



STONE161

SCIENCE, TECHNOLOGY
& NATURAL ECOSYSTEMS

Soluciones basadas en la naturaleza



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Soluciones Basadas en la Naturaleza para el **control y prevención** de la erosión



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID



CIENCIA

La primera **spin-off** en Ciencias de la Tierra de la **Universidad Complutense de Madrid**.



TECNOLOGÍA

Patente propia y plataforma SaaS para la detección de contaminación por exceso de sedimentos en ríos.

Know-how en la **metodología GeoFluv y el software Natural Regrade** para llevar a cabo restauraciones ambientales con base geomorfológica.

Realización de **desarrollos topográficos propios** para la monitorización de superficies complejas.

ECOSISTEMAS NATURALES

Soluciones basadas en la naturaleza para la reactivación de los ecosistemas naturales.

La minería que impulsa Europa



El **Pacto verde europeo**: marco estratégico y político del que emanan las leyes sectoriales orientadas a alcanzar la neutralidad climática y la sostenibilidad ambiental.



Actualización del marco normativo europeo:

- Reglamento (UE) 2024/1991 de restauración de la naturaleza
- Reglamento (UE) 2024/1252 (CRMACRMA – Materias Primas)
- Directiva (UE) (pendiente) – Ley de Vigilancia del Suelo
- Reglamento (UE) 2020/852 – Taxonomía de actividades sostenibles
- Pacto Net Zero Industry Act, propuesta COM/2023/161)

● En vigor

● En tramitación

Gestión sostenible de relaves: el gran reto del siglo XXI



13.000 M toneladas de **relaves líquidos**
potencialmente tóxicos al año

Desde 1915

257 fallos registrados

250 M de m³ de **relaves liberados**

5000 KM² de **territorio arrasado**

320.000 **personas afectadas**

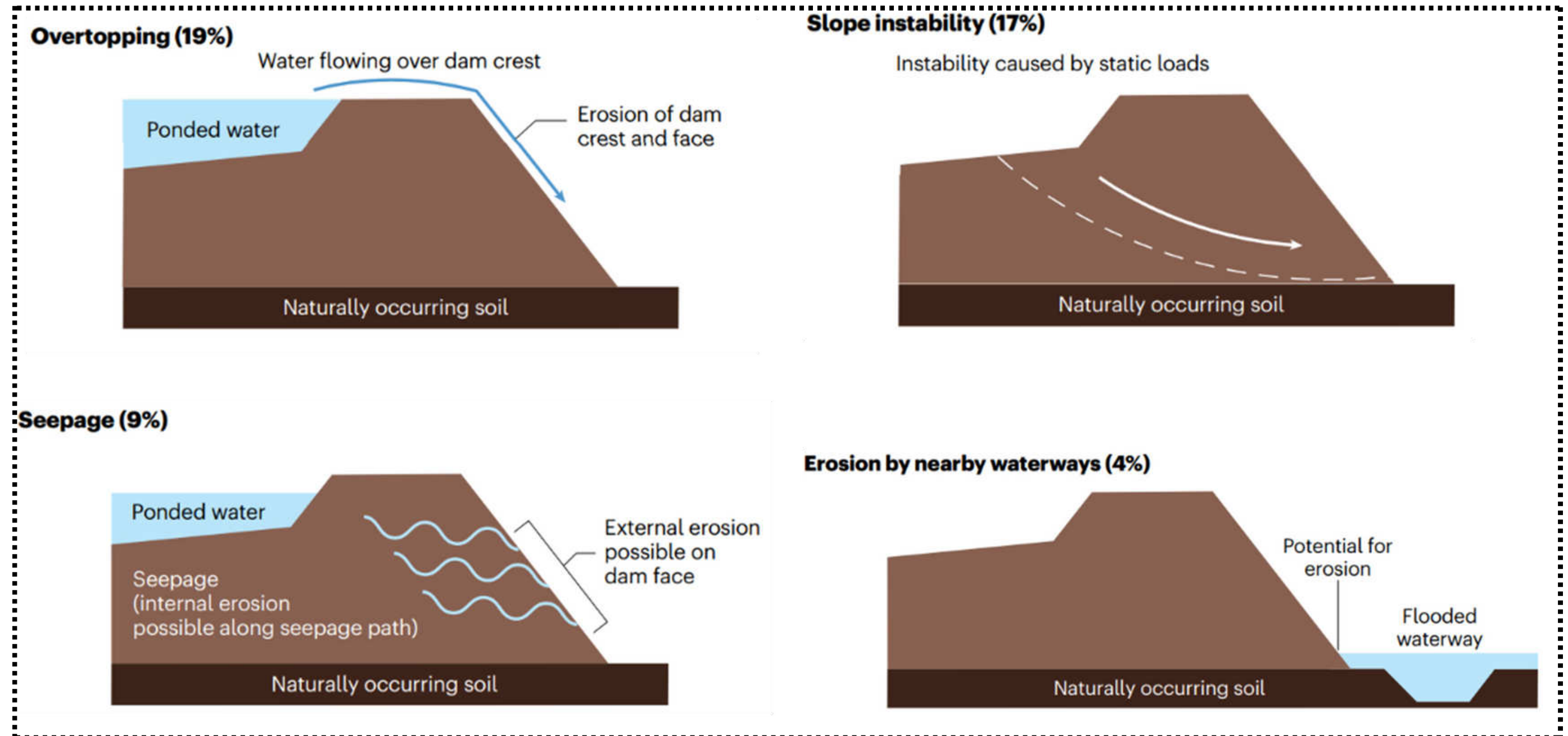


Hudson-Edwards, K.A., Kemp, D., Torres-Cruz, L.A., Macklin, M.G., Brewer, P.A., Owen, J.R., Franks, D.W., Marquis, E., & Thomas, C.J. (2024). Tailings storage facilities, failures and disaster risk. *Nature Reviews Earth & Environment*, 5 (9), 612–630.

Erosión y contaminación en los depósitos de relaves: causas

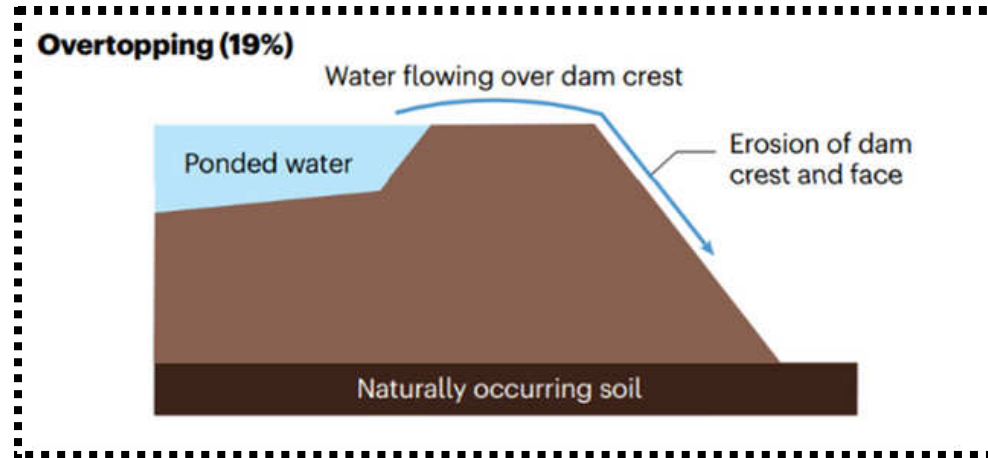


Casi el 50% de los colapsos de relaves en todo el mundo están relacionados con la **estabilidad de las pendientes, la erosión y la gestión del agua superficial.**



Fuente: Tailings storage facilities, failures and disaster risk. Nature reviews earth & environment 2024.

Erosión y contaminación en los depósitos de relaves: **overtopping**



Chinchorro TSF, Penablanca (Valparaíso, Chile) – junio de 2024

Las **lluvias fueron parte de un temporal extremo**, con récords de precipitación en varias zonas de Chile central, lo que puso a prueba muchas infraestructuras:

- Daños en viviendas
- Contaminación de ríos
- Afección de cultivos
- Detención de operaciones



Fuente: Reuters. (2024, June 24). Heavy rains in Chile cause mining tailings overflow.

Enfoque tradicional y red de drenaje: **problema**



Formas **planas**



Formas **rectas**



Enfoque tradicional y red de drenaje: **problema**



Los **taludes** se suelen erosionar en forma de regueros o cárcavas que generan...



Contaminación



Impacto negativo en imagen social
y ambiental

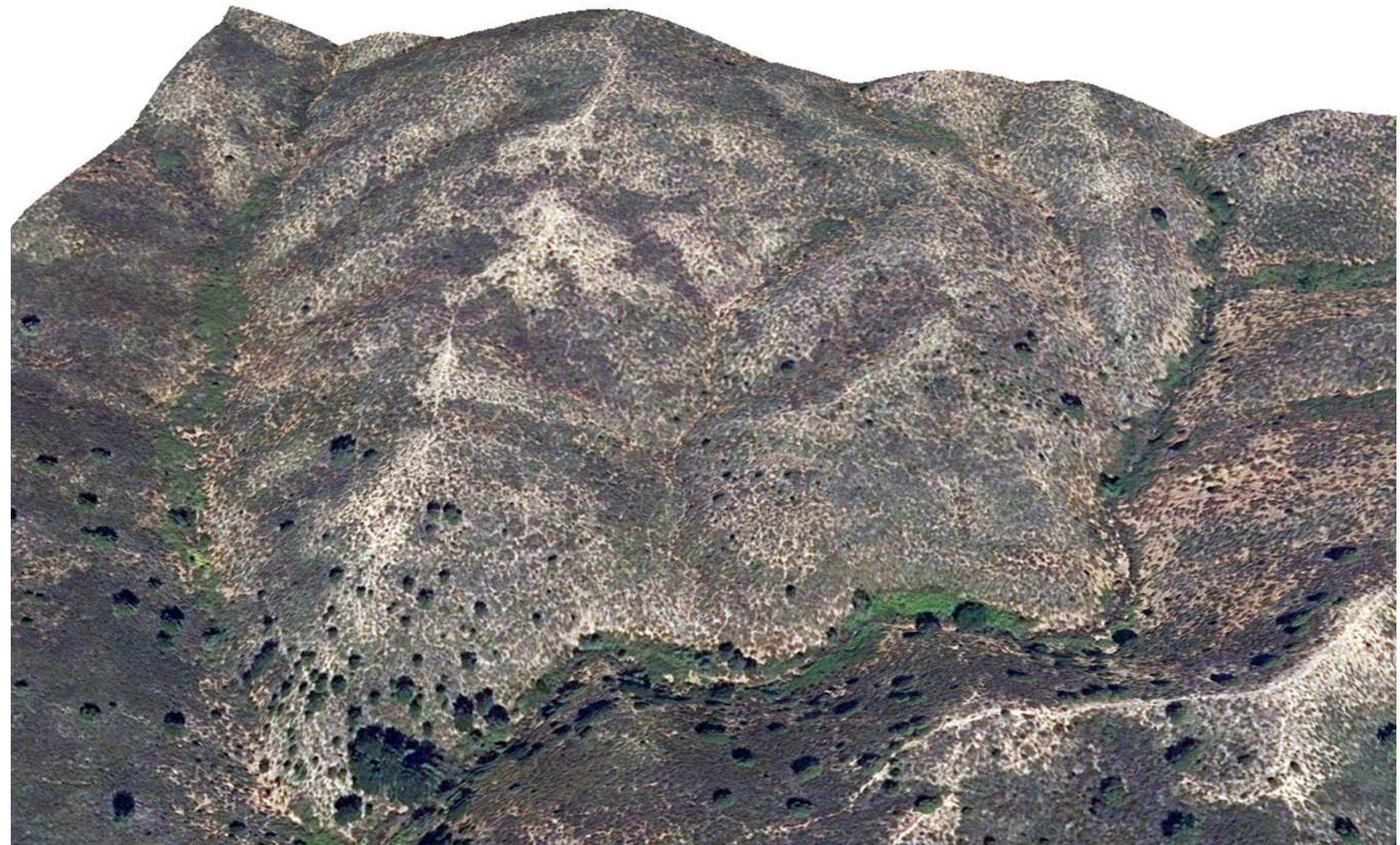


Pérdida de la inversión realizada

Enfoque tradicional y red de drenaje: **problema**



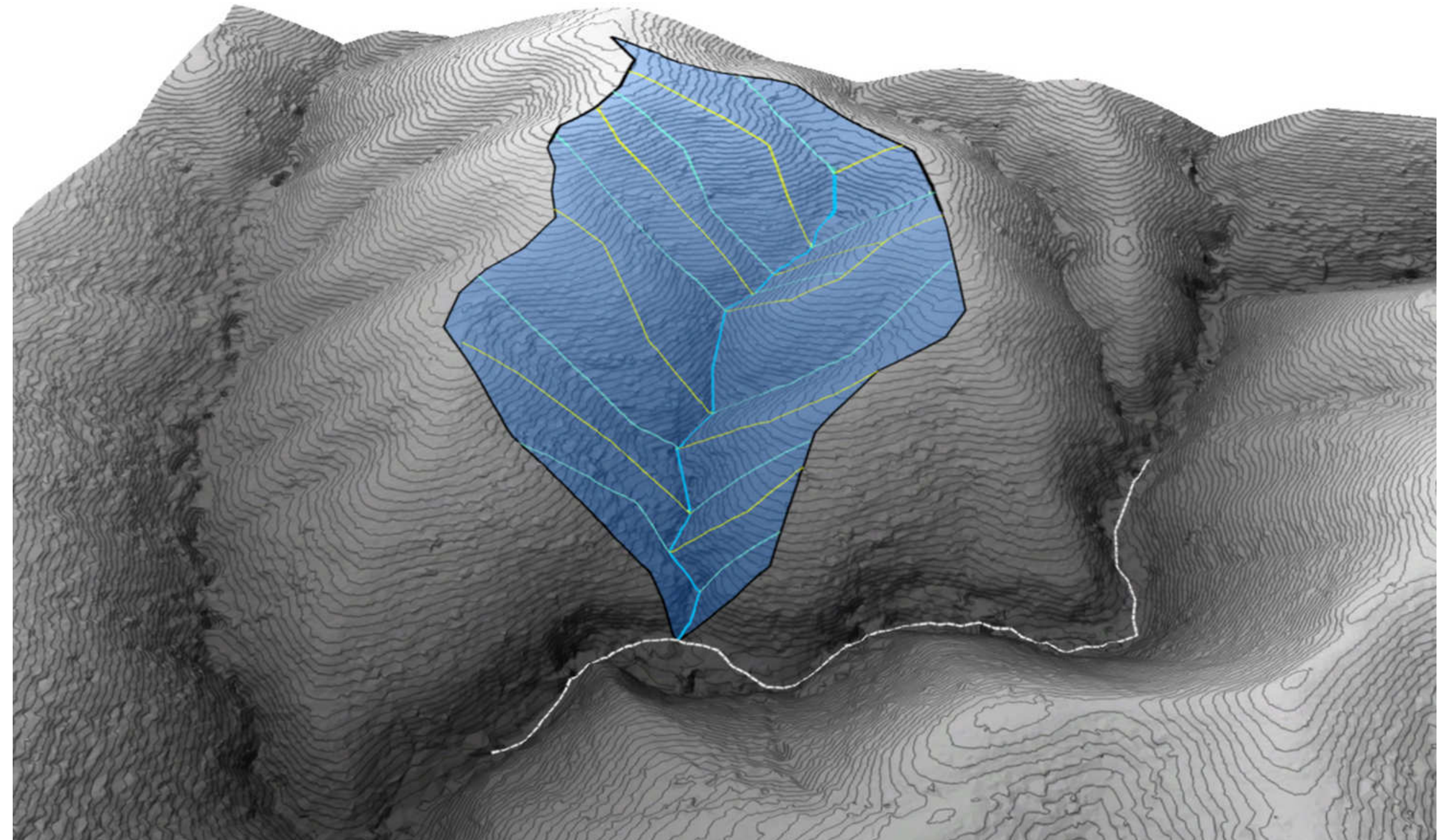
Principio universal:
la **mayoría de la**
superficie
terrestre se
organiza...



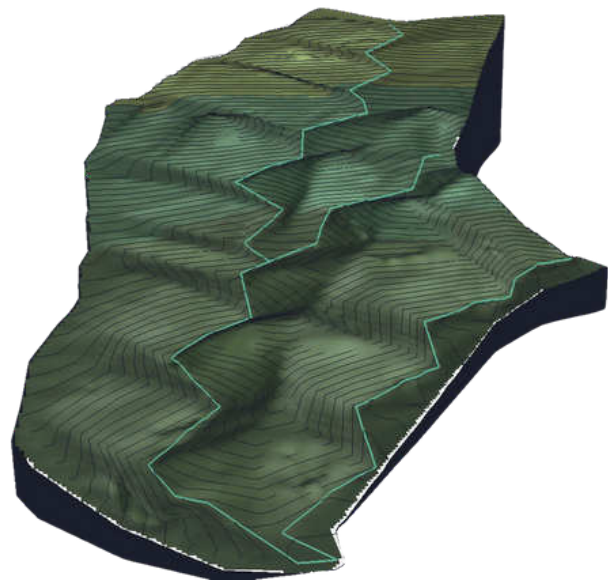
Enfoque tradicional y red de drenaje: **problema**



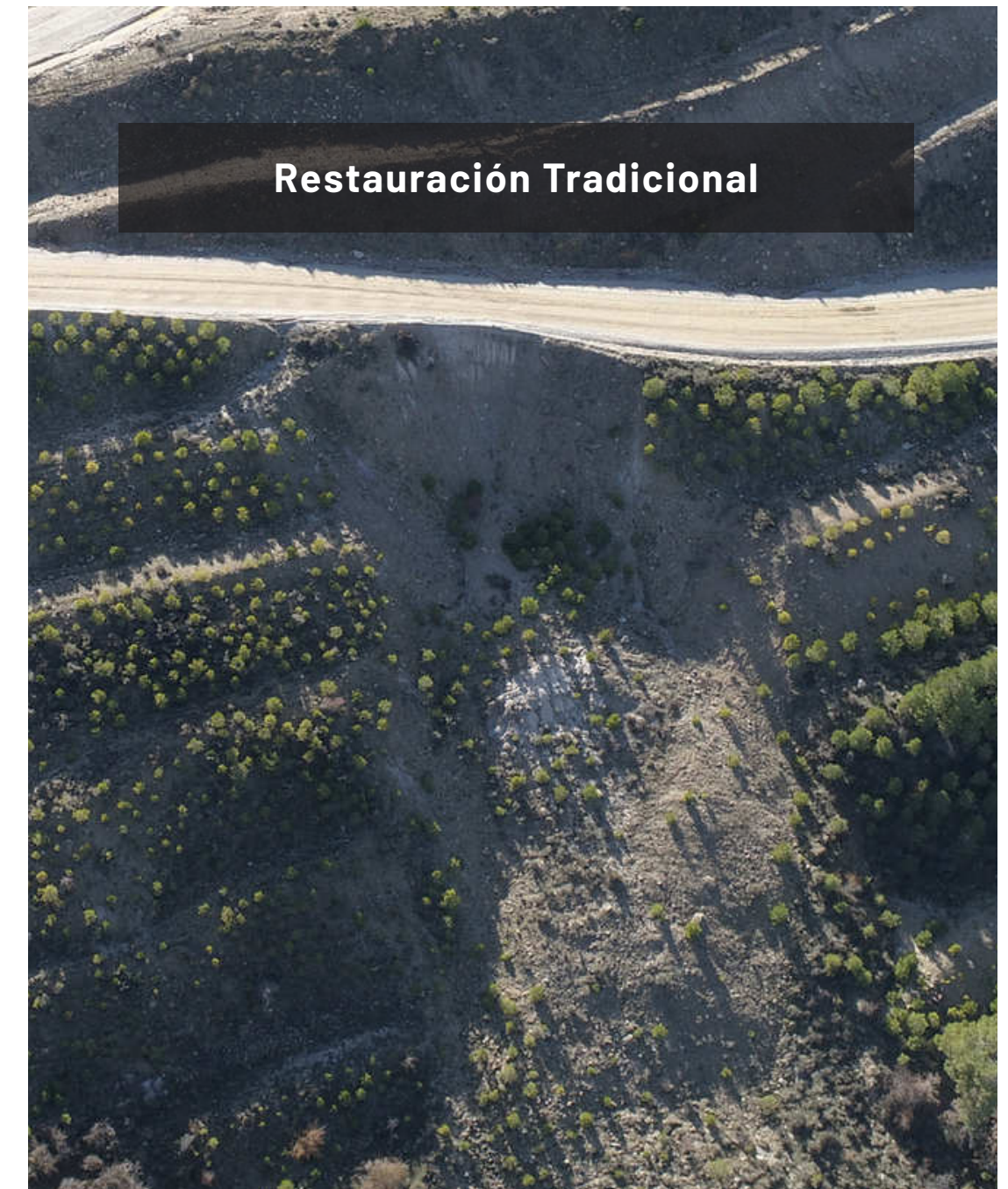
...en **cuencas hidrográficas**
(polígono azul): **red de drenaje** (azul) y **laderas** (amarillo)



Prevención de la erosión: Restauración Geomorfológica



Diseñar y construir
paisajes estables
basados en la naturaleza
usando pasivos mineros

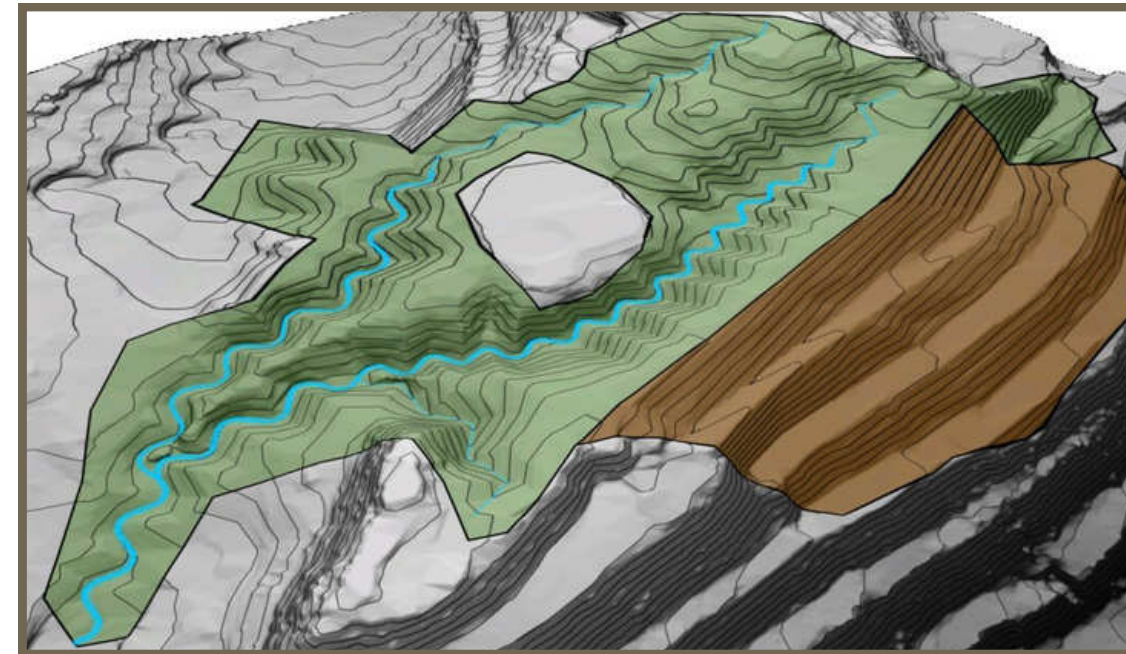


Prevención de la erosión: Restauración Geomorfológica



01

Partimos de datos de un **referente geomorfológico y meteorológicos** locales, junto con la **topografía inicial y las necesidades del cliente**.



02

Tras modelar esta información, **obtenemos un diseño CAD** detallado de la topografía a restaurar.

03

La **ejecución en el terreno** se realiza mediante el movimiento de tierras, utilizando materiales locales, como estériles de mina u obra, contribuyendo así a la economía circular.

Prevención de la erosión: Restauración Geomorfológica



La UE clasifica como **mejor técnica disponible (BAT)** en gestión de residuos de la industria extractiva



Ejemplos: **Mina Machorro** (Guadalajara, España)



1 MINA
MACHORRO EN
EXPLOTACIÓN



2 MINA
MACHORRO EN
RESTAURACIÓN



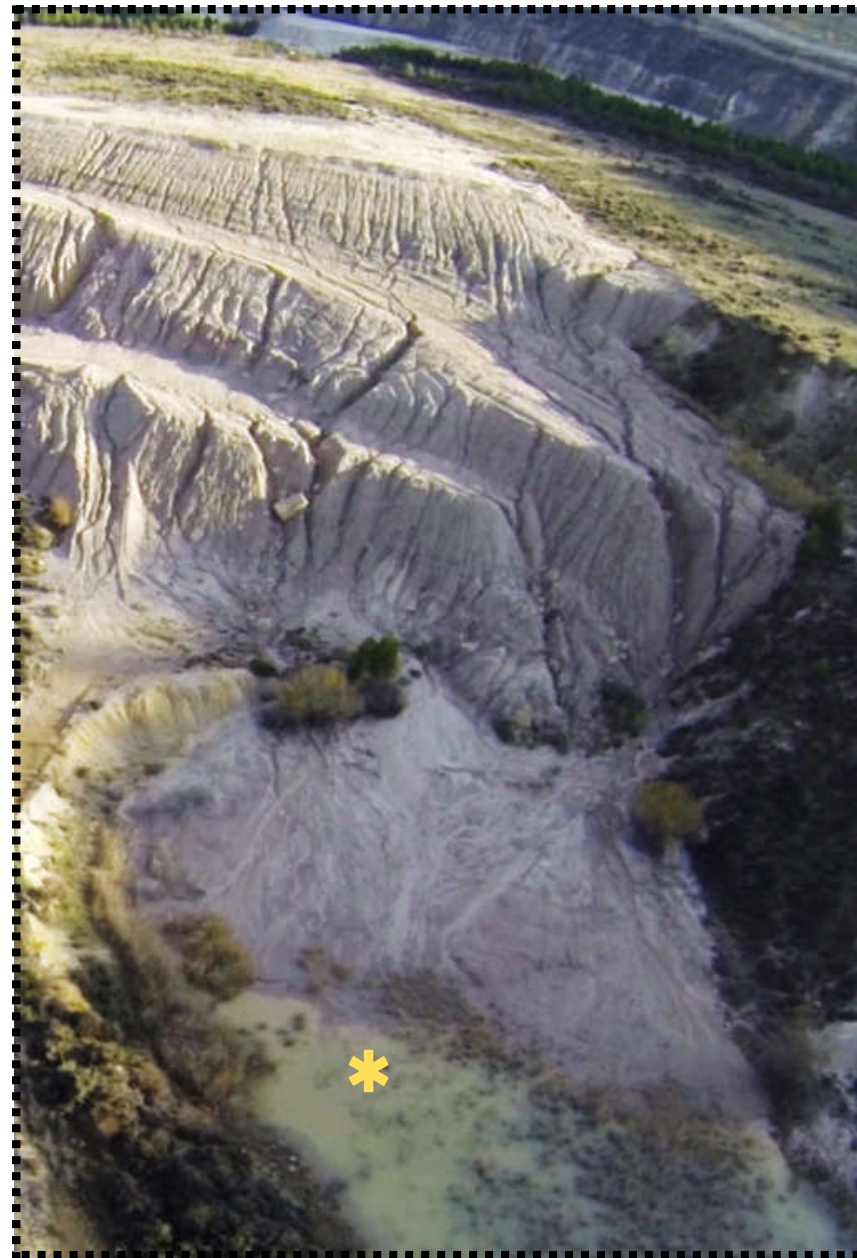
3 MINA
MACHORRO
RESTAURADA



4 EVOLUCIÓN
NATURAL



Ejemplos: **Mina Nuria I** (Guadalajara, España)



Restauración Convencional 2009



Restauración Geomorfológica 2017



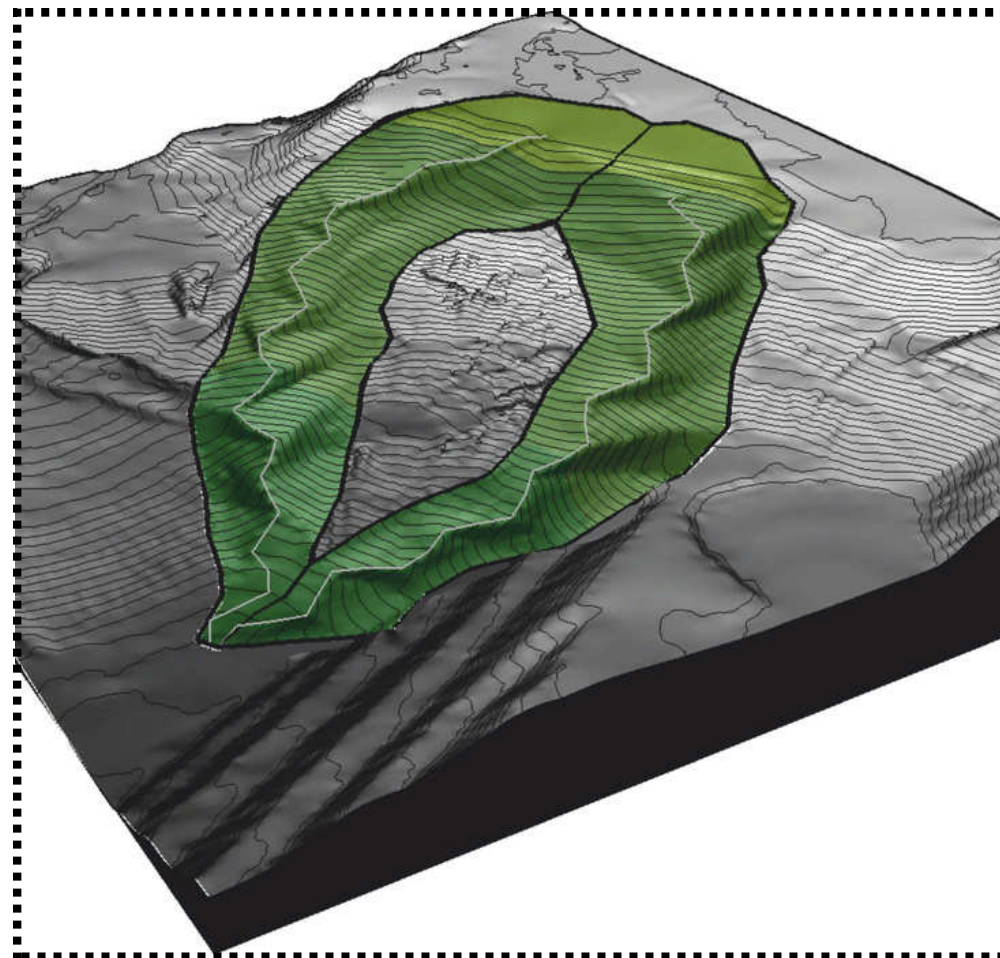
Evolución Restauración
Geomorfológica 2025



Ejemplos: **Mina Nuria II** (Guadalajara, España)



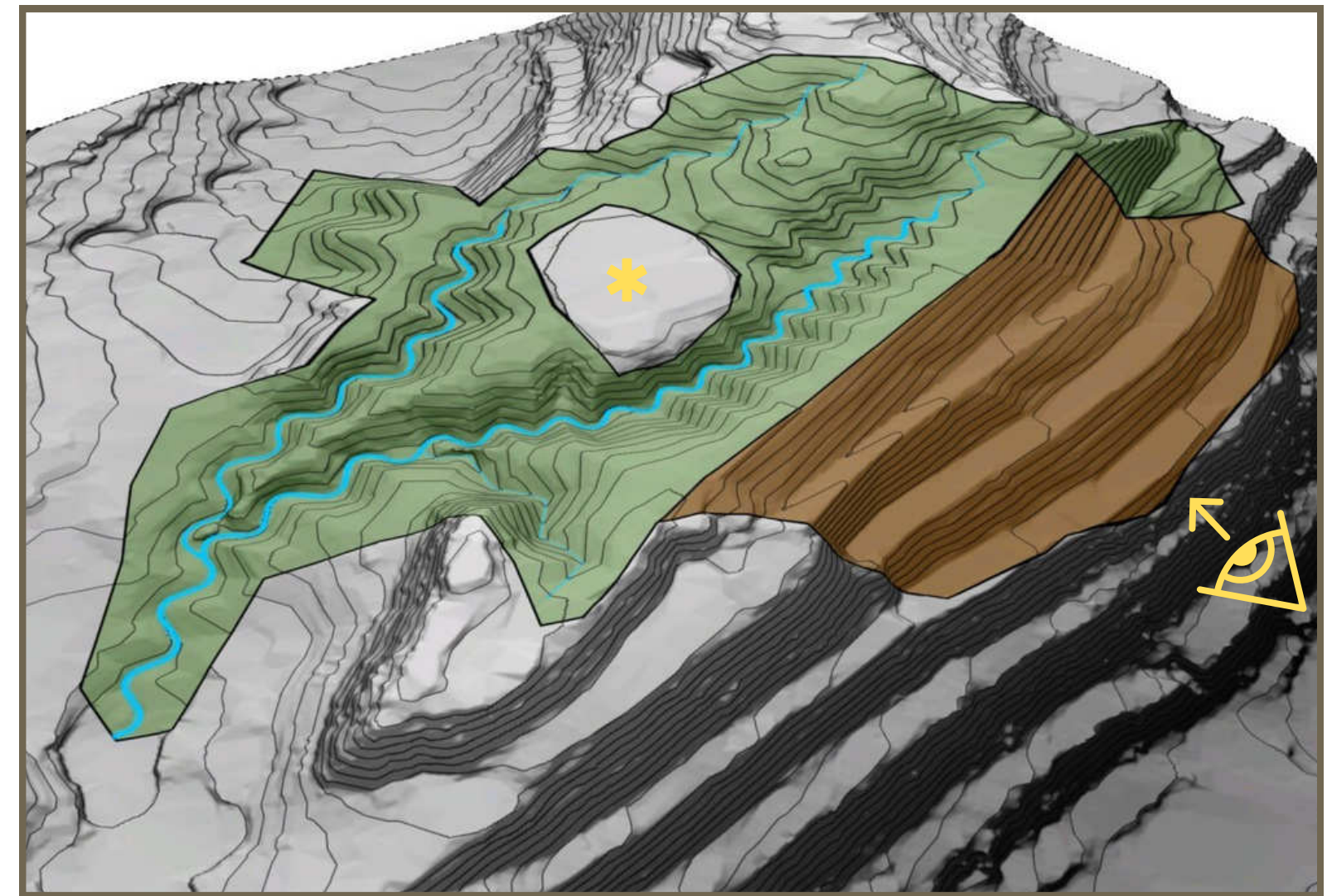
Primera **estabilización de un talud rotacional** usando **restauración geomorfológica** combinando con otros 2 principios universales: **redistribuir pesos** y **reforzar base deslizamiento**



Ejemplos: **Mina Nuria III** (Guadalajara, España)



Restauración geomorfológica **adaptada a un diseño de restauración convencional basada en terrazas**

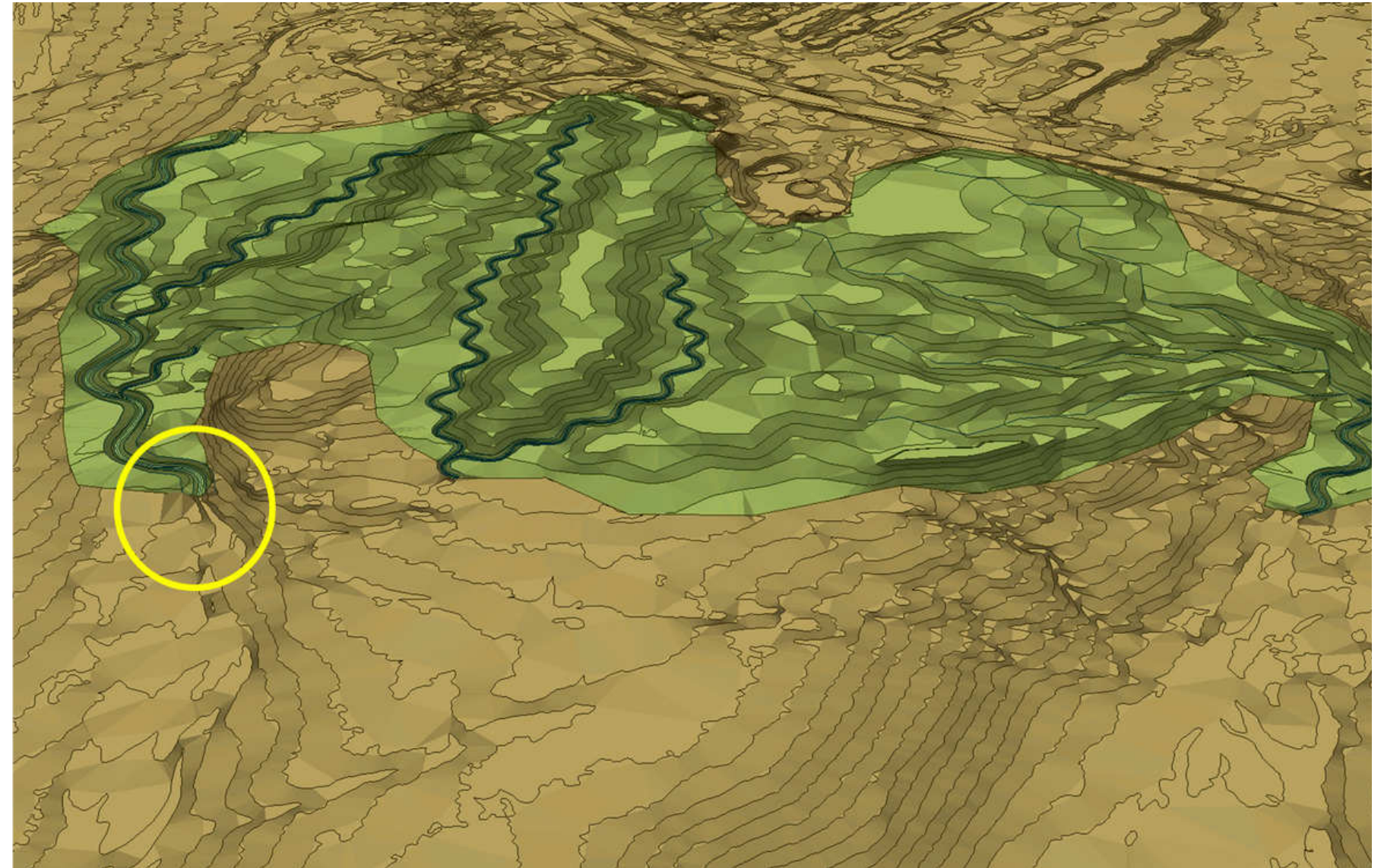


Ejemplos: **Mina San Quintín** (Ciudad Real, España)

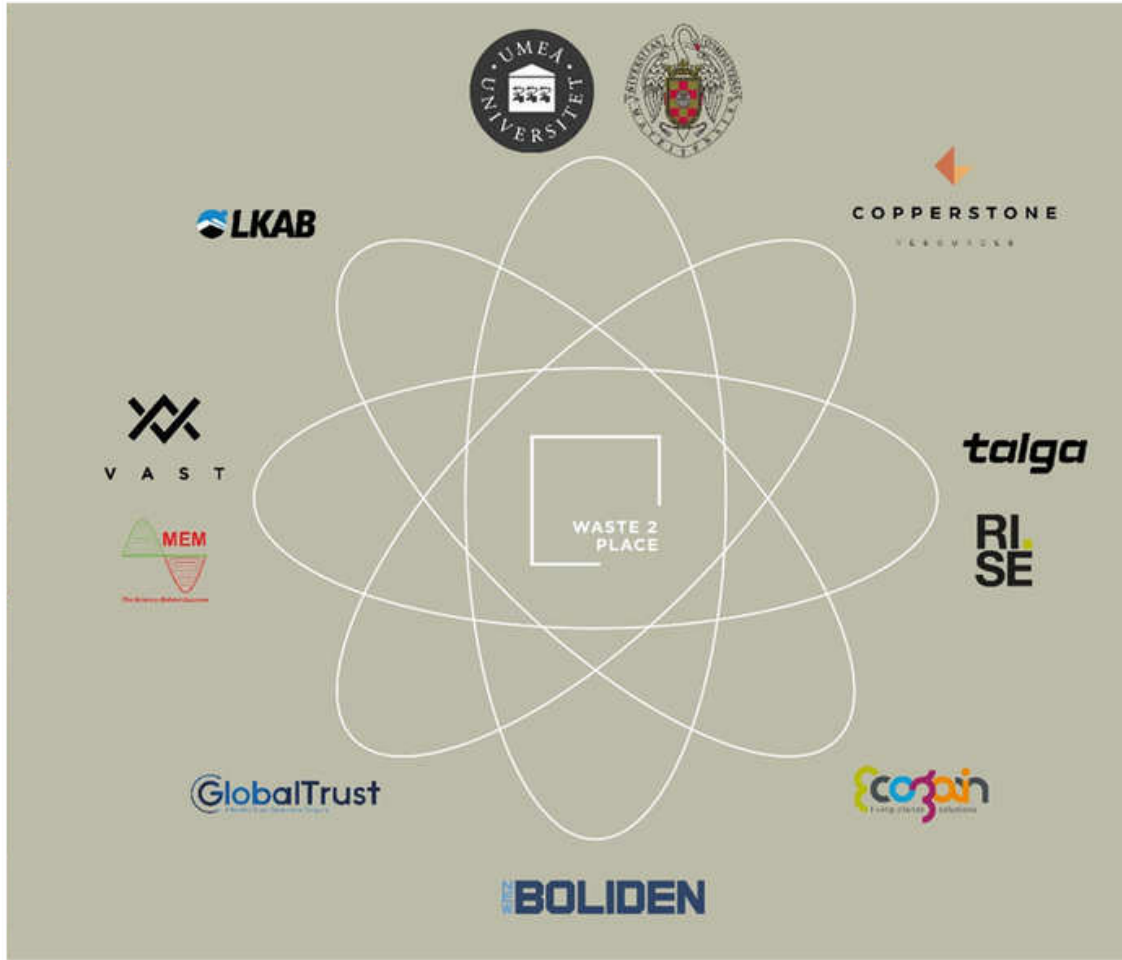
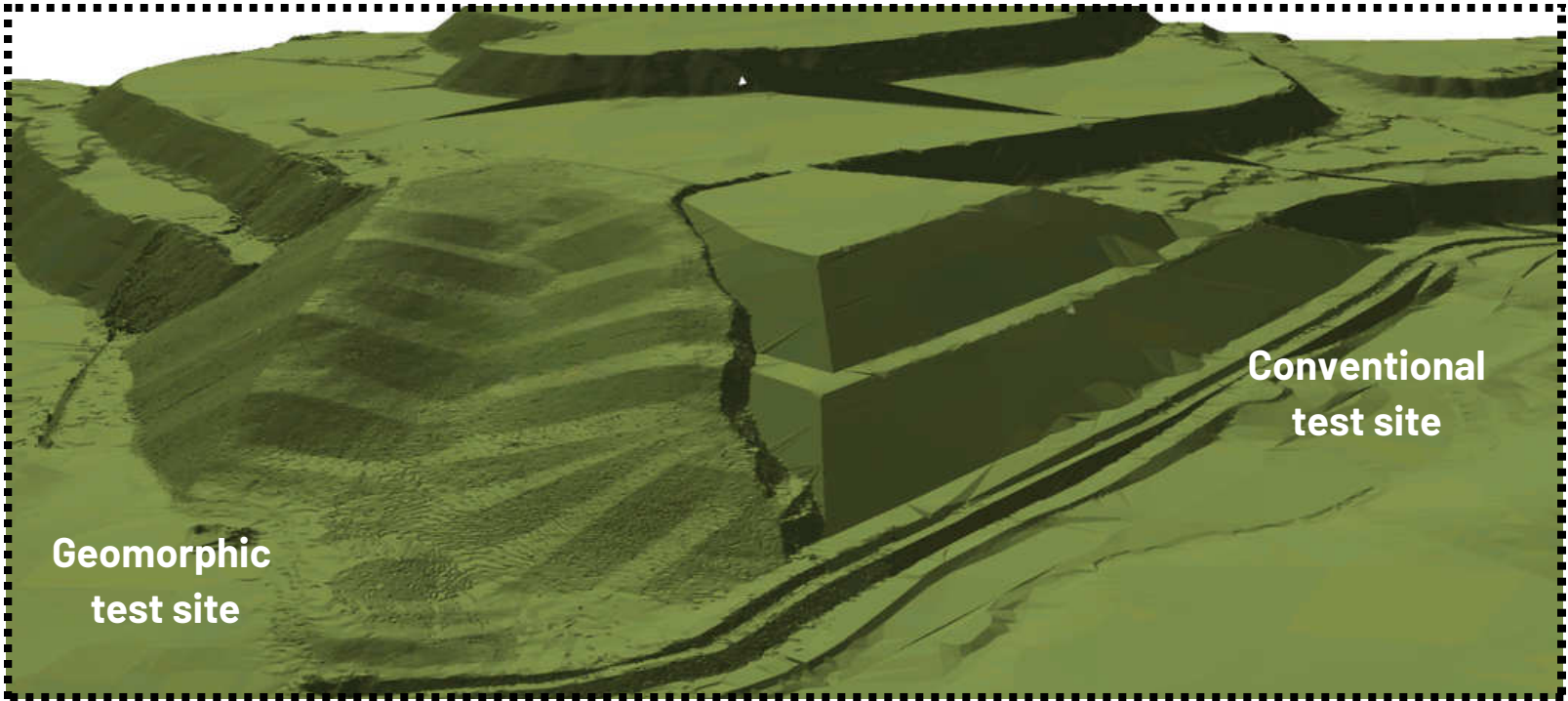


Restauración geomorfológica en un proyecto minero de plomo, plata y zinc.

En este caso el diseño geomorfológico se combinó con tratamientos edáficos para neutralizar contaminantes



Ejemplos: Svappavaara (Suecia)



Ejemplos: **Mina San Juan** (Nuevo México, EE.UU)



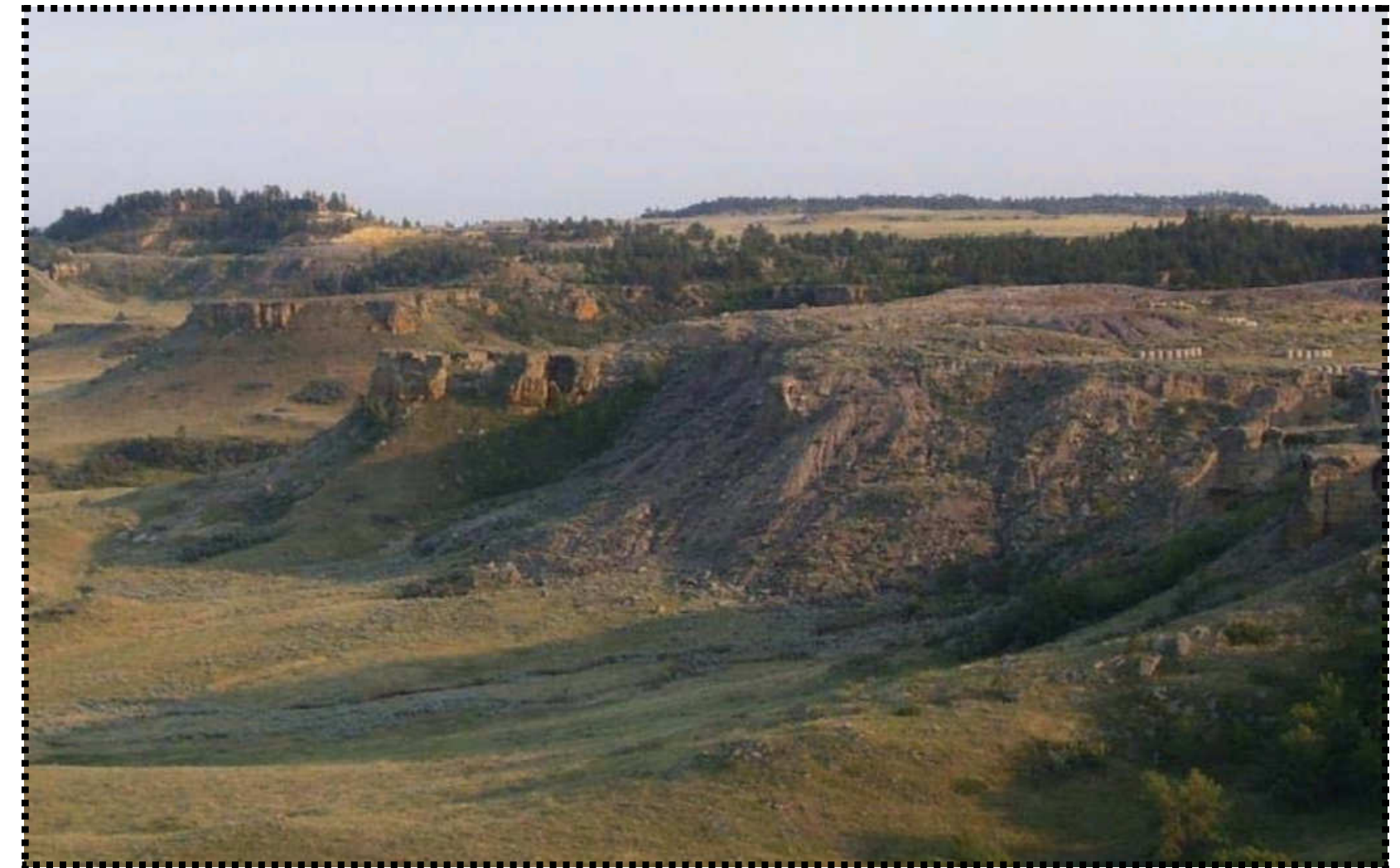
Fuente: Bugosh, N., & Eckels, R. (2015, marzo 10). Introduction to GeoFluv design construction

Ejemplos: Minas de Uranio Riley Pass (Dakota del Sur, EE.UU)



Restauración geomorfológica en una mina de uranio con problemas de erosión

En este caso el diseño geomorfológico se adaptó a un referente natural propio de mesetas en combinación con tratamientos edáficos para neutralizar contaminantes

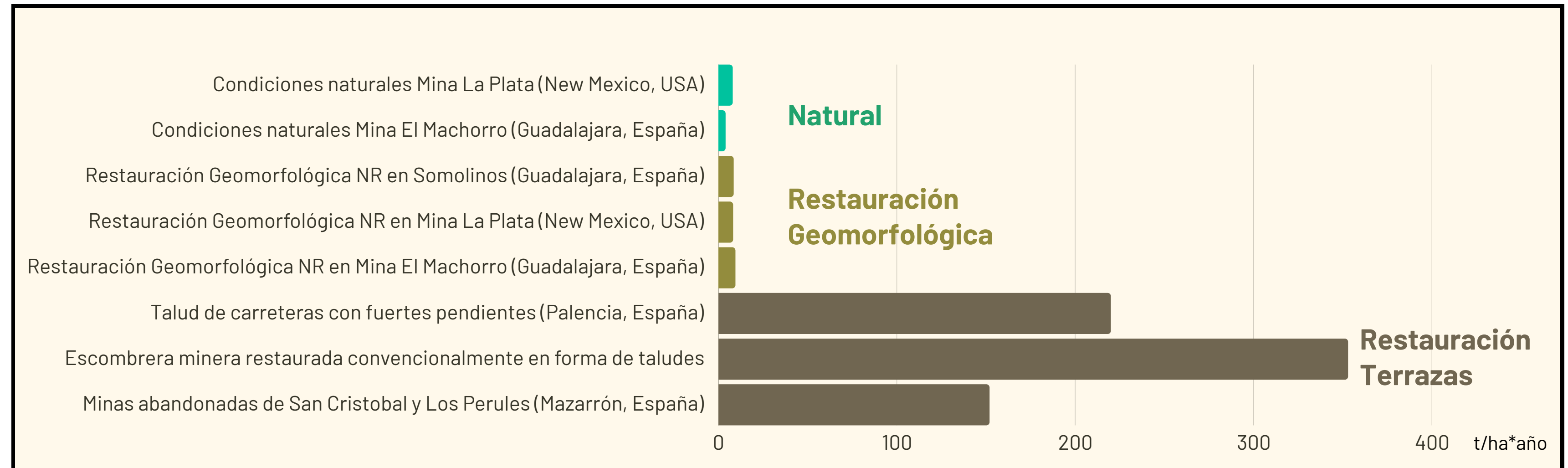


Fuente: Marks, M. B. (s. f.). Natural landform reclamation at Riley Pass Mine Site: Restoring the hydrology [Presentación]. USDA Forest Service.

Restauración Geomorfológica: Ventajas



Estabilidad: la restauración geomorfológica reduce la erosión hasta niveles naturales, muy por debajo de las soluciones convencionales



Restauración Geomorfológica: **Ventajas**



-37%



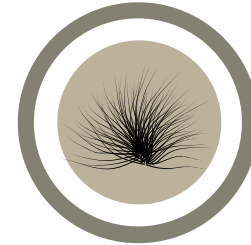
Ahorro de costes durante la **fase construcción**

0 €



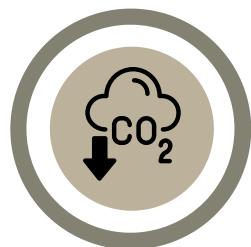
Sin costes de mantenimiento a partir del primer año

1000%



Incremento **Biodiversidad**

CO₂



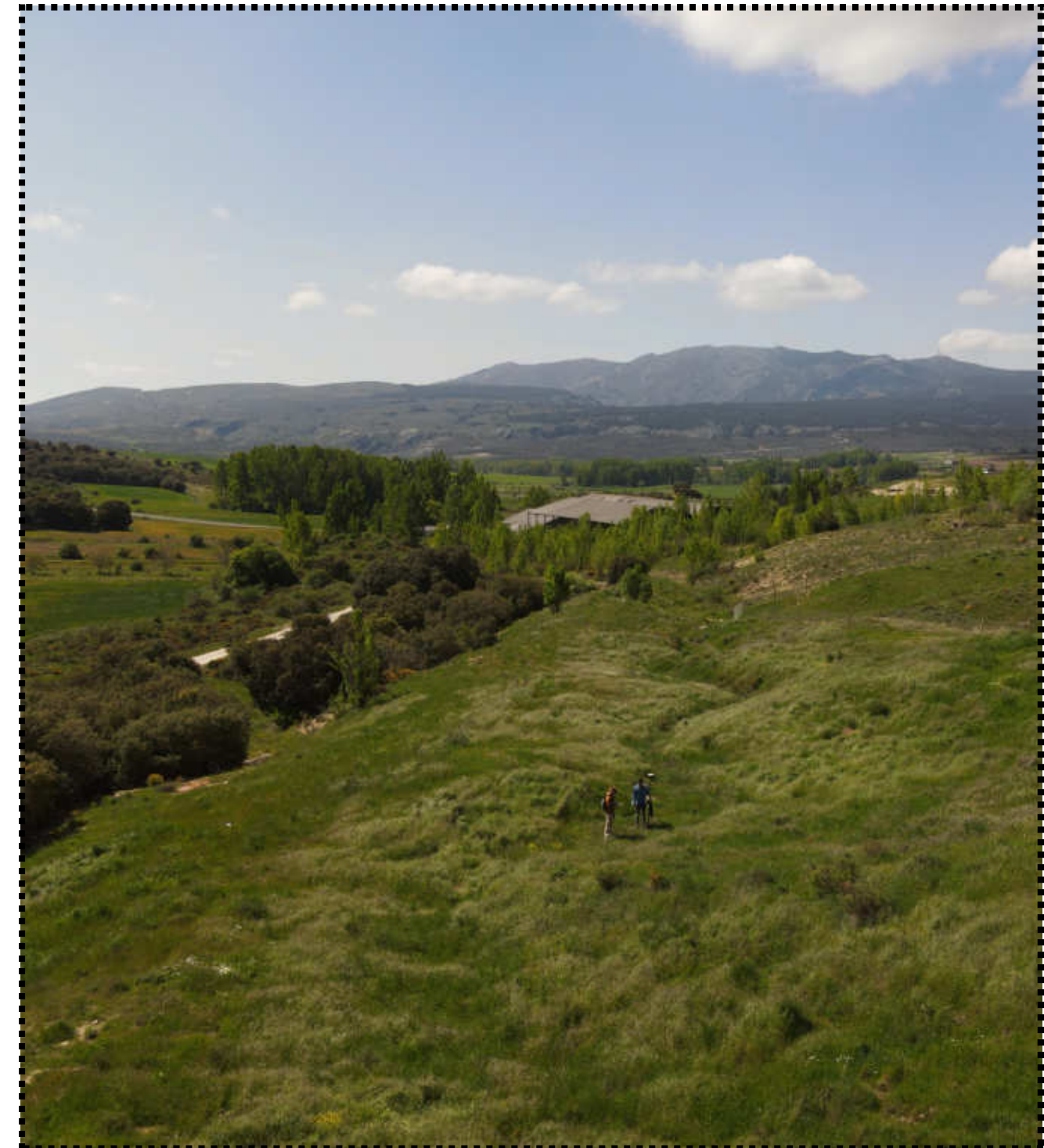
Generación de **activo medioambiental** atribuible al SUELO y ahorro de consumos de combustible de maquinaria



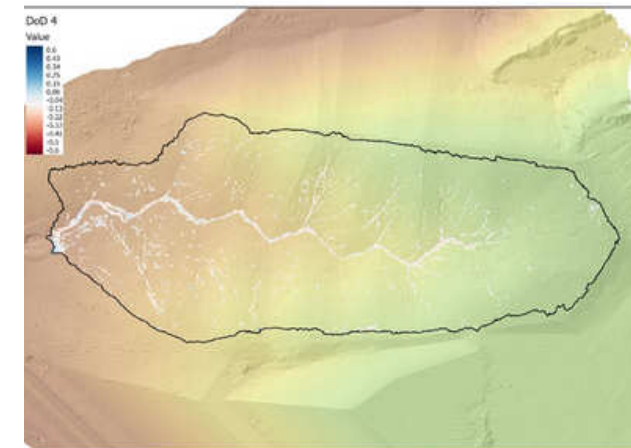
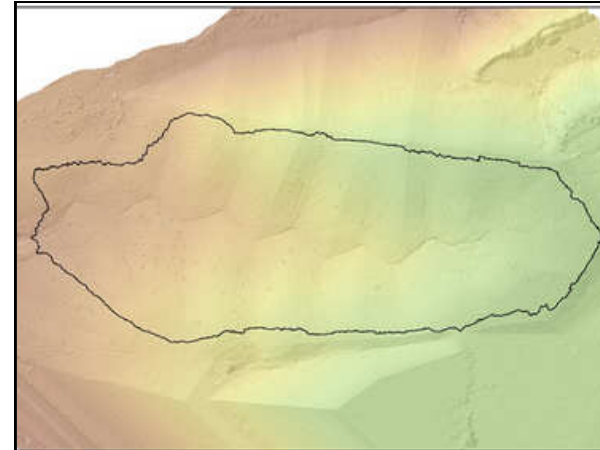
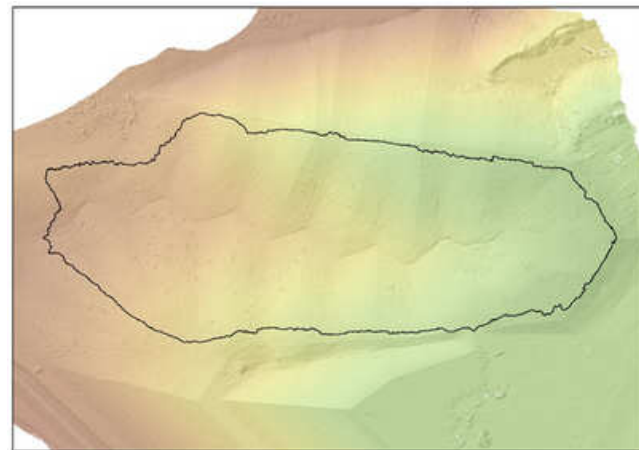
Evita multas por contaminación



La estabilidad de las superficies restauradas **reducen riesgos para las personas y para los bienes**



¿Cómo sabemos que estas superficies son estables? tecnologías de alta resolución topográficas e hidrológicas



Monitorización STONE161

corrigiendo errores:
datos finales reales

DoD (diferencia):

Erosión: $38.78 \pm 14.99 \text{ m}^3$

Sedimentación: $7.16 \pm 2.73 \text{ m}^3$

Diferencia: $-31.61 \pm 15.23 \text{ m}^3$

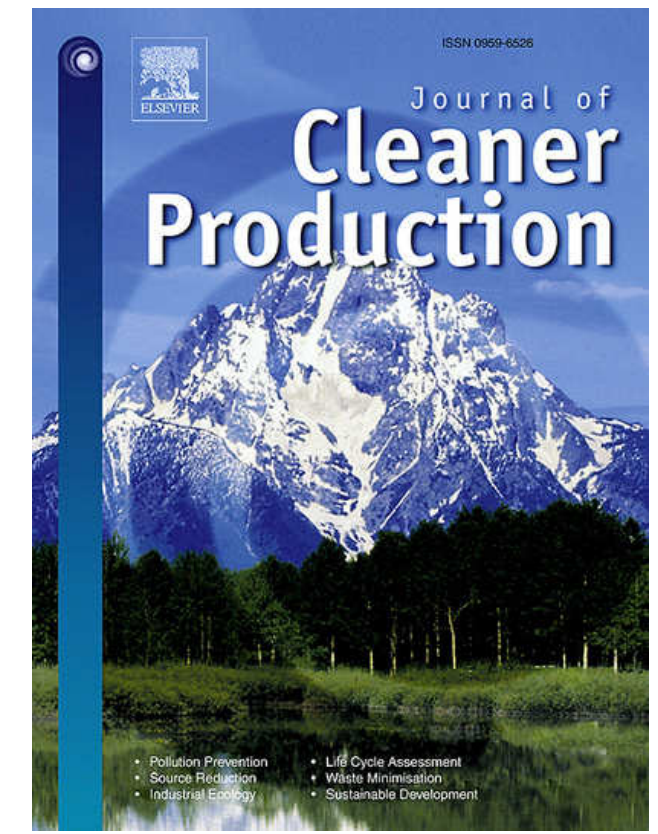
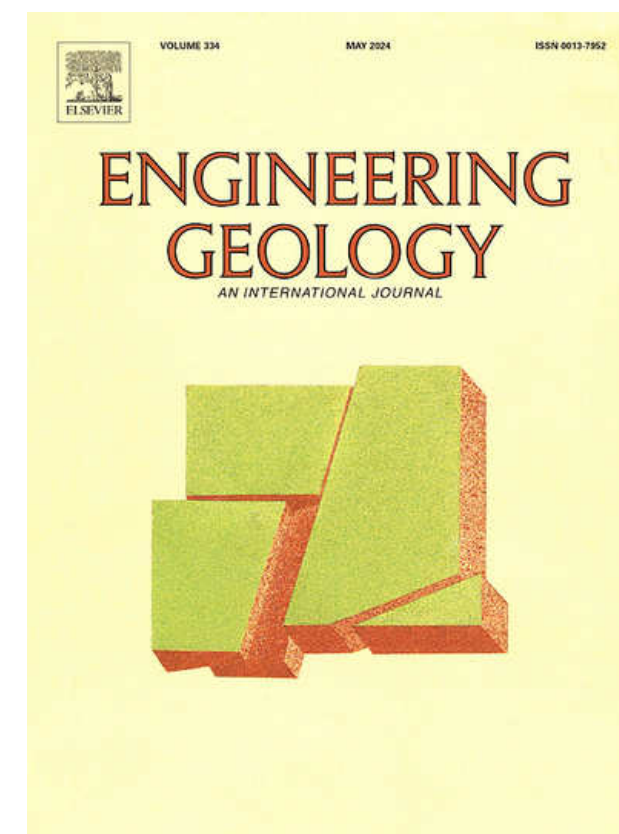
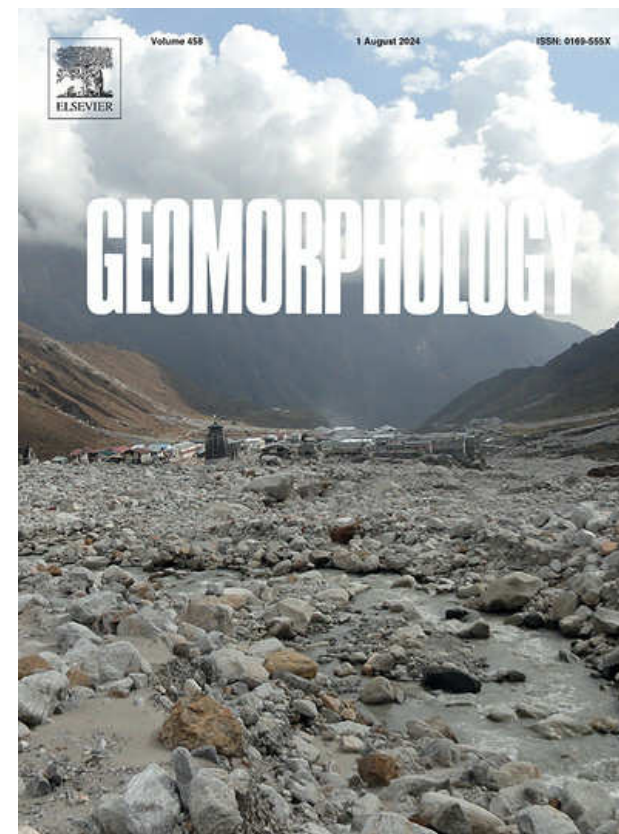


Monitorización STONE161 en tiempo real y con datos precisos de la cantidad de sedimento y agua vertidos a los ríos naturales

¿Cómo sabemos que estas superficies son estables? tecnologías de alta resolución topográficas e hidrológicas



En Stone161, nos apasiona estar en la **vanguardia del conocimiento científico y la investigación y por eso publicamos** en prestigiosas revistas internacionales como *Geomorphology*, *Engineering Geology* y *Journal of Cleaner Production*.

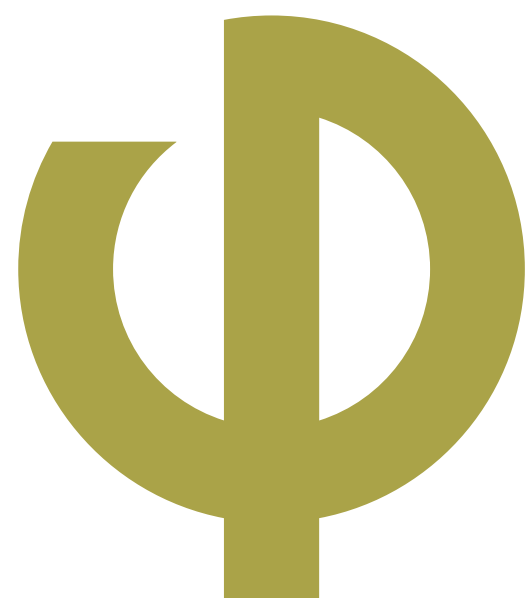


Conclusiones



- ✓ Los relaves son complejos y suponen el principal desafío ambiental en minería
- ✓ El 50% de sus fallos se deben a mala gestión del agua superficial, la erosión y estabilidad de la pendiente
- ✓ Aunque relaves y botaderos tienen composiciones distintas, ambos suelen construirse con taludes, una solución frente a la que la restauración geomorfológica ha demostrado ser más eficaz frente al agua y la erosión
- ✓ La restauración geomorfológica se puede combinar con otras técnicas para mejorar la estabilidad de los relaves





STONE161

SCIENCE, TECHNOLOGY
& NATURAL ECOSYSTEMS



www.stone161.com



(+34) 660 419 983 - (+34) 646 755 669



info@stone161.com



Síguenos: www.linkedin.com/company/stone161