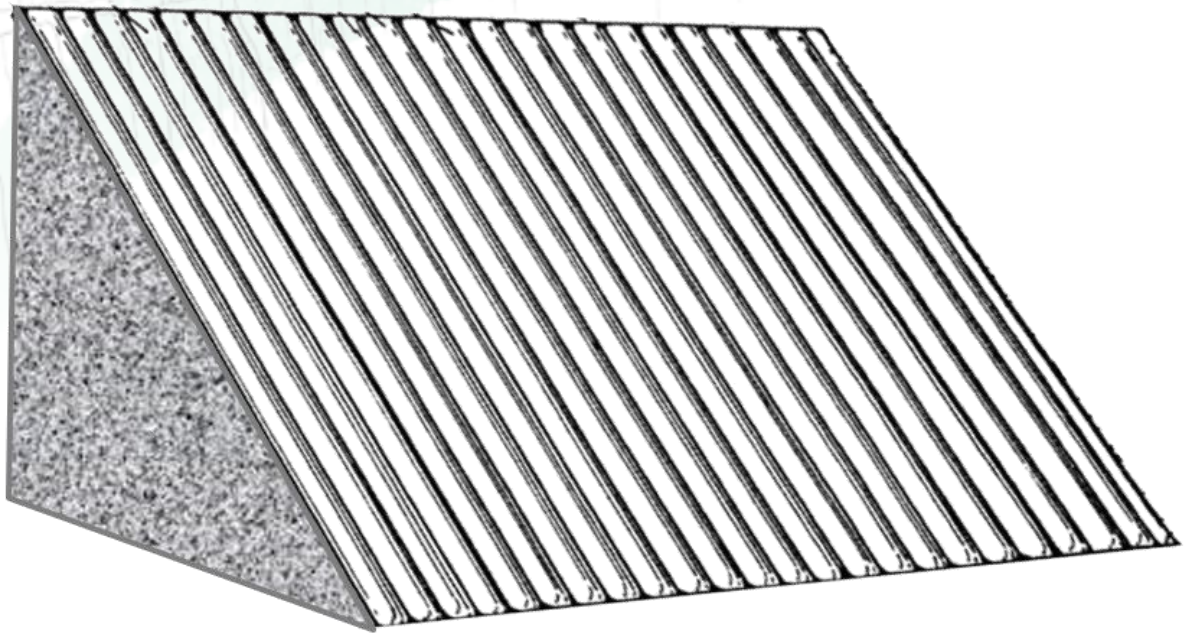


Factores clave:

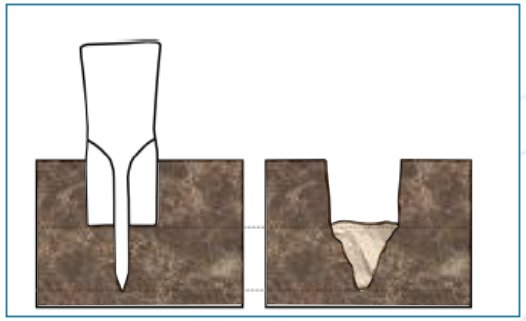
- *Repartición vs. concentración de la escorrentía*
- *Drenaje facilitado*

Laboreo a favor de la pendiente

Creación de una red de drenaje sobre el talud practicando surcos paralelos y continuos, orientados a favor de la máxima pendiente.



Diente de cazo para realizar una incisión secundaria en la base del surco para descompactar el sustrato e incrementar la infiltración



PATENTE: PROCEDIMIENTO Y DIENTE DE CAZO PARA EL ACABADO Y EL CONTROL DE LA EROSIÓN Y ESCORRENTÍA DE TALUDES

Número de patente: ES-2791055 B2 (2021)

Inventores: S. De Alba Alonso, J.F. Martín Duque y I. Mola Caballero De Rodas

Entidad titular: Universidad Complutense de Madrid

Desarrollo rápido de una primera cubierta herbácea sobre el suelo desnudo

Tras el extendido de tierra vegetal o del coluvión la superficie queda totalmente desprovista de cubierta durante un periodo de tiempo cuya duración depende del éxito de las estrategias aplicadas de revegetación.

1.- Reducir erosión: perdidas de suelo, nutrientes y semillas
2.- Aumentar infiltración
3.- Crear estructura edáfica por sistemas radiculares
4.- Tumbado de la rastrojera:
- Aumento del recubrimiento
- Aporte directo de materia orgánica y banco de semillas
- Mejora microambiente bajo sombra (humedad y temperatura)

Oct/Nov 2020 (Escombreras exteriores, Mina Santa Engracia (Peñalen)
Labores manuales de estercolado + descompactación + siembra cereal y leguminsosa + abonado N/P/K

Junio 2021 Cubierta de cereal y leguminosas

Julio 2021 Tratamiento: 'tumbado del cereal'

Life RIBERMINE
LIFE18 ENV/ES/000181

JORNADA TÉCNICA Y TALLER:

LIFE RIBERMINE

Toledo, 6 de abril de 2022

Escuela de Administración Regional

30 years of bringing green ideas to LIFE

Disclaimer
The LIFE RIBERMINE project has been funded with the support of the **LIFE Programme of the European Union**.
This publication reflects the views only of the author/s, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

Life RIBERMINE
LIFE18 ENV/ES/000181

El suelo y la restauración ecológica

Materia orgánica y biocenosis edáfica, claves para la recuperación

Avelino García Álvarez

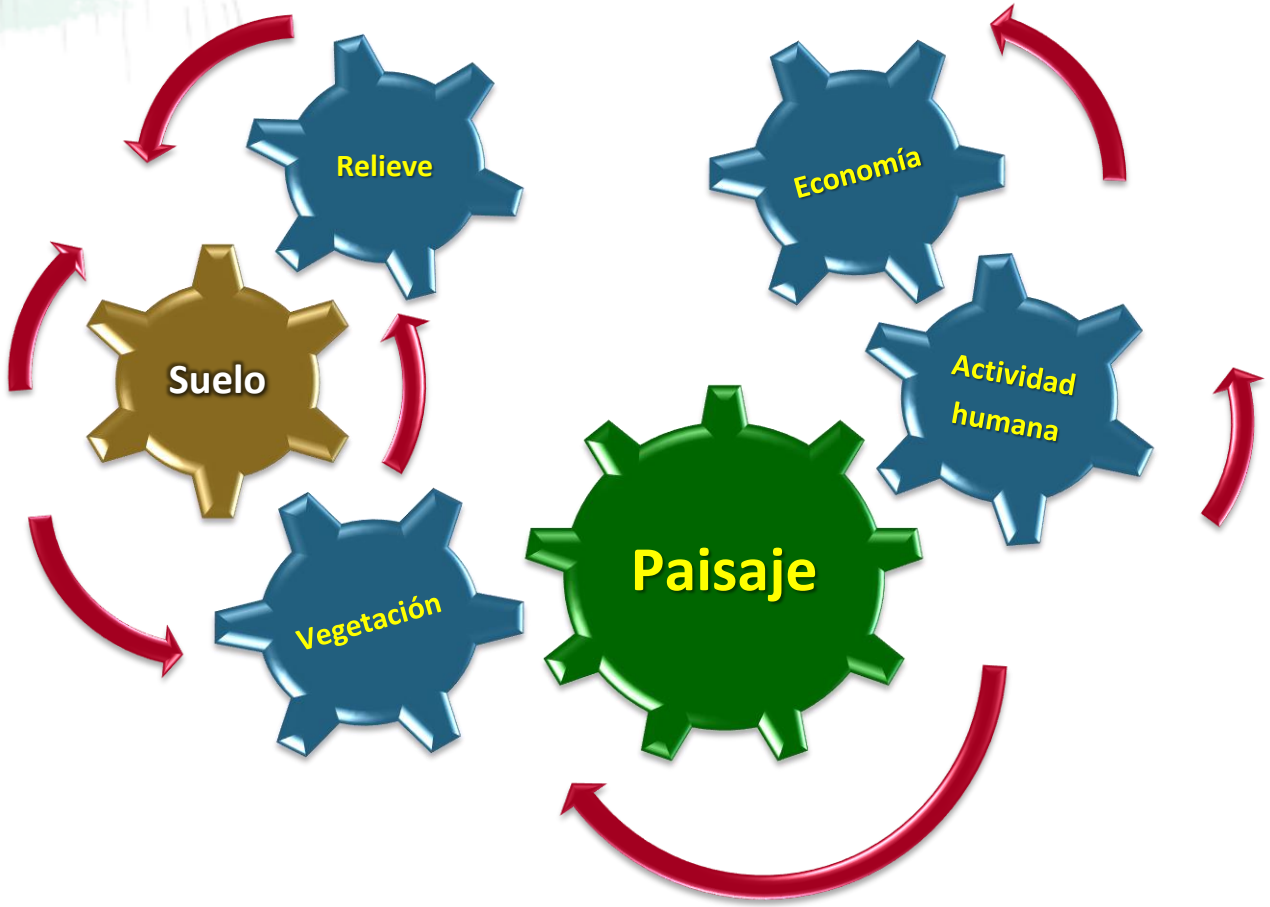
Disclaimer
The LIFE RIBERMINE project has been funded with the support of the **LIFE Programme of the European Union**.
This publication reflects the views only of the author/s, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

El propósito principal de la restauración ecológica no es ni ético ni estético, sino conseguir la recuperación del capital natural perdido y, con ello, la restitución de servicios en el ecosistema. Así, la restauración ecológica tiene que ser necesariamente holística, apoyándose en criterios ecológicos científicamente contrastados, pero también en criterios socio-económicos y culturales e incluso, en algunas ocasiones, criterios subjetivos personales

La restauración de espacios degradados, como son los escenarios mineros, o es ecológica o no es restauración

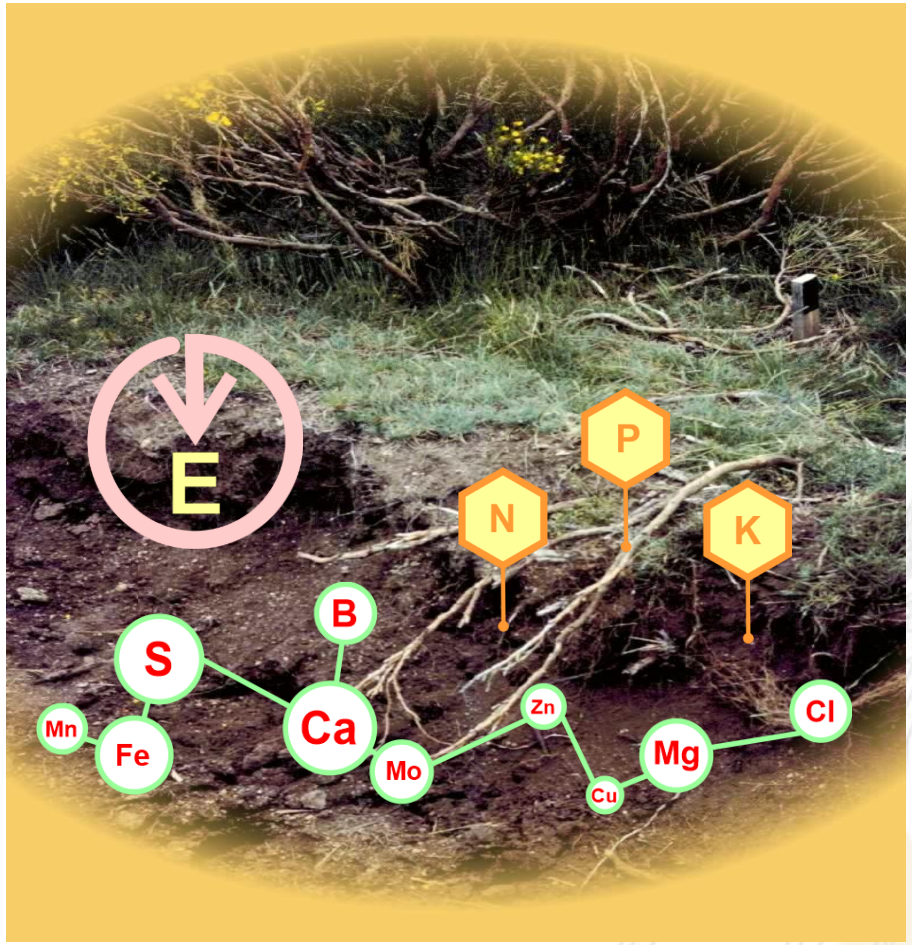
Acoplamiento de los ecosistemas terrestres. El suelo en la jerarquía

Clima
- Temperatura
- Precipitación
- Presión
- Humedad



Otros factores ambientales
- Físicos
- Químicos
- Bióticos

La materia orgánica, recurso esencial en los ecosistemas terrestres



Biocenosis edáfica: diversidad taxonómica y grupos más representativos

Errores en las “restauraciones” convencionales

Pérdida de materiales de cobertura **por erosión**

Fracaso de la hidrosiembra

Protocolo de restauración con énfasis en la creación de suelos (Tecnosoles)

Etapa	Tarea
Preliminares	
	Memoria técnica, presupuesto y gestión de permisos
Estudios y trabajos previos	
	Estudio de campo/Recogida de muestras
Aplicación del protocolo	
	Remodelación del relieve
	Aplicación de una enmienda orgánica / fracción fina
	Acolchado con el banco de semillas
	Implantación de especies arbustivas
	Repoblación con especies arbóreas
Post-restauración	
	Seguimiento / Monitorización

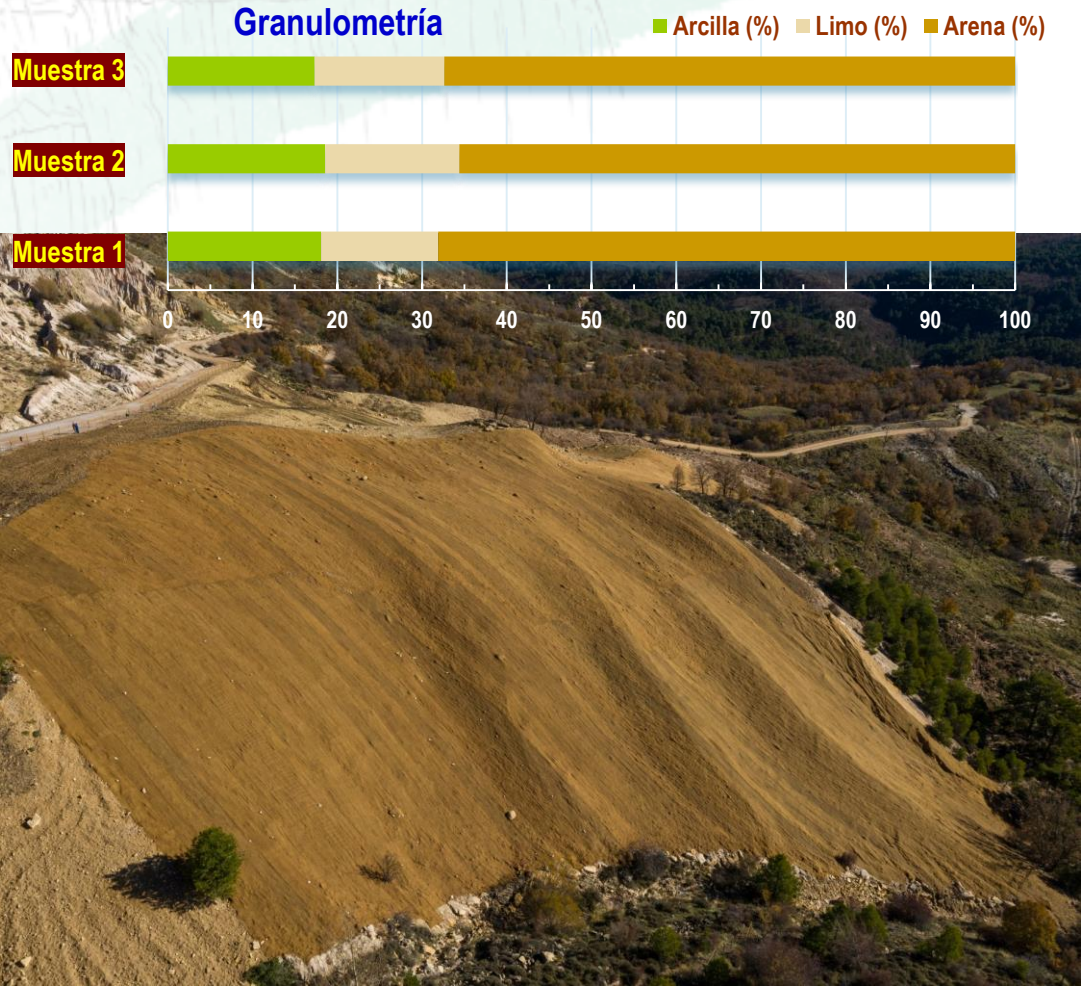
Protocolo de restauración (II): Acolchado con el banco de semillas

Acolchado (mulching) con el banco de semillas herbáceas de ecotipos locales

Cobertura con malla de fibra vegetal que tiene, entre otras funciones, proteger el acolchado

Protocolo de restauración (III): Repoblación con especies arbustivas y arbóreas

Seguimiento / Monitorización



	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
pH	8,20	8,30	8,40
C.E. (dS/m)	0,10	0,17	0,19
Carbonatos (%)	11,72	15,11	8,94
N (%)	0,06	0,02	0,02
M.O. (%)	1,03	0,32	0,22
C org (%)	0,60	0,19	0,13
P (mg/kg)	6,00	6,00	5,00
Ca (mg/kg)	2.635,00	2.744,00	2.183,00
Mg (mg/kg)	145,00	195,00	129,00
Na (mg/kg)	5,00	10,00	5,00
K (mg/kg)	90,00	69,00	37,00

Life RIBERMINE
LIFE18 ENV/ES/000181

JORNADA TÉCNICA Y TALLER:

LIFE RIBERMINE

Toledo, 6 de abril de 2022

Escuela de Administración Regional

30 years of bringing green ideas to LIFE

Disclaimer
The LIFE RIBERMINE project has been funded with the support of the **LIFE Programme of the European Union**.
This publication reflects the views only of the author/s, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

Life RIBERMINE
LIFE18 ENV/ES/000181

Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) para la recuperación de suelos afectados por contaminación de metales y drenaje ácido: El caso de Lousal

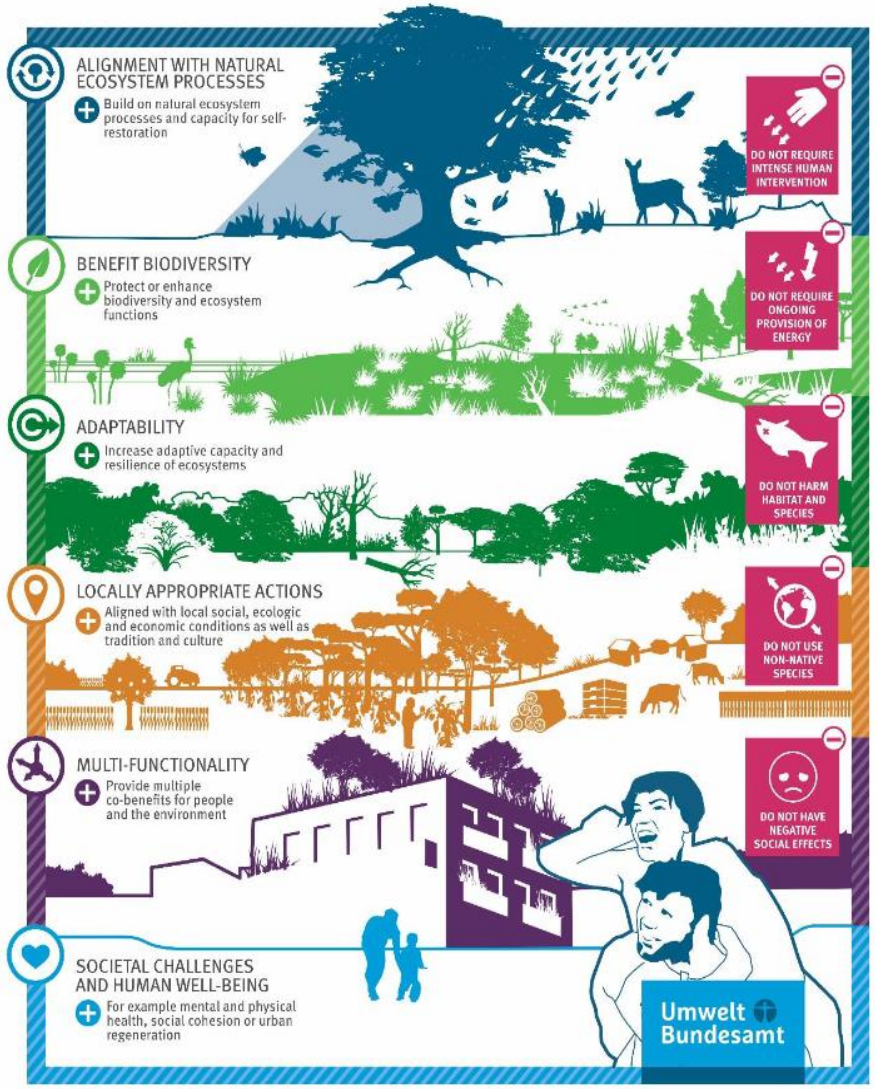
Javier Lillo Ramos, URJC
Ramón Sánchez Donoso, UCM

Disclaimer
The LIFE RIBERMINE project has been funded with the support of the **LIFE Programme of the European Union**.
This publication reflects the views only of the author/s, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

¿Que son las soluciones basadas en la Naturaleza (SbN)?

- Son "*soluciones a desafíos a los que se enfrenta la sociedad que están inspiradas y respaldadas por la naturaleza; que son rentables y proporcionan a la vez beneficios ambientales, sociales y económicos, y ayudan a aumentar la resiliencia*" (Comisión Europea)

"Nature-based Solutions are locally appropriate, adaptive actions to protect, sustainably manage or restore natural or modified ecosystems in order to address targeted societal challenge(s) - such as climate change mitigation -, while simultaneously enhancing human well-being and providing biodiversity benefits" (Umweltbundesamt, 2022)



Design: Erik Tuckow, sichtagitation.de

Fuente: https://www.ecologic.eu/sites/default/files/publication/2022/50061-Nature-Based-Solutions-and-Global-Climate-Protection.pdf

El caso de Lousal: Problemas a resolver

Presencia de materiales reactivos (pirita)

Dispersión de metales pesados

Acidificación

Acidificación y contaminación en aguas, sedimentos, suelos

El caso de Lousal: Problemas a resolver

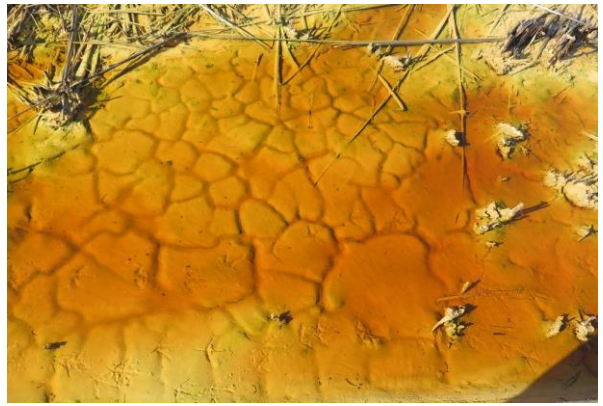
Disolución oxidativa de la pirita

$$4FeS_{2(s)} + 14O_{2(g)} + 4H_2O_{(l)} \rightarrow 4Fe^{2+}_{(aq)} + 8SO_4^{2-}{}_{(aq)} + 8H^+_{(aq)}$$

Agua
O_2

Presencia de sulfuros (pirita) en residuos → Alteración, Erosión → Remoción partículas, Drenaje ácido (DAM) → Dispersión → Acidificación y contaminación en aguas, sedimentos, suelos

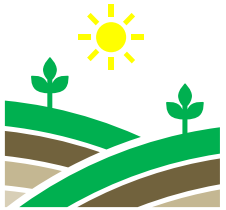
Metales
H^+



Aplicación de la metodología de SbN a los problemas identificados

ESTABILIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA

El objetivo: Detener la dispersión de contaminantes y acidez al medio natural, mediante técnicas ambientalmente sostenibles

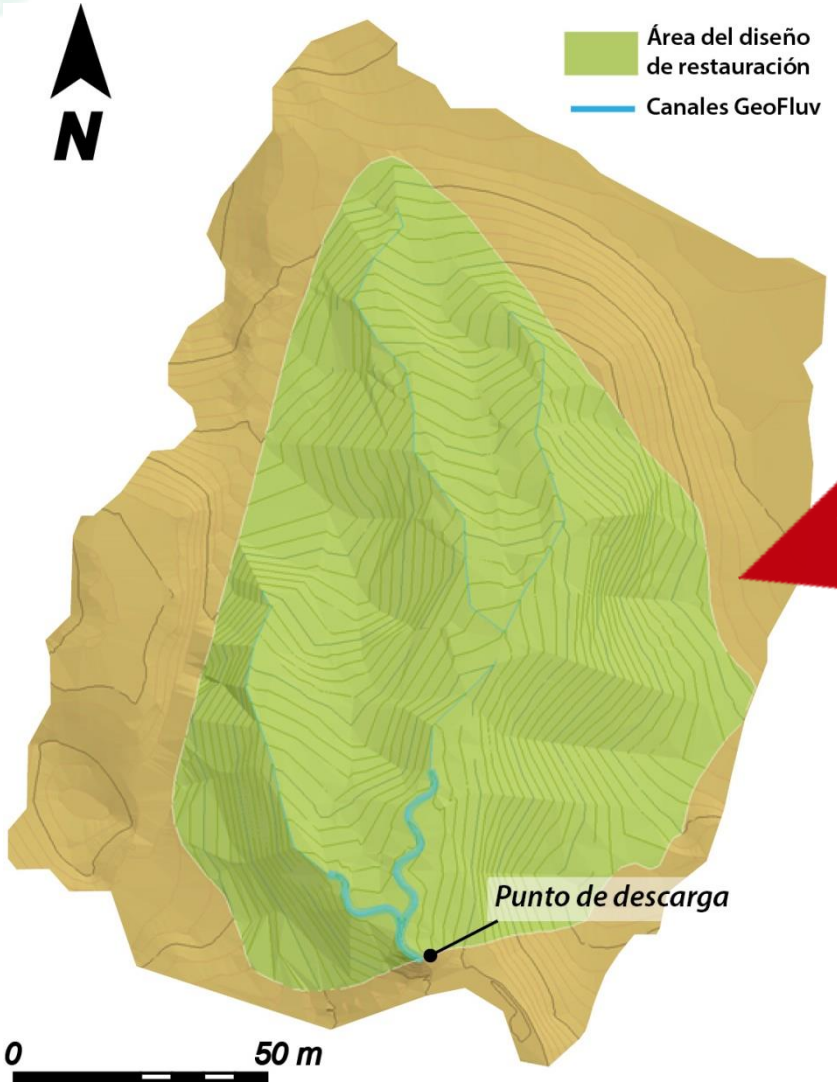


CARACTERÍSTICAS DE LAS SbN

- Alineadas con los procesos naturales de los ecosistemas
- Beneficiosas para la biodiversidad
- Adaptables
- Actuaciones adecuadas a nivel local
- Multifuncionales
- Abordan los retos de la sociedad y mejoran el bienestar humano

Diseño del plan de restauración: RESTAURACIÓN GEOMORFOLÓGICA

- Diseño de **una** cuenca de drenaje GeoFluv
- 1,5 hectáreas
- **Tres** canales de drenaje principales: Canales meandriformes y en zig-zag
- Sistema de **lomas-vaguadas,** similares a paisajes naturales, **gemorfológicamente estables**

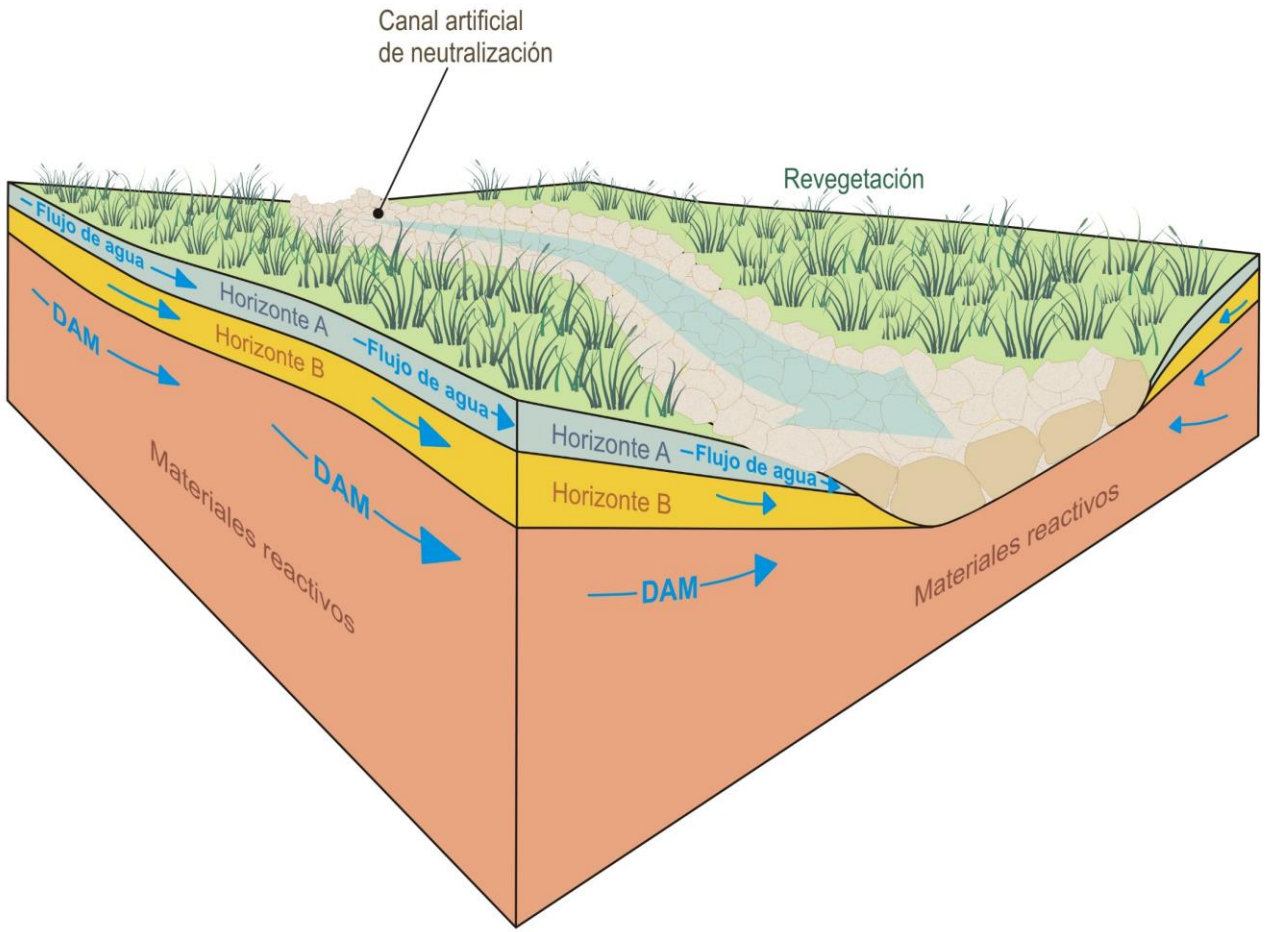


Área de actuación Restauración Geomorfológica

Diseño del plan de restauración: RESTAURACIÓN EDÁFICA

- **Capa edáfica** con dos horizontes:
  - ✓ **Horizonte A orgánico** → soporte vegetación. Formado por estiércol ave + estiércol caballo + tierra vegetal
  - ✓ **Horizonte B mineral** → neutralización de pH y adsorción de metales. Formado por grava de caliza + arcillas

- **Canales en vaguadas** → neutralización pH y reducción velocidad corriente. Formados por bloques de calizas



Diseño del plan de restauración: REVEGETACIÓN

- **Plantación de vegetación autóctona** → formación de capa edáfica natural, protección a la escorrentía. Especies de gramíneas, leguminosas y herbáceas locales

Inconvenientes, dificultades, limitaciones → UN DISEÑO ADAPTADO

Mantenimiento de las **medidas de restauración previas** en la zona

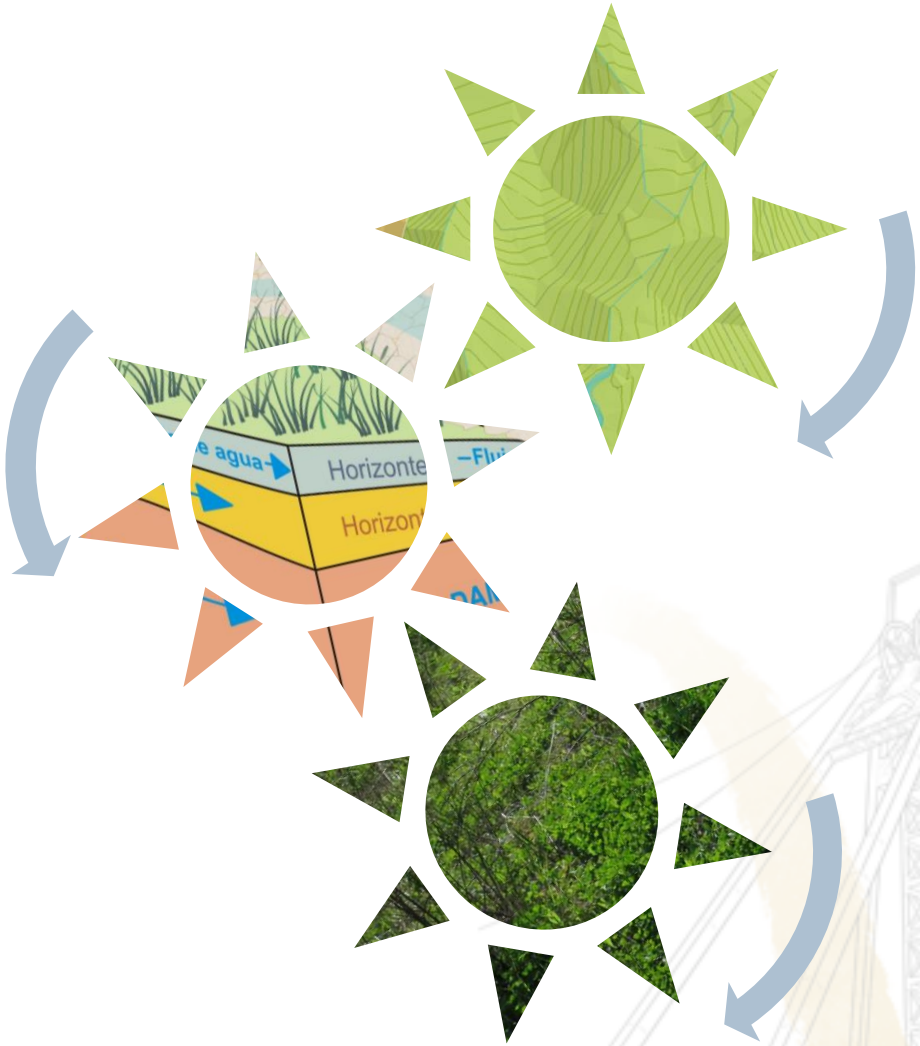
Adaptación de la topografía de restauración a la **topografía original**

Suministro y disponibilidad de **ateriales** de la enmienda edáfica

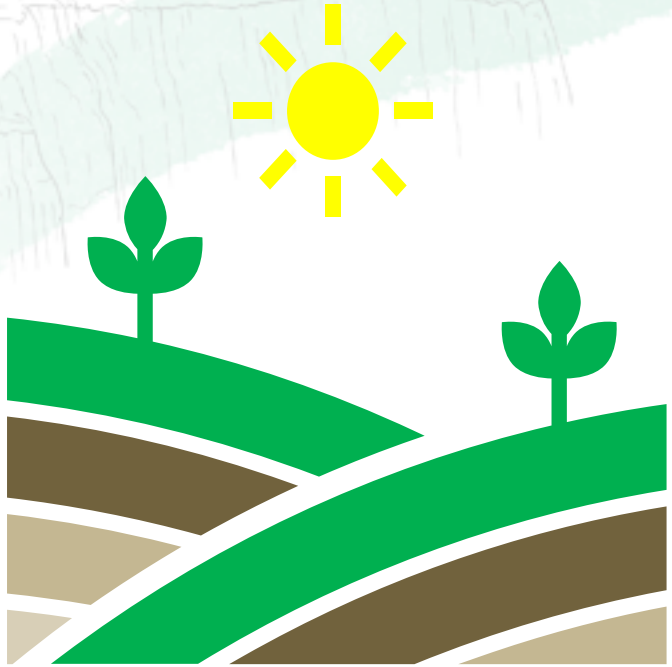
Programación temporal adaptada a la siembra

CONCLUSIONES

- **Aplicación de SbN** en remediación de terrenos mineros afectados por contaminación de metales pesados
- **Enfoque integrador** y multidisciplinar de SbN basado en la **estabilización física y química** de materiales reactivos



Proyecto pionero en Europa



Muchas gracias por su atención

JAVIER LILLO (URJC), RAMÓN SÁNCHEZ (UCM)

(*) Gracias a Mónica y a Álvaro por algunas de las fotos