

8-1-2014

Naturalización de Balsas y Entornos Mineros

Proyecto de Investigación

Grupo TAR

RNM 159 PAIDI, UNIVERSIDAD DE SEVILLA



Naturalización de Balsas y Entornos Mineros

NATURALIZACIÓN, UNA NUEVA PERSPECTIVA

*Hay un libro abierto siempre para todos los ojos:
la naturaleza.*

J.J. Rousseau

Según la Sociedad Internacional para la Restauración Ecológica [SER] *la restauración ecológica es una actividad deliberada que inicia o acelera la recuperación de un ecosistema con respecto a su salud, integridad y sostenibilidad. Con frecuencia, el ecosistema que requiere restauración se ha degradado, dañado, transformado o totalmente destruido como resultado directo o indirecto de las actividades del hombre. (...) Una meta común para la restauración de cualquier ecosistema natural es el restablecimiento de los procesos autogénicos hasta el punto en que ya no se necesita la ayuda de los restauradores.* (SER, 2004)

El Grupo TAR considera que la mejor forma de alcanzar estos objetivos es neutralizar los elementos que comprometen la recuperación del espacio. Por eso este grupo se diferencia por desarrollar los sistemas naturales de alta velocidad, que aprenden de la naturaleza para diseñar las compensaciones necesarias para “naturalizar” sistemas profundamente modificados por la actividad humana y así obtener una respuesta más sostenible ecológica y económicamente. Concretamente en lo que a actuaciones en espacios mineros de la franja pirítica se refiere, nuestra investigación así como nuestras actuaciones técnicas se han enfocado siempre en favorecer la generación in situ de condiciones adecuadas para favorecer y acelerar los procesos naturales de regeneración del entorno. Para ello, proponemos enmiendas cálcicas, de modo que se interviene directamente sobre el suelo degradado en lugar de proceder a su sellado, seguidamente de la reintroducción prácticamente inmediata de poblaciones vegetales que, capaces de desarrollarse en las condiciones ecológicas del entorno aún por recuperar, favorecen con su actividad la neutralización química del entorno, así como el asentamiento de nuevas comunidades, alcanzando los objetivos de la restauración con costes y tiempos de recuperación menores.

Para lograr estos objetivos, es necesario desarrollar un conocimiento profundo y continuo del entorno, que nos permita “copiar” e impulsar aquellos procesos naturales que operan en la misma dirección que el Grupo TAR plantea en su propuesta de actuación. Asimismo, con el fin de reducir costes, debe desarrollarse una investigación que permita encontrar enmiendas cálcicas de menor coste posible, lo cual puede implicar el aprovechamiento y revalorización de residuos ricos en calcio, seleccionando aquellos que resulten más adecuados a los condicionantes naturales y económico-técnicos del espacio.

No debemos obviar tampoco criterios de biodiversidad, ya que muchas intervenciones, justificándose en la dificultad de las condiciones previas o esperando una consecución más rápida de los objetivos del proyecto, generan espacios artificiales oligoespecíficos, monótonos paisajísticamente y que no se corresponden con ninguna formación mediterránea real ni permitirán la evolución en el tiempo hacia éstas. Esta pobre biodiversidad vegetal, además de comprometer el potencial autógeno del espacio, se traduce a su vez en una representación menor de especies animales, pues muchas de las especies potenciales no encuentran en estos espacios su nicho ecológico; en este sentido medidas complementarias como la inclusión, planificada y recogida en el proyecto de revegetación, de cierta variabilidad paisajística (zonas de matorral denso, zonas adhesionadas, claros del bosque, pequeñas masas de agua conectadas, etc) suponen un impulso a la biodiversidad.

Otro de los pilares que el Grupo TAR aplica en sus proyectos relacionado con la protección del medio ambiente es reducir la huella de carbono de la empresa, incluyendo en el diseño de la revegetación el criterio de captación de CO₂, de modo que sin comprometer los condicionantes económico-técnicos ni el equilibrio ecológico, pueda incentivarse una compensación cuantificable de las emisiones de gases de efecto invernadero de la explotación, acorde a los programas que a nivel europeo y nacional se incentivan para alcanzar los compromisos adquiridos por España en relación al Protocolo de Kyoto.

Por último, es característico del Grupo TAR la consideración de los aspectos sociales, no como un criterio adicional que se añade a las últimas fases del proyecto, sino considerándolo desde el planteamiento inicial; partimos de la afirmación de que espacios que tras su intervención no son capaces de generar valor añadido a la población no son plenamente apreciados por ésta, y la experiencia demuestra que esto es un factor a tener en cuenta en el éxito del proyecto restauración ecológica, pero además no se alcanza plenamente el objetivo de aprobación social que toda empresa o administración busca con este tipo de proyectos. Por ello consideramos que un espacio correctamente restaurado puede generar, además de los numerosos beneficios para la salud y bienestar de cualquier espacio natural, nuevas oportunidades de empleo; empleo verde y local, de hecho, pues se trata de actividades vinculadas a la protección del medio ambiente tales como la capacitación y gestión forestal de la nueva masa arbórea/arbustiva generada o la creación de viveros forestales, o a la divulgación y la educación ambiental.



EXPERIENCIAS PREVIAS RELACIONADAS

- Vertidos tóxicos al río Guadiamar, propuestas técnicas para su corrección. (Grupo TAR, 1998): http://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/10782/mod_resource/content/1/vertidos%20guadiamar.pdf
- Estudio medioambiental en Nerva. (Grupo TAR, 2004) http://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/9756/mod_resource/content/2/nerva.estudioambiental.pdf
- Memoria de la actuación para la mejora de jardines en GEOLIT. Naturalización del Estanque Central. (Grupo TAR; Mazetas, Soc. Coop. Andaluza, 2013) http://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/9868/mod_resource/content/2/NATURALIZACION%CC%81N%20ESTANQUE2_MAZETAS%20SCA.pdf

GENERALIDADES

La actividad minera en el municipio de Aznalcóllar está relacionada con la extracción y transformación de piritas. Bajo la denominación de piritas se engloban un conjunto de minerales: sulfuro de hierro (S₂Fe) principalmente y también de cobre, arsénico, plata, manganeso, cadmio, zinc, plomo, mercurio, selenio, etc. El 50% de la reserva mundial de piritas está en España, localizándose en el sudoeste las vetas más importantes (Grupo TAR, 1998). Los residuos mineros suelen estar constituidos por una combinación de sulfuros y otros compuestos aditivos. Según los análisis realizados por la anterior empresa minera Boliden-Apirsa, en la zona de vertido de 1998 estos residuos contenían: 30-46% de azufre, 0.7-1.2% de zinc, 0.4-1.1 % de plomo, 0.15-0.22% de cobre, 0.15-0.41 % de arsénico 0.002-0.004 % cadmio y 0.002 % de mercurio (Grupo TAR, 1998).



Aspecto de la Corta de Los Frailes. Aznalcóllar (El País, 2013)

Uno de los principales impactos sobre el medio y de más dificultosa gestión lo constituyen las cortas y balsas mineras, caracterizadas por la acumulación de aguas muy ácidas y ricas en metales en su base y la presencia de suelo muy degradado y con elevada presencia de metales en sus paredes y entorno, añadiéndose la dificultad de las fuertes pendientes de los taludes en el caso de las cortas. Por ello, la propuesta del Grupo TAR incluye la recuperación integral de balsa ácida y su entorno, naturalizándola para que se comporte como una laguna o estanque artificial autoconsistente. Se actúa sobre el agua, la ribera y los taludes de la balsa.

LA ZONA MINERA DE AZNALCÓLLAR



En este lugar están depositados los residuos de los lodos provenientes de la balsa rota y de la limpieza de los 40 kilómetros de río que se vieron afectados.



El accidente

En la madrugada del 25 de abril de 1998, un movimiento de tierra fractura 40 metros del lateral del muro de contención de una balsa de agua cargada de metales contaminantes procedentes de la explotación minera. En el accidente, se liberan cinco millones de metros cúbicos de agua ácida, residuos inertes de pirita, azufre, zinc, plomo y cobre, que fluyen río abajo anegando de lodos tóxicos campos de cultivo y una parte del parque nacional de Doñana.

En la actualidad, la balsa está colmatada. El tercio norte es una planta de paneles solares.

Complejo Minero de Aznalcóllar (El País, 2013)

Desarrollar esta propuesta con la mayor eficiencia económica y ecológica, es decir, acorde a nuestro concepto de naturalización, requiere un proyecto de investigación que genere el conocimiento necesario para realizar esta actuación técnica de un modo innovador y exitoso.

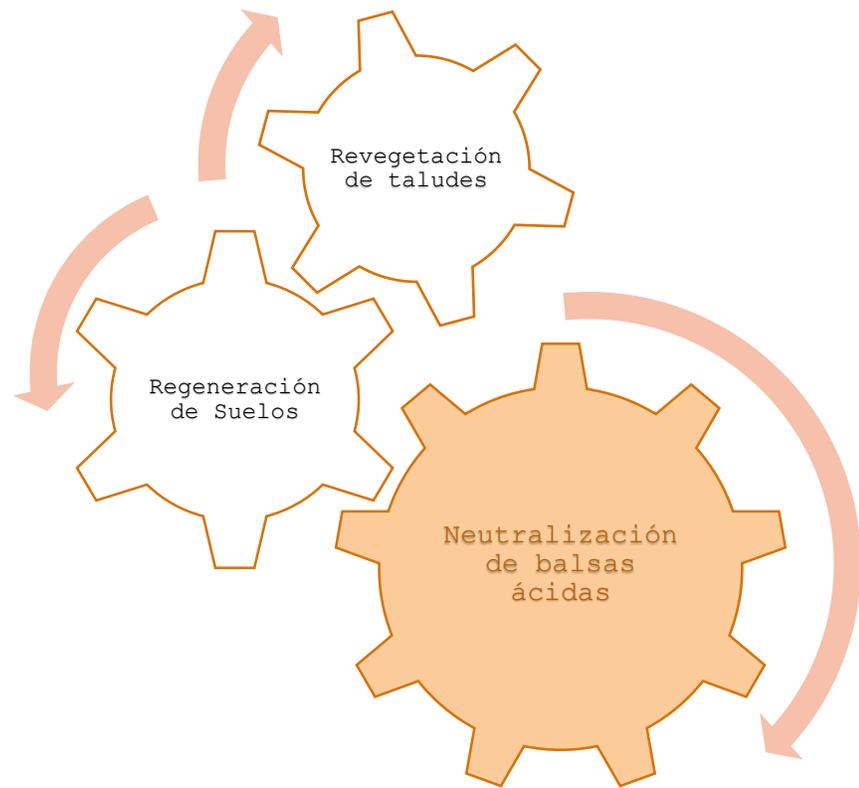
Los aspectos clave que deben estudiarse son el suelo, las diferentes tipologías de taludes que componen el paisaje del entorno minero de Aznalcóllar y las características del agua de las balsas ácidas a intervenir. Estos ensayos, que se encuentran actualmente en fase de diseño y puesta en funcionamiento, guardan mucha relación entre sí, de modo que se pretende desarrollarlos en paralelo para alcanzar un conocimiento holístico de cara a una propuesta de actuación integral sobre el entorno. Así, las conclusiones iniciales que se alcancen en el ensayo de neutralización de aguas aportan premisas sobre las que debe apoyarse el ensayo de recuperación de suelos mineros, que a su vez es necesario para la correcta evolución experimental en el ensayo de revegetación de taludes.

Del mismo modo que estos aspectos están estrechamente vinculados en la investigación, en la actuación real, la correcta revegetación de los taludes, y por ende la consecución en éstos de un suelo capaz de soportar la vegetación seleccionada, debe ser el paso previo a la recuperación de la balsa, para garantizar que no haya aporte de materiales desde las laderas hacia la balsa.

El Grupo TAR tradicionalmente ha enfocado sus líneas de investigación aunando la innovación técnica con la eficiencia social para desarrollar sistemas de bajo coste y menor impacto ambiental

Por ello es capaz de ofrecer una solución holística que tomando el tratamiento de aguas -uno de los principales impactos de la actividad minera- como eje director, articule un conjunto de actuaciones a favor de la recuperación paisajística y ambiental, y la creación de valor social.

1 ENSAYO DE NEUTRALIZACIÓN DE AGUAS ÁCIDAS



1 FUNDAMENTO

La Naturalización de las masas de agua supone la estabilización artificial de una vegetación de ribera equilibrada en sus poblaciones, dispuestas de manera accesible para dar lugar a un desarrollo armónico de la fauna terrestre, acuática y anfibia que de forma integral mejora paso a paso la calidad ecológica de las citadas masas de agua y por ende del entorno sobre el que se actúa. Para alcanzar un estado del entorno que permita ese nivel de revegetación previamente deben realizarse actuaciones encaminadas a generar unas condiciones ecológicas mínimas. Estas actuaciones son:

- Adición de sustrato calizo, procedente de residuos industriales, para subir el pH del medio.
- Siembra de algas, previamente adaptadas, para aprovechar su producción de oxígeno para oxidar sulfuros a sulfatos para subir el pH del medio de forma natural.
- Naturalización de la ribera de la balsa con plantas oxigenadoras, de flor, aromáticas y secuencialmente las poblaciones vegetales necesarias para constituir un bosque mediterráneo a medida que vaya subiendo el perfil del talud de la balsa.

En las balsas pueden aparecer filtraciones de aguas ácidas que deben tratarse mientras se va naturalizando la balsa principal. Este tratamiento se realiza sobre la propia filtración, mediante canalización de saneamiento de piedras desarrollado por el Grupo TAR (Grupo TAR, 2010), seguida de un estanque de tratamiento basado en el método explicado anteriormente para proceder a un vertido al cauce que cumpla las normas exigidas de calidad. Estos estanques pueden quedar útiles una vez la balsa esté naturalizada y la calidad del agua ya no sea problema para su vertido posterior.

Puede consultarse nuestra naturalización en un estanque artificial en el Parque tecnológico de Mengibar, Jaén:

http://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/9868/mod_resource/content/2/NATURALIZACION%CC%81N%20ESTANQUE2_MAZETAS%20SCA.pdf

2 DESARROLLO EXPERIMENTAL

El primer objetivo sería caracterizar las aguas allí retenidas y poder determinar el tratamiento, adecuado para ser aplicado. La elevada acidez y alta concentración en metales pesados, determinan un tratamiento de neutralización que lleve asociado la precipitación de los metales. Los compuestos empleados en el tratamiento deben reunir las siguientes características:

- ✓ Disminuir las concentraciones de metales a los niveles establecidos por la normativa vigente.
- ✓ Elevar el pH a los valores deseados en poco tiempo.
- ✓ Subida significativa de pH con poca cantidad de reactivo.
- ✓ Evitar reacciones secundarias no deseadas.
- ✓ Alta velocidad de decantación.
- ✓ Generar poco volumen de fangos.
- ✓ Agua de salida, tras el tratamiento, dentro del rango establecido por normativa.
- ✓ Económicamente competitivos.

En función de los resultados obtenidos y de las características del agua retenidas en los sucesivos días (cambio en los parámetros físico-químicos), se plantearía un tratamiento de optimización del proceso. Una vez caracterizada el agua se procede, a escala laboratorio, a realizar ensayos físico-químicos en “Jar-Test”, con el objeto de encontrar el reactivo más idóneo para conseguir neutralizar el agua (ya que los metales pesados en su mayoría precipitan a un pH entre 8 y 11, sin redisolverse).



Ensayo de Neutralización y Oxigenación de Aguas Ácidas Mineras iniciado por el Grupo TAR en octubre de 2010.

También se estudiará las condiciones mínimas que permiten la colonización o introducción de especies lacustres pioneras, y si estas condiciones pueden impulsarse mediante la adición de sustratos ricos en materia orgánica tales como purines, lodos de EDARs urbanas o aguas con elevada presencia de algas fotosintéticas.

Una vez concluido la experimentación a escala de laboratorio o tras obtener datos de partida que se consideren suficientes, se propone la realización de un ensayo a escala piloto de tratamiento de aguas ácidas en sistemas de depruración naturales desarrollados por el Grupo TAR, de bajo impacto ambiental y económico, tales como la fosa de alta velocidad o el canal abierto de saneamiento. Tal fase de la investigación podría realizarse en los campos experimentales que el Grupo TAR ha construido en el marco del convenio con la Diputación de Sevilla en las instalaciones cedidas dentro del C.E. Blanco White.



Fosa de Alta Velocidad, actualmente en fase de experimentación. Campos Experimentales del Grupo TAR, C.E. Blanco White, Sevilla.

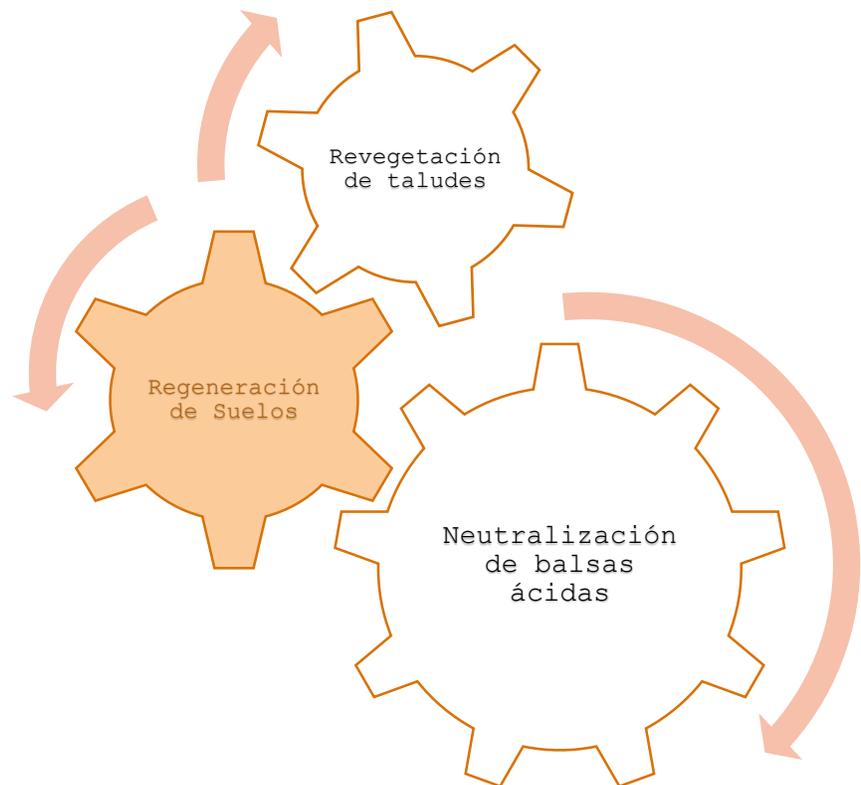


Tramo inicial del Canal abierto de Saneamiento, CAS, diseño piloto; actualmente implementado y en funcionamiento en Managua, Nicaragua. Campos Experimentales del Grupo TAR, C.E. Blanco White, Sevilla.

3 CONCLUSIONES PREVISTAS

Los resultados previstos a escala de laboratorio deberán determinar el protocolo de actuación sobre las aguas ácidas, indicando los sustratos cálcicos que presenten un mejor rendimiento ambiental y económico, las especies vegetales lacustres pioneras y las condiciones mínimas para su introducción, y la idoneidad de añadir otros sustratos ricos en materia orgánica. Parámetros como el pH, potencial redox, cantidad de oxígeno disuelto y la conductividad resultaron ser muy significativos en la evaluación del estado del agua en los trabajos desarrollados por el tras el vertido de Aznalcóllar (Grupo TAR, 1998), por lo que serán los parámetros que analizaremos también en este estudio: el pH al que precipitan los metales pesados como el zinc y el manganeso (metales usados en nuestro estudio) es muy alto, desde 8.36 hasta 9.2, en el rango estándar establecido para aguas. En este rango, el manganeso precipita en forma de MnO_2 acercándose al estándar secundario establecido. Igualmente ocurre en el caso del zinc. La relación de estos metales con el potencial redox y con el oxígeno disuelto sigue una tendencia semejante, coincidiendo la menor concentración de zinc y manganeso con los datos más bajos de potencial redox y de oxígeno disuelto. La disminución de la cantidad de oxígeno es debido a la reacción de éste con los metales al precipitar en forma de óxidos. Así mismo, la formación de compuestos provoca ulteriores descensos en el valor del potencial redox. El oxígeno disuelto tiene el inconveniente de poder registrar variaciones puntuales, debido a factores externos, que no siempre son significativos. (Grupo TAR, 1998).

2 ENSAYO DE REGENERACIÓN DE SUELOS



1 FUNDAMENTO

Las actividades mineras provocan generalmente fuertes impactos ambientales, con destrucción de los suelos naturales y creación de nuevos suelos (Antrosoles) que presentan fuertes limitaciones físicas, químicas y biológicas que dificultan la reinstalación de vegetación. En los últimos años se han elaborado un gran número de normativas que obligan a la recuperación de los suelos de mina, lo que implica la necesidad de estudios previos sobre el estado inicial, así como el estado en que queda el suelo de la zona, para planificar las medidas técnicas a realizar en cada caso concreto. Los impactos edafológicos se producen como consecuencia de la eliminación o modificación profunda del suelo para la explotación. Los suelos que quedan tras una explotación minera son todo tipo de materiales deteriorados, productos residuales de las extracciones, escombreras de estériles, etc, por lo que presentan graves problemas para el desarrollo de una cubierta vegetal, siendo sus características más notables las siguientes (Grupo TAR, 2004):

- Clase textural desequilibrada. Las operaciones mineras, generalmente producen una selección en el tamaño de las partículas, quedando materiales homométricos. Frecuentemente abundan los materiales gruesos, a veces sin apenas fracción menor de 2 mm.
- Ausencia o baja presencia de estructura edáfica. Se debe a la escasez de componentes coloidales, especialmente de los orgánicos. Dada la carencia de materiales coloidales y la ausencia de actividad biológica, las partículas quedan sueltas o forman paquetes masivos o estratificados.
- Propiedades químicas muy anómalas. Los suelos de mina son medios que pueden presentar situaciones extremas en los principales parámetros químicos. En general se trata de sistemas que han sufrido una oxidación intensa y acelerada, lo que lleva consigo una abundante liberación de H⁺ (casi todas las reacciones de oxidación son acidificantes), que hacen descender intensamente el pH del suelo (<3). La presencia de condiciones de acidez crea un ambiente hiperácido e hiperoxidante, en el que se produce un intenso ataque de los minerales. Así mismo, aparecen especies iónicas características de estos ambientes que son altamente tóxicas para los organismos acuáticos o terrestres Al⁺³, Fe⁺², Mn⁺², Pb⁺², Cu⁺², Zn⁺². En definitiva, todo ello hace que el medio no sea apto para el desarrollo de los organismos (y por ello muy difícilmente edafizable).
- Escasez o desequilibrio en el contenido de los nutrientes fundamentales. Dado que la actividad biológica está fuertemente reducida. Se presentan fuertes carencias de los principales elementos biogénicos: C, N y P.
- Ruptura de los ciclos biogeoquímicos. Debido a que en los procesos mineros se suele eliminar los horizontes superficiales, que son precisamente los biológicamente activos.
- Baja profundidad efectiva. El posible suelo (mejor se diría, protosuelo) tiene un espesor muy limitado.
- Dificultad de enraizamiento. Como consecuencia de la extrema delgadez del suelo las raíces solo pueden desarrollarse en la fina capa superficial.
- Baja capacidad de cambio. Producida por la ausencia de materia orgánica evolucionada y la escasez de fracción arcilla.

- Baja retención de agua. Debido a las ausencias de los materiales dotados de propiedades coloidales citados en el punto anterior, y también por efecto de la ausencia de estructura.
- Presencia de compuestos tóxicos, que impiden o cuando menos dificultan la rápida colonización de los depósitos.

Resumiendo, las actividades mineras causan intensas modificaciones en los suelos que conllevan frecuentemente a su total destrucción, dejando los materiales con unas limitaciones tan severas que generalmente se han de tomar medidas correctoras para recuperar, por lo menos en parte, la capacidad productiva.

Puede verse la propuesta de recuperación de suelos ácidos estudiada para la mina de Riotinto en nuestro Informe ambiental de Nerva, 2004 en :

http://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/9756/mod_resource/content/2/nerva.estudioambiental.pdf

2 DESARROLLO EXPERIMENTAL



En base a los resultados alcanzados en el proyecto desarrollado en Nerva (Grupo TAR; 2004), se formula la hipótesis de que una enmienda caliza puede aumentar el pH de los suelos, favoreciendo la precipitación de los metales, salvo el hierro y magnesio, cuya precipitación se prevé mediante la mayor oxigenación del suelo, la cual pretende conseguirse mediante las plantas que a través de sus raíces y la fauna asociada a ésta, generarán una capa aireación con una mayor concentración de oxígeno.

Para incrementar la eficiencia ecológica y económica de la actuación, se estudiará, en paralelo al ensayo de neutralización de aguas ácidas mineras, la utilización de residuos calizos, reduciendo así el coste del proyecto y fomentando la revalorización de residuos industriales. También se añadirá materia orgánica en forma de compost de diferentes calidades (de vertedero en los sustratos más profundos y de EDAR urbana en las capas superficiales en contacto con las raíces de las plantas) y purines.

Este ensayo constará de una primera parte en el laboratorio en la que se corroborará si el suelo responde de la misma forma que las aguas ácidas a la adicción de esos materiales y, a partir de las conclusiones extraídas, se diseñarán parcelas de experimentación a escala piloto en los campos experimentales de los que dispone el Grupo TAR en el C.E. Blanco White, en convenio con la Diputación de Sevilla.



*División de parcelas como parte de los trabajos previos al ensayo de suelo.
Campos Experimentales del Grupo TAR. C.E. Blanco White, Sevilla.*

Además de este ensayo de corrección del suelo, se pretende desarrollar a escala piloto en los referidos campos experimentales, un ensayo de especies adaptadas a entornos mineros para determinar si es posible utilizarlas sin aplicar enmiendas previas al suelo, de modo que se reduzcan los tiempos del proyecto así como los costes. Para este análisis se utilizarán especies pioneras del entorno minero de Riotinto, poniendo especial hincapié en mantener y fomentar la microbiota bacteriana asociada a las raíces de estas plantas y que parece tener un papel determinante en su adaptación a entornos de esas características.

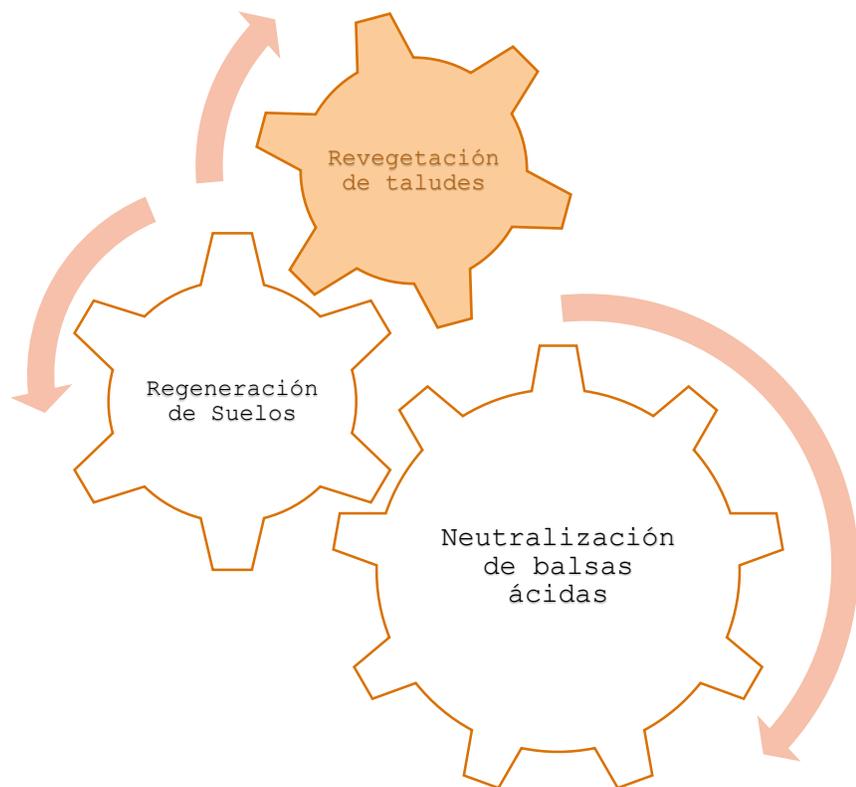


*Área destinada al ensayo de plantas adaptadas a entornos mineros, Campos Experimentales del Grupo TAR.
C.E. Blanco White, Sevilla.*

3 CONCLUSIONES PREVISTAS

Se pretende desarrollar un conocimiento profundo sobre diferentes soluciones de cara a alcanzar las condiciones edáficas que permitan el desarrollo de una vegetación que cumpla los objetivos de tapizar el suelo, iniciar y desarrollar procesos autogenos que favorezcan la sucesión ecológica hacia un estado de clímax y alcanzar un nivel de biodiversidad suficiente. Concretamente se pretende conocer que enmiendas deben realizarse a suelos mineros de modo que se alcance la mayor eficiencia económica y ecológica, siempre desde criterios de viabilidad técnica y seguridad.

3 ENSAYO DE REVEGETACIÓN DE TALUDES



1 FUNDAMENTO

Considerando la peligrosidad sobre la salud pública de los gases sulfúricos que se forman por la oxidación de los vapores de aguas ácidas producidos en las épocas de más calor y de las partículas en suspensión de los taludes y escombreras ligados a la balsa, se propone estudiar la cobertura de la superficie de los taludes mediante una revegetación progresiva desde los sustratos herbáceos hasta las especies de mayor porte que las condiciones del terreno permitan. Esta intervención es además necesaria para evitar aporte de partículas desde los taludes a la balsa, el cual podría afectar al proceso de neutralización de ésta.

Por tanto, el objetivo del ensayo es determinar el conjunto de especies tapizantes que optimicen la revegetación de los taludes, reduciendo el tiempo para alcanzar un nivel de cobertura que minimice la erosión sin comprometer el posterior asentamiento, espontáneo o como posterior fase contemplada en el propio proyecto de intervención, de otras especies que aseguren una adecuada biodiversidad del entorno así como sus valores autogénicos.

En la recuperación del suelo fértil de los taludes se plantea la utilización de residuos revalorizados, reduciendo el impacto su incorrecta gestión podría generar, así como los costes de la intervención en el entorno minero, siempre desde criterios de viabilidad técnica y funcionalidad que los ensayos propuestos pretenden evidenciar:

- Enmiendas calizas a partir de la revalorización de diferentes residuos ricos en calcio, desarrolladas en paralelo al ensayo anterior.
- Compost de RSU, inapropiado cuando existe laboreo intensivo del terreno, por ejemplo en suelos de uso agrícola, pero funcional en revegetaciones forestales y paisajísticas, como pretende poner en discusión este proyecto de investigación.

2 DESARROLLO EXPERIMENTAL

Se determinará la combinación de especies vegetales más idónea para cada una de las actuaciones de contención y estabilización de taludes más frecuentes:

- Gaviones de piedra y malla: en las zonas de mayor inestabilidad de los taludes y en su tramo final, ésta es la solución técnica que suele adoptarse. Para este tipo de medida, se experimentará el uso de plantas aromáticas propias del monte mediterráneo. Inicialmente se han seleccionado este tipo de especies por su capacidad de enraizamiento profundo gracias a su raíz pivotante, su rusticidad y por ser repelentes de mosquitos, los cuales pueden proliferar indeseablemente en la masa de agua de la balsa naturalizada.
- Aterrazamiento mediante estructuras auxiliares biodegradables (troncos y estacas): para pendientes suaves o que puedan remodelarse con cierta facilidad se propone una mezcla de especies pioneras muy competitivas como jaras y brezos autóctonos en combinación con leguminosas y gramíneas con un elevado IC (mide su capacidad de implementarse exitosamente en el terreno) y que tengan capacidad tapizante.
- Plantación en huecos de obra: esta medida, que propone el Grupo TAR, se basa en la plantación en huecos generados mediante en el terreno sobre los que se aplicará la enmienda (para reducir

los costes de aplicarla sobre todo el terreno) y se plantarán especies tapizantes y pioneras, para determinar si son capaces de colonizar toda la superficie del tapiz.



Ensayo con aromáticas y área de ensayo de gaviones, Campos Experimentales del Grupo TAR. C.E. Blanco White, Sevilla.

3 CONCLUSIONES PREVISTAS

A partir de las conclusiones alcanzadas con el desarrollo experimental realizado sobre aguas ácidas y suelos mineros, se pretende seleccionar la combinación de especies vegetales que, bien sobre suelos corregidos o bien directamente sobre suelo minero degradado, sean capaces de conseguir un tapizado lo más rápido y estable posible.

Alcanzar este resultado es esencial ya que la correcta revegetación de los taludes es un paso previo y esencial para garantizar la correcta naturalización de la balsa, en la que no deben existir aportes considerables de metales una vez iniciada la neutralización de sus aguas. Así mismo, se reducen los riesgos de enfermedades respiratorias de trabajadores y poblaciones cercanas que se producen por la inhalación de partículas de polvo desprendidas mediante erosión eólica de los suelos desnudos mineros.

4 PROPUESTAS ADICIONALES

1 AZNALCÓLLAR EN EL CONTEXTO DEL CORREDOR VERDE DEL GUADIAMAR

El Río Guadimar, o *príncipe de los ríos* como lo llamaban los árabes, es uno de los últimos grandes afluentes que descargan sus aguas al Río Guadalquivir. La importancia ecológica del Guadimar es patente debido a numerosos valores ambientales, siendo su cuenca en 2003 declarada *Paisaje Protegido el Corredor Verde del Guadimar* y pasando a formar parte de la Red de Espacios Naturales Protegidos de Andalucía (RENPA). En el tramo alto, comprendido en su totalidad en Sierra Morena, se mantienen dehesas de encinas y alcornoques que dan cobijo a buitres y cigüeñas negras, estas últimas declaradas en peligro de extinción. En algunas zonas se mantiene la flora propia de los cauces fluviales; bosques de galería con vegetación arbustiva como adelfas, jaras y tamujares que acogen a colonias de nutrias. Debido a su localización estratégica, el Guadimar constituye un importante nexo de unión entre dos de los grandes Parques Naturales de España: Sierra Morena y Doñana, ambos declarados reservas de la biosfera por la UNESCO. Este hecho refuerza la vocación del Guadimar como corredor ecológico entre los medios naturales de la sierra y el litoral, haciéndose evidente su importancia en el estado de salud de sistemas naturales situados fuera de los límites de la propia cuenca (Cuevas, P.; 2012).



Tres Ámbitos o Paisajes de la Cuenca del Guadimar. Cuevas, 2012.

En este contexto, resulta vital que las actividades de recuperación de las balsas y del entorno minero de Aznalcóllar, situadas dentro del propio Corredor del Guadimar, vayan más allá de la mera restauración y revegetación, vinculándose a la dinámica del propio espacio protegido y contribuyendo a incrementar la biodiversidad y los valores ecológicos y sociales de un espacio mayor que el que ocupará la propia explotación minera. En este sentido, se proponen actuaciones que propicien la progresiva colonización de especies emblemáticas de esta región, en clara regresión por la destrucción de su espacio y la falta de conectividad en poblaciones. Concretamente, y buscando el denominado “efecto paraguas”, e los siguientes epígrafes centraremos nuestra atención en especies tales como el lince ibérico o las aves esteparias, que gozan de programas de protección a nivel europeo: LIFE-Lince y LIFE-Esteparias.

2 PROGRAMA LIFE-LINCE IBÉRICO



Según el proyecto LIFE-Lince, el Lince ibérico (*Lynx pardinus*) es uno de los carnívoros más amenazados del mundo (UICN), encontrándose al máximo nivel de protección que las legislaciones internacional, nacional y regional establecen. Es, junto con el visón europeo, el único carnívoro endémico de Europa, de ahí la gran responsabilidad europea de su conservación, recayendo ésta en España por contener la mayor parte del área de distribución y en Andalucía, por contener, según las estimas más recientes el 75% de su población (Consejería de Medio Ambiente, 2002).

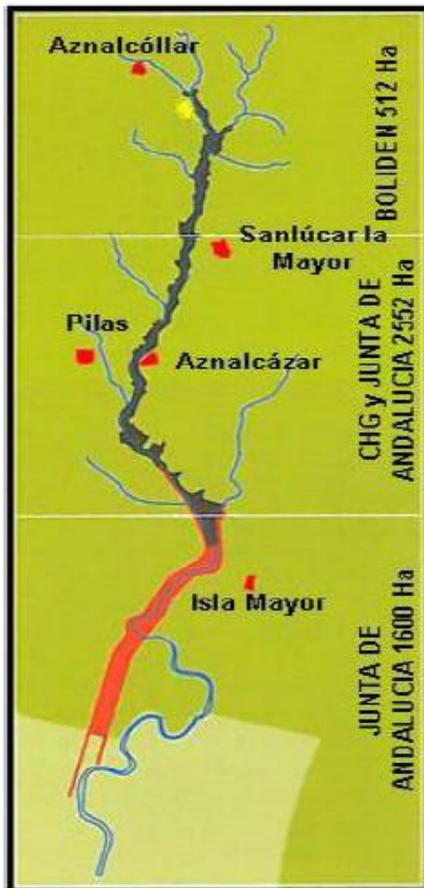
La población de este felino ha sufrido una regresión muy importante, habiendo desaparecido de gran parte del área de distribución de 1990. Las únicas poblaciones andaluzas viables existentes en la actualidad son Andújar-Cardena y Doñana. El principal motivo de la regresión del lince es la falta de conejo de monte, por lo que parece necesario lograr que dentro de su hábitat, potencial o actual, este herbívoro alcance unos mínimos poblacionales. Además, otras rapaces amenazadas, como el águila perdicera y el águila imperial, también basan su alimentación en el conejo de monte. (Consejería de Medio Ambiente, 2002; Gil Sánchez, 2014; San Miguel Ayanz, 2006).

Considerando la proximidad de de la mina de Aznalcóllar a potenciales zonas de tránsito de lince dentro del Corredor Verde del Guadiamar, se plantea la generación de espacios que propicien el desarrollo de poblaciones estables de conejos y previsiblemente, el tránsito de lince. Según el Manual para la Gestión del Hábitat del Lince (San Miguel Ayanz, 2002), la gestión que debe efectuarse en estos espacios se basa fundamentalmente en las actuaciones de manejo del hábitat, especialmente aquellas que ponen a disposición del conejo alimento abundante de calidad, bien mediante la gestión de pastos herbáceos, de cultivos, de suelos o mediante la instalación de comederos. Por otro lado, para mantener elevadas densidades de conejo en ambientes mediterráneos también se requiere de una buena gestión del agua, que se aporta mediante charcas o bebederos. Además, la diversidad de ambientes favorece al conejo, aumentando además las posibilidades de éxito de la nidificación de muchas aves como las perdices y mejorando las condiciones de hábitat del lince; entre las medidas más frecuentes están la recuperación de la vegetación propia de lindes, herrizas, ribazos, sotos y setos (San Miguel Ayanz, 2006).

Las propuestas anteriores han resultado exitosas en áreas de densidad media a alta; donde la densidad de conejos es baja y su presencia se torna discontinua, la recuperación natural de las poblaciones puede resultar imposible, impidiendo además la aparición de predadores especialistas como el lince. Para lograr que las poblaciones de conejo jueguen un papel ecológico relevante en estos espacios será necesario reintroducirlos; el objetivo es la creación de un núcleo de alta densidad de conejos que primero se auto-mantenga en tiempo y lugar y posteriormente comience la expansión y recolonización. Las repoblaciones siempre deben ir acompañadas por mejoras de hábitat.



Imágenes obtenidas a partir de cámaras trampa de infrarrojos de un mismo bebedero de en las que se puede comprobar la eficacia para atraer tanto conejos como los propios lincees (San Miguel Ayanz, 2006)



Zona donde se prevé ubicar el centro de control de aguas y la zona de gestión de poblaciones de conejos.

Es también recomendable el mantenimiento futuro de las actuaciones, asegurando un presupuesto posterior a la suelta para, por ejemplo, los aportes de comida y agua (San Miguel Ayanz, 2006).

En vista de lo anterior, observamos que los condicionantes de las áreas donde se quiere potenciar las poblaciones de conejos requieren un mantenimiento continuo. Considerando además que dentro del plan de vigilancia ambiental de la explotación minera se recoge la toma de muestras aguas debajo de la explotación, se plantea crear unas instalaciones, situadas entre los términos municipales de Aznalcóllar y Aznalcázar, que actúen como laboratorio de control continuo de aguas y a la vez como centro de gestión de zonas que propicien el desarrollo de poblaciones estables de conejos, las cuales se situarán en un área relativamente próxima a estas instalaciones.

Se generará así un espacio polivalente de gestión, análisis e investigación in situ que favorecerá una toma de decisiones más rápida y eficiente, actuando además como un nuevo y activo nodo del Corredor Verde del Guadiamar que propicie las condiciones óptimas para favorecer el tránsito de lincees.

3 PROGRAMA LIFE-ESTEPARIAS



La avifauna de los ambientes esteparios tiene una notable singularidad en el contexto de la Unión Europea. La reducida representación territorial que tienen estos medios y la composición de sus comunidades, con una elevada proporción de elementos exclusivos, les confiere una gran originalidad y rareza. El Libro Rojo de los Vertebrados Amenazados de Andalucía indica que el 82% de las aves esteparias no paseriformes y el 43% de los paseriformes están catalogadas con algún nivel de riesgo en Andalucía. (Consejería de Medio Ambiente, 2010).

Según las recomendaciones recogidas en el artículo de la edición de *QUERCUS* de octubre de 2014 (Carrascal; Rey; Sánchez-Oliver; 2014), las plantaciones forestales que suelen realizarse no contribuyen a incrementar la biodiversidad de aves debido a su pequeño tamaño, su baja madurez ecológica y su simplicidad estructural; tales factores, unidos a que muchas aves esteparias

mediterráneas prefieren matorral esclerófilo y bosques abiertos o adeshados, hace que la colonización resulte complicada, tanto para las aves esteparias como para aquellas forestales que cabría esperar que se asentaran en un territorio donde se ha realizado una reforestación. Por este motivo, en muchos casos, las plantaciones forestales en terrenos agrícolas promovidas por la PAC han fracasado en su objetivo de promover la biodiversidad.

Para evitar que la actuación de revegetación propuesta no incurra en los mismos resultados negativos que estas reforestaciones en terrenos agrícolas, se propone incluir marcos de plantación heterogéneos, dando una gran prioridad a las formaciones de matorral frente a las plantaciones forestales densas, huyendo de las grandes masas homogéneas de predominio de coníferas tales como *Pinus halepensis*. Bajo este planteamiento se pretende alcanzar un paisaje heterogéneo, formado por un mosaico de masas de matorrales y setos, donde aparecen árboles dispersos sobre una matriz mayoritariamente de herbáceas.

Este hábitat además es idóneo para la proliferación de poblaciones de conejos y lince, por lo que es coherente con la actuación descrita en el apartado anterior.



Sierra de Baza, como ejemplo de paisaje mediterráneo con predominio de praderas y matorral. FOTO: Eduardo Escoriza

5 REFERENCIAS

REFERENCIAS

- Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. (2002) *Recuperación de las poblaciones de Lince Ibérico en Andalucía*. LIFE02 NAT/E/8609. Junta de Andalucía. Consultado el 8 de octubre de 2014 en:
http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/web/temas_ambientales/asuntos_europeos_nuevo/programas_europeos/life/proyectos_finalizados/fichas_tecnicas/2012ficha_web_Lince02.pdf
- Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía (2005). *La restauración ecológica de la Marisma de Entremuros (Espacio Natural Doñana)*. Consultado el 8 de octubre de 2014 en:
http://www.academia.edu/5230251/La_restauracion_ecologica_de_la_Marisma_de_Entremuros_Espacio_Natural_Donana
- Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía (2010). Proyecto LIFE-Esteparias. Junta de Andalucía. Consultado el 8 de octubre de 2014 en:
<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.7e1cf46ddf59bb227a9e9e205510e1ca/?vgnnextoid=feb3855b92a3a210VgnVCM1000001325e50aRCRD&vgnnextchannel=553e2d169e864410VgnVCM2000000624e50aRCRD>
- Cuevas Asencio, P.; Martín Ramírez, J.M. (Coord.) (2012) *Estudio del Impacto de la Actividad Humana en la calidad de las aguas superficiales en la cuenca Aluvial del río Guadiamar*. Universidad Pablo de Olavide.
- El País (2013). *Aznalcóllar mira otra vez a la mina*. Sevilla, 20 JUL 2013. Consultado el 7 de octubre de 2014 en: http://ccaa.elpais.com/ccaa/2013/07/20/andalucia/1374330749_442666.html
- Gil Sánchez, J.M. (2014). La conservación del Lince Ibérico está en un asituación in extremis. Andalucía, 6 de febrero de 2014. ABC. Consultado el 8 de octubre de 2014 en: <http://sevilla.abc.es/andalucia/20140206/sevi-extincion-lince-iberico-andalucia-201402061207.html>
- Grupo TAR. (1998) *Vertidos tóxicos al río Guadiamar. Propuestas técnicas para su corrección*. Diputación de Sevilla. Consultado el 7 de octubre de 2014 en:
http://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/10782/mod_resource/content/1/vertidos%20guadiamar.pdf
- Grupo TAR (2004). *Estudio medioambiental en Nerva*. Ayuntamiento de Nerva. Consultado el 7 de octubre de 2014 en:
http://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/9756/mod_resource/content/2/nerva.estudioambiental.pdf
- Grupo TAR; Junta de Andalucía (2010). Proyecto Básico gestión del agua de consumo y del saneamiento y depuración en viviendas unifamiliares aisladas y aglomeraciones urbanas de baja densidad, poblaciones de casas de una sola altura a lo largo de una calle. Consultado el 7 de octubre de 2014 en:
http://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/3618/mod_resource/content/0/comaproye.pdf
- Grupo TAR; Mazetas, Soc. Coop. Andaluza (2013). *Memoria de la actuación para la mejora de jardines en GEOLIT. Naturalización del Estanque Central*. Ayuntamiento de Menjíbar (Jaén). Consultado el 7 de octubre de 2014 en:
http://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/9868/mod_resource/content/2/NATURALIZACION%CC%81N%20ESTANQUE2_MAZETAS%20OSCA.pdf

- Carrascal de la Puente, L.M.; Rey Benayas, J.M.; Sánchez-Oliver, J.S. (2014). *¿Cómo afectan a las aves las plantaciones forestales en tierras agrícolas?* QUERCUS, Cuaderno 344, octubre de 2014.
- San Miguel Ayanz, A. (Coord.) (2006). *Manual para la gestión del hábitat del lince ibérico (Lynx pardinus) y de su presa principal, el conejo de monte (Oryctolagus cuniculus)*. Fundación CBD-Habitat. Consultado el 8 de octubre de 2014 en: http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=Manual_LinceIberico.pdf
- *Society for Ecological Restoration (SER) International*, Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas. 2004. Principios de SER International sobre la restauración ecológica. www.ser.org y Tucson: *Society for Ecological Restoration International*. Consultado el 1 de octubre de 2014 en <http://www.ser.org/docs/default-document-library/spanish.pdf>