

VII. ESTUDIO DE LAS CONDICIONES DEL SUELO

1. REPOBLACIÓN DE LAS BALSAS ÁCIDAS.
2. ACTIVIDAD MINERA.
 - 2.1. Antecedentes.
 - 2.2. Impactos Mineros.
3. REPOBLACIÓN DE LA CUENCA MINERA.
 - 3.1. Restauración.
 - 3.2. Zona a Restaurar.
 - 3.3. Actuaciones Realizadas.
4. ANÁLISIS DE SUELOS.
 - 4.1. Análisis de Suelos de la Balsa Ácida.
 - 4.1.1. Análisis de Suelos de la Balsa Ácida 0 – 30 cm.
 - 4.1.1.1. Enmienda Orgánica.
 - 4.1.1.2. Enmienda Caliza.
 - 4.1.2. Análisis de Suelos de la Balsa Ácida 30 – 60 cm.
 - 4.2. Análisis de Suelos del Cerro del Moro.
 - 4.2.1. Análisis de Suelos del Cerro del Moro 0 – 30 cm.
 - 4.2.1.1. Enmienda Orgánica.
 - 4.2.1.2. Enmienda Caliza.
 - 4.2.2. Análisis de Suelos del Cerro del Moro 30 – 60 cm.
 - 4.3. Análisis de Suelos del Río Tinto a su paso por Nerva.
 - 4.3.1. Análisis de Suelos del Río Tinto por Nerva 0 30 cm.
 - 4.3.1.1. Enmienda Orgánica.
 - 4.3.1.2. Enmienda Caliza.
 - 4.3.2. Análisis de suelos del Río Tinto por Nerva 30 – 60 cm.
5. PROCESOS DE RESTAURACIÓN.
 - 5.1. Suelo.
 - 5.2. Medidas correctoras.
 - 5.3. Actuaciones a Corto Plazo.
 - 5.4. Bioindicadores.
 - 5.5. Conclusión.

1. REPOBLACIÓN DE LAS BALSAS ÁCIDAS.

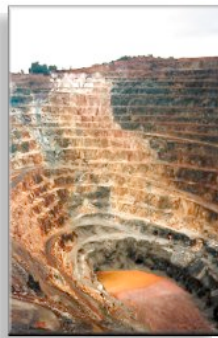
El estudio de las condiciones del suelo, se ha basado de manera preliminar en la planificación de métodos de recuperación y restauración del entorno natural de Nerva, buscando el sistema más apropiado de regeneración del conjunto minero y los suelos ácidos que conforman la zona.

2. ACTIVIDAD MINERA.

2.1. Antecedentes.

Una de las actividades más antiguas realizadas por el hombre ha sido la minería, cuya evolución se ha producido de manera paralela a los avances de la humanidad.

La explotación superficial o a cielo abierto.- Ofrece un mayor impacto en el medio ambiente. En este grupo se incluyen las canteras de materiales para construcción y rocas ornamentales y de áridos para carreteras.



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.

2.2. Impactos mineros.

Los impactos ambientales producidos por las minas se dividen en: atmosféricos, paisajísticos, hidrológicos, edáficos, faunísticos y florísticos.



Atmosféricos.

- Contaminación por emisión de partículas sólidas, gases y ruidos.
- Las partículas sólidas se producen en las aperturas de huecos (voladuras) y transporte de menas y estériles (parte del subsuelo que no contiene material explotable), fundamentalmente. Solamente son molestas para personas con problemas respiratorios y para los árboles.

Para paliar este impacto, se debe tener la zona en estado ligeramente húmedo. Para ello se ha de proceder a una revegetación rápida de las zonas que se abandonan las actividades de forma permanente o temporal y la formación de pantallas arbóreas que capten el polvo en las proximidades de los focos de producción.

- Gases, generalmente compuestos de azufre, que se advierten fundamentalmente en las explotaciones abandonadas.

Paisajísticos.

Debidos a la modificación de las formas naturales del terreno, apareciendo pendientes muy pronunciadas e incluso una gran frecuencia de paredes verticales, así como la destrucción o profunda modificación de la cobertura vegetal.



Un cambio de coloración, frecuentemente hacia tonos más rojizos, causados por una más intensa oxidación que la que presentan los suelos de la zona.

El arranque de considerables volúmenes de materiales estériles obliga a la acumulación con la correspondiente ocupación de terrenos y afeamientos del paisaje. Estos materiales son inestables por su falta de cohesión, lo que les expone fácilmente a la erosión y arrastre por las aguas y por el aire.

Las medidas a tomar para la restauración de las formas y colores propios del paisaje es implantando una cobertura vegetal estable, cuando sea muy difícil o imposible por lo accidentado del terreno, son útiles las pantallas arbóreas, enredaderas etc.

Hidrológicos.

Las actividades mineras llevan consigo una modificación de los cauces. Producen importantes cambios en el balance de agua entre infiltración y escorrentía debido a la modificación del suelo y vegetación que lleva consigo una mayor capacidad erosiva y que son responsables de los paisajes descarnados y con una morfogénesis específica.

Las escombreras se convierten en peligrosos focos de contaminación para las aguas superficiales y subterráneas, produciéndose pérdida de su calidad por procesos de salinización, alcalinización, incremento de la turbidez, concentraciones anómalas de metales pesados, Al, As, S, etc., debido a que modifican las condiciones de pH, Eh y conductividad de las aguas con su consiguiente influencia sobre la solubilidad de muchos elementos y, especialmente, de los de carácter metálico.



Faunísticos y florísticos.

Los impactos más importantes son debidos a la eliminación o alteración de los hábitats de muchas especies, la ruptura de las cadenas tróficas, así como la introducción de sustancias nocivas en la biosfera. Las medidas a tomar pasan por la regeneración de la calidad de la atmósfera y, sobre todo, de los suelos y aguas de modo que pueda instalarse la vegetación.

Edafológicos.

Es donde los impactos son más notorios. 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:

- 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.

3. REPOBLACIÓN DE LA CUENCA MINERA.

3.1. Restauración.

La definición de restauración en sentido estricto, implica reproducir las condiciones exactas anteriores a la explotación, después que esta concluya. Debido a que muchos valores son perdidos de manera irreversible (por ejemplo, los minerales extraídos), la restauración completa es prácticamente imposible. Más realista es contemplar el término restaurar como sinónimo de recuperar.

- Recuperación. Se trata de que el lugar afectado sea modificado mediante diferentes técnicas, de modo que se vuelva habitable a organismos originalmente presentes en el área, u otros organismos cercanos a los originales.

- Rehabilitación. Es una modificación del espacio minero, de forma que vuelva a ser rentable, para algunos de los tipos de uso aunque sean distintos a los anteriores a la explotación minera.

En el contexto de la minería de superficie, el término de rehabilitación es más adecuado que el de restauración o recuperación, no obstante el término de restauración es el recogido por la legislación y es el que mantendremos.

- La restauración incluye, por tanto todos los aspectos del medio ambiente y engloba a un plan integrado de distintas disciplinas: botánica, edafología, hidrología, geología, etc.

El Plan de Restauración debe estar basado en el conocimiento de los impactos existentes del material a restaurar, así como de todos los elementos o factores naturales y antrópicos que puedan afectar al proceso de restauración

3.2. Zona a Restaurar

Una vez conocido la situación topográfica al igual que su localización geográfica del pueblo observamos:

- Dos zonas las cuales necesitan una reforestación rápida y las cuales se encuentran en:

Las balsas ácidas, situada cerca del instituto.

En el río Tinto, la zona a reforestar linda al Norte con la carretera Nerva y zona montañosa, al Este con el malacote cercano al cementerio y al Sur con el pueblo.

- Otra zona a tener en consideración es el cerro del Moro, aunque este esta reforestado desde 1993 nos encontramos que la reforestación no ha tenido mucho éxito en comparación con otras zonas. En esta zona intentaremos conocer el porqué ha tenido poco éxito la reforestación y cuales sería las soluciones que se pudieran adoptar y cual sería la más factible.

Por otra parte comentar el porqué de las zonas a reforestar. Estas dos zonas a reforestar son más importantes por la siguiente causa:

- Están cercana a la zona minera.

- La dirección del viento es Noroeste-Sureste entrando por la cuenca minera hasta llegar al pueblo, por lo que el viento lleva material desde la cuenca hasta el pueblo llevando hierro, manganeso, etc.

Estas dos causas son las dos premisas más importantes por las cuales nos basamos para reforestar estas dos zonas

Una vez obtenido suelo de las dos zonas a reforestar se llevará a cabo los análisis pertinentes y con ellos daremos las distintas soluciones y cual es la mejor.

3.3. Actuaciones Realizadas.

Para ello haremos una serie de análisis al suelo de las zonas a reforestar. Esta recogida de suelo se ha realizado con una barrena con la cual perforamos el suelo obteniendo substratos de las distintas zonas.

La barrena, la cual hemos utilizados para obtener los distintos perfiles del suelo está constituida por un tubo hueco de hierro de 2" de diámetro, 2.5 mm de grosor y una altura de 1.5 m. la cual tiene señalada la altura de 0-30 y 30-60 cm. a la cual se intentará obtener los distintos perfiles de suelo. Esta barrena irá penetrando en el suelo ejerciendo una presión en su extremo superior viéndose poco a poco la estructura del suelo sin alterarse por lo que podemos observar la coloración y propiedades de los distintos perfiles.

Con esta barrena se han obtenido diversos sedimentos indicándonos una gran heterogeneidad en los suelos obtenidos en las distintas zonas a estudiar.

A primera vista de los distintos tipos de suelo vemos muy poca compactación por lo que nos indica que tiene poca materia orgánica, a su vez podemos observar a través del color del suelo obtenido los posibles elementos que podemos encontrar en el suelo. Así por ejemplo nos encontramos lo siguiente:

En la zona del instituto nos encontramos un color grisáceo en unas zonas por lo que nos podemos encontrar hierro ferroso (en la zona por donde corre el arroyo) por otra parte nos encontramos lugares con un color marrón ocre indicándonos que hay un posible óxido férrico.

En la segunda zona, la cual está cercana al río Tinto nos encontramos con colores cercano al marrón-ocre indicándonos al igual que antes un medio oxidante hidratado.

Otra de las características que podemos observar in situ es la poca profundidad de los suelos de las zonas del instituto encontrándonos rápidamente en pocos centímetros con roca, esto ha sido causado por una erosión paulatina del medio, por lo que nos podemos encontrar con un suelo poco fértil.

4. ANÁLISIS DE SUELOS.

Para el estudio del suelo tendremos que tener en cuenta los siguientes factores:

- pH y C.E.
- Materia Orgánica.
- Na⁺ y K⁺
- Fósforo.

4.1. ANÁLISIS DEL SUELO DE LA Balsa ÁCIDA.

4.1.1. Análisis del suelo de la Balsa Ácida 0 – 30 cm.

ANÁLISIS DE SUELO

<i>ANÁLISIS FÍSICO</i>	
ARENA	99.33 %
LIMO	0.66 %
ARCILLA	0.0 %
<i>ANÁLISIS QUÍMICO</i>	
pH	2.42
C.E.	5.45 mS
M.O. oxidable (%)	0
N	0
Relación C/N	0
P (Bray-Kurtz)	10.63 ppm
K ⁺ _{Asimilable}	1.569 ppm
Na ⁺ _{Asimilable}	12.63 ppm

INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS DEL SUELO

ANÁLISIS FÍSICO

ARENA	94.25%
LIMO	5.75%

Según la clasificación U.S.D.A. la textura del suelo es arenosa. La textura de un suelo va a condicionar su aptitud para uso y el manejo que el suelo debe recibir para un adecuado uso agrícola. Los suelos arenoso son por lo general suelos más sueltos desde el punto de vista de su manejo con lo que probablemente pueden recibir labores más ligeras por lo que son

precisas máquinas menos potentes. Por otra parte un suelo arenoso puede tener debilidad estructural (costras superficiales) que aconsejen labores específicas o incluso puede existir cementación. En caso de debilidad estructural es importante aumentar el contenido en sustancias agregantes (materia orgánica) y observar la composición del complejo de cambio por si resulta interesante el porcentaje de Ca^{2+} cambiante.

Para la textura Arenosa:

Densidad Aparente (T/m^3)	1.65
Capacidad de campo (% peso)	38
Punto de marchitez (% peso)	9

- PESO DE UNA HECTÁREA

<i>Hectárea x profundidad x Densidad aparente</i>
$P/\text{Ha} = 10000 \times 0.3 \times 1.65 = 4950 \text{ Tn/Has}$

- CAPACIDAD DE CAMPO

<i>C.C. = P/Ha x C.C.</i>
$C.C. = 4950 \times 38/100$
$C.C. = 1881 \text{ m}^3/\text{Ha}$

Esta es la máxima cantidad de agua que puede almacenar nuestro suelo a una profundidad de 60 cm.

- PUNTO DE MARCHITEZ

Humedad equivalente a 15 atmósferas.

<i>P.M. = P/Ha x P.M.</i>
$P.M. = 4950 \times 9/100$
$P.M. = 445.5 \text{ m}^3/\text{Ha}$

Este nivel corresponde al nivel de humedad en el que la planta es incapaz de absorber agua del suelo, esto es debido a la fuerza con que está retenida el agua al suelo.

Por tanto el agua útil para nuestro perfil será el volumen a capacidad de campo menos el volumen del punto de marchitez.

$A.U. = C.C. - P.M.$
$A.U. = 1881 - 445$
$A.U. = 1435.5 \text{ m}^3/\text{Ha}$

- **DOSIS PRÁCTICA**

La dosis práctica viene determinada a través de la capacidad de campo y punto de marchitez en volumen y la altura en mm. Para ello calcularemos el volumen de la capacidad de campo y punto de marchitez.

$\% \text{ Vol. (C.C.)} = \% \text{ Peso} \times \text{Densidad aparente}$
$\% \text{ Vol.} = 38 \times 1.65$
$\% \text{ Vol.} = 62.7 \%$

$\% \text{ Vol. (P.M.)} = \% \text{ Peso} \times \text{Densidad aparente}$
$\% \text{ Vol. (P.M.)} = 9 \times 1.65$
$\% \text{ Vol.} = 14.85 \%$

Por tanto la dosis práctica será la siguiente:

$D.p. = h \text{ (mm)} \times (C.C. \% - P.M. \%)$
$D.p. = 300 \times (62.7 - 14.85)/100$
$D.p. = 143.55 \text{ mm.}$

MATERIA ORGÁNICA

El contenido de M.O. oxidable de nuestro análisis es despreciable.

Tradicionalmente se emplea el pH y el nivel de arcilla para valorar el contenido de M.O., en nuestro caso en el mínimo ya que para un suelo Arenoso la M.O. debe estar en torno al 1 % en suelos no cultivados, por lo que haremos una enmienda orgánica.

FÓSFORO

En este caso, el fósforo viene dado como fósforo asimilable por el método Bray-Kurtz, este valor es de 10.63 ppm. El nivel es bastante bajo por lo que debería de ser mejorado.

POTASIO

El potasio asimilable es de 1.52 ppm.

Según los datos del análisis del suelo podemos decir que el nivel de potasio está muy bajo con lo que tendremos que realizar abonados al igual en fósforo.

4.1.1.1. Enmienda Orgánica.

La materia orgánica total que tenemos es despreciable y queremos subir hasta un 1 %.

- Calcularemos ahora el contenido de M.O. en 1 Ha.

<i>Peso de 1 Ha = Ha x D. aparente x Profundidad</i>
Peso de 1 Ha = 10000 x 1.65 x 0.3
Peso de 1 Ha = 4950 Tn/ Ha.

- Por lo que el contenido de M.O. es de $\approx 0\%$
- La cantidad de Humus que necesitamos es:

<i>Contenido óptimo de M.O. = Peso de 1 Ha x 1%</i>
Contenido óptimo de M.O. = 4950 x 1%
Contenido óptimo de M.O. = 49.5 Tn/Has = 49500 Kg/Has.

- Cantidad de Humus que necesitamos:

<i>Humus que necesitamos = Contenido óptimo – Contenido actual</i>
Humus que necesitamos = 49500 – 0
Humus que necesitamos = 49500 Kg/ Has.

La enmienda que vamos a hacer será utilizando estiércol de ovino.

$R_{to} = \% M.S. \times K_1$
$R_{to} = 0.25 \times 0.5$
$R_{to} = 0.125 = 12.5 \%$

Hemos aplicado ovino por su contenido alto en materia seca y valores apreciable de N, P y K con una relación de C/N que evita infecciones por parte de larva y huevos de insectos.

Con estos datos y sabiendo que la cantidad máxima de estiércol de ovino oscila entre los 40000 y 50000 Kg/Has en una sola aplicación en un suelo arenoso es de cada 3 años. En nuestro caso haremos esta aplicación en tres aportes, cada uno de ello de 16500 Kg/Has.

En toda enmienda hay que considerar, además de la entrada calculadas anteriormente, las salidas que se producen por la mineralización del humus como consecuencia de la actividad microbiana. Para hallar las salidas por mineralización del humus debemos conocer la tasa de mineralización anual del humus (K_2) y que en nuestro caso estamos en 1.5%.

- Cálculo del Humus. Cálculo del humus mineralizado procedente del humus aplicado en la 1ª aplicación:

Cantidad de humus que tenemos de la primera aplicación es igual a la cantidad de estiércol $\times 25\% \times k_1$, dándonos lo siguiente:

$$16500 \text{ Kg estiércol/Ha} \times 25\% \times 0.5 = 2062.5 \text{ Kg de humus/Ha.}$$

AÑO 0	$2062.5 \times 1.5\% = 30.9375 \text{ Kg mineralizado}$
AÑO 1	$2062.5 - 30.93375 = 2031.5625 \text{ Kg}$
	$2031.5625 \times 1.5\% = 30.4734 \text{ Kg mineralizado}$
AÑO 2	$2031.5625 - 30.4734 = 2001.089 \text{ Kg}$
	$2001.089 \times 1.5\% = 30.016 \text{ Kg mineralizado}$
AÑO 3	$2001.089 - 30.016 = 1971.072 \text{ Kg}$
	$1971.072 \times 1.5\% = 29.566 \text{ Kg mineralizado}$
AÑO 4	$1971.072 - 29.566 = 1941.250 \text{ Kg}$
	$1941.250 \times 1.5\% = 29.122 \text{ Kg mineralizado}$
AÑO 5	$1941.250 - 29.122 = 1912.1274 \text{ Kg}$
	$1912.1274 \times 1.5\% = 28.681 \text{ Kg mineralizado}$

<i>AÑO 6</i>	$1912.1274 - 28.681 = 1883.445 \text{ Kg}$
	$1883.445 \times 1.5\% = \mathbf{28.25 \text{ Kg mineralizado}}$

- Cálculo del Humus mineralizado procedente del humus aplicado en la 2ª aplicación.

<i>AÑO 0</i>	$2062.5 \times 1.5\% = 30.9375 \text{ Kg mineralizado}$
<i>AÑO 1</i>	$2062.5 - 30.93375 = 2031.5625 \text{ Kg}$
	$2031.5625 \times 1.5\% = 30.4734 \text{ Kg mineralizado}$
<i>AÑO 2</i>	$2031.5625 - 30.4734 = 2001.089 \text{ Kg}$
	$2001.089 \times 1.5\% = 30.016 \text{ Kg mineralizado}$
<i>AÑO 3</i>	$2001.089 - 30.016 = 1971.072 \text{ Kg}$

- Cálculo del Humus mineralizado procedente del humus aplicado en la 3ª aplicación.

$$AÑO 0 = 2062.5 \text{ Kg.}$$

Estas cantidades mineralizadas las tenemos que tener en cuenta para aportar la M.O. total que necesitamos.

$\Sigma \text{ Materia orgánica} = \text{Materia orgánica} + 1^{\text{a}} \text{ aplicación} + 2^{\text{a}} \text{ aplicación} + 3^{\text{a}} \text{ aplicación}$
$\Sigma \text{ Materia orgánica} = 0 + 1883.445 + 1971.072 + 2062.5 = 5917.017$

$\Sigma \text{ Humus mineralizado} = \text{Materia orgánica} + 1^{\text{a}} \text{ aplicación} + 2^{\text{a}} \text{ aplicación} + 3^{\text{a}} \text{ aplicación.}$
$\Sigma \text{ Humus mineralizado} = 0 + 207.0459 + 91.4269$
$\Sigma \text{ Humus mineralizado} = 298.4728 \text{ Kg}$

Por tanto la cantidad total de M.O. que necesitamos será la siguiente:

$$M.O. = 298.4728 / 25\% \times 0.5$$

$$M.O. = 596.9456 \text{ Kg}$$

Esta materia orgánica será repartida entre las tres aplicaciones añadiendo 198.981 Kg., por lo que finalmente se aportará 16698.98 Kg de estiércol en cada aportación.

4.1.1.2. Enmienda Caliza.

Como hemos podido observar, el pH que hemos obtenidos en los análisis de suelos pertinente observamos que el pH está muy por debajo del umbral a partir del cual puede vivir las plantas.

Para ello se corregirá a través de una enmienda caliza para la cual utilizaremos espuma de azucarera la cual tiene un 20 % CaCO_3 (Carbonato cálcico), además de contener materia orgánica, P_2O_5 , Nitrógeno, etc.

Por tanto para aumentar desde un pH de 2.58 a un pH 5 o cercano necesitaremos un total de:

Sabiendo que para el aumento de 2.42 en el pH para llegar a pH 5 es mucho menor, siendo de casi la mitad, que en el momento que nos encontramos un pH de 5.2 y queremos aumentar a 6.9, para ello utilizaremos la siguiente tabla.

pH	5	5.5	6	6.4	6.7	6.9
	-	0.1	0.3	0.6	0.8	0.1

Para 10 gr. de suelo, se necesitaría la siguiente cantidad:

Interpolando 0.3 ud. de pH 0.1
 0.2 ud. de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ x

$$x = \frac{0.2 \times 0.1}{0.3} = 0.06$$

0.3 ud. de pH 0.2 ud. $\text{Ca}(\text{OH})_2$
 0.1 ud. de pH x

x = 0.6

Por tanto de un pH de 5 a 6.5 necesitaríamos un total de $0.6 + 0.06 = 0.66 \text{ meq}/100 \text{ g}$.

1 meq $\text{Ca}(\text{OH})_2 / 74$, sabiendo que 1 meq equivale a 37, por tanto

$$0.66 \times 37 = 2.44$$

Por lo que para el peso de 1 Ha equivaldría a:

4950 10^3 Kg. x
 1 Kg. 2.44

$$x = 2.44 \times 4950 \times 10^3$$

$x = 12078$ Kg., pero estos 12078 Kg. serian para un 100% de Ca(OH)_2 pero al tener un 90% esta cantidad será un total de 13420 Kg., para Ca(OH)_2 , sin embargo nosotros tenemos en la espuma de azucarera CaCO_3 , por lo que en realidad tendremos que aplicar un total de :

Sabemos que 1.353 de CaCO_3 equivale a 1 de Ca(OH)_2 por lo que al final necesitamos un total de:

$$\begin{array}{r} 13420 \quad x \\ 1 \quad 1.353 \\ \hline \end{array}$$

$$x = 13420 \times 1.353$$

$x = 18157.26$, pero esto sería en un 100% de CaCO_3 sin embargo tenemos un total de 20%, dándonos una cantidad de 90786.3 Kg. de espuma de azucarera. Sin embargo como comentamos anteriormente se necesita la mitad por lo que necesitaríamos la cantidad total de 45393.15 Kg.

Tenemos que tener en cuenta que en la zona en la que vamos a utilizar este tipo de enmienda la salinidad esta bastante alta por lo que se aconseja que se utilice poco a poco y no hacerlo en una sola dosis, también es recomendable hacer análisis de suelo para saber como va evolucionando el suelo.

4.1.2. Análisis de Suelo de la Balsa Ácida 30-60 cm.

ANÁLISIS DE SUELO

<i>ANÁLISIS FÍSICO</i>	
ARENA	99.33 %
LIMO	0.66 %
ARCILLA	0.00 %
<i>ANÁLISIS QUÍMICO</i>	
pH	2.38
C.E.	5.45 mS
M.O. oxidable (%)	0
N	0
RELACION C/N	0
P (Bray-Kurtz)	10.63 ppm
K^+ asimilable	1.569 ppm
Na^+ asimilable	0.625 ppm

Al igual que el análisis anterior los resultados serán iguales, ya que los datos nos indican que pertenecen al mismo tipo de textura, y que tiene las mismas carencias.

4.2. ANÁLISIS DE SUELOS DEL CERRO DEL MORO.

4.2.1. Análisis de Suelos del Cerro del Moro 0-30 CM.

ANÁLISIS DE SUELO

<i>ANÁLISIS FÍSICO</i>	
ARENA	81.7 %
LIMO	16.12 %
ARCILLA	0%
<i>ANÁLISIS QUÍMICO</i>	
pH	4.43
C.E.	1.519 mS
M.O. oxidable (%)	1.34
N	0.02
RELACION C/N	6.09
P (Bray-Kurtz)	1.259 ppm
K ⁺ asimilable	1.519 ppm
Na ⁺ asimilable	0.549 ppm

INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS DEL SUELO

ANÁLISIS FÍSICO

ARENA	85.78%
LIMO	13.63%
ARCILLA	0.568%

Según la clasificación U.S.D.A. la textura del suelo es Franco-Arenosa. La textura de un suelo va a condicionar su aptitud para uso y el manejo que el suelo debe recibir para un adecuado uso agrícola. Los suelos franco-arenoso son por lo general suelos más sueltos desde el punto de vista de su manejo con lo que probablemente pueden recibir labores más ligeras por lo que son precisas máquinas menos potentes. Por otra parte un suelo franco-arenoso puede tener debilidad estructural (costras superficiales) que aconsejen labores específicas o incluso puede existir cementación. En caso de debilidad estructural es importante aumentar el contenido en sustancias agregantes (materia orgánica).

Para la textura Franco-Arenosa:

Densidad Aparente (T/m ³)	1.4
Capacidad de campo (% peso)	43
Punto de marchitez (% peso)	15

- PESO DE UNA HECTÁREA

<i>Hectárea x profundidad x Densidad aparente</i>
$P/Ha = 10000 \times 0.6 \times 1.4 = 8400 \text{ Tn/Has}$

- CAPACIDAD DE CAMPO

<i>C.C. = P/Ha x C.C.</i>
$C.C. = 8400 \times 43/100$
$C.C. = 3612 \text{ m}^3/\text{Ha}$

Esta es la máxima cantidad de agua que puede almacenar nuestro suelo a una profundidad de 60 cm.

- PUNTO DE MARCHITEZ

Humedad equivalente a 15 atmósferas.

<i>P.M. = P/Ha x P.M.</i>
$P.M. = 8400 \times 15/100$
$P.M. = 1260 \text{ m}^3/\text{Ha}$

Este nivel corresponde al nivel de humedad en el que la planta es incapaz de absorber agua del suelo, esto es debido a la fuerza con que está retenida el agua al suelo.

Por tanto el agua útil para nuestro perfil será el volumen a capacidad de campo menos el volumen del punto de marchitez.

<i>A.U. = C.C. - P.M.</i>
$A.U. = 3612 - 1260$
$A.U. = 2352 \text{ m}^3/\text{Ha}$

- DOSIS PRÁCTICA

La dosis práctica viene determinada a través de la capacidad de campo y punto de marchitez en volumen y la altura en mm. Para ello calcularemos el volumen de la capacidad de campo y punto de marchitez.

$\% \text{ Vol. (C.C.)} = \% \text{ Peso} \times \text{Densidad aparente}$
$\% \text{ Vol.} = 43 \times 1.4$
$\% \text{ Vol.} = 60.2 \%$

$\% \text{ Vol. (P.M.)} = \% \text{ Peso} \times \text{Densidad aparente}$
$\% \text{ Vol. (P.M.)} = 15 \times 1.4$
$\% \text{ Vol.} = 21 \%$

Por tanto la dosis práctica será la siguiente:

$D.p. = h \text{ (mm)} \times (C.C. \% - P.M. \%)$
$D.p. = 600 \times (60.2 - 21)/100$
$D.p. = 235.2 \text{ mm.}$

ANÁLISIS QUÍMICO

NITRÓGENO

El contenido de nitrógeno en nuestro suelo es de 0.11 %, lo cual es un contenido bueno.

Cálculo de Tm/Ha de N en el suelo.

$N = P/Ha \times N \%$
$N = 8400 \times 0.11 = 9.24 \text{ Tm/Ha.}$
$N = 9240 \text{ Kg/Ha.}$

MATERIA ORGÁNICA

El contenido de M.O. oxidable de nuestro análisis es de 1.25 %, por lo que procederemos a calcular la M.O. total.

$M.O.TOTAL = M.O.OXIDABLE / 0.77$
$M.O.TOTAL = 1.034 / 0.77$
$M.O.TOTAL = 1.342 \%$

Para una zona no cultivable y forestal este nivel de materia orgánica está bien por lo que se puede considerar no utilizar ningún tipo de enmienda orgánica.

RELACION C/N

Esta relación nos indica la actividad microbiana del suelo y la capacidad de este para liberar N asimilable. Nuestro valor de C/N es de 6.09. Este valor nos indica que no hay inmovilización.

CARBONO ORGÁNICO:

$CO \% = M.O.OXIDABLE \times 0.58$
$CO \% = 1.34 \times 0.58$
$CO \% = 0.772$

FÓSFORO

En este caso, el fósforo viene dado como fósforo asimilable por el método Bray-Kurtz, este valor es de 1.259 ppm. El nivel esta por debajo del nivel crítico, por lo que solo se hará un abonado de corrección.

POTASIO

El potasio asimilable es de 1.519 ppm.

Según los datos del análisis del suelo podemos decir que el nivel de potasio está muy por debajo del nivel crítico.

4.2.2. Análisis de Suelos del Cerro del Moro 30-60 cm.

ANÁLISIS DE SUELO

<i>ANÁLISIS FÍSICO</i>	
ARENA	81.7 %
LIMO	16.12 %
ARCILLA	0 %
<i>ANÁLISIS QUÍMICO</i>	
pH	3.52
C.E.	4.86 mS
M.O. oxidable (%)	1.34
N	0.02
RELACION C/N	6.09
P (Bray-Kurtz)	2.09 ppm
K ⁺ asimilable	1.36 ppm
Na ⁺ asimilable	1.214 ppm

Este tipo de análisis está dentro de los parámetros que el anterior, por tanto la se debería actuar de la misma manera.

4.3. ANÁLISIS DE SUELO DEL RÍO TINTO A SU PASO POR NERVA.

4.3.1. Análisis de Suelos del Río Tinto a su paso por Nerva 0-30 cm.

ANÁLISIS DE SUELO

<i>ANÁLISIS FÍSICO</i>	
ARENA	83.71 %
LIMO	16.12 %
ARCILLA	0.17 %
<i>ANÁLISIS QUÍMICO</i>	
pH	3.60
C.E.	1.268 mS
M.O. oxidable (%)	0
N	0
RELACION C/N	0
P (Bray-Kurtz)	0.339 ppm
K ⁺	1.60 ppm
Na ⁺	0.559 ppm

INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS DEL SUELO

ANÁLISIS FÍSICO

ARENA	83.71%
LIMO	16.12%
ARCILLA	0.17%

Según la clasificación U.S.D.A. la textura del suelo es Franco-Arenosa. La textura de un suelo va a condicionar su aptitud para uso y el manejo que el suelo debe recibir para un adecuado uso agrícola. Los suelos franco-arenoso son por lo general suelos más sueltos desde el punto de vista de su manejo con lo que probablemente pueden recibir labores más ligeras por lo que son precisas máquinas menos potentes. Por otra parte un suelo franco-arenoso puede tener debilidad estructural (costras superficiales) que aconsejen labores específicas o incluso puede existir cementación. En caso de debilidad estructural es importante aumentar el contenido en sustancias agregantes (materia orgánica).

Para la textura Franco-Arenosa:

Densidad Aparente (T/m ³)	1.4
Capacidad de campo (% peso)	43
Punto de marchitez (% peso)	15

- PESO DE UNA HECTÁREA.

<i>Hectárea x profundidad x Densidad aparente</i>
$P/Ha = 10000 \times 0.6 \times 1.4 = 8400 \text{ Tn/Has}$

- CAPACIDAD DE CAMPO

<i>C.C. = P/Ha x C.C.</i>
$C.C. = 8400 \times 43/100$
$C.C. = 3612 \text{ m}^3/\text{Ha}$

Esta es la máxima cantidad de agua que puede almacenar nuestro suelo a una profundidad de 60 cm.

- PUNTO DE MARCHITEZ

Humedad equivalente a 15 atmósferas.

$P.M. = P/Ha \times P.M.$
$P.M. = 8400 \times 15/100$
$P.M. = 1260 \text{ m}^3/\text{Ha}$

Este nivel corresponde al nivel de humedad en el que la planta es incapaz de absorber agua del suelo, esto es debido a la fuerza con que está retenida el agua al suelo.

Por tanto el agua útil para nuestro perfil será el volumen a capacidad de campo menos el volumen del punto de marchitez.

$A.U. = C.C. - P.M.$
$A.U. = 3612 - 1260$
$A.U. = 2352 \text{ m}^3/\text{Ha}$

- DOSIS PRÁCTICA

La dosis práctica viene determinada a través de la capacidad de campo y punto de marchitez en volumen y la altura en mm. Para ello calcularemos el volumen de la capacidad de campo y punto de marchitez.

$\% \text{ Vol. (C.C.)} = \% \text{ Peso} \times \text{Densidad aparente}$
$\% \text{ Vol.} = 43 \times 1.4$
$\% \text{ Vol.} = 60.2 \%$

$\% \text{ Vol. (P.M.)} = \% \text{ Peso} \times \text{Densidad aparente}$
$\% \text{ Vol. (P.M.)} = 15 \times 1.4$
$\% \text{ Vol.} = 21 \%$

Por tanto la dosis práctica será la siguiente:

$D.p. = h (mm) \times (C.C. \% - P.M. \%)$
$D.p. = 600 \times (60.2 - 21)/100$
$D.p. = 235.2 \text{ mm.}$

ANÁLISIS QUÍMICO

MATERIA ORGÁNICA

El contenido de M.O. oxidable es nulo por lo que deberemos aumentar el porcentaje al menos hasta 1 %.

FÓSFORO

En este caso, el fósforo viene dado como fósforo asimilable por el método Bray-Kurtz, este valor es de 0.339 ppm. El nivel está por debajo del nivel crítico, por lo que se utilizará la enmienda orgánica para aumentar la cantidad de fósforo.

POTASIO

El potasio asimilable es de 1.60 ppm. Según los datos del análisis del suelo podemos decir que el nivel de potasio está muy por debajo del óptimo.

4.3.1.1. Enmienda Orgánica.

La materia orgánica total que queremos obtener es de 1 % habrá que subir hasta un 2 %.

- Calcularemos ahora el contenido de M.O. en 1 Ha.

$Peso \text{ de } 1 \text{ Ha} = Ha \times D. \text{ aparente} \times Profundidad$
$Peso \text{ de } 1 \text{ Ha} = 10000 \times 1.4 \times 0.6$
$Peso \text{ de } 1 \text{ Ha} = 8400 \text{ Tn/ Ha.}$

- Por lo que el contenido de M.O. es de:

$Kg \text{ de M.O.} = \text{Peso de 1 Has} \times \text{M.O. } \%$
$Kg \text{ de M.O.} = 8400 \times 1 \%$
$Kg \text{ de M.O.} = 84 \text{ Tn/Has} = 84000 \text{ Kg/Has.}$

- La cantidad de Humus que necesitamos es:

$$84000 \text{ kg/Has}$$

Hemos aplicado ovino por su contenido alto en materia seca y valores apreciable de N, P y K con una relación de C/N que evita infecciones por parte de larva y huevos de insectos.

Con estos datos y sabiendo que la cantidad máxima de estiércol de ovino oscila entre los 40000 y 50000 Kg/Has en una sola aplicación en un suelo franco es de cada 3 años. En nuestro caso haremos esta aplicación en tres aportes, cada uno de ello de 28000 Kg/Has.

En toda enmienda hay que considerar, además de la entrada calculadas anteriormente, las salidas que se producen por la mineralización del humus como consecuencia de la actividad microbiana. Para hallar las salidas por mineralización del humus debemos conocer la tasa de mineralización anual del humus (K_2) y que en nuestro caso estamos en 1.5%.

- Cálculo del Humus. Cálculo del humus mineralizado procedente del humus aplicado en la 1ª aplicación:

Cantidad de humus que tenemos de la primera aplicación es igual a la cantidad de estiércol $\times 25\% \times k_1$, dándonos lo siguiente:

$$28000 \text{ Kg estiércol/Has} \times 25\% \times 0.5 = 3500 \text{ Kg de humus/Has.}$$

<i>AÑO 0</i>	$3500 \times 1.5\% = \mathbf{52.5 \text{ Kg mineralizado}}$
<i>AÑO 1</i>	$3500 - 52.5 = 3447.5 \text{ Kg}$
	$3447.5 \times 1.5\% = \mathbf{51.71 \text{ Kg mineralizado}}$
<i>AÑO 2</i>	$3447.5 - 51.71 = 3395.78 \text{ Kg}$
	$3395.78 \times 1.5\% = \mathbf{50.93 \text{ Kg mineralizado}}$
<i>AÑO 3</i>	$3395.78 - 50.93 = 3344.84 \text{ Kg}$
	$3344.84 \times 1.5\% = \mathbf{50.17 \text{ Kg mineralizado}}$
<i>AÑO 4</i>	$3344.84 - 50.17 = 3294.66 \text{ Kg}$
	$3294.66 \times 1.5\% = \mathbf{49.42 \text{ Kg mineralizado}}$
<i>AÑO 5</i>	$3294.66 - 49.42 = 3245.24 \text{ Kg}$
	$3245.24 \times 1.5\% = \mathbf{48.6786 \text{ Kg mineralizado}}$

AÑO 6	$3245.24 - 48.6786 = 3196.56 \text{ Kg}$
	$3196.56 \times 1.5\% = \mathbf{47.94 \text{ Kg mineralizado}}$

- Cálculo del Humus mineralizado procedente del humus aplicado en la 2ª aplicación.

AÑO 0	$3500 \times 1.5\% = \mathbf{52.5 \text{ Kg mineralizado}}$
AÑO 1	$3500 - 52.5 = 3447.5 \text{ Kg}$
	$3447.5 \times 1.5\% = \mathbf{51.71 \text{ Kg mineralizado}}$
AÑO 2	$3447.5 - 51.71 = 3395.78 \text{ Kg}$
	$3395.78 \times 1.5\% = \mathbf{50.93 \text{ Kg mineralizado}}$
AÑO 3	$3395.78 - 50.93 = 3344.84 \text{ Kg}$

- Cálculo del Humus mineralizado procedente del humus aplicado en la 3ª aplicación.

$$AÑO 0 = 3500 \text{ Kg.}$$

Estas cantidades mineralizadas las tenemos que tener en cuenta para aportar la M.O. total que necesitamos.

$\Sigma \text{ Materia orgánica} = \text{Materia orgánica} + 1^{\text{a}} \text{ aplicación} + 2^{\text{a}} \text{ aplicación} + 3^{\text{a}} \text{ aplicación}$
$\Sigma \text{ Materia orgánica} = 3196.56 + 3344.84 + 3500 = 10041.14$

$\Sigma \text{ Humus mineralizado} = \text{Materia orgánica} + 1^{\text{a}} \text{ aplicación} + 2^{\text{a}} \text{ aplicación} + 3^{\text{a}} \text{ aplicación.}$
$\Sigma \text{ Humus mineralizado} = 351.34 + 155.14$
$\Sigma \text{ Humus mineralizado} = 506.48 \text{ Kg}$

Por tanto la cantidad total de M.O. que necesitamos será la siguiente:

$M.O. = 506.48/25 \% \times 0.5$
$M.O. = 4051.84 \text{ Kg}$

Esta materia orgánica será repartida entre las tres aplicaciones añadiendo 1350.61 Kg., por lo que finalmente se aportará 29350.61 Kg de estiércol en cada aportación.

4.3.1.2. Enmienda Caliza.

Como hemos podido observar, el pH que hemos obtenidos en los análisis de suelos pertinente observamos que el pH está muy por debajo del umbral a partir del cual puede vivir las plantas.

Para ello se corregirá a través de una enmienda caliza para la cual utilizaremos espuma de azucarera la cual tiene un 20 % CaCO_3 (Carbonato cálcico), además de contener materia orgánica, P_2O_5 , Nitrógeno, etc.

Por tanto para aumentar desde un pH de 2.58 a un pH 5 o cercano necesitaremos un total de:

Sabiendo que para el aumento de 2.42 en el pH para llegar a pH 5 es mucho menor, siendo de casi la mitad, que en el momento que nos encontramos un pH de 5.2 y queremos aumentar a 6.9, para ello utilizaremos la siguiente tabla.

<i>pH</i>	5	5.5	6	6.4	6.7	6.9
	-	0.1	0.3	0.6	0.8	0.1

Para 10 gr. de suelo, se necesitaría la siguiente cantidad.

Interpolando 0.3 ud. de pH 0.1

0.2 ud. de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ x

$$x = \frac{0.2 \times 0.1}{0.3} = 0.06$$

0.3 ud. de pH 0.2 ud. $\text{Ca}(\text{OH})_2$

0.1 ud. de pH x

$$x = 0.6$$

Por tanto de un pH de 5 a 6.5 necesitaríamos un total de $0.6 + 0.06 = 0.66 \text{ meq}/100 \text{ g.}$

1 meq $\text{Ca}(\text{OH})_2$ / 74, sabiendo que 1 meq equivale a 37, por tanto

$$0.66 \times 37 = 2.44$$

por lo que para el peso de 1 Ha equivaldría a:

$$\begin{array}{r} 4950 \cdot 10^3 \text{ kg} \quad x \\ 1 \text{ kg} \quad 2.44 \\ \hline \end{array}$$

$$x = 2.44 \times 4950 \cdot 10^3$$

$x = 12078 \text{ kg}$, pero estos 12078 kg serian para un 100% de Ca(OH)_2 pero al tener un 90% esta cantidad será un total de 13420 Kg. , para Ca(OH)_2 , sin embargo nosotros tenemos en la espuma de azucarera CaCO_3 , por lo que en realidad tendremos que aplicar un total de :

Sabemos que 1.353 de CaCO_3 equivale a 1 de Ca(OH)_2 por lo que al final necesitamos un total de:

$$\begin{array}{r} 13420 \quad x \\ 1 \quad 1.353 \\ \hline \end{array}$$

$$x = 13420 \times 1.353$$

$x = 18157.26$, pero esto sería en un 100% de CaCO_3 sin embargo tenemos un total de 20%, dándonos una cantidad de 90786.3 kg de espuma de azucarera. Sin embargo como comentamos anteriormente se necesita la mitad por lo que necesitaríamos la cantidad total de 45393.15 Kg.

4.3.2. Análisis de Suelos del Río Tinto a su paso por Nerva 30-60 cm.

ANÁLISIS DE SUELO

<i>ANÁLISIS FÍSICO</i>	
ARENA	85.02 %
LIMO	13.60 %
ARCILLA	1.36 %
<i>ANÁLISIS QUÍMICO</i>	
pH	2.51
C.E.	1.772 mS
M.O. oxidable (%)	0
N	0
RELACION C/N	0
P (Bray-Kurtz)	1.259 ppm
K ⁺ asimilable	2.19 ppm
Na ⁺ asimilable	0.5457 ppm

Observando este análisis podemos indicar que se deberá actuar de la misma forma que para la profundidad de 0 a 30 cm.

5. PROCESO DE RESTAURACIÓN.

Una actividad preventiva para conservar el material edáfico es el "capaceo" (Porta, 1994) consiste en retirar la capa de suelo antes de iniciar cualquier excavación, explanación o nivelación, para poderlo sustituir una vez acabadas las obras.

Según Macias (1996) la secuencia seguida en la mina As Pontes (Galicia) ha sido la siguiente:

- Eliminar los riesgos de accidentes y de impactos exteriores. Lo que implica señalización, corrección de áreas peligrosas (cortes, taludes inestables,...). Construcción de canales perimetrales que desvíen las aguas de arroyos y de escorrentía superficial.
- Control de formas o geometrías. Reducir y/o eliminar los riesgos de erosión, diseño de taludes y pendientes estables,...
- Control y tratamiento de aguas. Se debe realizar a través de canales que eliminen el agua rápidamente, disminuyendo su tiempo de residencia en los materiales de la mina y llevándola a los lugares adecuados para su almacenamiento temporal y posterior tratamiento.

Por tanto para ello tendremos que tener en cuenta las concentraciones de metales pesados y características actuales tanto en el agua como en el suelo.

A causa del desconocimiento de los parámetros anteriormente citado tendremos que conocerlo de la siguiente forma.

5.1. Suelo.

La contaminación al suelo puede haber llegado de varias maneras las cuales son las siguientes:

- Penetración de los metales disueltos presentes en las aguas.
- Penetración del agua por grietas y poros.
- Progresivas oxidaciones de las aguas depositadas sobre las superficies de los suelos.

Por esta última vía puede haber penetrado más del 50% de la contaminación.

5.2. Medidas Correctoras.

Las medidas correctoras que se pueden utilizar en suelo con este problema son muy limitadas teniendo que hacer el siguiente procedimiento:

- a) Inmovilización de los metales pesados que encontremos en una mayor concentración (siendo esta superior a lo establecido en la ley de medio ambiente).
- b) Si la contaminación solo se encuentra en los primeros centímetros, podremos hacer una homogeneización a través de una labor de volteo, disminuyendo así la concentración de los metales.

5.3. Actuaciones a corto plazo.

Las actuaciones que pueden llevarse a cabo pueden ser:

- a) Inmovilización por métodos físico-químicos de los metales en las zonas más expuestas de recarga de los acuíferos utilizando para ello carbonato, cal, zeolitas, bentonitas, sepiolitas y orgánicos (residuos agrícolas).
- b) Fitorremediadores: Se han encontrado las siguientes plantas con un mayor potencial de absorción de metales pesados las cuales son:
 - *Amaranthus blitoides*.
 - *Convolvulus arvensis*.
 - *Silybum marianum*.
 - *Cynodon dactylon*.
 - *Malva nicaeensis*.
 - *Chamaemelum fuscatum*.
- c) Fitorregeneración de la zona afectada. Utilizamos para ello un extenso abanico de especies vegetales las cuales pueden ser:
 - I. Especies hiperacumuladoras específicas para algunos de los metales contenidos en el suelo (ej: *Allysum* spp, *Thlaspi* spp, *Amaranthus blitoides*).

II. Especies acumuladoras (*Brassica* spp) capacidad de extracción simultánea de varios metales (Pb, Zn, Cu, Cd).

Tras la retirada de los lodos, consideramos que distintas especies de *Brassica* son las idóneas para ser utilizadas de forma inmediata en operaciones de fitorregeneración. Además de su alta capacidad acumuladora, estas especies reúnen unas ventajas considerables:

- Se encuentran totalmente adaptadas a las condiciones edafológicas y climáticas en la zona afectada.
- Su manejo agronómico está perfectamente conocido y desarrollado.
- Producen una gran cantidad de biomasa, relacionada directamente con la capacidad de almacenamiento de metales pesados.

En este contexto sería necesario comenzar en esta temporada agrícola un conjunto de ensayos experimentales en distintos tipos de suelo para evaluar todos los parámetros necesarios para planificar una aplicación extensiva. Teniendo en cuenta los metales pesados remanentes en los suelos en formas biodisponibles de este grupo de especies. Teniendo en cuenta su adaptación a la zona afectada, podrían ser utilizadas en ciclos sucesivos de extracción de metales pesados, integrándose en su caso en la rotación de los cultivos tradicionalmente empleados en la zona.

De acuerdo a los diferentes tipos de suelos, la utilización de estas plantas deberá combinarse con tratamientos físico-químicos (quelantes, acidificantes, etc.) que permitan optimizar la extracción de los metales pesados.

Simultáneamente con el empleo de estas especies de capacidad hiperacumuladora contrastada sería fundamental realizar un conjunto de estudios para:

- ✓ Buscar genotipo de las especies de *Brassic*as con capacidad de acumulación superior a los genotipos actualmente disponibles.

Caracterizar a las especies autóctonas como excluyentes, tolerantes o hiperacumuladoras en orden a desarrollar plantas autóctonas con capacidad restauradora.

5.4. Bioindicadores.

Además de la utilización de plantas habidas de metales pesados podemos utilizar diferentes plantas, las cuales podrán ser utilizadas como señal de altas concentraciones de metales pesados.

Algunos de estos bioindicadores son:

- ❖ El álamo blanco (*Populus alba*), muy abundante en la zona, puede servir como bioindicador para la contaminación de Cd y Zn en el suelo, presentando una buena correlación con el contenido en ramas y hojas. Sin embargo, no refleja otros elementos como el As y el Pb.
- ❖ Podremos observar que las concentraciones de algunos metales en los frutos de árboles y situados en las terrazas bajas pueden ser significativamente mayores que los de zonas no afectadas. Una tendencia similar se observa en las hojas de algunas especies, como el acebuche y encina. Es de esperar que las nuevas plantaciones que se realizan en la zona afectada presenten una evolución diferente respecto a las especies mencionadas anteriormente. Por ello se recomendaría mantener el seguimiento con el fin de conocer mejor la distribución de los contaminantes.
- ❖ La grama *Cynodon dactylon* puede presentar niveles muy elevados de metales que podrían ser tóxicos para herbívoros. Por ello se recomienda mantener la prohibición de pastoreo y explotación en la zona afectada.

5.5. Conclusión.

Las conclusiones a las que podemos llegar son totalmente distintas, según hablemos de un tipo u otro de suelo así pues podemos considerar las siguientes conclusiones:

- En el suelo de la **balsa ácida** podemos observar que el pH del suelo es muy bajo por lo que con este pH es muy difícil por no decir casi imposible una reforestación. A su vez la conductividad eléctrica muy alta por lo que nos cota la utilización de enmiendas, esta alta conductividad puede ser debida a la infiltración durante largo tiempo de las aguas ácidas embalsadas que han tenido que soportar este suelo, a causa de ello también nos encontramos con este pH.

Por otra parte nos encontramos con un suelo totalmente desmineralizado, es decir, la cantidad de M.O. que podemos encontrar en este suelo es despreciable, por lo que se recomienda una enmienda orgánica utilizando para ello estiércol (hemos utilizados estiércol de ovino por ser muy bueno, aunque este tipo de estiércol puede ser sustituido por otros como puede ser estiércol de cabra, gallina, etc...).

Como comentamos anteriormente, el pH de este suelo es muy bajo por lo que es casi imposible de utilizar este tipo de suelo para la reforestación por lo que se recomienda una enmienda caliza, esta enmienda no puede ser muy agresiva a causa de la alta conductividad eléctrica por lo que se recomienda utilizar para ello la utilización de espumas de azucarera, pues además de tener solo aproximadamente 20% de CaCO_3 también tiene materia orgánica, fósforo y potasio por lo que además de hacer una enmienda caliza nos encontramos también haciendo una enmienda orgánica.

Una vez realizado las distintas enmiendas tendremos que hacer nuevos análisis de suelo para conocer sobretodo su nuevo pH y C.E. y conocido los nuevos parámetros además de la cantidad de M.O., fósforo, potasio, etc... utilizaremos las plantas que se puedan adaptar mejor a estas nuevas condiciones.

- En los suelos del **cerro del moro** nos encontramos dos sustratos totalmente diferentes que se pueden observar en el pH y C.E. de los dos análisis realizados. Como podemos observar. En un principio pensamos que la causa por la cual los árboles no habían crecido de una forma normal causado porque tenía muy profundidad de suelo y por tanto no tenía suficiente soporte edáfico para los árboles, sin embargo observamos que la profundidad en la cual utilizamos la barrena había zona en la que la profundidad era mayor de 60 cm. por lo que rechazamos esta suposición.

Después de haber observado el análisis del suelo observamos dos análisis totalmente diferente y pues podemos observar un pH mayor en la superficie (0-30 cm.) que en el análisis realizado en la profundidad de 30 a 60 cm., al igual que el pH ocurre lo mismo con la C.E. habiendo una diferencia muy significativa entre uno y otro pues en el análisis de 0-30 cm. observamos una conductividad normal, mientras que en la profundidad de 30 a 60 cm. la C.E. por ha aumentado significativamente perteneciendo a suelos salinos medios, afectando a los cultivos y solo resiste aquellos cultivos más resistentes. A su vez esta alta conductividad puede proceder de una alta concentración de cationes los cuales son tóxicos para las plantas, por lo que este

aumento en la concentración produce una toxicidad en la planta la cual se refleja de diferentes formas pudiendo ser una de ellas el poco crecimiento de la planta.

- Por el contrario en el suelo cercano al **río Tinto** tiene una conductividad baja por lo que podemos aumentar el pH sin tener el riesgo de producir un suelo salino o medio y por tanto difícil de reforestar. A su vez el pH es bajo por lo que tendremos que aumentar este pH con una enmienda caliza.

Por otra parte tenemos que aumentar la materia orgánica del suelo pues al igual que en la balsa ácida nos encontramos un suelo con poca materia orgánica por lo que no tenemos nutrientes para la planta y el suelo está muy suelto, sin embargo utilizando estiércol como enmienda orgánica nos encontramos un aumento de nutriente para la planta y crecimiento de microorganismo los cuales nos producirán una mineralización del suelo, a su vez utilizaremos también una enmienda caliza para la subida del pH una vez terminado este proceso tendríamos que hacer un nuevo análisis de suelo para conocer sus nuevas propiedades químicas y según estas utilizar las plantas más adecuadas a la nueva situación.

Las sucesivas labores de limpieza pueden mejorar notablemente la situación de la zona afectada. Esta situación debería mejorar una vez hayan finalizado las labores de neutralización e inmovilización de diferentes contaminantes en los suelos. No obstante, es posible que quede una contaminación remanente la cual seguirá presente en diversas comunidades de organismos, especialmente de aquellas que habitan la zona afectada.

Podemos indicar que para mejorar la calidad de las aguas y la riqueza y diversidad paisajística y biótica del área restaurada son interesantes las formaciones de pantanales y humedales. Plantas tales como typhas, musgos, juncos... pueden vivir en condiciones fisicoquímicas extremas y realizar un importante papel depurador o fijador de sustancias tóxicas. Estos pantanales fomentan la creación de ambientes reductores donde muchos de los problemas derivados de las explotaciones mineras, como la acidez de las aguas y la presencia de concentraciones anómalas de metales, pueden ser controlados por los cambios que se provocan por los procesos redox. El ambiente reductor evita la oxidación de los sulfuros hacia sulfatos, con lo que se evita que aumente la acidez.



En el proceso de oxidación de los sulfuros ejerce un papel preeminente el *Thiobacillus ferroxidans* que acelera en gran medida la formación de sulfatos y la consiguiente acidificación del medio.

Si las aguas de mina se incorporan a los recursos superficiales, debe garantizarse su calidad mediante los tratamientos de depuración necesarios y el mantenimiento de un seguimiento de las condiciones ecológicas y de la calidad del agua.

Restauración de los suelos y la cubierta vegetal. Como hemos visto anteriormente, los suelos de mina, prácticamente materiales originales deteriorados, presentan unas características físicas y fisicoquímicas muy limitantes para el desarrollo de la vegetación, estas se deben corregir mediante técnicas de mejora y fertilización, entre ellas podemos destacar:

- a) Incorporación de residuos orgánicos de todo tipo (estiércoles, compost, biodepositos marinos bajo bateas de mejillón, despojos de mataderos, etc.), debido a que incorporan Carbono y otros elementos biogénicos, suministran productos metabolizables para la fauna que comienza a colonizarlos al tiempo que se evita el daño que podrían causar al acumularlos en otros lugares.
- b) Introducción de plantas que tengan posibilidad de fijar nitrógeno atmosférico, como altramuces, tréboles...



- c) Cuando las condiciones del medio son extremas, es necesario encontrar las especies adecuadas. Así en medios fuertemente ácidos tenemos especies como *salix*, *typha* o *juncus*, algunos pinos, eucaliptos y acacias (*Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris*, *Acacia malanoxilum*, *Eucalyptus viminalis*,...).

Estas medidas, contribuyen a acelerar la disponibilidad de la materia orgánica en el suelo, creación de una estructura estable y el desarrollo de la flora y fauna del mismo.

En las etapas finales de la recuperación los suelos pueden soportar comunidades vegetales menos especializadas.