

FERTILIZACIÓN EN LA REVEGETACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS EN EL PRE-PIRINEO CATALÁN

A. HERETER, A.M.C VERDÚ, R. BALLESTEROS, R. JOSA

Escola Superior Agricultura Barcelona. Urgell 187. 08036 Barcelona. España. E-mail: agnes.hereter@upc.es

Abstract: Field restoration experiences of some eroded areas in the Pyrenean mountains showed the importance of substrate nutrient enrichment through chemical fertilization. A greenhouse experience using regolithic materials from the badlands of the High Llobregat basin (Catalunya, NE Spain) was conducted to study the influence of the kind of nutrient added and the fertilizer rate on plant used in their revegetation. The fertilizer doses were: 1 (the normal amount for the crops of the area: 64 kg N ha⁻¹, 120 kg P₂O₅ ha⁻¹ and 120 kg K₂O ha⁻¹), 0.5, 1.5 and 2 fold. The results demonstrate that phosphorus is the nutrient that limits the chemical fertility of this substrate longer, because the addition of this element increases the production two-fold, whereas the material supplies sufficient potassium. Maximum plant production is found when NPK and NP fertilizers are used, especially when the rate is 1.5. With this dose the success of the field revegetation is achieved.

Key words: Badlands, Reclamation, Chemical fertilization, Regolith.

Resumen: Experiencias previas de revegetación de áreas degradadas en los Pirineos, demostraron la necesidad del abonado mineral. Se ha realizado una experiencia de laboratorio utilizando el material regolítico de badlands del Alto Llobregat para estudiar la influencia del tipo de nutriente y la dosis del fertilizante en las plantas utilizadas en su revegetación. Las dosis de fertilizante fueron: 1 (usual en los cultivos de la zona: 64 kg N ha⁻¹, 120 kg P₂O₅ ha⁻¹ y 120 kg K₂O ha⁻¹), 0.5, 1.5 y 2. Los resultados demuestran que el fósforo es el nutriente que limita principalmente la fertilidad química de este tipo de sustrato, ya que su aporte incrementa dos veces la producción vegetal, mientras que los niveles de potasio son suficientes. Los mayores valores de producción se obtienen cuando se utilizan fertilizantes NPK y NP y especialmente cuando la dosis es 1.5. En condiciones de campo, es la adecuada para conseguir la revegetación de los badlands.

Palabras clave: Badlands, Restauración, Fertilización química, Regolito.

INTRODUCCIÓN

En la vertiente sur de los Pirineos se ha descrito frecuentemente la existencia de áreas degradadas con morfología de *badlands* (Clotet *et al.*, 1988; Gonzalez *et al.*, 1994; Tello *et al.*, 1994). En las zonas húmedas, esta morfología se justifica por la rotura de un equilibrio inestable (por causas naturales o antrópicas) entre los procesos geomorfológi-

cos y la vegetación (Gallart, 1992). Sin que sea un fenómeno generalizable en los Pirineos, su existencia tiene consecuencias remarcables: las zonas de *badlands* están intensamente degradadas y suponen una fuente importante de sedimentos que van a parar al sistema de drenaje. Además, el fuerte contraste entre las zonas con una cubierta vegetal continua y las denudadas crea un fuerte impacto visual.

En Vallcebre (Alto Llobregat, Barcelona) existe desde 1986 un sistema de cuencas experimentales, alguna de las cuales se encuentra en áreas activas de badlands y en las que se han medido tasas de erosión de 9 mm/año (Clotet *et al.*, 1988). Se ha observado que la ausencia de vegetación en las laderas de los *badlands* y los ciclos alternativos de hielo-deshielo y de humectación-deseccación aceleran la erosión, con la consiguiente pérdida de nutrientes. La superficie del regolito presenta una morfología de tipo "popcorn" (Imeson y Verstaten, 1988) que facilita sus desplazamientos durante las precipitaciones intensas (Regüés *et al.*, 1994). Las condiciones de sellado superficial del suelo influyen asimismo sobre el comportamiento hidrológico estacional del regolito. En las condiciones más desfavorables, la velocidad de infiltración oscila entre 1 y 7 mm/h (Regüés *et al.*, 1995).

En otras áreas climáticas, como en el semiárido del SE de España, diversos estudios sobre *badlands* concluyen que, además de los procesos erosivos, se han de considerar otros factores limitantes del medio dependiendo de las características de cada regolito, para explicar la falta de germinación y crecimiento vegetal en estas áreas (García-Fayos y Recatalá, 1992; García-Fayos *et al.*, 2000).

En este trabajo se presentan los resultados de unas experiencias de laboratorio, paralelas a ensayos de restauración de la vegetación más amplios realizados por Ballesteros (1994) en la zona de Vallcebre. Se trata, en éste caso, de estudiar la respuesta de diversas especies vegetales frente a la dosis de fertilizante en un regolito de los *badlands*, deficiente en elementos nutritivos para las plantas. Dado el origen del material regolítico, con una pluviometría que puede considerarse elevada, en ésta experiencia se ha considerado el aporte hídrico como factor no limitante, para ello, en el ensayo se ha introducido el riego.

CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA

La zona en la que se realizaron los ensayos de campo está situada en la cuenca de El Carot (Berguedà, Barcelona) a unos 1300 m de altitud. La precipitación anual media es de 850 mm y la temperatura media anual 9 °C. El sustrato litológico está constituido por margas y arcillas rojizas del Cretácico (con 22-65% arcillas) sobre calizas con 17-53% CaCO₃ (Solé *et al.*, 1992).

La vegetación de las áreas con *badlands* es heterogénea y escasa. Dependiendo de la orientación y de las características topográficas, puede variar desde un prado (en el límite del frente de progreso de las cárcavas) hasta zonas sin ninguna cubierta vegetal (en el propio badland). Incluso existe un gradiente florístico desde los puntos culminales a las zonas bajas en cada *badland*, asociado a los procesos erosivos. La vegetación climax de la zona pertenece a la asociación *Quercion pubescenti-petraeae*, aunque debido a la actividad humana en las últimas décadas son frecuentes los prados de *Aphyllantion*. También existen algunos pinares de *Pinus sylvestris* (Guardia, 1995).

En esta zona, se han llevado a cabo experiencias de restauración en áreas con suelos denudados, donde no era posible la colonización y desarrollo de la vegetación natural (Ballesteros, 1994). En la primera fase de estos procesos, para estabilizar las laderas y reducir las pérdidas de regolito, es necesario modificar la pendiente mediante la realización de aterrazamientos. Con las condiciones topográficas mejoradas, el regolito alterado por el hielo fue utilizado como sustrato para la vegetación a introducir. Las variables climáticas y físicas favorables que proporcionarían una mejor revegetación en nuestro caso fueron una pluviometría suficiente durante el período post-siembra y pendientes inferiores a 25°. En estas condiciones, la remoción de las semillas introducidas fue nula, mientras que con pendientes de 45° se produjeron pér-

didas del 40%. De estos ensayos, se dedujo así mismo que el abonado mineral del sustrato era imprescindible para asegurar el éxito de la revegetación, dada la pobreza del contenido en nutrientes del regolito.

MATERIAL Y MÉTODOS

El material que se utilizó como sustrato, el regolito de los *badlands*, tiene las características relacionadas en la Tabla 1. Se observa el déficit en materia orgánica así como en fósforo asimilable, como consecuencia de la retrogradación de los materiales calcáreos.

Se llenaron contenedores de 1440 cm³ (25.5*15.7*3.6 cm) con muestras del regolito superficial secado al aire (4.7% humedad) y tamizado por 5 mm. Se seleccionaron especies vegetales de los cultivos de la zona, y que son usuales en los trabajos de revegetación de espacios degradados. Se sembró una mezcla de 33% *Medicago sp.*, 25% *Dactylis glomerata*, 25% *Festuca pratensis*, y 17% *Lolium hybridum* en dosis de 20 g m⁻². Durante el periodo de la experiencia (de abril a julio) se controló el contenido de agua del sustrato y se realizaron los riegos necesarios para evitar estrés hídrico. Con el primer riego, se aplicó

un acondicionador de la estructura (PVA, alcohol polivinilo) en dosis de 3 g m⁻². El acondicionador aportado, mantuvo su efecto durante todo el periodo que duró el ensayo y, a pesar del riego, no se manifestó la morfología en *popcorn*.

El abonado se aplicó en 23 tratamientos que combinaban dosis de abonado y tipo de nutriente utilizado (Tabla 2): nueve tratamientos de N, P o K, con dosis 0.5, 1 y 2; nueve tratamientos de NP, NK o PK con dosis 0.5, 1 y 2; cuatro tratamientos con NPK con dosis 0.5, 1, 1.5 y 2, además de un tratamiento sin abonado como control. La dosis 1 es la que se utiliza en los cultivos de la zona: 64 kg N ha⁻¹, 120 kg P₂O₅ ha⁻¹ y 120 kg K₂O ha⁻¹. De cada tratamiento se realizaron cuatro réplicas y los parámetros medidos en las plantas al final de la experiencia (momento de máxima madurez vegetal que se alcanzó en el mes de julio) fueron el peso fresco y la producción (peso seco 105°C).

Los resultados se compararon mediante análisis de la varianza (ANOVA). En el caso de diferencias significativas ($p < 0.05$) se analizaron los tratamientos mediante el test SNK (SAS Institute, 1992).

TABLA 1. Principales características del material usado como sustrato.

Profundidad cm	Gravas %	Textura USDA %			C.Textural (USDA)	pH H ₂ O	CaCO ₃ %	M.O %	C.E.C. cmolckg ⁻¹	K ₂ O mg kg ⁻¹	P ₂ O ₅ mg kg ⁻¹
		Arena	Limo	Arcilla							
0-4	5.0	10.7	75.2	14.1	Franco limosa	8.1	21.8	<0.03 ^a	35.7	79.4	<5 ^a
4-20	4.9	5.9	75.9	18.2	Franco limosa	8.3	25.0	<0.03 ^a	29.3	54.5	<5 ^a

^a: Inferior al rango mínimo de sensibilidad del método utilizado (Oxidación sulfocrómica para la materia orgánica y método Olsen para el fósforo).

TABLA 2. Dosis de fertilizante aplicadas en los tratamientos.

Dosis	N	kg ha ⁻¹	
		P ₂ O ₅	K ₂ O
0.5	32	60	60
1	64	120	120
1.5	96	180	180
2	128	240	240

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El peso de las plantas en el tratamiento control es inferior a la de la mayoría de los tratamientos estudiados (Tabla 3), mientras que los mayores valores de peso fresco (PF) y peso seco (PS), superiores a 500 g m⁻² y 100 g m⁻² respectivamente, se obtienen en los tratamientos en los que se utiliza abonado NPK

y NP. Si se compara el efecto de estos dos tipos de abonado, la producción es similar, o incluso superior, entre las dosis más altas de NP (dosis 2) y las de NPK. En general, con los restantes tratamientos de fertilización analizados, el peso seco de las plantas no se incrementa significativamente respecto al de las plantas control.

TABLA 3. Valores medios (n=4) de Peso fresco y Peso seco de las plantas (g m⁻²), en los diferentes tratamientos de fertilización. sd = desviación standard.

Fertilizante	Dosis	Peso fresco	sd	Peso seco	sd
NPK	0,5	365,00* b ^a	25,33	71,56* b	7,51
	1	538,50* b	62,15	111,13* ab	11,10
	1,5	786,94* a	231,70	149,44* a	47,30
	2	526,69* b	62,13	105,56* ab	8,53
NP	0,5	382,69* b	56,78	83,63* b	8,65
	1	411,06* b	73,30	84,69* b	12,10
	2	589,56* a	21,99	102,88* a	2,93
PK	0,5	267,00 a	41,34	54,81 a	10,60
	1	299,00* a	23,53	57,50 a	6,31
	2	288,31* a	80,56	56,25 a	13,39
NK	0,5	177,56 a	41,76	40,63 a	4,17
	1	172,00 a	36,36	38,13 a	5,95
	2	145,56 a	20,76	32,00 a	7,20
N	0,5	169,81 a	21,93	37,13 a	2,50
	1	191,06 a	60,93	42,75 a	10,50
	2	140,88 a	21,45	33,19 a	3,29
P	0,5	212,69 a	62,31	46,88 a	9,65
	1	176,75 a	35,93	37,94 a	3,58
	2	188,31 a	49,38	41,31 a	7,58
K	0,5	141,31 a	26,54	33,50 a	6,88
	1	116,56 a	14,56	26,31 a	3,56
	2	131,38 a	39,59	31,75 a	8,62
CONTROL	0	127,25	11,86	30,19	5,99

* Diferencias significativas (p<0.05) con el tratamiento control.

^a Los valores medios de un mismo fertilizante con distintas letras minúsculas, indican diferencias significativas (p<0.05) entre dosis.

Cuando se analiza para cada tipo de fertilizante las diferencias entre las dosis utilizadas, los resultados muestran que los valores

de PS no son significativamente diferentes para los tratamientos con fertilizante simple o PK y NK. Incluso, con las dosis más bajas

de algunos fertilizantes (dosis 0.5 de NK, P o K) la producción vegetal es superior, aunque no estadísticamente diferente, que cuando se utilizan dosis más altas.

En el caso del fertilizante complejo NPK, en el que se analizaron cuatro tipos de dosis, se obtienen los valores estadísticamente mayores de PF (aunque con alta variabilidad) cuando se utiliza la dosis 1.5. Sin embargo, cuando se considera la producción (PS), no existen diferencias significativas con las dosis 1 o 2. Se deduce por lo tanto, que parece innecesario aumentar el aporte de nutrientes que se realiza con las dosis más altas de éste fertilizante, en relación con las dosis habituales. En contraste con todos los otros tratamientos, cuando se utiliza la dosis 2 en el fertilizante NP, siempre se incrementa el peso por m² de las plantas.

Por otro lado, también se han analizado los resultados considerando únicamente las consecuencias del elemento nutritivo aportado (Tabla 4). En los sustratos estudiados se observa que no existe diferencia en la producción vegetal respecto la aportación de potasio; por el contrario, sí que se ve afectada cuando se refiere al nitrógeno o fósforo. Los ensayos a los que no se aportó fósforo son los de menor producción y además, los que presentan un mayor incremento. Consecuentemente, los materiales de los *badlands* como los del Carot, que en su origen

son deficitarios en fósforo, muestran una muy buena respuesta cuando se aporta este nutriente y se obtiene una producción vegetal en estas condiciones experimentales, dos veces superior a la conseguida sin su aporte.

Los resultados obtenidos en las experiencias de campo mostraban que, para que la revegetación de los *badlands* fuera adecuada (considerando como adecuada una cubierta vegetal > 50% de la superficie) la producción vegetal tenía que ser superior a 110 g m⁻² (Ballesteros, 1994). En los ensayos de laboratorio, esta producción se alcanza cuando se aporta como mínimo la dosis 1. En las condiciones de campo, más adversas para el crecimiento vegetal, las dosis de abonado tendrían que ser superiores, entre 1 y 1.5, para asegurar el éxito en la restauración. A partir de los resultados obtenidos en los tratamientos con el fertilizante NPK, se propone no utilizar mayores dosis, ya que no se obtienen incrementos significativos de la producción. Además, la alta solubilidad de los fertilizantes, junto con las bajas tasas de infiltración de los *badlands*, podría contribuir a la eutrofización de las aguas embalsadas. La dosis 2 de los fertilizantes binarios de nitrógeno y fósforo, también puede considerarse óptima para la revegetación en la zona.

En resumen, la experimentación en condiciones controladas en los materiales de los *badlands* muestra la limitada capacidad del regolito para desarrollar vegetación sin aporte de nutrientes, por tanto cualquier iniciativa de restauración requiere como mínimo la aplicación de fertilizantes. En segundo lugar pone de manifiesto la eficacia comparada de diferentes tipos de fertilizantes y las dosis a utilizar. Se facilita así los trabajos de revegetación, ya que se incide sobre un factor limitante importante en estos sustratos, permitiendo que se establezca en un periodo corto de tiempo una cubierta vegetal suficiente para disminuir las tasas de erosión de estos materiales degradados.

TABLA 4. Efectos de la presencia o ausencia de un elemento en los fertilizantes en el peso medio de las plantas (g m⁻²). n = número de muestras.

Fertilizante	n	Peso fresco	Peso seco
Con N	52	353,63 a ^a	71,79 a
Sin N	40	194,73 b	41,65 b
Con P	52	387,02 a	77,21 a
Sin P	40	151,33 b	34,60 b
Con K	52	304,29 a	62,19 a
Sin K	40	258,88 a	54,13 a

^a Los valores medios para una mismo elemento, designados con distinta letra, son significativamente diferentes (p<0.05).

CONCLUSIONES

Las arcillas erosionadas del Cretácico de los Prepireneos tienen un contenido muy bajo en N y P asimilable; sin embargo, los niveles de potasio son adecuados para la colonización y desarrollo de la vegetación que se utiliza en su recuperación. A partir de ensayos de laboratorio se concluye que, cuando se aporta fósforo con el abonado, se obtiene una producción vegetal dos veces superior en comparación a cuando no se aporta este nutriente.

La experimentación simultánea en condiciones de campo y de laboratorio es útil para seleccionar las dosis óptimas de abonado. Los mejores resultados de producción se obtienen cuando se aportan 96 kg N ha⁻¹, 180 kg P₂O₅ ha⁻¹ y 180 kg K₂O ha⁻¹ con fertilizantes NPK. Así mismo, se consiguen buenas respuestas cuando se aporta fósforo combinado con nitrógeno con dosis de 128 kg N ha⁻¹ y 240 kg P₂O₅ ha⁻¹. En estos casos parece suficiente para conseguir una cubierta vegetal superior al 50% de la superficie.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se ha realizado en el marco del proyecto PROHIDADE, financiado por la CICYT (AMB 95-0986-C02-01).

REFERENCIAS

Ballesteros, R. (1994): Efecte dels factors locals i de fertilitat en una experiència de revegetació em una àrea de badlands de la conca de l'Alt Llobregat. TFC Escola Superior Agricultura Barcelona. 257 p.

Clotet, N., Gallart, F., Balasch, J. (1988): Medium term erosion rates in a small scarcely vegetated catchment in the Pyrenees. *Catena Supplement* 13, 37-47.

Gallart, F. (1992): Sobre la actividad de las zonas de cárcavas en un gradiente de precipitación: Un experimento de ordena-

dor. En: Lopez-Bermudez, F., Conesa, C., Romero, M.A. (Eds.) *Estudios de Geomorfología en España*, S.E.G., Murcia. Tomo II, 705-711.

- García-Fayos, P., Recatalá, M.T. (1992): La reserva de semillas en una cuenca de "badlands" (Petrer, Alicante). *Pirineos* 140; 29-36.
- García-Fayos, P., García-Ventoso, B., Cerdà, A. (2000): Limitations to plant establishment on eroded slopes in southeastern Spain. *Journal of Vegetation Science* 11: 77-86.
- Gonzalez, C., Ortigosa, L., Martí, C., Garcia Ruiz, J.M. (1994): Aplicación de técnicas SIG al estudio de la organización espacial de procesos geomorfológicos en montaña. En: Arnáez, J., García-Ruiz, J.M., Gómez-Villar, A. (Eds.) *Geomorfología en España*, S.E.G., Logroño. Tomo II, 365-377.
- Guardia, R. (1995): La colonització vegetal de les àrees erosionades de la conca de La Baells (Alt Llobregat). Tesis Doctoral. Universitat Barcelona. Barcelona. 317 p.
- Imeson, A.C., Verstraten, J.M. (1988): Rills on badland slopes: A physicochemically controlled phenomenon. *Catena Supplement* 12:139-150.
- Regüés, D., Pardini, G., Vigna, G., Gallart, F. (1994): El efecto de los ciclos térmicos e hídricos sobre las rocas arcillosas: un experimento de laboratorio. En: Arnáez, J., García-Ruiz, J.M., Gómez-Villar, A. (Eds.) *Geomorfología en España*, S.E.G., Logroño. Tomo I, 6-72.
- Regüés, D., Pardini, G., Gallart, F. (1995): Regholic behavior and physical weathering of clayey mudrock in a gullied area, as dependent on seasonal weather conditions. *Catena* 25, 199-212.
- SAS Institute. (1992): SAS/STAT User's Guide. Version 6.08, vols I and II. Sans Institute Inc, Cary, NC.

- Solé, A., Josa, R., Pardini, G., Aringhieri, R., Plana, F., Gallart, F. (1992): How mudrock and soil physical properties influence badland formation at Vallcebre (Pre-Pyrenees, Spain). *Catena* 19, 208-300.
- Tello, B., Torcal, L., Gonzalez, J.A. (1994): Rasgos geomorfológicos del Valle del río Aragón, en las proximidades de Jaca (Huesca, Pirineo Aragonés). En: Arnáez, J., García-Ruiz, J.M., Gómez-Villar, A. (Eds.) *Geomorfología en España*, S.E.G., Logroño. Tomo II, 391-402.