

Caracterización del proceso de colonización vegetal en los taludes de Sierra Menera: factores geomorfológicos

Mariela Morales Cáceres*
Tomás Sanz Serrano**

RESUMEN. En el presente estudio se hace una primera aproximación ecológica al proceso de colonización vegetal natural de los taludes de las minas de hierro de Sierra Menera (Ojos Negros, Teruel). Se aborda la importancia que la morfología del relieve generado en la minería tiene sobre la vegetación, concretamente sobre la cobertura vegetal y la biodiversidad.

Realizando una sencilla correlación estadística se observa cómo el tipo de litología que aflora en cada escombrera, el índice de pedregosidad que muestra el talud, y la orientación, son los factores geomorfológicos que más controlan el desarrollo vegetal en este sector de la Ibérica, a través de la disponibilidad hídrica o agua edáfica.

Se recomienda modificar la morfología final de las escombreras como medida preventiva para la erosión y correctora del impacto paisajístico generado, una vez termina la actividad minera a cielo abierto.

Palabras clave: Sierra Menera, Sucesión primaria, colonización vegetal, impactos ambientales en minería, medidas correctoras en minería, restauración de espacios mineros.

* Ingeniera en Agroecología Universidad UNAN-León (Nicaragua)

** Licenciado en Ciencias Ambientales Universidad Alcalá de Henares

ABSTRACT. This study is a first ecological approach to the process of natural plant colonization of the slopes of the iron mines of Sierra Menera (Ojos Negros, Teruel). The morphology of the relief generated in mining has an important impact on vegetation, particularly on the vegetation cover and biodiversity.

By performing a simple statistical correlation is observed that lithology, the percentage of stones, and geographic orientation, are the geomorphological factors that control plant development in this sector of the Iberian, through water availability and soil water.

It is recommended to modify the final morphology of the tailings in order to prevent erosion and landscape impacts, once mining activity ends.

Keywords: Sierra Menera, primary succession, plant colonization, environmental impacts in mining, mining corrective measures, restoration of mining areas.



Introducción

Las Minas de hierro de Sierra Menera, actualmente en el municipio de Ojos Negros (Teruel), constituyeron un importante foco de ingresos económicos para la zona. No obstante, la cantidad de material removilizado para acceder a los depósitos provocó la aparición de enormes taludes y escombreras de muy diversa litología y carácter general ácido, generadores de importantes impactos ambientales.

La ausencia total de normativas ambientales en el momento de explotación de las minas de Sierra Menera se manifiesta en la existencia de un paisaje resultado de una sobreexplotación desmedida que para nada considera la recuperación ambiental del entorno. No obstante, constituye un lugar adecuado para el estudio del proceso de colonización vegetal que se viene desarrollando en los últimos 23 años, casi sin ayuda del ser humano, y que tuvo que partir prácticamente de suelo desnudo.

En el presente estudio, desarrollado a través de la III edición de las “Ayudas Sierra Menera”, pretende realizar una aproximación a ese fenómeno de sucesión biológica natural, que parte de suelos contaminados por metales pesados y drenajes ácidos, y que lucha por extenderse y recolonizar un espacio físico que antes ya era suyo.

Nuestro enfoque pretende ser sencillo y directo, basándonos únicamente en aspectos que tienen que ver con la geomorfología o aspecto general de los taludes y escombreras, y huyendo de aspectos más concretos que requieren del uso de laboratorios y técnicas analíticas, como serían los estudios edáficos y geoquímicos. Es por ello un estudio de campo, que pretende arrojar luz sobre qué aspectos deberían considerarse en la minería de cara a la correcta gestión y distribución de las escombreras durante y después de las explotaciones, así como sobre la necesidad o no de intervenir en procesos de revegetación artificial. Tiene por tanto un carácter complementario con otros estudios que se realicen sobre los aspectos antes mencionados.

Metodología

Se trata de comprender y analizar aquellos factores del relieve antrópico, generado por las escombreras y taludes mineros, que determinan el desarrollo y colonización vegetal del sustrato. Las variables seleccionadas para el estudio geomorfológico (en parte propuestos por Valladares, F., 2008) son: a) Cuantitativas: altitud, área total de la escombrera, longitud en la zona de máxima pendiente, inclinación y % de pedregosidad; b) Cualitativas: Litología (o tipo de roca aflorante en cada escombrera) y orientación de la vertiente del talud.

Para comparar estas variables con el proceso de Sucesión biológica, se eligen dos variables consideradas como indicadores de la calidad ecológica (en adelante C.E.) de cada escombrera: Biodiversidad (medida a través del índice de Shanon-Wiener) y % de cobertura vegetal del suelo.

La fórmula del índice de Shannon es la siguiente:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$$

donde:

S – número de especies (la riqueza de especies)

P_i – proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie i): n_i / N

n_i – número de individuos de la especie i

N – número de todos los individuos de todas las especies

Para el estudio se realiza un muestreo considerado representativo del total del área minera, en la vertiente NE de las minas de Sierra Menera, formada por un total de 15 taludes. Cada uno de ellos presenta diferencias importantes en las variables antes mencionadas.

En cada talud se comienza con la georreferenciación con ayuda de un GPS Garmin, y con la medición de altitud (metros s.n.m.) en dos puntos seleccionados: A y B situados en la parte más alta del talud y en la más baja, respectivamente. A partir de estos puntos se realiza un cálculo de pendientes por triangulación. Las áreas y longitud máxima de cada talud se extrapolan con la ayuda de navegadores como Sigpac Visor y Google Earth.

Para las variables de C.E. se define de 1 a 5 parcelas por talud, de 1x5m, localizada a favor de la pendiente. Su ubicación es sistemática, considerando representativa el área seleccionada para el total del talud. En caso de variabilidad horizontal o vertical se toman más parcelas y se toman los valores medios.

En cada parcela se elabora un inventario de especies vegetales, y se contabiliza el número de individuos existentes de cada especie, para el cálculo del índice de Biodiversidad. Así mismo se mide el % de cobertura vegetal y de pedregosidad en cada parcela (% de superficie cubierta por piedras sueltas respecto del cubierto por materiales sueltos arcillosos), y se anota la presencia de especies de porte arbóreo o arbustivo.

Caracterización del proceso de colonización vegetal en los taludes de Sierra Menera: factores geomorfológicos

Finalmente se someten a análisis estadístico y gráfico los datos obtenidos buscando correlación entre las variables de C.E. y las geomorfológicas. Se definen qué factores son más determinantes y se intenta caracterizar cualitativamente la sucesión biológica vegetal para este sector de la ibérica.

Resultados

Talud	A-UTM X	A-UTMY	A-Altitud (m snm)	B-UTM X	B-UTMY	B-Altitud (m snm)	DIST-AB (m)
1	623889	4508845	1249	623893	4508849	1248	4
2	623895	4508778	1253	623902	4508785	1248	9
3	623970	4508677	1246	623972	4508684	1241	7
4	623939	4508675	1250	623948	4508673	1245	9,5
5	624024	4508619	1246	624028	4508620	1241	5
6	623817	4508895	1256	623830	4508903	1248	10
7	623787	4508903	1253	623789	4508920	1249	10
8	623659	4508862	1260	623655	4508886	1258	4
9	623496	4508999	1282	623509	4508984	1275	9
10	623509	4509025	1283	623539	4509028	1278	9
11	623420	4508555	1285	623421	4508562	1283	6
12	623352	4508392	1307	623349	4508381	1307	12
13	623315	4508208	1310	623324	4508212	1305	10
14	623353	4508139	1307	623357	4508145	1305	5
15	623377	4508136	1306	623378	4508134	1304	3

Figura 1. Georreferenciación y datos de altitud en metros para dos puntos (A y B) seleccionados en cada talud para el cálculo de pendientes.

	Promedios	Máximos	Mínimos	Talud ideal
Área (m²)	2076,75	6462,80	232,4	< 1.800
Longitud máxima pte (m)	42,91	122,60	18,3	< 35
A-Altitud (m snm)	1272,87	1310,00	1246	>1300
Pendiente (%)	53,20	100,00	0	< 50
Pedregosidad (%)	41,47	100,00	5	< 5
Cubierta vegetal (%)	38,67	100,00	0	100
Índice Shanon-Wiener	0,28	0,51	0	> 0,5

Figura 2. Resumen estadístico de las variables geomorfológicas y biológicas analizadas para cada talud.

Talud	Biodiversidad												Total indiv muestra	Índice Shanon Wiener
	SP.1	SP.2	SP.3	SP.4	SP.5	SP.6	SP.7	SP.8	SP.9	SP.10	SP.11	SP.12		
1	11	29	2	6	1	1	3	1	8	0	0	0	62	0,26
2	1	23	7	11	6	15	0	0	0	0	0	0	63	0,26
3	4	8	25	13	15	3	10	3	0	0	0	0	81	0,33
4	14	5	13	25	14	54	3	2	1	1	0	0	132	0,46
5	5	10	20	2	2	1	0	0	0	0	0	0	40	0,17
6	23	3	1	6	3	1	0	0	0	0	0	0	37	0,15
7	25	9	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	41	0,16
8	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0,02
9	24	30	2	2	6	5	10	4	5	1	0	0	89	0,35
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
11	15	20	4	40	7	10	12	6	20	2	2	3	141	0,51
12	33	15	2	10	2	2	20	1	1	0	0	0	86	0,33
13	2	1	1	20	6	8	5	0	0	0	0	0	43	0,19
14	15	30	8	5	30	10	5	3	3	1	1	3	114	0,42
15	6	3	4	15	10	30	5	40	9	1	0	0	123	0,46

Figura 3. Índice de Biodiversidad de Shanon Wiener calculado para los taludes 1 al 15.

Variables cuantitativas

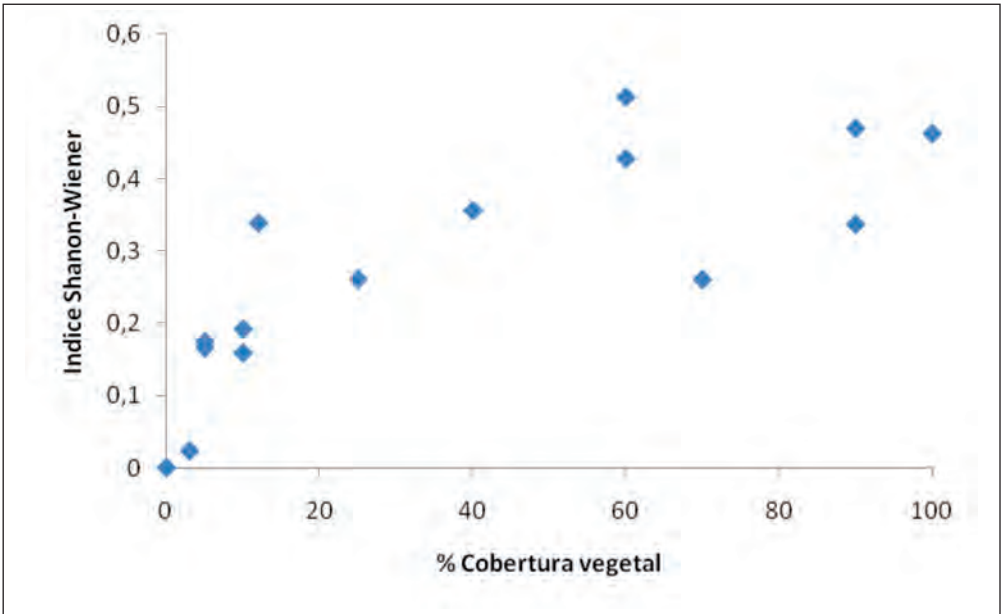


Figura 4. Correlación entre las dos variables biológicas consideradas como indicadores de Calidad Ecológica en los taludes: % de cobertura vegetal e Índice de Biodiversidad.

Caracterización del proceso de colonización vegetal en los taludes de Sierra Menera: factores geomorfológicos

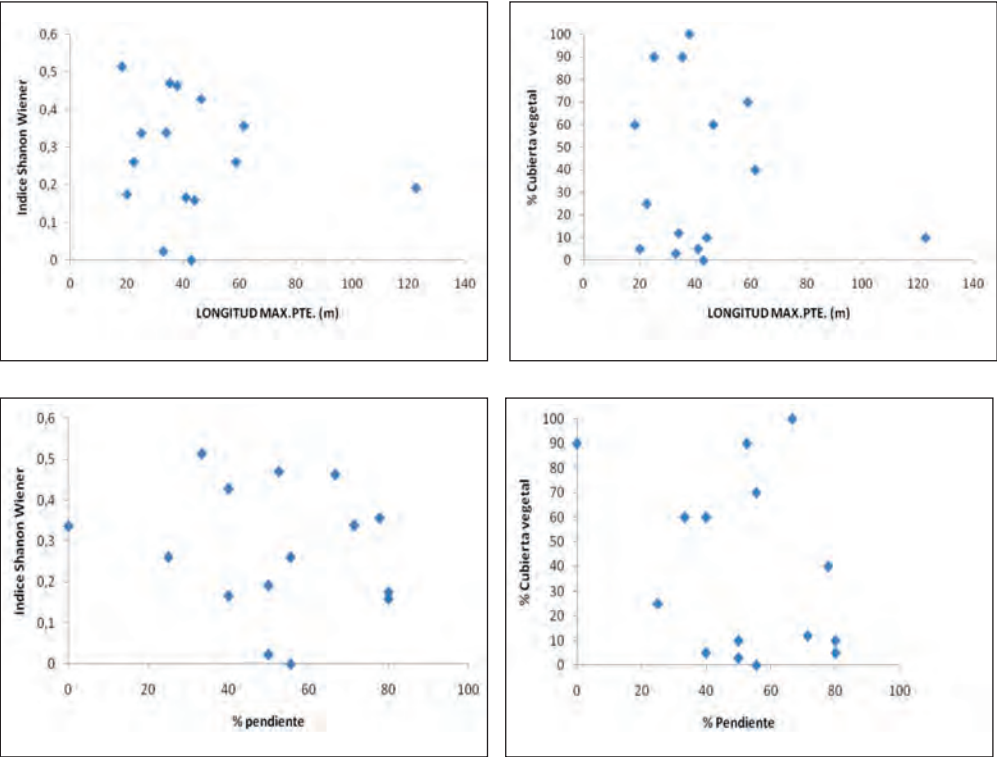


Figura 5. Grado de correlación entre las variables de calidad ecológica y dos geomorfológicas: a) Longitud máxima de la pendiente del talud y b) pendiente en %.

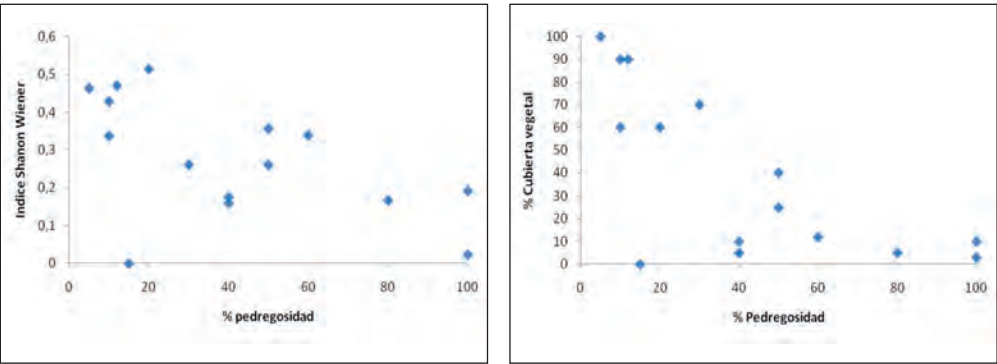


Figura 6. Correlación entre variables ecológicas y la pedregosidad del terreno medida en % de suelo pedregoso.

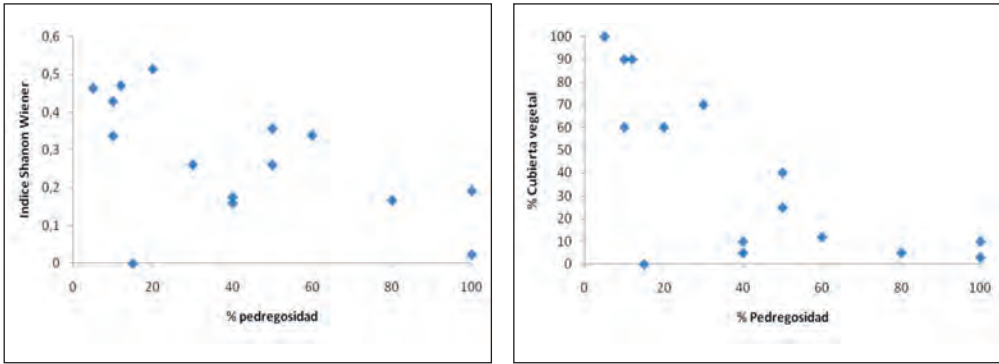


Figura 7. correlación entre variables de calidad ecológica y la altitud del talud en metros sobre el nivel del mar.

Variables cualitativas

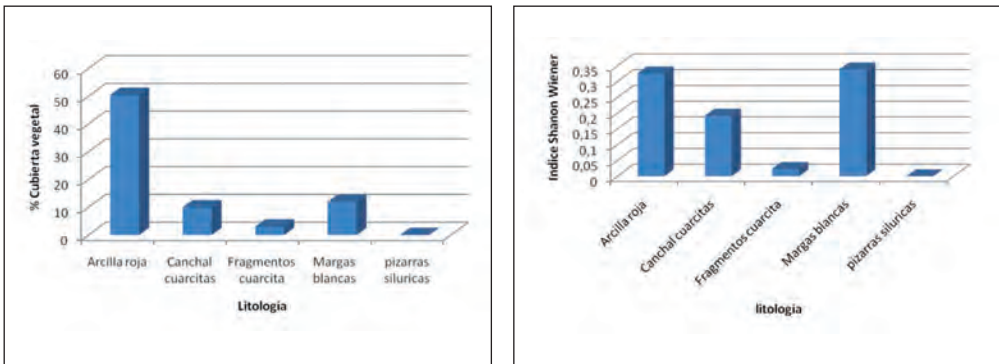


Figura 8. Estado de las variables de calidad ecológica en función de la litología aflorante en cada talud o escombrera.

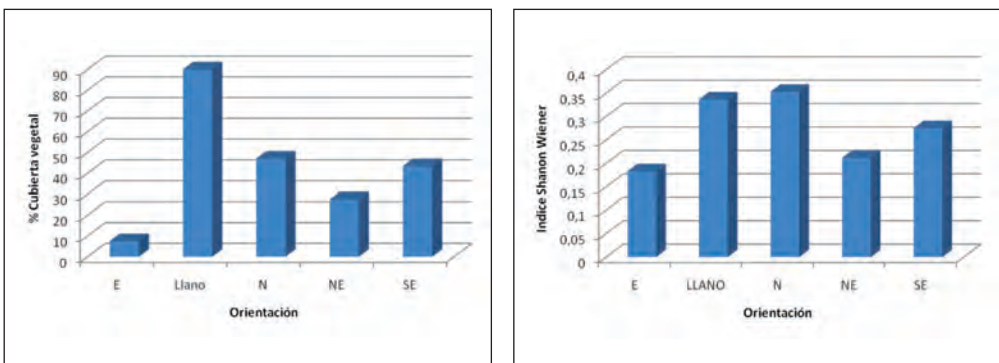


Figura 9. estado de las variables de calidad ecológica en función de la orientación topográfica de cada talud.

Caracterización del proceso de colonización vegetal en los taludes de Sierra Menera: factores geomorfológicos

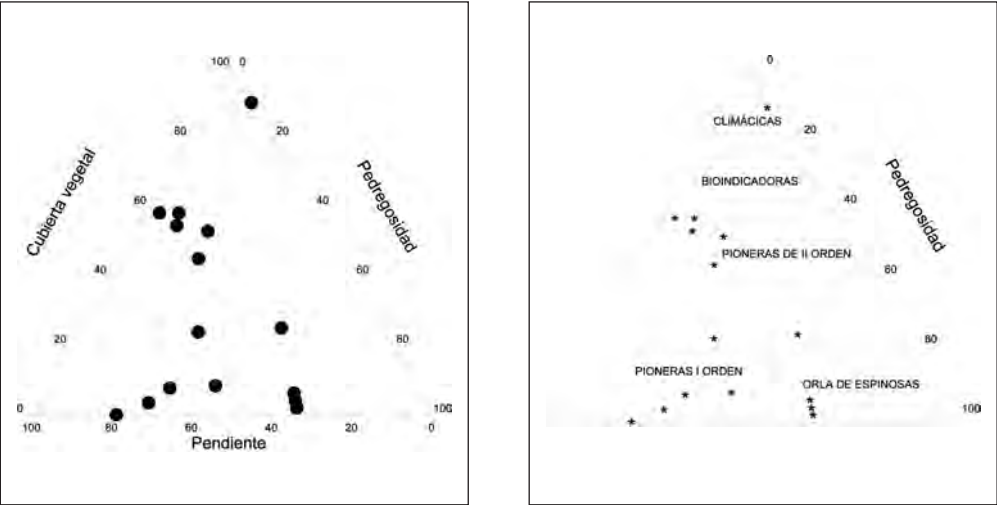


Figura 10. a) Influencia de la pendiente y la pedregosidad sobre la cubierta vegetal en cada talud y b) caracterización de subgrupos ecológicos propuestos para Sierra Menera en función de la pedregosidad

Grupo	Especies representativas	Grupo	Especies representativas
Climácicas	<i>Arctostaphylos uva-ursi</i>	Pioneras de II Orden	<i>Achillea</i> sp.
	<i>Arenaria montana</i>		<i>Adonis flammea</i>
	<i>Calluna vulgaris</i>		<i>Arabis auriculata</i>
	<i>Cistus laurifolius</i>		<i>Dactylis glomerata</i>
	<i>Crataegus monogyna</i>		<i>Thymus</i> sp.
	<i>Quercus</i> sp.		<i>Digitalis nigrum</i>
	<i>Linaria aeruginea</i>		<i>Filipendula vulgaris</i>
Bioindicadoras	<i>Anthericum liliago</i>		<i>Anthyllis</i> sp.
	<i>Asphodelus</i> sp.		<i>Genista scorpius</i>
	<i>Dianthus</i> sp.		<i>Helichrysum</i> + <i>Santolina</i>
	<i>Pilosella</i> sp.	Pioneras de I Orden	<i>Festuca</i> sp.
	<i>Digitalis purpurea</i>		<i>Helichrysum stoechas</i>
	<i>Halimium</i> sp.		<i>Santolina chamaecyparissus</i>
	<i>Helianthemum</i> sp.		<i>Anthirrinum</i> sp.
	<i>Lavandula stoechas</i>	Orla espinosas	<i>Andryala ragusina</i>
	<i>Salvia</i> sp.		<i>Bryonia dioica</i>
	<i>Periballia involucrata</i>		<i>Centurea</i> sp.
	<i>Plantago</i> sp.		<i>Genista scorpius</i>
			<i>Rubus ulmifolius</i>
			<i>Rosa</i> sp.
			<i>Paronychia</i> sp.

Figura 11. inventario de especies vegetales incluidas en cada subgrupo ecológico en el proceso de colonización vegetal de Sierra Menera.

Discusión de los resultados

En primer lugar, las variables de CE muestran un grado alto de correlación positiva (fig. 4). La Biodiversidad aumenta conforme lo hace la cobertura vegetal hasta valores del 80%, a partir de donde no aumenta. Dada la escasa vegetación de los taludes no se suele alcanzar este valor de cobertura vegetal, de forma que cualquiera de las dos puede emplearse para caracterizar el proceso. No obstante aplicaremos ambas al mismo tiempo.

1. Factores que determinan la colonización vegetal

El proceso de colonización vegetal de las escombreras mineras de Sierra Menera puede caracterizarse como de Sucesión primaria, al partir de terrenos desnudos y altamente alterados por la actividad extractiva. El cierre definitivo de las minas tuvo lugar en el año 1987, y a pesar de la existencia de explotaciones puntuales recientes, en la mayoría de los casos el avance vegetal ha tenido lugar durante los últimos 23 años, teniendo en cuenta que ha sido fundamentalmente de forma natural. Viendo el grado de desarrollo vegetal en la zona este proceso ha sido enormemente lento, lo cual es coherente con las condiciones climáticas reinantes en la ibérica. Las especies corresponden con leñosas, aromáticas y orlas de arbustivas, correspondientes a los estados alterados de un clímax que estaría formado por un bosque mediterráneo mixto de quercíneas, con *Q. pyrenaica* y *Q. faginea* como especies climáticas arbóreas.

Dentro de los factores influyentes en la Colonización vegetal, podemos citar los siguientes:

a) Climatológicos

La presencia de heladas en invierno, la escasez anual de precipitaciones, fuertes oscilaciones térmicas diarias y estacionales, así como la presencia de un efecto desecante orográfico (efecto Foehn) asociado a la llegada de vientos desde el lado castellano, generan un importante estrés hídrico a las formas vegetales. El Agua es un bien escaso y este se manifiesta en adaptaciones vegetales típicas como la pilosidad, la segregación aromática, o la reducción de la superficie foliar.

b) Físicos y Geomorfológicos

La topografía, a través de las pendientes y la orientación, determinan los fenómenos de escorrentía-infiltración, y la disponibilidad de agua en el sustrato. Los factores edáficos condicionan después este factor, a través de la textura, porosidad, lixiviación, etc.

c) Químico-mineralógicos

Los minerales presentes en los estratos, tanto objeto de explotación, como de cobertera de los anteriores, determinan enormemente las condiciones de acidez e intercambio catiónico radicular. Juegan un papel crucial los sulfuros y en especial las piritas, responsables de los fenómenos de AMD o Drenaje Ácido de minas, procesos altamente contaminantes tanto de los suelos como de las aguas superficiales y subterráneas.

d) Antrópicos

La actividad humana, o en este caso, la ausencia de la misma por abandono de actividades sin llevar a cabo planes de restauración ecológica, suponen una clara afección para la recuperación del Ecosistema original.

Dada la disponibilidad limitada de medios analíticos, nos hemos centrado en el papel que desempeñan los factores físicos y geomorfológicos. Las formas del relieve resultante de la actividad minera son definidas por la acumulación sucesiva de escombreras y materiales estériles, sin utilidad práctica económica. De algún modo, la forma en la que se dispone dicho material sobre el terreno, hace que se den unas determinadas condiciones topográficas y edafológicas, que determinan enormemente el desarrollo vegetal:

a) Variables cuantitativas

a. Área total del talud (m^2)

Los taludes de Sierra Menera presentan una extensión muy variable, desde escasamente $200 m^2$, hasta los $6.462 m^2$, en el caso de los que han sido analizados. La interpretación gráfica de los datos no muestra correlación con las variables de calidad ecológica, por lo que se trata de un factor que no parece incidir demasiado en la distribución y colonización vegetal.

b. Longitud máxima del talud (m)

Los 15 taludes analizados comprenden una longitud máxima, medida en la dirección de la pendiente, desde los 18 hasta los 122 m. Estadísticamente no existe correlación con las variables de calidad ecológica, por lo que no parece influir en la colonización vegetal. No obstante, a mayor longitud de pendiente mayor velocidad adquieren las aguas de escorrentía tras episodios tormentosos, lo cual acelera el proceso erosivo y de arrastre del suelo incipiente. Pueden visualizarse en el campo surcos, canales y cárcavas producidas por la erosión en taludes de gran desarrollo, lo cual seguramente determina la disponibilidad de sustrato y nutrientes para la vegetación, aunque no sea como factor prioritario. Esto se manifiesta en los gráficos como una leve tendencia a disminuir la cobertura vegetal y la biodiversidad conforme tenemos taludes de mayor longitud, lo cual se agrava con la existencia de una pendiente mayor.

c. Pendiente (%)

La inclinación de las escombreras es el factor considerado como más determinante a priori, sobre el desarrollo vegetal, algo que no se confirma a través de los datos disponibles. Según estos, no existe buena correlación con las variables de calidad ecológica, por lo que no sería el factor más importante. Tenemos en Sierra Menera taludes con pendientes medias entre el 40 y 50%, lo cual nos da una idea de la ausencia total de planificación ambiental en la explotación minera. Sabemos por experiencia que es un factor edáfico crucial, que determina la movilización del material superficial del suelo. El incremento de la pendiente supone, automáticamente un aumento de los procesos erosivos por la mayor energía potencial de los agentes erosivos.

d. Altitud (m sobre el nivel del mar)

Los rangos de altitud en los taludes analizados van desde los 1.246 a los 1.310 m s.n.m. Se trata por tanto de una leve variación topográfica que tampoco manifiesta importancia crucial de cara a determinar el asentamiento vegetal. En el campo se observa, eso sí, una variación cualitativa de las especies que podemos encontrar, siendo más exigentes conforme ascendemos a las cotas más altas, adaptadas a ambientes más frescos y ventosos. Por tanto a mayor altitud las especies parecen estar más próximas a la Comunidad Climática. Quizás la menor accesibilidad de estas plantas al ganado o la acción humana también tenga que ver.

e. Pedregosidad (%)

Se trata de la variable que presenta una mejor correlación estadística con las variables indicadoras de calidad ecológica, lo que nos hace pensar que se trata del factor cuantificable más influyente en la colonización vegetal de Sierra Menera. Una mayor pedregosidad del terreno dificulta el asentamiento físico de la vegetación, a la vez que facilita la pérdida del agua edáfica por infiltración. Ello se manifiesta en una disminución progresiva de la biodiversidad (de forma casi lineal), y de la cobertura vegetal (según una pauta exponencial decreciente). En los taludes analizados, encontramos porcentajes desde los 5 hasta los 100%, siendo en este último caso cuando aparecen valores mínimos de biodiversidad y cobertura vegetal. Estos datos indican que a pedregosidad máxima la colonización vegetal se limita a una o dos especies que cubren un área siempre inferior al 10% de superficie.

b) Variables cualitativas

a. Litología

Se observa claramente cómo el tipo de roca que queda en la superficie externa de la escombrera determina enormemente el desarrollo vegetal.

Caracterización del proceso de colonización vegetal en los taludes de Sierra Menera: factores geomorfológicos



Figura 2. Las pendientes son elevadas en la mayoría de los taludes, haciendo que sean casi impracticables durante las labores de muestreo.



Figura 3. La abundancia de rocas en superficie dificulta enormemente el proceso de colonización vegetal.

Los materiales óptimos son los que presentan un alto contenido en arcillas, mientras que el desarrollo vegetal es nulo en materiales pizarrosos negros. Los materiales margosos tienen poco éxito en un área donde predominan las especies acidófilas, y los taludes con alta proporción de cloques o rocas cuarcíticas dificultan el asentamiento vegetal.

b. Orientación del talud

Los relieves llanos son sin duda los más favorables a la vegetación, seguidos de los que tienen orientación norte. La mayor parte de la vegetación presenta desarrollo estival, por lo que en esta orientación se mantienen condiciones hídricas más favorables, frente al resto.

2. Caracterización de la sucesión biológica

A modo de conclusión, podemos decir que el factor determinante de la Colonización vegetal en las escombreras de Sierra Menera es la disponibilidad hídrica edáfica. El agua retenida en el suelo es crucial para la supervivencia de las especies vegetales, pese a estar adaptadas a condiciones climáticas duras. Los factores geomorfológicos determinantes en la conservación de esa agua son el tipo de Litología, la pedregosidad y la orientación de la vertiente, mientras que otros como la pendiente son secundarios.

En la figura 10 “a” y “b”, se resume la relación inversa existente entre pedregosidad y desarrollo vegetal, independientemente de la inclinación del talud. Así mismo podemos determinar varios grupos vegetales, cada uno de los cuales presenta unas especies características, que van ocupando los diferentes espacios existentes:

De este modo distinguimos varias etapas de sucesión:

- **Orlas de espinosas:** géneros como *Rosa* y *Genista*, ocupan áreas de máxima pedregosidad al estar adaptadas a condiciones de gran sequedad e insolación. No obstante aparecen en zonas llanas o de pendiente moderada. Sería en nivel más bajo y alterado del proceso de sucesión.
- **Pioneras de I orden:** especies como *Helichrysum stoechas* y *Santolina chamaecyparissus*, son las primeras en ocupar las escombreras que presentan mayor pedregosidad, y compiten con las espinosas al soportar mayores pendientes.
- **Pioneras de II orden:** con pedregosidad inferior al 60% el aumento en la biodiversidad y cobertura vegetal es tajante, apareciendo géneros algo más exigentes como *Thymus*, *Digitalis*, *Filipendula*, que no sustituyen a las anteriores, pero sí las acompañan.

Caracterización del proceso de colonización vegetal en los taludes de Sierra Menera: factores geomorfológicos



Figura 4. la erosión es patente en los taludes donde las pendientes son elevadas, la litología impermeable y la cubierta vegetal escasa. Es el caso de los taludes con pizarras negras del Silúrico.



Figura 5. Efecto de la litología sobre la distribución y tipología de especies vegetales en taludes.



Figura 6 a) *Helichrysum stoechas* es una planta pionera de I orden en Sierra Menera; b) detalle de la flor.



Figura 7. *Digitalis obscura* es una pionera de II orden, apareciendo en taludes con litologías arcillosas y mayor % de cobertura vegetal.

- **Bioindicadoras:** en taludes con pedregosidad inferior al 40%, generalmente con suelos ya algo desarrollados, zonas de umbría y cierta altitud, aparecen géneros que parecen indicar progresión hacia los niveles climácicos, como es el caso de las citadas en la figura 11.
- **Climácicas:** pedregosidad inferior al 20%. El bosque de quercíneas, con *Q. ilex* en las zonas más soleadas y áridas, sustituida progresivamente por *Q. faginea* y *Q. pyrenaica* en las más frescas. Acompañadas por las propias del sotobosque como el brezo y herbáceas nemorales propias de zonas de sombra como *Arenaria* y *Linaria*.

Caracterizar un proceso natural complejo y continuo en etapas es sólo una aproximación simplificada de la realidad. Sin embargo, nos puede ayudar a definir si las condiciones progresan adecuadamente mediante la detección de ciertas especies indicadoras en el campo. Siempre teniendo en cuenta lugares con ecosistemas similares al estudiado.

La colonización vegetal natural de escombreras es un proceso enormemente lento, pero si cuenta con una ayuda inicial puede ser eficaz y mucho menos costosa que la revegetación artificial, siempre que se cumplan unos criterios básicos.

Como conclusión, diremos que este tipo de estudios precisan de otros más específicos sobre las condiciones geoquímicas y edáficas de las escombreras, que permitan identificar patrones y factores más influyentes, lo cual supera la capacidad del presente trabajo.

2.1. Efectos de la hidrosiembra en taludes

Según Valladares, F. (2008) las hidrosiembras son mezclas comerciales de semillas alóctonas, que no responden de manera idónea en un ecosistema concreto, y que pueden dañarlo al introducir especies foráneas. Lo mismo sucede con las repoblaciones forestales, que a menudo emplean ejemplares de rápido crecimiento pero ajenos al lugar en el que son implantados.

La única intervención correctiva aplicada desde el abandono de las minas, fue realizada en un volumen de escombrera reducido, ubicada en la parte más baja de las minas, junto al barrio Centro, por parte de la Sociedad de Montes de Ojos Negros.



Figura 8. Aspecto cubierto de la revegetación practicada en la parte baja de las minas.

La actuación consistió en una revegetación mediante roturación e hidrosiembra de leguminosas herbáceas, acompañadas por algunas especies arbóreas del género *Pinus* y *Cupressus*. En la actualidad sólo unos pocos árboles han sobrevivido, alcanzando portes muy bajos por la competencia que ejercen con las herbáceas circundantes. Sin embargo, las leguminosas han formado un tupido manto verde que retiene el suelo, lo fertilizan mediante la introducción de Nitrógeno atmosférico y facilitan la formación de un suelo incipiente.

Los taludes de similares características que no recibieron esta actuación, presentan grandes socavones y regueros producidos por el agua de lluvia, que suponen un proceso activo de retirada de suelo fértil.

Como efecto negativo, cabe mencionar la dificultad que encuentran las especies autóctonas para colonizar este medio ampliamente ocupado por las raíces de las leguminosas, apareciendo sólo algunas especies dispersas como *Helichrysum stoechas* o *Genista scorpius*.

Podemos decir por tanto que este tipo de medidas, dado el alto coste económico que entrañan para la empresa minera, deberían realizarse únicamente en áreas exteriores, que tengan un elevado riesgo erosivo, pudiendo así retener el suelo. En el resto de áreas bastaría con favorecer el asentamiento de vegetación natural, en casos similares a este, con una adecuada morfología de escombreras.

2.2. Propuestas para la minería

A pesar de la escasa correlación estadística obtenida, consideramos importantes todos los factores estudiados de cara a una correcta planificación en la distribución de escombreras. Bastaría con unas pautas que pueden resumirse en lo siguiente:

- Evitar dejar en superficie materiales rocosos y pedregosos mediante la separación de escombros según granulometría y su vertido progresivo, dejando los bloques y rocas en disposición inferior.
- Evitar dejar en superficie litologías como las pizarrosas y cuarcíticas, recubrir con materiales arcillosos y arenosos.
- Impermeabilizar inferior y superiormente los conjuntos para evitar drenajes ácidos.
- Favorecer orientaciones N frente al resto.
- Aterrazar las escombreras favoreciendo extensas áreas llanas conectadas entre sí mediante pequeños taludes de escasa pendiente y longitud total.
- Distribuir los conjuntos de forma que sean lo menos visibles desde los núcleos de población y accesos al área.

- Facilitar el asentamiento vegetal mediante sustratos adecuados, materia orgánica natural o revegetación con especies autóctonas.
- Evitar los mosaicos y fuertes variaciones litológicas en espacios reducidos.

Agradecimientos

Este estudio ha sido elaborado gracias a la IV Edición de las Becas de Investigación “Sierra Menera”, Patrocinadas por el Centro de Estudios del Jiloca, Diputación Provincial de Teruel y Ayuntamiento de Ojos Negros

Bibliografía

- BONNIER, G. (2002): Claves para la determinación de plantas vasculares. Omega.
- MATEO SANZ, G. (1992): Claves para la flora de la provincia de Teruel. Instituto de Estudios Turolenses, Excma. Diputación Provincial de Teruel.
- VALLADARES ROS, F. (2008): Recomendaciones para la restauración de taludes artificiales en ambientes mediterráneos. GRUPO FERROVIAL. Comunicación Técnica CONAMA (Congreso Nacional de Medio Ambiente, 2008).