SOLPYR

Interreg POCTEFA

Cofinanciado por la UNIÓN EUROPEA
Cofinancé par l'UNION EUROPÉENNE

PRIMER LIBRO DE LOS SUELOS DE LOS PIRINEOS

Seminario técnico del proyecto SOLPYR «Vulnerabilidad de los suelos de montaña»

12-13-14 de Noviembre 2024
Ax-3-domaines & Ax-les-Thermes, Ariège, Francia

ICGC Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya

NEIKER MEMBER OF BASQUE RESEARCH & TECHNOLOGY ALLIANCE

M. Chevalier

CTP

OPCC

GIE FORESPIR

Géosciences Environnement Toulouse

Université Toulouse III Paul Sabatier

Gobierno de Navarra Nafarroako Gobernua

Instituto Pirenaico de Ecología CSIC

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa

Contenido

I. Introducción general 2

II. Bienvenida al proyecto SOLPYR 2

A. Objetivos 2

B. Gestión del proyecto SOLPYR 3

C. Acciones técnicas del proyecto SOLPYR 4

1. Cartografía de suelos del Pirineo (Acción 3) 4

2. La vulnerabilidad de los suelos y el manejo (Acción 4) 4

3. Sensibilización en suelos y su preservación (Acción 5) 5

4. La gobernanza (Acción 6) 5

D. La Sinergia entre ASPir y SOLPYR 5

¿Qué es la ASPir? 5

7º Asamblea ASPir, 12/11/2024, Axe -Les-Thermes 6

III. El Primer Fórum de Suelos de los Pirineos 7

A. Vulnerabilidad de los suelos de montaña 7

B. Metodologías de diagnóstico de la vulnerabilidad en suelos de montaña 9

C. Mesa redonda sobre prácticas agro pastorales y forestales y nuevos usos de las montañas para suelos resilientes. 12

IV. Rehabilitación de zonas húmedas en el dominio esquiable Ax les 3-Domaines (visita *in-situ*) 13

A. Contexto y Objetivos de la Visita de Campo 13

B. Circuito de la Visita 14

1. Punto 1: Acceso al camino y Observación Inicial 15

2. Punto 2: Gestión del Drenaje y Restauración de la Zona Húmeda 15

3. Punto 3: Erosión y Degradación de Suelos 16

4. Punto 4: Restauración de la Zona Húmeda de la Base de la Pendiente 18

5. Punto 5: Diversidad de Pedopaisajes en los Taludes 19

6. Punto 6: Estabilidad de los Taludes y Riesgos de Deslizamientos 20

7. Punto 7: Métodos y herramientas para evaluar la evolución de la cobertura pedológica en ambientes montañosos 21

C. La naturaleza pedológica compleja de los medios de montaña 22

D. Problemática de degradación de los suelos en un contexto de múltiples usos 22

E. Métodos de ingeniería ecológica aplicados a la rehabilitación de suelos en ambientes húmedos 23

I. Introducción general

El objetivo de este informe es presentar las principales conclusiones y acciones realizadas durante los foros anuales dedicados al estudio de los suelos pirenaicos, en el marco del proyecto SOLPYR **"Los suelos de los Pirineos: conocerlos para protegerlos",** cofinanciado por los fondos Interreg POCTEFA 2021-2027.

El primer Foro de los suelos de los Pirineos, que se celebró del 12 al 14 de noviembre de 2024, es un acontecimiento clave del proyecto, reuniendo a socios, entidades asociadas y expertos externos para compartir avances, conocimientos y experiencias en materia de conservación de suelos. En este primer foro, se abordó con más detalle la vulnerabilidad de los suelos de montaña y la identificación de buenas prácticas de conservación. Este evento sirvió también como plataforma para el intercambio de ideas y metodologías, así como para el desarrollo de estrategias comunes destinadas a sensibilizar sobre el valor de los suelos y la necesidad de protegerlos frente a las amenazas del cambio climático.

A lo largo del proyecto (hasta diciembre de 2026) está previsto organizar otros dos foros adicionales con enfoques complementarios, con el fin de comprender los retos y amenazas que afectan a los suelos para garantizar su conservación y desempeñar un papel positivo frente al cambio climático. El objetivo de estos encuentros es también crear una red de cooperación entre las entidades pirenaicas que comparten un interés por la preservación de los suelos como elemento clave de adaptación al cambio climático, fomentando al mismo tiempo la integración de prácticas sostenibles en las actividades de montaña.

Este documento incluye una breve presentación del proyecto SOLPYR, así como las ponencias técnicas dedicadas a la vulnerabilidad de los suelos de montaña y los principales aspectos tratados durante la visita de campo. El informe recoge también las cuestiones más relevantes discutidas en la asamblea de la ASPir (Alianza de los Suelos del Pirineo), una iniciativa que agrupa a las organizaciones interesadas en la temática de los suelos en los Pirineos, en conexión con otras iniciativas similares en Europa y en el mundo (FAO-ONU), y que constituye la base de la gobernanza de este tema en los Pirineos y en el proyecto SOLPYR.

II. Bienvenida al proyecto SOLPYR

A. Objetivos

SOLPYR se basa en la idea de que un mejor conocimiento de los suelos y de los problemas de degradación que los amenazan permitirá sensibilizar a los usuarios y a los organismos competentes sobre la protección y conservación de este recurso vital para los Pirineos. Con este fin, entre otras herramientas, el proyecto elaborará un mapa unificado de los suelos de todo el territorio pirenaico y se llevarán a cabo estudios sobre la degradación de los suelos de montaña en zonas piloto, centrándose en el problema de la erosión y en la dinámica de la materia orgánica. También se identificarán las buenas prácticas de conservación. Todos estos conocimientos generados servirán de base para la creación de material educativo e informativo, en el marco de una estrategia común de sensibilización sobre la importancia de mantener, preservar y conservar la salud de los suelos, que será igualmente puesta en valor gracias a este proyecto.

SOLPYR tiene como objetivo preservar los suelos de los Pirineos generando conocimiento y actuando en tres ámbitos técnicos principales:

1. Elaboración de un catálogo y cartografía de los suelos de todo el territorio pirenaico, de forma continua y homogénea, utilizando una metodología estandarizada que pueda transferirse a otros territorios.
2. Desarrollo de una metodología unificada para inventariar la degradación/vulnerabilidad de los suelos de montaña en zonas piloto y a lo largo de los caminos, y difusión de las buenas prácticas.
3. Creación de material y herramientas de sensibilización sobre el valor natural del recurso "suelo", los riesgos de su degradación y la necesidad de su conservación.

B. Gestión del proyecto SOLPYR

La gestión del proyecto SOLPYR está liderada por el Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC), que actúa como coordinador. Los socios del proyecto son entidades adheridas a la Alianza ASPir, provenientes de los siete territorios de los Pirineos, que aportan competencias técnicas relacionadas con los objetivos del proyecto (Figura 1). Entre estos socios se incluyen universidades y centros de investigación, autoridades públicas con competencias en protección ambiental y ordenación del territorio, redes de parques naturales y otros actores socioeconómicos de territorios rurales. Los socios del proyecto son:

- Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) - coordinador - Catalunya
- Centro de Ciencia y Tecnología Forestal de Cataluña (CTFC) - Catalunya
- Universidad Pública de Navarra (UPNA) - Navarra
- Desarrollo Rural y Medio Ambiente (DRyMA) - Navarra
- Instituto Vasco de Investigación y Desarrollo Agrario (NEIKER) - Euskadi
- Instituto Pirenaico de Ecología (IPE-CSIC) - Aragón
- Géosciences Environnement Toulouse (GET-UT3) - Occitanie
- Funadció Marcel Chevalier (FMC) - Andorra
- Observatorio Pirenaico del Cambio Climatico (OPCC-CTP) - Territorio CTP (Nouvelle Aquitaine, Aragón, Andorrra, Catalunya, Euskadi, Navarra y Occitanie)
- FORESPIR - Territorio CTP

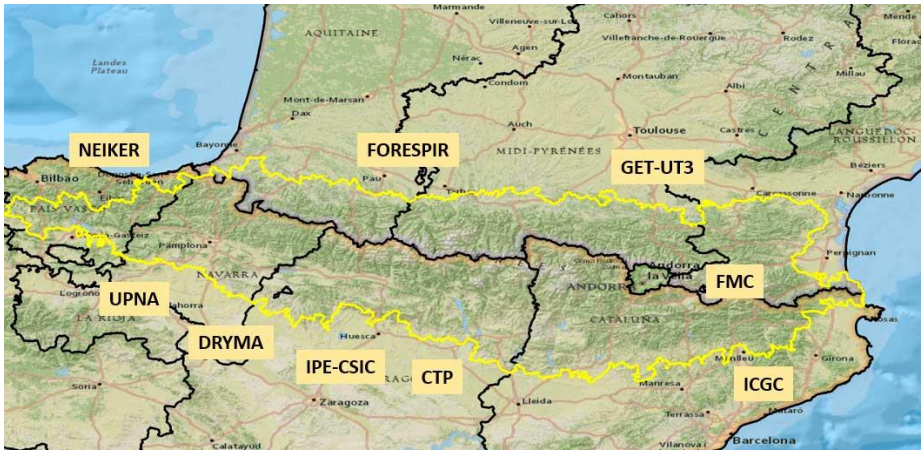

Figura 1: Mapa de los socios y los territorios del proyecto SOLPYR

C. Acciones técnicas del proyecto SOLPYR

Gracias a una estructura de 6 acciones (3 técnicas y 3 transversales), el objetivo es lograr un mejor conocimiento de los suelos y de los problemas que llevan asociados, lo que permitirá sensibilizar más a las personas usuarias y a los organismos competentes sobre la conservación y la preservación de este recurso natural del que depende la vida en los Pirineos (figura 2).

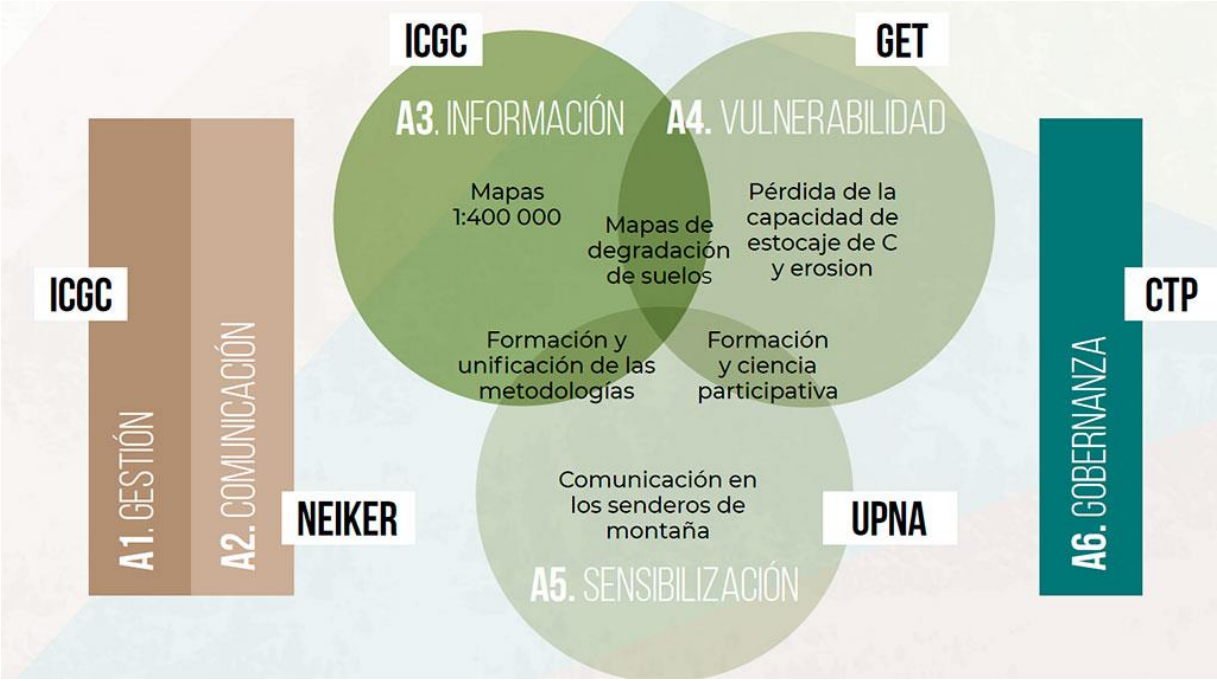

Figura 2: Esquema explicativo del Proyecto SOLPYR

1. Cartografía de suelos del Pirineo (Acción 3)

El objetivo principal de esta acción es obtener un inventario detallado de los suelos presentes en el territorio pirenaico, así como una cartografía precisa de los suelos pirenaicos a una escala de 1:400 000. Una de las etapas importantes de este proceso es la creación de un glosario multilingüe común de ciencias del suelo, que adapte los términos existentes para garantizar la coherencia entre los diferentes actores implicados en el proyecto. Las reuniones y los talleres planificados conjuntamente desempeñan un papel fundamental para asegurar que todas las partes implicadas trabajen con una metodología común y armonizada, con el fin de desarrollar una cartografía de suelos precisa y útil para la investigación y la gestión futuras en la biorregión de los Pirineos.

2. La vulnerabilidad de los suelos y el manejo (Acción 4)

La acción A4 tiene como objetivo definir una metodología común para caracterizar y cuantificar la degradación de los suelos en los Pirineos, teniendo en cuenta tanto la erosión como el contenido de carbono del suelo. El proceso incluye la elaboración de un inventario de los suelos y la creación de un atlas de la degradación de los suelos de montaña, que se publicará en el Geoportal del OPCC. El principal resultado será un informe de inventario de la vulnerabilidad y mapas a escala 1:25 000.

Las zonas piloto seleccionadas para el estudio son Izas Astún e Ibón de Plan (España), Tourmalet y Bassies (Francia) y Val de Madriu (Andorra). Se diseñará una iniciativa de ciencia participativa que permita la recopilación de datos científicos y que contribuya a desarrollar una estrategia global para

la protección y restauración de los suelos de montaña en los Pirineos, implicando a las comunidades locales en la conservación de este valioso recurso natural.

3. Sensibilización en suelos y su preservación (Acción 5)

La acción 5 tiene como objetivo sensibilizar a diversos públicos sobre la importancia de los suelos a través de varias actividades. En primer lugar, trata de recopilar materiales existentes como base para el diseño campañas de sensibilización transfronterizas, que pongan en valor los esfuerzos previos y sirvan material para futuras acciones. Además, se desarrollan actividades vinculadas a itinerarios singulares, a los que se integra información sobre los suelos en materiales ya utilizados para la fauna y flora, tanto en paneles como en aplicaciones móviles. También se crearán materiales educativos, como juegos para refugios y albergues, y se promoverá el Día Mundial del Suelo en las escuelas. Estas actividades estarán conectadas con otros proyectos de conservación y deportes de montaña.

4. La gobernanza (Acción 6)

Uno de los principales retos es transmitir a las personas que deben tomar decisiones en la gestión pública la importancia de los suelos en los Pirineos, especialmente en el contexto del cambio climático. En este ámbito para conseguir un nivel de eficiencia cabe reforzar la gobernanza transfronteriza de las zonas de montaña resultando esencial estrechar vínculos entre La Alianza de Suelos del Pirineo ASPir y otras alianzas, y garantizar la participación de los agentes clave. Además, resulta fundamental garantizar la transferencia de conocimientos y el alineamiento de las actividades, al Plan Estratégico Común específico para los suelos pirenaicos de montaña capaz de guiar las actuaciones actuales y de futuro, conectado a las Estrategia Pirenaica de Cambio Climático (EPICC) de la CTP-OPCC.

D. La Sinergia entre ASPir y SOLPYR

¿Qué es la ASPir?

La Alianza de Suelos del Pirineo (ASPir), como red de entidades y personas dedicadas al estudio y gestión de los suelos desde diferentes ámbitos y territorios. Busca fomentar el conocimiento, la conciencia y el compromiso en torno a la gestión de los suelos de montaña, un aspecto fundamental para la preservación de los ecosistemas y la biodiversidad de la bio-región Pirenaica.

La conexión entre la Alianza ASPir y el proyecto SOLPYR se fundamenta en su objetivo común de promover la conservación y la gestión sostenible de los suelos en los Pirineos. En resumen, es clara la sinergia entre ASPir y SOLPYR, unidos por su misión compartida que se refuerza con la participación directa de personas clave y la colaboración institucional, lo que fortalece la cooperación entre los territorios de los Pirineos para abordar conjuntamente los desafíos del cambio climático y asegurar la sostenibilidad a largo plazo de estos ecosistemas cruciales.

Adhesión a la ASPir: https://ctp.org/es/adhesion-a-la-aspir/

Correo general de la ASPir: aspir.gsp@gmail.com

7º Asamblea ASPir, 12/11/2024, Axe -Les-Thermes

La asamblea de la ASPir (figura 3) destacó los avances logrados en materia de gestión de los suelos en los Pirineos, gracias a la colaboración transfronteriza y al compromiso de las entidades participantes. Gracias a los proyectos y acciones presentados, se sigue promoviendo la gestión sostenible de los suelos en un contexto de cambio climático, y se continúa reforzando la cooperación a nivel europeo e internacional.

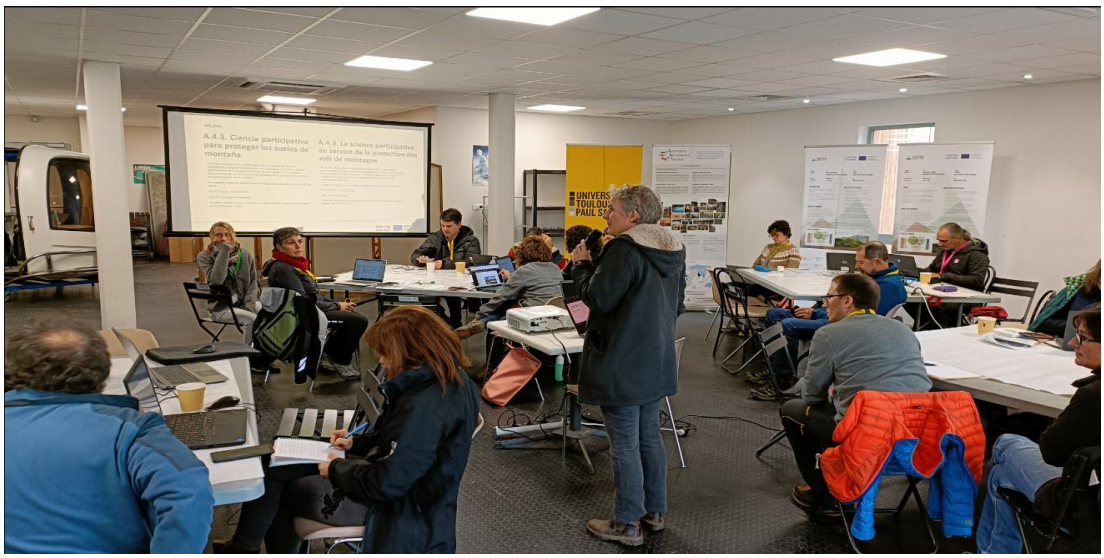

Figura 3: 7º Asamblea ASPir, 12/11/2024, Axe -Les-Thermes

Se presenta el nuevo Consejo de Dirección de la ASPir para los próximos 3 años. Tal como marcan el reglamento interno la presidencia y vicepresidencia serán bienales y rotativas.

- Presidente: Jacques Thomas (AFES)
- Vicepresidente: Alberto Enrique (SESC)
- Secretaría: Agnès Llados (ICGC)
- Representante de la CTP: Eva Garcia-Balaguer OPCC-CTP

Coordinadores de los Grupos de Trabajo de ASPir:

- Información de suelos: Michael Brossard (AFES)
- Comunicación de suelos: Rosa María Poch UNLe Iñigo Virto(UPNA)
- Degradación de suelos: Estela Nadal (IPE-CSIC)

Representantes Territoriales:

- Andorra: Laura Trapero (AR+I)
- Navarra: Javier Eslava (Gobierno de Navarra)
- Catalunya: Rosa Maria Poch (UNL)
- Euskadi: Ana Aizpurua (NEIKER)
- Aragón: David Badia (UNIZAR-Huesca)
- Occitania: Laurent Rigou (AFES)
- Nouvelle Aquitaine: Sébastien Chauvin (FORESPIR)

III. El Primer Fórum de Suelos de los Pirineos

Los días 12, 13 y 14 de noviembre se celebró en Ax-les-Thermes (Ariège) el primer Foro de los Suelos de los Pirineos. En el marco del proyecto SOLPYR (Suelos pirenaicos: comprenderlos para protegerlos), reunió a los socios y asociados del proyecto, así como a expertos en la vulnerabilidad y conservación de los suelos de montaña (Figura 4).

Figura 4: Foto de grupo de los participantes en el del proyecto SOLPYR en Ax les 3 Domaines

A. Vulnerabilidad de los suelos de montaña

a) Vulnerabilidad y causas de la degradación de los suelos de montaña

Priscia Oliva-Géosciences Environnement Toulouse (GET-UT3)

Los suelos de montaña son frágiles, a menudo protegidos por vegetación adaptada que favorece la acumulación de materia orgánica en la capa superficial. Sin embargo, al quedar expuestos, son muy susceptibles a la erosión, lo que puede llevar a una degradación irreversible. Este equilibrio es especialmente delicado en las zonas montañosas, que también sostienen numerosas actividades socioeconómicas. **La vulnerabilidad de los suelos de montaña frente al cambio climático se aborda desde enfoques ecológicos y socioeconómicos**. Ecológicamente, se refiere a la capacidad de un sistema para mantener sus funciones ante amenazas naturales o humanas, mientras que, desde el punto de vista socioeconómico, depende de la exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa.

A pesar de que existen estudios que definen indicadores de vulnerabilidad del suelo en zonas de montaña, como los Alpes, pocos abordan la complejidad de los suelos montañosos, donde influyen múltiples factores. Iniciativas recientes sugieren conceptos como el "capital natural del suelo", que destaca el flujo de material y energía en la formación y estado de los suelos. En resumen, es crucial adaptar las metodologías de evaluación de la degradación de suelos a las características específicas de las zonas montañosas, teniendo en cuenta los usos del suelo desde el principio.

Las principales causas de la degradación de estos suelos son tanto naturales como antropogénicas. Entre las naturales, destacan las precipitaciones intensas, los procesos de hielo-deshielo y las avalanchas. Las causas antropogénicas, como la gestión del territorio, las actividades económicas, y el cambio climático, también tienen un impacto considerable.

La erosión en los suelos de montaña se presenta de varias formas:

- **Erosión en nappe o difusa**: Pérdida de elementos finos debido al impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie del suelo.
- **Erosión por ravinas o cárcavas**: Producida por la escorrentía superficial que arrastra el suelo hacia zonas más bajas.
- **Erosión por avalanchas**: La nieve arrastra el suelo al desplazarse, dejando terrenos decapados por el paso de la avalancha.
- **Erosión por hielo-deshielo (crioclastia)**: El agua en su estado congelado se expande, lo que genera la pérdida de suelo al deshielarse.
- **Desprendimientos de tierra**: Causados por la gravedad, las presiones del agua superficial o las precipitaciones intensas. También pueden tener un origen antrópico, como la eliminación de la capa superficial para realizar obras.

b) Técnicas de restauración de suelos de montañas

Brice Dupin (Ecoaltitude)

Para mitigar estos procesos de erosión, se proponen varias prácticas de restauración: (1) el uso de mantillo de vegetación como acolchado para proteger el suelo del impacto de la erosión hídrica; (2) la preservación de la capa fértil del suelo para recolocarla tras la intervención, lo que ayuda a prevenir la degradación.

La importancia de las semillas locales: el uso de semillas locales es esencial para la restauración de los suelos. Esta práctica permite preservar la biodiversidad local, utilizar vegetación adaptada a las condiciones del lugar y dinamizar la economía local mediante circuitos económicos cortos. Las semillas se recolectan con un aparato impulsado por un quad y se analizan para asegurar su capacidad de germinación. Si la superficie a restaurar es pequeña, puede emplearse la técnica de **mulching,** que consiste en segar la hierba local y extenderla para permitir la germinación de las semillas.

Técnicas de estabilización del suelo: para estabilizar el suelo y resistir la erosión, se utilizan plantas con raíces pivotantes que ayudan a fijarlo. Entre ellas, destacan variedades de festuca adaptadas a suelos ácidos o básicos y eficaces en suelos poco fértiles. En zonas de montaña, especies como los arándanos y los rododendros son muy eficaces para estabilizar el suelo.

Restauración de suelos en zonas de desprendimientos: en las áreas afectadas por deslizamientos de tierra, se crean capas de “humus” para evitar que las semillas “resbalen”. Se emplean fibras de coco para fijar el sistema de replantación y garantizar el correcto desarrollo de las semillas. En las orillas de los ríos, se utilizan estacas entrelazadas con ramas de especies locales para estabilizar las pendientes.

c) Recomendaciones

- **Sensibilización**: Es fundamental sensibilizar a la población sobre el valor añadido de la restauración ecológica utilizando semillas locales.
- **Fertilización in situ**: Se podría explorar la opción de fertilizar las zonas restauradas mediante pastoreo dirigido.
- **Viabilidad de proyectos**: Iniciativas como SOLPYR pueden proporcionar viabilidad a estas intervenciones y promover su implementación.
- **Estudio del almacenamiento de carbono**: Aunque el almacenamiento de carbono en los suelos restaurados es un tema complejo, es importante estudiar sus implicaciones antes de vincularlo a créditos de carbono.
- **Seguimiento de la restauración**: Es necesario implementar más emplazamientos en los Pirineos donde se haga un seguimiento exhaustivo de los efectos de la restauración de suelos para comprender mejor los parámetros que condicionan el buen funcionamiento de estos ecosistemas.

B. Metodologías de diagnóstico de la vulnerabilidad en suelos de montaña

Estela Nadal Romero (IPE-CSIC), Stéphane Bonnet (GET-UT3), Sébastien Chauvin (FORESPIR), Laurent Rigou (AFES)

Las metodologías de diagnóstico de vulnerabilidad en suelos de montaña son fundamentales para comprender y mitigar los procesos de degradación, como la erosión, que afectan a estas áreas sensibles. A continuación, se presentan cuatro proyectos que aplican enfoques innovadores para diagnosticar la vulnerabilidad del suelo y gestionar los riesgos asociados.

Proyecto MONTCLIMA ofreció una gran oportunidad a través de casos piloto en los Pirineos Orientales para mejorar el conocimiento sobre los efectos de los incendios en las modificaciones hidrológicas y la erosión del suelo. En la fase inicial, se realizó un análisis del impacto de los incendios en la vegetación forestal, evaluando cómo la destrucción de la cobertura vegetal puede aumentar la erosión y los riesgos de torrentes. Un ejemplo clave fue el incendio en Monze (Aude) en 2019 y en Cerbère (Pirineos Orientales) en 2021, donde se instalaron **dispositivos de medición para monitorear la erosión hídrica del suelo**. La erosión por escorrentía aumentó drásticamente durante el primer año posterior al incendio y se observó que la dinámica natural de recolonización vegetal es notable, ya que a los 10 meses después del incendio, la vegetación baja comenzaba a reducir el potencial erosivo exacerbado por el fuego. Este enfoque resalta la importancia de considerar las características del suelo y la vegetación en la gestión del riesgo de erosión tras incendios forestales, contribuyendo a una mejor comprensión local de los procesos hidrológicos y erosivos en áreas afectadas por incendios. A través de la **medición de precipitaciones, caudal y sedimentación**, el proyecto ayudó a comprender los mecanismos de erosión y a desarrollar pautas para mitigar los riesgos torrenciales derivados de los incendios forestales, destacando la importancia de integrar el **monitoreo de incendios y eventos climáticos extremos** en los estudios de vulnerabilidad del suelo.

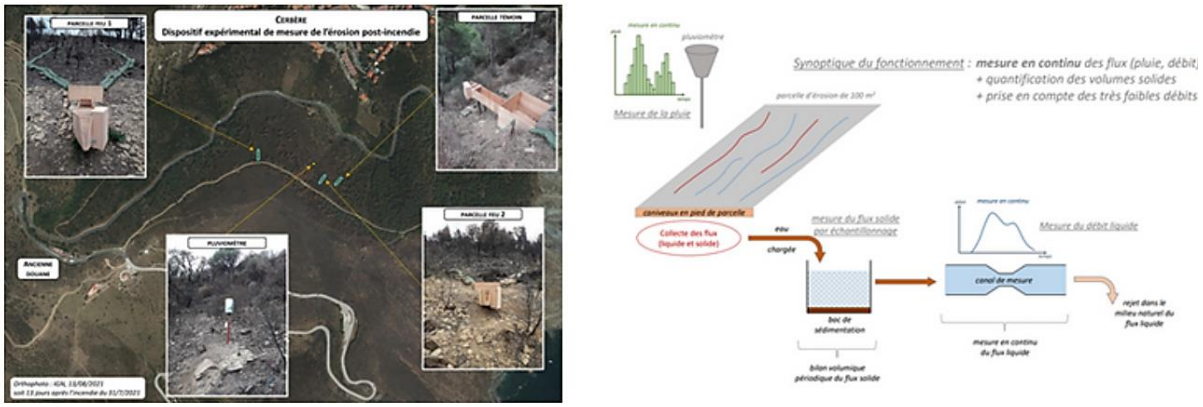

Figura 5: Diagrama esquemático del funcionamiento de una parcela experimental de erosión

El proyecto TOPSOIL se centró en comprender el funcionamiento del suelo en el Tourmalet, una zona multifuncional que enfrenta diversos usos del territorio, como el pastoralismo, la agricultura y el turismo. El enfoque metodológico incluyó la **fragmentación de grandes unidades cartográficas** en subunidades más pequeñas para identificar las zonas más vulnerables a los desprendimientos de tierra, lo que ha permitido priorizar seis áreas para la intervención. A través de talleres participativos con agricultores y ganaderos, se validó la interpretación de estos modelos y se generó un mapa detallado que servirá para la gestión y restauración de suelos. La observación de perfiles en proyectos de restauración forestal también permitió generar **indicadores que cuantifican el estado de los suelos**, ayudando en la toma de decisiones sobre la gestión sostenible de la cuenca. Este enfoque pone de manifiesto la importancia de considerar las **dinámicas locales y la participación de actores clave en la gestión del suelo**. En los Pirineos, se han implementado varias iniciativas de restauración de suelos, respaldadas por bases de datos sobre su evolución.

Estudios del IPE CSIC en los Pirineos españoles - Estela Nadal Romero

Existen diversas metodologías utilizadas para estudiar la erosión en los Pirineos, con un enfoque particular en la erosión hídrica y eólica. Los estudios realizados en el Valle de Aisa mostraron que las tasas de erosión eran significativamente más altas en áreas dedicadas a la agricultura, como viñedos y campos de cereales, en comparación con los pastos. Además, el uso de técnicas innovadoras, como los **radioisótopos y la dendrogeomorfología**, permitió una estimación más precisa de la erosión en diferentes contextos. La incorporación de nuevas tecnologías, como **LIDAR y fotogrametría terrestre**, ha revolucionado la forma en que se miden y analizan los procesos de erosión en suelos de montaña, permitiendo observar con mayor detalle los cambios topográficos y los procesos de incisión y deposición en barrancos. Estos avances metodológicos destacan la necesidad de utilizar herramientas diversas y adaptadas a las características específicas de cada zona para evaluar correctamente la vulnerabilidad del suelo.

Estación Experimental Valle de Aísa (IPE-CSIC)
Cajas Gerlach y depósitos

Estación Experimental de Lanaja. Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.
Sistema de divisores y tanques

Estación Experimental El Teularet-Sierra de Enguera. Departamento de Geografía. Universidad de Valencia
Cajas Gerlach y depósitos

Figura 6: Presentación de los estudios realizados por el IPE-CSIC en vulnerabilidad de suelos

Instituto Pirenaico de Ecología CSIC

El proyecto MIDMACC evaluó el impacto de la ganadería y las actividades humanas, como las carreras de bicicletas en montaña, sobre la erosión del suelo. A través del **uso de fotogrametría con drones y láser escáner**, se midieron los cambios topográficos en áreas clave para determinar el impacto de estas actividades. Los resultados indicaron que la erosión provocada por la ganadería no es más significativa que la causada por la construcción de infraestructuras o el paso de animales salvajes, como los jabalíes. Esta investigación resalta la importancia de contar con **metodologías precisas** para evaluar los **diferentes factores** que contribuyen a la degradación del suelo y cómo estas pueden ser incorporadas en **los modelos de gestión de suelos de montaña.**

En conjunto, estos proyectos subrayan la relevancia de una aproximación multifacética en el diagnóstico de la vulnerabilidad de los suelos de montaña, incorporando técnicas innovadoras, el monitoreo continuo y la participación de diversos actores locales. El uso de tecnologías avanzadas y la integración de datos de distintas escalas son fundamentales para mejorar la comprensión de los procesos de erosión y para diseñar estrategias eficaces de mitigación y restauración de suelos.

MIDMACC Adaptando la media montaña al cambio climático
LIFE18 CCA/ES/001099

C. Mesa redonda sobre prácticas agro pastorales y forestales y nuevos usos de las montañas para suelos resilientes.

En la mesa redonda, participaron destacadas personas expertas en la gestión de los suelos de montaña (Fig. 7), cada uno contribuyó con su visión enriquecedora para profundizar en los desafíos y soluciones para la conservación y preservación de estos ecosistemas. **Jean-Philippe Pancou**, responsable de la unidad territorial Haute-Ariège-Donezan de ONF, ofreció su perspectiva sobre los retos territoriales en la región. **Estela Nadal Romero**, investigadora del Instituto Pirenaico de Zaragoza y científica del CSIC, aportó su experiencia en geografía y ecología de montaña. **Michel Brossard**, pédologo y ex presidente de la Asociación Francesa de Estudios de los Suelos, compartió su conocimiento en la investigación y conservación de los suelos. **Pierre Malié**, pedólogo regional en la Cámara de Agricultura de Occitania, enfocó su intervención en la agroecología y preservación de los suelos en la agricultura. Por último, **Isabelle Corbière**, geóloga y mediadora científica, destacó la importancia de la educación y sensibilización ambiental en las regiones de Ariège y Pirineos Orientales. Durante la mesa redonda se abordaron los siguientes puntos clave:

Diversidad y complejidad de los suelos de montaña: Los suelos de montaña presentan una gran diversidad y complejidad, con variaciones significativas en espacios reducidos, lo que requiere un profundo conocimiento de sus características para su adecuada gestión. Esta heterogeneidad permite una gestión diferenciada, pero también plantea desafíos, ya que solo con una comprensión adecuada se pueden tomar decisiones informadas para asegurar un uso sostenible de los recursos. Además, el conocimiento e implicación de los actores involucrados en la gestión de estos suelos es crucial para aplicar prácticas que garanticen su conservación a largo plazo.

Importancia de los servicios ecosistémicos de los suelos: Los suelos de montaña juegan un papel esencial de servicios ecosistémicos tanto en zonas de bosques como en paisajes abiertos. En los bosques, el suelo es fundamental para el crecimiento de los árboles, garantizar la biodiversidad y el ciclo de la materia orgánica. En los paisajes abiertos, el suelo contribuye a la conservación del paisaje, almacenamiento de la materia orgánica y la preservación de la biodiversidad en los pastizales. Es crucial gestionar adecuadamente estos suelos para asegurar estos beneficios, garantizando su funcionalidad y resiliencia frente a las presiones externas.

Vulnerabilidad y conservación de los suelos: A pesar de su importancia ecológica, no siempre reciben la atención necesaria de las administraciones públicas. Se discutieron diversas estrategias para preservar la integridad de los suelos de montaña. En el ámbito forestal, se mencionaron enfoques como la limitación del paso de maquinaria lo cual permite reducir la compactación del suelo. En el sector agro-pastoral, se promovieron prácticas como el pastoreo controlado, la fertilización orgánica a través del ganado y la conservación de la diversidad en los pastizales. Estas estrategias buscan minimizar el impacto de las actividades humanas sobre los suelos, favoreciendo su salud y al mismo tiempo garantizar su sostenibilidad a largo plazo.

Impacto del turismo en las zonas montañosas: El turismo de montaña también fue un tema de considerable preocupación. El aumento del número de visitantes, particularmente en los senderos, ha incrementado el riesgo de erosión y degradación tanto de los suelos como de la vegetación. En este contexto, se coincidió en la necesidad de canalizar los flujos turísticos hacia rutas establecidas

menos vulnerables, mantener adecuadamente los senderos y fomentar la sensibilización entre los usuarios sobre los efectos negativos que puede generar su presencia en estos ecosistemas frágiles.

Finalmente, se resaltó la importancia de la **educación y sensibilización** a través de herramientas pedagógicas adaptadas a distintos públicos, desde el ámbito escolar hasta el profesional, para promover el conocimiento sobre la fragilidad de los suelos y la necesidad de su conservación. Asimismo, se destacó la importancia de fomentar la **colaboración entre todos las personas involucradas** y responsables de diferentes ámbitos—la gestión, el conocimiento científico, lar responsabilidad pública a diferentes niveles de la administración regional y locales— para intercambiar conocimientos y encontrar soluciones efectivas que beneficien a los suelos de montaña y contribuyan a su preservación a largo plazo.

Figura 7. Imagen de la mesa redonda sobre vulnerabilidad realizada en el Forum

En resumen, la mesa redonda subrayó la importancia de abordar la conservación de los suelos de montaña desde un enfoque colaborativo y de cooperación, integrando conocimientos técnico-científicos y locales. Iniciativas como *SolPyr* y la alianza *ASPIR* fueron reconocidas como pasos importantes hacia la protección y uso sostenible de estos suelos, asegurando que continúen ofreciendo sus valiosos servicios a las generaciones futuras.

IV. Rehabilitación de zonas húmedas en el dominio esquiable Ax les 3-Domaines (visita *in-situ*)

A. Contexto y Objetivos de la Visita de Campo

El objetivo principal de la visita de campo fue abordar diversos aspectos relacionados con la gestión y conservación de suelos en los entornos montañosos, específicamente en el área del dominio esquiable Ax les 3 Domaines, en la zona de Campels.

En 2016, se instaló el telesilla, en zona húmeda. Un proyecto que requirió también la creación de canalización de agua para conseguir la producción de nieve artificial, lo cual implicó la excavación de zanjas y, por consiguiente, el como consecuencia se produjo la desecación de las zonas húmedas circundantes. Si bien se pudieron evitar algunos daños aplicando medidas correctoras, también se

realizaron correcciones en otros aspectos. El telesilla ocupó finalmente entre 1.200 y 1.300 m² de zona húmeda, las cuales fueron completamente destruidas debido a las instalaciones. De acuerdo con la legislación francesa, cualquier destrucción de ecosistemas debe ser compensada, por lo que se identificaron áreas cerca de las obras donde se pudiera restaurar la zona húmeda afectada, compensando con una superficie de aproximadamente 2.200 m². Los estudios preliminares se realizaron en 2016, y el telesilla fue puestos en servicio en 2022. Sin embargo, las medidas compensatorias no se implementaron hasta 2023. A partir de 2025, se establecerá un programa de monitoreo para estos sitios, iniciando con la implementación de las instalaciones y continuando con un seguimiento regular durante los próximos 10 años.

Los objetivos de la visita específicos fueron los siguientes:

1. Examinar la naturaleza pedológica compleja de los ambientes montañosos.
2. Abordar la problemática del manejo de los suelos en los territorios montañosos, particularmente en un contexto de usos múltiples y en particular el turismo de nieve.
3. Revisar las técnicas de ingeniería ecológica aplicadas a la rehabilitación de suelos en entornos húmedos.
4. Discutir sobre la compensación ambiental y la rehabilitación de los suelos en áreas sensibles.
5. Analizar las metodologías y herramientas utilizadas para evaluar las variaciones en la cobertura pedológica en estos contextos: cartografía pedológica, LIDAR, fotogrametría.

B. Circuito de la Visita

El recorrido de la visita se realizó a lo largo de un itinerario por las pistas y caminos del dominio esquiable (Figuras 8 y 9), permitiendo la observación directa de las intervenciones realizadas en el área y la evaluación de sus impactos sobre los suelos.

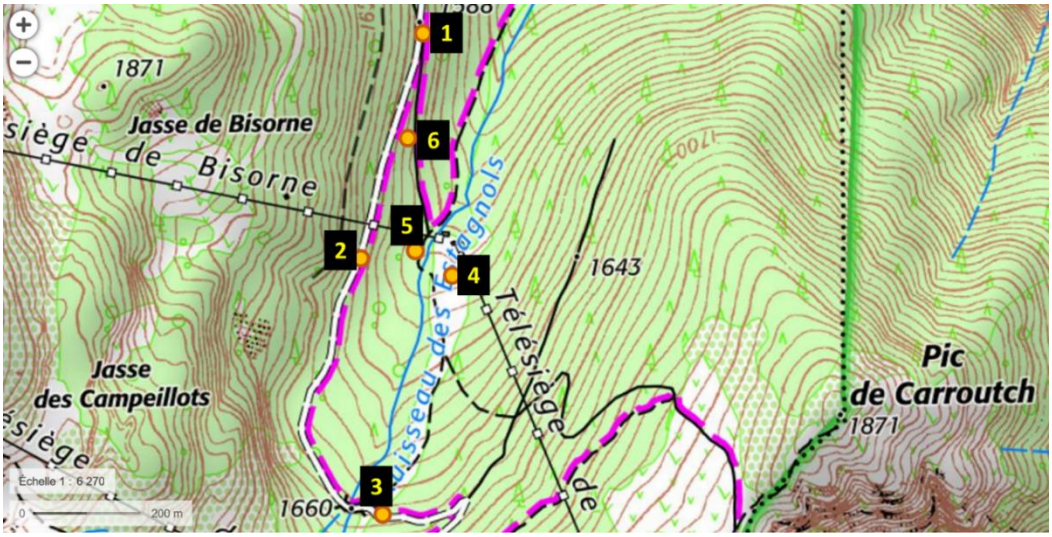

Figura 8: Mapa topográfico del itinerario con los puntos de interés identificados del 1 al 6

Figura 9: Imagen por satélite de la zona del recorrida con los puntos de interés identificados del 1 al 6

1. Punto 1: Acceso al camino y Observación Inicial

La primera parada se localizó en el cruce entre el camino de las 3 Jasses y el camino proveniente de la cabaña de la Jasse de Mansèdre (Figura 10). En este punto, se pudo observar la naturaleza del subsuelo, compuesto por rocas graníticas paleozoicas fracturadas y cubiertas por materiales de alteración (arena granítica) del Eoceno. Sobre estos materiales se forman suelos de tipo Cambisol.

Figura 10: Inicio del recorrido. Crédito de la foto: P.Oliva

2. Punto 2: Gestión del Drenaje y Restauración de la Zona Húmeda

Jaques Thomas - Association Française pour l'Etude du Sol (AFES)

El recorrido continuó por la pista de las 3 Jasses, ascendiendo hacia el sur. En esta parada también se observó un mosaico de hábitats y pedopaisajes característicos de la montaña, como acantilados y desprendimientos (leptosoles), zonas húmedas en llanuras (histosoles, gleysoles, stagnosoles) y suelos forestales de pendiente (cambisoles).

La intervención realizada en junio de 2023, modesta en cuanto a superficie, fue explicada. Los escurrimientos superficiales que inicialmente alimentaban parte de la zona húmeda situada aguas abajo de la pista eran desviados por una zanja, privando así a una parte de la zona húmeda de su aporte de agua. Para solucionarlo, se propuso construir una serie de cuatro diques de retención para ralentizar el flujo de agua, evitando la creación de barreras. En el talud de realimentación de agua situado aguas abajo (cubierto de vegetación para prevenir la erosión del suelo), tres tuberías pasan por debajo de la pista para redirigir parte del agua de las zanjas hacia la zona húmeda. A la espera del inicio de la monitorización regular, se colocaron sondas piezométricas tipo CTD para medir la presión del aire y del agua en la zona de realimentación. Midiendo la presión barométrica del aire en las proximidades, por diferencia, se puede conocer la altura de la lámina de agua sobre la sonda, la cual se registra cada cuatro horas y permitirá determinar si la capa de agua es suficiente para alimentar la zona húmeda. La problemática aquí radica en la creación de zanjas que desvían el flujo de agua (figura 11). La principal dificultad no es de orden científico o técnico, sino más bien de carácter relacional, ya que el reto principal consiste en lograr que todas las partes implicadas estén de acuerdo sobre las medidas que deben adoptarse.

Figura 11: Detalles de las zanjas creadas para rellenar el humedal bajo la carretera. Crédito de la foto: P. Oliva

3. Punto 3: Erosión y Degradación de Suelos

Priscia Oliva – Géosciences Environnement Toulouse (GET-UT3)

La siguiente parada tuvo lugar en la intersección entre la pista de Savis y la carretera de las 3 Jasses, donde se observaron procesos de erosión y degradación de los suelos (figura 12). Fue posible identificar erosión en forma de láminas y regueros, efectos de la compactación debida al paso del ganado y el desplazamiento de los horizontes superficiales (reptación). También se observaron la degradación de los taludes y los impactos del mantenimiento de las carreteras. Un corte a lo largo de un talud mostró que el suelo de la zona es un Cambisol ocre. Las intervenciones realizadas para

la recuperación de un prado turboso han favorecido aquí la recolonización por vegetación higrófila (principalmente un prado húmedo con juncos).

Figura 12: Detalle de la morfología de la pista que muestra múltiples patrones de degradación: pisoteo por el ganado, arrastre por la pendiente. Crédito de la foto: P.Oliva

En la zona del altiplano de Bonascre, los suelos son ácidos y pertenecen a la categoría de Cambisoles, también conocidos como Alocrisoles en el referente pedológico francés (figura 13). Estos suelos se caracterizan por una mayor movilidad del aluminio libre, rasgo típico de este tipo de entorno. El horizonte superficial visible corresponde a un horizonte grueso de acumulación de materia orgánica poco descompuesta. Debajo se encuentra un horizonte muy fino, de color pardo claro. La degradación de la materia orgánica produce aquí ácidos fúlvicos, lo que indica que en esta zona el mecanismo de agregación no es óptimo y que se observa más bien una estructura en microagregados o particulada. El horizonte poliédrico S (estructural) está asociado a microagregados y la textura es franco-arcillosa arenosa. En profundidad, se encuentra un horizonte C gris, más rico en elementos gruesos, que corresponde a un horizonte de alteración. La alteración no sigue únicamente una orientación vertical, sino también lateral, debido a mecanismos de subsuperficie a lo largo de las laderas. Esta es una de las dificultades y particularidades de las zonas de montaña, lo que hace que la modelización aplicada en otros entornos resulte muy difícil de implementar.

Figura 13: Descripción del Cambisol ocre en el borde de la ladera a lo largo de la pista. Crédito de las fotos: S. Chauvin

4. Punto 4: Restauración de la Zona Húmeda de la Base de la Pendiente

Jaques Thomas - Association Française pour l'Etude du Sol (AFES)

En este punto, el itinerario continúa a lo largo de la ladera de Savis, donde se observa una zona de restauración ambiental destinada a restablecer el funcionamiento de una zona húmeda en la pendiente (figura 14). En la salida del telesilla, se destruyeron 1 200 m² de zona húmeda y el tendido de las redes de alimentación de los cañones de nieve se colocó a una profundidad de 1 metro, utilizando diferentes materiales de drenaje. Se logró situar los conductos lo más alejados posible de la zona húmeda a lo largo del arroyo; sin embargo, en la parte central e inferior no fue posible. Por ello, se pidió a los operarios que colocaran tapones en los drenajes de las redes para evitar que desaguaran las zonas húmedas colindantes. En cuanto se instalaron los tapones, los niveles de agua aumentaron, incluso en pleno verano, lo que demuestra la eficacia de estas medidas correctoras. La compensación por la destrucción de la zona húmeda es de 1,5 veces la superficie afectada, lo que ejerce presión sobre el promotor para que adapte las obras a los requisitos medioambientales.

Esta zona tiene una gran importancia ecológica por la presencia de hábitats de especies de interés comunitario, como la *Drosera rotundifolia*. En este lugar se debatieron los conflictos de interés entre el turismo y el ocio, los espacios naturales, la silvicultura y el pastoreo extensivo, así como las infraestructuras instaladas en alta montaña, destacando que la entrada de maquinaria para la extracción de madera y, en mayor medida, del ganado, es uno de los factores importantes en la degradación de los suelos por pisoteo y compactación.

Figura 14: "patches" de pradera húmeda con junco a lo largo de la línea de cañones de nieve en la pista de esquí de Savis. Crédito de la foto: P.Oliva

5. Punto 5: Diversidad de Pedopaisajes en los Taludes

El recorrido continuó hacia un corte de talud ubicado bajo el teleférico de las 3 Jasses, donde se observó una gran diversidad de pedopaisajes (Figura 15). En los suelos de pendiente, se identificaron discontinuidades erosivas que dividían la cobertura pedológica en dos partes. El material profundo truncado correspondía a depósitos moránicos graníticos alterados. Por encima de esta capa se observó un horizonte rico en materia orgánica y un desarrollo de un posible regosol debido a los procesos de colluvionamiento (Figura 16).

Figura 15: Vista hacia el oeste de la parada 5, que demuestra la complejidad del desarrollo de los suelos en los entornos montañosos en relación con los mosaicos de paisajes edáficos. Crédito de la foto: P.Oliva

Figura 16: Detalle de la discontinuidad erosiva inclinada. Crédito de la foto: P.Oliva

6. Punto 6: Estabilidad de los Taludes y Riesgos de Deslizamientos

La pendiente bajo el telesilla presenta una cubierta edáfica bastante profunda (de 1,5 a 2 m) de turba acumulada, formada por la presión del agua procedente del lateral. Esta presión es suficiente para que se haya formado esta superficie de turba. Este tipo de formación es frecuente en los Pirineos, sobre todo en la vertiente norte, donde, en cuanto hay una ruptura de pendiente, una surgencia y un inicio de acumulación de agua, las colonias de esfagnos se extienden alrededor de la fuente saturada. En el proyecto inicial, este lugar con suelos turbosos iba a verse afectado por la ubicación del primer poste del telesilla. Sin embargo, el proyecto se modificó para instalar el primer poste en una zona seca, desconectada de los flujos de agua. Esta intervención fue posible gracias a contar con información suficiente sobre las intenciones del promotor, lo que permitió adaptar el proyecto y minimizar el impacto ambiental en la zona.

Finalmente, la visita concluyó con la observación de diversos trabajos de estabilización de taludes a lo largo de la pista que conduce al sendero de las 3 Jasses. Estas actuaciones ilustran los problemas de estabilidad en montaña y las técnicas de gestión del riesgo de desprendimientos, indispensables para la seguridad y la preservación del medioambiente en estas zonas sensibles.

Figura 17: Detalle del ajardinamiento del terraplén. Crédito de la foto: P.Oliva

7. Punto 7: Métodos y herramientas para evaluar la evolución de la cobertura pedológica en ambientes montañosos

Stéphane Bonnet – Géosciences Environnement Toulouse (GET-UT3)

LIDAR: Se hizo una demostración del uso de s un dispositivo LIDAR que realiza un escaneo 3D gracias a un láser montado en un sistema motorizado que gira 360 grados y escanea así el entorno y cuando se despliega en modo aéreo (con drones), permite escanear grandes superficies de terreno. Este sistema produce una nube de puntos digitalizados con una alta densidad de puntos. La distancia entre los puntos de medición es del orden de milímetros (1 millón de disparos láser por segundo). Para obtener una buena representación y digitalización de la zona, es necesario realizar varias estaciones de medición sucesivas para corregir los efectos de sombra. El sistema registra la posición (X, Y, Z) del punto de medición, pero también proporciona información sobre la intensidad de la señal reflejada que regresa hacia el dispositivo. Esta señal se atenúa en función de la distancia y la naturaleza de las superficies. Por lo tanto, esta información puede utilizarse para caracterizar la naturaleza de las superficies del suelo. Un escaneo de muy alta resolución y mediciones repetidas a lo largo del tiempo permitirán medir los cambios con el paso del tiempo.

La utilización del LIDAR terrestre es particularmente adecuada para estudiar la degradación física de los suelos en ambientes montañosos. Su implementación es relativamente sencilla y permite obtener imágenes detalladas de la morfología del suelo, que pueden variar según el tiempo de adquisición y la cobertura vegetal (Figura 18a).

Figura 18 (a): Lidar terrestre en la pista de Savis. Crédito de la foto: S. Chauvin, (b) Imagen fotogramétrica del Orri aguas arriba de la zona visitada. Crédito de la foto J. Thomas

En España y Francia, se están realizando campañas LIDAR que estarán disponibles en 2025, con acceso libre para todos los usuarios. Estos datos incluirán metadatos de clasificación, que relacionan colores con objetos, texturas y superficies. La clave es cómo aprovechar estas herramientas para la toma de decisiones. Actualmente, se prueban métodos para calificar continuidades espaciales, lo que permitirá trasladar conclusiones de parcelas a paisajes, mejorando la base para la toma de decisiones.

Otro recurso muy útil es la fotogrametría, que al igual que el LIDAR, puede llevarse a cabo tanto de forma terrestre como aérea. Este tipo de imágenes proporciona una visualización precisa de las figuras de erosión en el terreno (Figura 18b).

C. La naturaleza pedológica compleja de los medios de montaña

La visita de campo permitió observar la alta heterogeneidad de la cobertura pedológica en los ambientes montañosos (Figura 19). Esta heterogeneidad es el resultado de la interacción de diversos factores naturales, tales como la pendiente, el grosor y el tipo de depósitos a lo largo de las pendientes, la hidrología superficial y la colonización por la vegetación. A estos factores se suman las influencias de las actividades humanas, como el pastoreo y el turismo, que alteran aún más las características del suelo. Estos suelos se instalan principalmente en zonas llanas, mientras que los suelos de pendientes, más o menos gruesos según la presencia de niveles de depósito (dépósitos de pendiente, morrena, relleno por arenas), van desde suelos muy finos y poco desarrollados (leptosol) hasta suelos más gruesos y complejos (cambisol, regosol).

Figura 19: Humedal en una zona llana. Crédito de la foto: P.Oliva

Los suelos de esta región son ácidos y ligeramente arcillosos, con texturas variables dominadas por fracciones gruesas, limos y arenas, y bastante pobres en arcillas. Los suelos de las zonas húmedas, muy poco desarrollados, se forman en las áreas planas, pero en la base de estos suelos, en las zonas de sedimentación, se encuentran arenas. Las arenas graníticas que han rellenado las depresiones suelen estar cubiertas por formaciones turbosas, que se establecen con un desarrollo muy limitado. Los suelos turbosos pueden contener varias decenas por ciento de carbono orgánico. En profundidad, el funcionamiento de la capa saturada de agua, fuertemente alimentada por los escurrimientos que saturan los suelos, es un indicador de la eficacia de las medidas implementadas.

D. Problemática de degradación de los suelos en un contexto de múltiples usos

La visita ilustra de manera clara el contexto de múltiples usos de los espacios montañosos y las dificultades inherentes a la gestión de estos medios (Figura 20). Desde el punto de vista de la degradación de los suelos, las estaciones de esquí parecen ser uno de los factores más problemáticos. El pisoteo de las praderas húmedas y turberas afecta su funcionamiento hidrológico y modifica los ciclos biogeoquímicos del carbono y el nitrógeno en estos entornos. Este proceso induce una degradación aeróbica de la materia orgánica, lo que tiene efectos negativos sobre la

salud del suelo. Un factor que fue subestimado en este contexto fue el drenaje provocado por las zanjas que albergan las redes para el suministro de agua a los cañones de nieve.

Figura 20: Zona húmeda en la Pista Savis Crédito de la foto: P.Oliva

Una de las principales estrategias adoptadas en esta zona de la estación Ax les Trois Domaines fue considerar todos los usos y prioridades medioambientales de manera integral. Este enfoque sistémico permitió ir más allá de los enfoques clásicos en términos de compensación ambiental. Así, se llevaron a cabo restauraciones de zonas húmedas, y se implementaron medidas como la protección de zonas forestales para la preservación de la lechuza de Tengmalm, una especie paraguas. La conservación de su hábitat forestal beneficiará también a los hábitats y suelos de los humedales, los cuales se encuentran en mosaico con estos ecosistemas forestales. Este enfoque integrador ha demostrado ser eficaz para abordar los desafíos medioambientales en un territorio compartido por el turismo, la ganadería extensiva y los espacios naturales, promoviendo una coexistencia más sostenible de los diferentes usos.

E. Métodos de ingeniería ecológica aplicados a la rehabilitación de suelos en ambientes húmedos

Uno de los aspectos más relevantes de esta visita de campo fue el análisis de las prácticas de ingeniería ecológica aplicadas a la rehabilitación o restauración de las funciones de los suelos en ambientes húmedos. A pesar de que la visita no permitió cubrir la totalidad de los trabajos realizados, las imágenes obtenidas mediante fotogrametría (Figura 21) permiten observar que en la zona de l'Orri, situada aguas arriba de la pista Savis, se han realizado trabajos de restauración que han facilitado la continuidad hidrológica de los flujos de agua que alimentan la zona húmeda principal (triángulo amarillo). Esta restauración es crucial para la preservación de las características ecológicas del entorno, favoreciendo la conservación de la biodiversidad local y el mantenimiento de los hábitats de especies clave en la región.

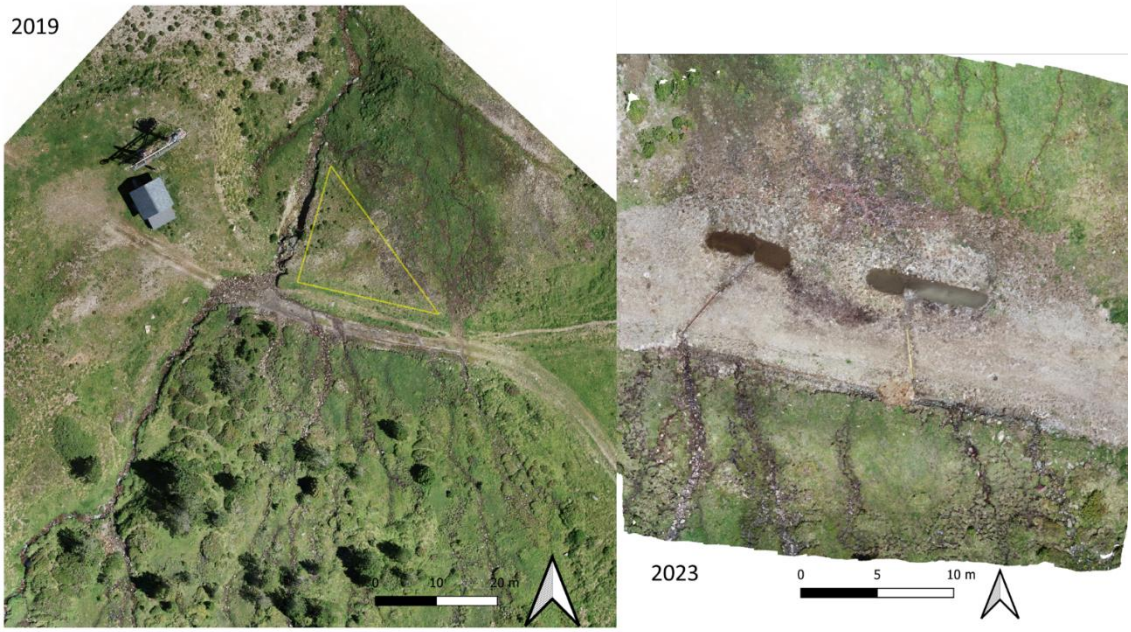

Figura 21: Imagen fotogramétrica del Orri aguas arriba de la zona visitada. Crédito de la foto J. Thomas