



2022
Lleida

27 · 1
junio · juny
juliol · juliol

Cataluña
Catalunya

8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

La **Ciencia forestal** y su contribución a
los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**

8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales

Cataluña | Catalunya · 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022

ISBN 978-84-941695-6-4

© Sociedad Española de Ciencias Forestales



Organiza

La preparación del suelo para repoblación en laderas con alta pluviometría: terrazas subsoladas vs. ahoyado mecanizado

AROCA-FERNÁNDEZ, M.J.¹, SEVILLA MARTÍNEZ, F.², GASTÓN GONZÁLEZ, A.¹, PICARDO NIETO, A.³, GARCÍA-VIÑAS, J.I.¹, GÓMEZ-SANZ, V.¹.

¹ ECOGESFOR, ETS de Ingeniería de Montes Forestal y del Medio Natural, Universidad Politécnica de Madrid.

² Servicio Territorial de Medio Ambiente de Burgos, Junta de Castilla y León.

³ Consejería de Patrimonio Natural y Política Forestal, Junta de Castilla y León.

Resumen

La preparación del suelo mediante terrazas subsoladas ha sido un método muy empleado en repoblación por la mejora que produce en las condiciones hidrológicas de la estación, por su bajo coste y por requerir maquinaria y aperos ampliamente disponibles. Sin embargo, la fuerte reducción de la escorrentía que genera en ladera puede llegar a convertirse en un inconveniente en zonas con elevada pluviometría. El presente trabajo ilustra esta problemática mediante el análisis de una repoblación de los años 90 en Espinosa de los Monteros (Burgos), que empleó terrazas subsoladas y ahoyado mecanizado, y en la que se caracterizan y comparan la masa resultante, las condiciones edáficas y la morfología del terreno, en ambos tipos de preparación del suelo. Los resultados indican mayor supervivencia y desarrollo de la masa en la parte preparada mediante ahoyado que en las terrazas subsoladas, donde los escasos pies supervivientes muestran bajos crecimientos y mal estado vegetativo. Se comprueba que los cambios generados por las terrazas en la fisiografía de la ladera y en las propiedades edáficas pueden comprometer el éxito de las repoblaciones en estaciones que reciben altas precipitaciones. Tratamientos con menor efecto hidrológico como el ahoyado mecanizado pueden resultar mucho más eficaces.

Palabras clave

Tratamientos mecanizados, alteración topografía, encharcamiento edáfico, supervivencia del regenerado.

1. Introducción

Las terrazas son una técnica de preparación del terreno en repoblaciones forestales difundida en España en los años 60 del siglo XX, con la llegada de maquinaria de obra civil (buldóceres) capaz de efectuar grandes movimientos de tierra a un precio asequible. La revolución tecnológica no se limitó a sustituir el penoso trabajo manual, sino que introdujo modificaciones esenciales en el diseño de las repoblaciones: el desplazamiento de los bulldóceres se hacía por curva de nivel, que era su forma habitual de funcionamiento en carreteras, lo que exigía la construcción de plataformas aproximadamente a nivel. A esta conveniencia operativa se unió una virtud en terrenos secos: el aterrazamiento rebajaba enormemente, o incluso detenía, la escorrentía; y aumentaba la capacidad de retención de agua (SERRADA et al., 1997; MARTÍNEZ DE AZAGRA et al. 2002).

Los efectos ecológicos de las terrazas no se limitan sin embargo a los hidrológicos: se produce una profunda alteración edáfica y topográfica, con consecuencias variadas como la artificialización del paisaje y la alteración de la transitabilidad de la ladera. Especial importancia a este respecto tiene el cambio ejercido sobre la movilidad de la fauna y concretamente que se facilita el desplazamiento de grandes fitófagos (silvestres y domésticos) por curva de nivel, lo que en ocasiones ha sido causa de fracasos en plantaciones. En sentido contrario, también se dificulta el

movimiento en el resto de las direcciones, tanto de animales como de maquinaria, lo que constituye un inconveniente para los aprovechamientos forestales, ya que es preferible que las calles de desembosque sigan la dirección de la máxima pendiente, pues si se usan las plataformas de las terrazas el impacto es mucho mayor y la saca es más costosa y complicada.

Por todo ello este tratamiento fue quedando en desuso a partir de la década de los 90, siendo desplazado por la mecanización con tractores de alta estabilidad y con retroaraña (SERRADA HIERRO *et al.* 2021). En una etapa de transición hasta su completa eliminación en los montes de muchas zonas de España, se utilizó una técnica que era una derivación de las terrazas: las fajas subsoladas. Básicamente eran lo mismo pero en lugar de ser llanas o en contrapendiente las plataformas realizadas tenían una ligera inclinación a favor de la ladera. No podía ser muy elevada por el peligro de vuelco del tractor de cadenas. Aunque en teoría se aplicaban sin alterar el perfil del terreno hasta un 30% de pendiente, la realidad era que los operarios tendían a hacer plataformas casi llanas por razones de seguridad, dado que la estabilidad de la maquinaria se ve seriamente comprometida cuando se desplaza por curva de nivel y una roca la inclina un poco más de lo previsto.

Asumidos los inconvenientes de las fajas o terrazas, generalmente se han contrapesado con sus beneficios que, tal y como indican SERRADA HIERRO *et al.* (2021), podrían resumirse en: corrección de los efectos negativos de la escorrentía superficial (particularmente en terrenos con procesos erosivos avanzados); abaratamiento de los costes de ejecución (no requieren desbroce previo, facilitan la plantación mecanizada y, bien aplicados, generan bajas tasas de marras); pueden contribuir al rejuvenecimiento del perfil y al aumento de su profundidad efectiva en determinadas litologías como las pizarras. Que las ventajas superen a las desventajas va a depender entre otras cosas del lugar en el que se realicen las actuaciones. En este sentido, el presente estudio pretende analizar algunas de las repercusiones de la preparación mediante fajas o terrazas cuando se realizan en estaciones con elevada precipitación, para lo que se analiza una repoblación de los años 90 ubicada en la zona norte de la Península Ibérica.

2. Objetivos

Aportar el análisis de un estudio de caso sobre el uso de terrazas subsoladas en repoblación en una estación con elevada pluviometría del norte peninsular. Valorar el estado de la repoblación realizada 26 años después de las actuaciones y analizar las características edáficas resultantes. Comparar los resultados obtenidos con el comportamiento de una repoblación mediante ahoyado realizado simultáneamente en una parte del monte analizado.

3. Material y métodos

3.1. Caracterización general de la estación en la zona de estudio

La zona de estudio corresponde a una superficie de aproximadamente 12,9 ha ubicadas en el término municipal de Espinosa de los Monteros, dentro del monte 636 “Baragona, Las Llanas y Vallejeras” del Catálogo de Montes de Utilidad Pública de la provincia de Burgos. Sus coordenadas centrales UTM ETRS89 30T son: 4514588, 4770294. Se trata de una ladera con orientación NE-NW, situada entre las cotas 980 y 1074 m, y con una pendiente comprendida mayoritariamente entre el 10 y el 35%, aunque algunas partes alcanzan el 40-65%. Presenta el clima típico de las montañas cantábricas, con inviernos fríos y húmedos y veranos frescos sin aridez. Las estimaciones de la AEMET (Visor del Atlas Climático de la AEMET: <http://agroclimap.aemet.es/#>) establecen para esta zona una temperatura media anual de 9,8°C (\overline{T}_{\min} mes más frío = -0,6°C y \overline{T}_{\max} mes más cálido = 24,4°C) y una precipitación anual de 1032 mm, de los que 145 mm corresponden al período estival. Las mediciones de estaciones cercanas, que no constan en la red a partir de la que se hicieron los

modelos (Lunada y Alto Trueba), indican sin embargo cierta infraestimación en esta medida (probablemente como consecuencia de su ubicación particular dentro de la cadena montañosa), que estaría en realidad más próxima a los 1500 mm, lo que habrá de ser tenido en cuenta a la hora de poner en contexto las conclusiones de este estudio. El material litológico presente son areniscas del cretácico: material detrítico y sedimentario que, en ocasiones, alcanza cierto grado de metamorfismo dando lugar a metareniscas. Sobre dicho sustrato se desarrollan suelos profundos, con escasa pedregosidad, textura franco-arenosa a franco arenosa-arcillosa en profundidad, y marcada acidez. La vegetación se sitúa en el dominio del Tipo Climático-estructural Caducifolio, siendo la formación vegetal dominante un matorral espinoso de talla baja y espesura muy elevada, con pies dispersos arbóreos, la mayoría de frondosas caducifolias, pero también algunas coníferas procedentes de repoblación.

3.2. Historial de intervenciones de repoblación

La zona analizada fue repoblada por primera vez mediante hoyos manuales, a finales de los años 50, con una masa de pino silvestre (*Pinus sylvestris*) que se quemó en un gran incendio acaecido en agosto de 1986. Tras el incendio, en el año 1994, se llevaron a cabo nuevos trabajos de repoblación cuando la zona se encontraba cubierta de matorral pirófito (tojós mayoritariamente). Se emplearon para ello dos sistemas de repoblación distintos:

- 1) Rodal 1: la mayor parte de la superficie analizada (10,4 ha); se repobló mediante la técnica conocida como fajas subsoladas, que en la práctica eran unas terrazas subsoladas y ligeramente volcadas. Se empleó en esta parte abeto Douglas (*Pseudotsuga menziesii*) y, en una pequeña proporción y por golpes, frondosas (*Quercus petraea*, *Acer pseudoplatanus*, *Sorbus aucuparia*, *Ilex aquifolium*).
- 2) Rodal 2: pequeño rodal de 2.5 ha ubicado en la parte inferior de la ladera, en el que se volvió a instalar pino silvestre en hoyos, esta vez mecanizados mediante tractor de cadenas circulando en máxima pendiente, equipado con dos rejones con orejetas para ensancharlos en su parte baja y abrir más los hoyos al hincarse en el terreno.

En la figura 1 se representan los límites de ambos rodales sobre la ortofoto del PNOA correspondiente a 2005 (diez años después de las actuaciones de repoblación), en la que aún se aprecian perfectamente las terrazas sobre el terreno. El análisis del presente trabajo se centra mayoritariamente en rodal 1 aunque se emplea el rodal 2 como referencia.

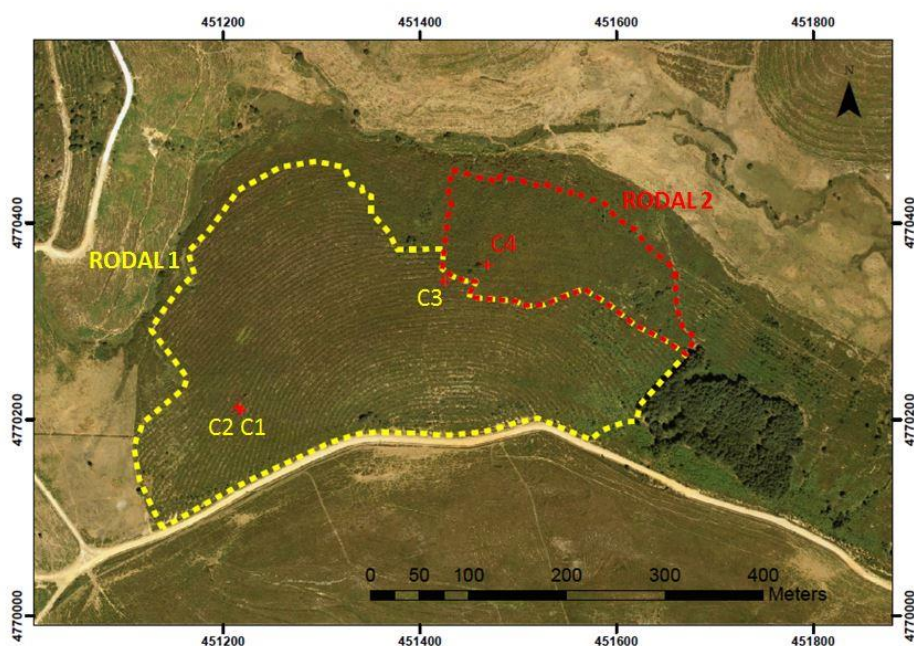


Figura 1. Representación sobre ortofoto del PNOA del año 2005 (UTM 30T ETR89) del perímetro del área de estudio diferenciando la zona preparada mediante terrazas y repoblada mayoritariamente con *Pseudotsuga menziesii* (Rodal 1), de la preparada mediante hoyos mecanizados y repoblada con *Pinus sylvestris* (Rodal 2). Mediante una cruz roja se señala así mismo el emplazamiento de las calicatas muestreadas (C1-C4).

3.3. Muestreo

Con el fin de valorar las propiedades edáficas tras el tratamiento de preparación del suelo, se llevan a cabo cuatro calicatas cuya ubicación se representa y describe en la figura 1 y en la tabla 1 respectivamente.

Tabla 1. Ubicación de los puntos de muestreo de suelos.

Calicata	Coordenadas UTM 30T ETRS89		Rodal	Pendiente ladera (%)	Preparación	Posición
C1	451217,6	4770209,5	1	15	Terrazas	Junto a desmonte
C2	451215,3	4770212,4	1	15	Terrazas	Junto a terraplén
C3	451424,4	4770341,3	1	50	Terrazas	Junto a desmonte
C4	451468,2	4770357,7	2	50	Hoyos	Entre hoyos

En cada calicata se efectúa la descripción del perfil de suelo (profundidad total y freática, horizontes y espesores, colores Munsell) y se toman muestras para el posterior análisis de laboratorio de los principales parámetros físicos y químicos: % elementos gruesos (tamiz 2mm), textura USDA (Boyucos), materia orgánica oxidable (volumetría redox, PNT-S-05), pH en agua 1:2,5 (potenciometría, PNT-S-01), % cambio catiónico, conductividad 1:5 (PNT-S-02), capacidad de intercambio catiónico y nitrógeno total (Kjedahl modificado), fósforo asimilable (Olsen, PNT-S-04) y potasio asimilable (ICP-OES, PNT-S-07). Analítica realizada en el laboratorio ITAGRA, Universidad de Valladolid.

Así mismo se lleva a cabo una valoración ocular del estado de las distintas zonas de la repoblación incluyendo una caracterización florística de los rodales 1 y 2 mediante sendas parcelas de 20x20 y 50x50 m ubicadas en torno a las calicatas 1 y 4. Así mismo se realiza la estimación en gabinete de la densidad de pies supervivientes mediante fotointerpretación sobre la ortofoto PNOA correspondiente a octubre de 2020, realizando muestreos por cuadrículas de 20x20 m en un 50% de la superficie del rodal. Todos los muestreos de campo se llevan a cabo en octubre de 2020.

4. Resultados

4.1. Estado actual de la repoblación

Transcurridos 26 años desde las labores de repoblación, el rodal 1 (preparación por terrazas) presenta en su mayor parte un tojar mixto de *Ulex gallii* con *Erica cinerea* (figura 2.A), que conforma una cubierta vegetal de talla baja con fracción de cabida cubierta muy elevada, en la que destacan por su significado golpes y plantas dispersas de *Erica tetralix* (brezo hidrófilo). Los pies supervivientes de la repoblación son en su mayoría *Pseudotsuga menziesii*, pero apenas alcanzan los 120 pies/ha y presentan un desarrollo muy deficiente, con alturas medias de 1.5 m y alta frecuencia de puntiseado o secado completo. Su distribución espacial es muy irregular presentando tendencia a concentrarse por grupos. También aparecen pies dispersos de pequeño y mediano tamaño de *Sorbus aucuparia*, *Ilex aquifolium* y algún pequeño ejemplar de *Quercus petraea*.

Dentro de este rodal destaca, no obstante, una pequeña zona integrada por la superficie de la ladera con mayor pendiente (45-60%, extremo oriental), junto con las zonas de cresta, en las que la repoblación ha sido exitosa, generando una masa arbolada compuesta mayoritariamente por *Pseudotsuga menziesii*, con espesura casi completa y alturas que superan los 5 m (figura 2.B).



Figura 2. Vistas panorámicas del estado actual del área repoblada en distintos escenarios: 2.A. Rodal 1: Tojar denso con pies supervivientes de *P. menziesii* en zona de repoblación por terrazas en la parte de la ladera con pendiente <30%. Se aprecian las copas secas frecuentes en esta parte de la repoblación. 2.B. Rodal 1: Fustal de *Pseudotsuga menziesii* en zona de repoblación por terrazas en la cresta de la ladera. 2.C. Rodal 2: Latizal de *Pinus sylvestris* en zona de repoblación por hoyos en ladera de alta pendiente.

El rodal 2 (preparación por hoyos mecanizados), por su parte, presenta un latizal de *Pinus sylvestris* con un adecuado estado de desarrollo y una fracción de cabida cubierta media del 30%, en el que la reforestación se puede considerar conseguida y la masa obtenida estable (figura 2.C).

En la figura 3 puede observarse la distribución actual de pies supervivientes en los rodales 1 y 2, sobre la ortofoto PNOA oct-2020 (UTM 30N ETRS89). En verde se indica la ubicación de las parcelas de inventarios florísticos 1 y 2 (junto a calicatas 1-2 y 4) que se aportan en el anejo 1.

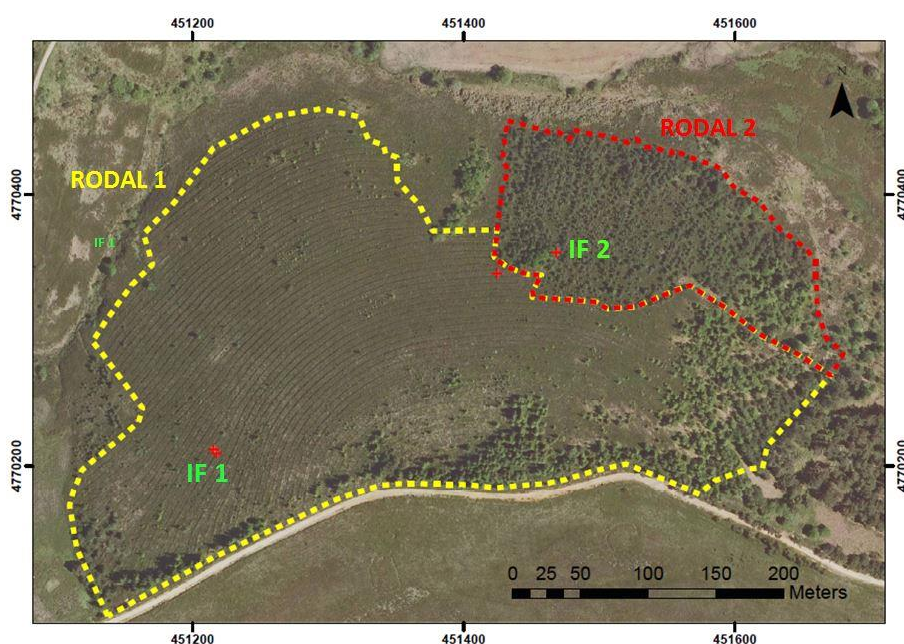


Figura 3. Ortofoto (PNOA, UTM 30T ETRS89) del área de estudio en la que puede apreciarse el estado de la vegetación en octubre de 2020, 26 años después de la repoblación. Tanto en el rodal 2 como en el extremo oriental del rodal 1 y en las zonas de cumbre, puede apreciarse un desarrollo mucho mejor de la masa implantada que, por el contrario, ha fracasado casi por completo en el resto del rodal 1. En verde se indica la ubicación de los inventarios florísticos 1 y 2 que se aportan en el anejo 1.

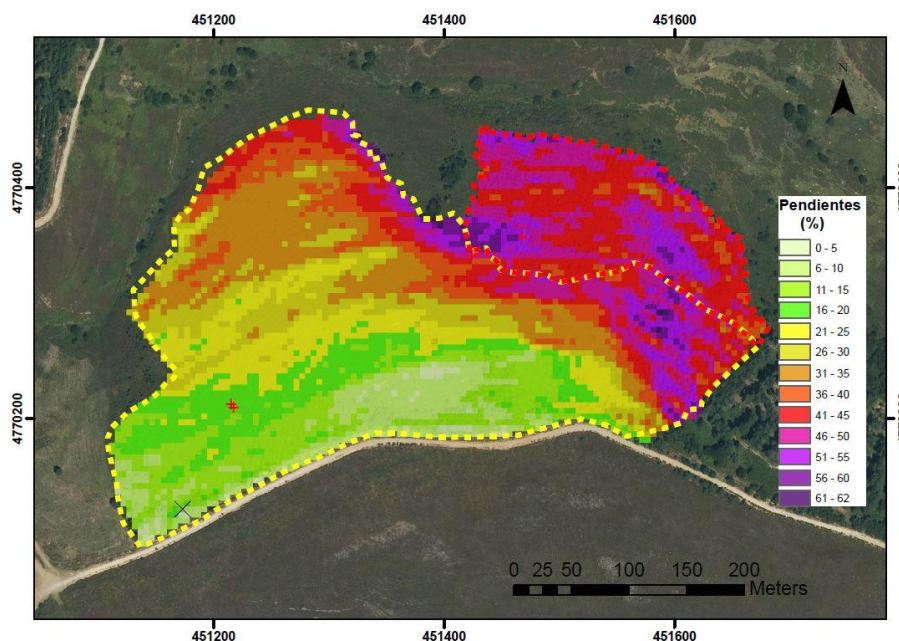


Figura 4. Mapa de pendientes de la zona de estudio elaborado a partir del MDT 1ª Cobertura con paso de malla de 5 m sobre ortofoto (PNOA, UTM 30T ETR89).

4.2. Caracterización edáfica

La descripción detallada de los perfiles en campo así como los resultados analíticos de las calicatas se adjuntan en los anexos 2 y 3. Las imágenes de las calicatas realizadas se muestran en la figura 5.

Los cuatro perfiles analizados presentan alta profundidad (>50 cm) y textura franco-arenosa en los horizontes superficiales. Sin embargo, las calicatas C3 y C4 (terrazza en alta pendiente y hoyos) presentan una mayor presencia de arcillas en profundidad, por lo que cabe esperar que los perfiles situados en la terraza en baja pendiente (C1 y C2), presenten una mayor permeabilidad mientras que la capacidad de almacenamiento será mayor en C3 y C4. Estas diferencias pueden ser debidas al material litológico de partida que, en los puntos 1 y 2 es de carácter sedimentario y detrítico (areniscas) mientras que en C3 y C4 es más consistente y con cierto grado de foliación indicando un cierto grado de metamorfismo (metaareniscas).

Los cuatro perfiles presentan bastante homogeneidad en sus propiedades químicas: buen contenido en materia orgánica (humus tipo MOR), reacción fuertemente ácida (especialmente marcado en los horizontes 1 y 2 del punto 4 y en el horizonte subsuperficial del punto 3 (que muestra propiedades álicas), complejo adsorbente insaturado y de tamaño medio (fertilidad potencial moderada) y ausencia de influencia salina. Cabe destacar no obstante la presencia de jaspeado o moteado (manchas anaranjadas por reducción del hierro) en los puntos 1 y 2, lo que es indicador de condiciones reductoras generadas por encharcamiento alterno, que no existen en los puntos 3 y 4. En este sentido hay que señalar que el freático se encontraba muy alto en el momento de muestreo, por ese motivo esas calicatas se llenaron de agua durante la toma de muestras (figura 6).



Figura 5. Imágenes de los perfiles de suelo en los cuatro puntos de muestreo: C1: zona de terrazas en ladera de baja pendiente, junto al desmonte; C2: zona de terrazas en ladera de baja pendiente, junto al terraplén; C3: zona de terrazas en ladera de alta pendiente, junto al desmonte; C4: zona de ahoyado, entre hoyos.

5. Discusión

Los resultados observados ponen de manifiesto que el fracaso de la repoblación en el área estudiada se concentra mayoritariamente en las zonas preparadas mediante terrazas subsoladas, particularmente fuera de las posiciones altas de la ladera, en pendientes medias o bajas (5-30%), y cuando la especie introducida es *Pseudotsuga menziensis*.

Los perfiles analizados en ese tipo de zona (C1 y C2) no revelan la existencia de propiedades edáficas directamente limitantes para la supervivencia y/o desarrollo de la especie, como podrían ser la escasa profundidad, la presencia de horizontes de iluviación de arcillas que modifiquen la profundidad útil o generen encharcamiento, la presencia de carbonatos, o la falta de fertilidad del suelo (VEGA ALONSO et al. 1998). Por el contrario, encontramos suelos profundos y ácidos, con texturas fracoarenosas que favorecen la permeabilidad y el buen desarrollo radical, y una fertilidad que, si bien podría no favorecer crecimientos extraordinarios, no justifica la muerte y decaimiento observado en los pies.



Figura 6. Estado inundado de los perfiles C1 y C2 media hora después del muestreo.

Sin embargo, y a pesar de su granulometría, los perfiles C1 y C2 presentaron en el momento de muestreo una situación de saturación total, aflorando el freático a escasos 20-30 cm de profundidad en C1 y 50 cm en C2, tras realizar las calicatas (figura 5). Dichos perfiles presentaban así mismo jaspeado ferroso, que es un indicador de condiciones reductoras generadas por encharcamiento alterno en el perfil. Dichas condiciones son concordantes con la presencia en densidad variable de *Erica tetralix* (brezo hidrófilo) en esta zona (IF1, Anejo 1). No se encontró ninguno de estos indicios de encharcamiento en los perfiles C3 y C4, ambos situados sobre zonas en las que la pendiente general de la ladera ronda el 50%, aunque el primero se ubique sobre terrazas y el segundo en zona de ahoyado mecanizado.

El tratamiento de preparación lineal por terrazas, a diferencia del ahoyado, modifica la forma de la ladera, generando un perfil en escalera que altera notablemente el flujo superficial y sub-superficial de agua en la misma. De este modo, se reduce casi por completo la escorrentía en máxima pendiente y se aumenta la tasa de infiltración en las plataformas de las terrazas (MARTINEZ DE AZAGRA *et al.*, 2002; MARTÍNEZ DE AZAGRA *et al.*, 2009; MODREGO y ELENA, 2005; SERRADA *et al.*, 1997).

Siempre que la capacidad de la plataforma de la terraza para evacuar el agua (drenaje por el interior del suelo + desalojo lateral siguiendo el eje longitudinal de la misma) sea inferior a la precipitación recibida durante un período de tiempo, el suelo se mantendrá saturado de agua y se generará encharcamiento superficial. La duración y frecuencia de éste dependerá, entre otros, del régimen termopluviométrico de la estación, de las características edáficas y del diseño de las terrazas. En este último aspecto importan tanto su anchura y pendiente transversal como su pendiente longitudinal, que va a permitir o no el desalojo lateral del agua sobrante con velocidad suficiente. A estos elementos hay que añadir la fisiografía original del terreno y su litología, que condicionan el drenaje por el interior del suelo. Es imprescindible que el diseño y replanteo de cualquier preparación del terreno con fines hidrológicos valore con detalle las condiciones concretas de la estación para asegurar conseguir el efecto hidrológico requerido (MARTINEZ DE AZAGRA 2021).

En el caso que nos ocupa, el régimen pluviométrico del área de estudio (1032 mm anuales teóricos – sospecha de $\cong 1500$ reales – y aprox. >100 mm mensuales entre octubre y mayo), eleva enormemente el riesgo de encharcamiento asociado a la preparación del suelo por terrazas. En tales circunstancias, la capacidad de evacuación del agua sobrante va a ser muy importante. Sin embargo, la observación detallada de la dirección de las terrazas con respecto a las curvas de nivel, pone de manifiesto que, en la mayor parte de la superficie tratada, ambas son prácticamente paralelas, lo que implica una baja pendiente longitudinal y un limitado desagüe lateral.

El peso del desalojo del agua recae por tanto en gran medida sobre el drenaje gravitacional a través del suelo. Dicho drenaje es un proceso complejo ligado a las características edáficas, a la geomorfología de la ladera y a las características del material litológico y resulta difícil de predecir con detalle. Aun así, a igualdad del resto de factores, cabe esperar que una mayor pendiente en la ladera acelere el drenaje, del mismo modo que cabe esperar que las zonas altas de la ladera, que drenan agua para abajo pero no la reciben de más arriba, tengan menores problemas de encharcamiento. Por el contrario, en ausencia de otros condicionantes, las zonas de la ladera de menor pendiente tenderán a drenar el agua con más lentitud y permanecerán saturadas (y en ocasiones encharcadas) más veces y durante más tiempo.

Todo el rodal aterrazado (por clima y tratamiento), va a tener por tanto una alta probabilidad de presentar encharcamiento temporal, pero esta probabilidad será más alta aun en las zonas de media-baja ladera con pendiente menos elevada. A pesar de ello la especie principal seleccionada para la repoblación del rodal en su conjunto fue el abeto Douglas, probablemente por el elevado interés productivo de la especie y por su compatibilidad climática con la zona. Sin embargo, esta especie es descrita habitualmente como una especie bastante sensible al encharcamiento, aunque este se produzca en breves períodos, tanto por la supervivencia de los brinzales como por su posterior desarrollo (JOSEPH y KELSEY, 1997; MINORE, 1968; ZAERR, 1983).

Los problemas habitualmente asociados al encharcamiento (KOZLOWSKI, 1997), son compatibles con el estado actual de la repoblación. También lo es el hecho de que otras especies algo más tolerantes como el *Sorbus aucuparia*, que ve más afectado su crecimiento que su supervivencia por encharcamientos parciales (Frye y Grosse, 1992), hayan sobrevivido en mayor proporción que *P. menziesii*, teniendo en cuenta que fueron plantadas en mucho menor densidad

que ésta. El abeto Douglas por su parte, sólo ha presentado mejor supervivencia y desarrollo en las zonas de la ladera con mejor drenaje esperado. Resulta también coherente que el desarrollo de la repoblación también ha sido mucho más adecuado en el rodal 2 en el que tratamiento (por hoyos) pendiente (elevada) y especie (*Pinus sylvestris*) hacían esperar un mejor comportamiento frente a la alta pluviometría.

En definitiva, la combinación de clima, relieve, tratamiento y especie principal ha resultado poco acertada en la mayor parte del rodal 1 y, a pesar de tratarse de un proceso multifactorial, existe una alta probabilidad de que el encharcamiento haya sido el detonante principal del fracaso en la repoblación del caso analizado. El cambio de uno o varios de los factores implicados podría haber mejorado sensiblemente el resultado de la repoblación, tal y como demuestra el estado del rodal 2 o el de la cumbre y las laderas de alta pendiente.

6. Conclusiones

El caso estudiado pone de manifiesto la enorme importancia de valorar adecuadamente el efecto hidrológico de los tratamientos de preparación del suelo a la hora de diseñar la repoblación en una zona, teniendo en cuenta que el problema no sólo puede ser por escasez de agua, sino también por exceso. En este sentido, cabe destacar que el empleo de terrazas o fajas subsoladas puede ser altamente contraproducente en estaciones que reciben altas precipitaciones y comprometer el éxito de las repoblaciones. En esos casos, tratamientos con menor efecto hidrológico como el ahoyado mecanizado pueden resultar mucho más eficaces.

7. Agradecimientos

A Juan Antúnez Vázquez y José Félix Pereda Pereda por su ayuda en los trabajos de campo del presente estudio. A Rufino Antúnez Alcalá, que aportó información sobre cómo se ejecutó la repoblación analizada.

8. Bibliografía

- FRYE, J.; GROSSE, W.; 1992. Growth Responses to Flooding and Recovery of Deciduous Trees. *Zeitschrift fur Naturforschung - Section C Journal of Biosciences* 47 683-689.
- JOSEPH, G.; KELSEY, R.; 1997. Ethanol synthesis and water relations of flooded *Pseudotsuga menziensis* (Mirb.) Franco (Douglas-Fir) seedling under controlled conditions. *International Journal of Plant Sciences* 158 844-850.
- Kozłowski, T.T.; 1997. Responses of woody plants to flooding and salinity. *Tree Physiology* 17 490-490.
- MARTINEZ DE AZAGRA, A.; 2021. Preparación del suelo y economía del agua, en: Pemán García, J., Navarro Cerrillo, R., Prada Sáez, M.A., Serrada Hierro, R. (eds.), Bases técnicas y ecológicas del proyecto de repoblación forestal. 703-721. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). Madrid.
- MARTÍNEZ DE AZAGRA, A.; MONGIL, J.; DEL RIO, J.; 2009. MODIPE: estudio de casos y ejemplos [WWW Document].
- MARTINEZ DE AZAGRA, A.; MONGIL, J.; FERNÁNDEZ DE VILLARÁN, R.; 2002. Estudio hidrológico del aterrazado con subsolado mediante el modelo MODIPE. *Ecología* 16 33-44.
- MINORE, D.; 1968. Effects of artificial flooding on seedling survival and growth of six northwestern tree species. USDA Forest Service. Portland, OR.

MODREGO, P.; ELENA, R.; 2005. Efectos de las repoblaciones por terrazas con «Pinus sylvestris» L. en las propiedades químicas del suelo en Castilla y León. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales* 13 239-244.

SERRADA HIERRO, R.; NAVARRO CERRILLO, R.; GÓMEZ MAMPASO, V.; OCAÑA BUENO, L.; PEMÁN GARCÍA, J.; 2021. Procedimientos de preparación del suelo, en: Pemán García, J., Navarro Cerrillo, R., Prada Sáez, M.A., Serrada Hierro, R. (eds.), Bases técnicas y ecológicas del proyecto de repoblación forestal. 625-702. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). Madrid.

SERRADA, R.; MINTEGUI, J.A.; ROBREDO, J.C.; GARCÍA, J.; GÓMEZ, V.; ZAZO, J.; NAVARRO-CERRILLO, R.; 1997. Formación de escorrentías con lluvias torrenciales simuladas, en parcelas con diferentes cubiertas vegetales y distintas preparaciones del suelo para las repoblaciones forestales. *2 Congreso Forestal Español* Tomo I 605-610.

VEGA ALONSO, G.; RODRÍGUEZ SOALLEIRO, R.; ARENAS RUIZ, S.; 1998. Manual de selvicultura del pino de Oregón. Lugo: Proxecto Columella. Escola Politécnica Superior. Lugo.

ZAERR, J.B.; 1983. Short-term flooding and net photosynthesis in seedlings of three conifers.. *Forest Science* 29 71-78.

Anexo 1: Inventarios florísticos de las zonas de muestreo

Inventario 1: Rodal 1. Punto C1-C2

Fecha: 09/10/20	Localidad: Espinosa de los Monteros.		Provincia: BU	Tamaño: aprox. 50 x 50 m
Altitud: 1060 m	Posición fisiográfica: ladera	Orientación: NE		Litología: areniscas
Agrupación vegetal: tojar mixto		Talla: de matorral medio (mm)	Porcentaje cubierta total: 100 %	
Complejo evolutivo: robledal de <i>Quercus petraea</i>			Nivel evolutivo: 3	
Inventario florístico				
Especie		Estrato	% de abundancia	
<i>Ulex gallii</i>		mm	60	
<i>Erica cinerea</i>		mm	30	
<i>Daboecia cantabrica</i>		mm	5	
<i>Erica vagans</i>		mm	2	
<i>Erica arborea</i>		mm	-	
<i>Erica tetralix</i>		mm	-	
<i>Teucrium scorodonia</i>		mm	-	
<i>Calluna vulgaris</i>		mm	-	
Observaciones: Pies dispersos de talla arbustiva de <i>Sorbus aucuparia</i> , <i>Ilex aquifolium</i> , <i>Quercus petraea</i> , <i>Pinus sylvestris</i> (abanderados y de repoblación) y <i>Pseudotsuga menziesii</i> (abanderados y de repoblación). Terrazas de repoblación				

Talla del estrato: mm: matorral medio, A: arbórea, mb: matorral bajo,

Inventario 2: Rodal 2. Punto C4

Fecha: 09/10/20	Localidad: Espinosa de los Monteros.	Provincia: BU	Tamaño: aprox. 20 x 20 m
Altitud: 1040 m	Posición fisiográfica: ladera	Orientación: NNO	Litología: areniscas
Agrupación vegetal: pinar de <i>Pinus sylvestris</i>		Talla: arbórea (A)	Porcentaje cubierta total: 100 %
Complejo evolutivo: robledal de <i>Quercus petraea</i>			Nivel evolutivo: 5
Inventario florístico			
Especie		Estrato	% de abundancia
<i>Pinus sylvestris</i>		A	25
<i>Pinus sylvestris</i>		a	5
<i>Ulex gallii</i>		mm	30
<i>Pteridium aquilinum</i>		mm	30
<i>Rubus ulmifolius</i> gr.		mm	15
<i>Populus tremula</i>		A	2
<i>Sorbus aucuparia</i>		a	2
<i>Daboecia cantabrica</i>		mb	5
Graminea perenne		mm	3
Observaciones: Pinar de repoblación en hoyos			

Talla del estrato: mm: matorral medio, A: arbórea, mb: matorral bajo

1 Anexo II: descripción de campo de los puntos de muestreo edáfico

	Punto C1: terraza junto desmonte, baja pendiente		Punto C2: terraza junto terraplén, ladera baja pendiente			Punto C3: terraza junto desmonte, ladera alta pendiente			Punto C4: zona repoblación, terreo entre hoyos.		
Litología:	Arenisca		Arenisca			Arenisca (metaarenisca)			Arenisca (metaarenisca)		
Rociedad (%):	0		0			0			0		
Pedregosidad superficial (%):	0		0			5			0		
Posición fisiográfica:	Media ladera		Media ladera			Media ladera			Media ladera		
Pendiente (%):	0		0			35			(no se anotó)		
Orientación:	N-NW		N-NW			N			N		
Drenaje superficial:	Impedido		Impedido			Normal			Normal		
Profundidad nivel freático:	± 30 cm		± 30 cm			Desconocido			Desconocido		
Erosión:	Nula		Nula			Nula			Nula		
Uso del suelo:	Ganadero- Forestal		Ganadero- Forestal			Forestal			Forestal		
Horizonte Orgánico (espesor; cm):	5 a 10		5			5 a 10					
Horizontes minerales:	P1.1	P1.2	P2.1	P2.2	P2.3	P3.1	P3.2	P3.3	P4.1	P4.2	P4.3
Nivel superior:	0	15	0	30	50	0	30	50	0	10	40
Nivel inferior:	15	-	30	50	-	30	50	-	10	40	-
Color Munsell:	10YR 3/2	10YR 5/3	10YR 3/2	10YR 4/3	10YR 5/4	5YR 2,5/1	5YR 3/2	5YR 3/4	10YR 3/2	10YR 4/6	10YR 3/3
Presencia de manchas	No	Moteado (*)	No	Moteado (*)	Moteado (*)	No	No	No	No	No	No
Raíces	Frecuentes	Escasas	Frecuentes	Escasas	Escasas	Frecuentes	Escasas	Escasas	Frecuentes	Escasas	Escasas
Pedregosidad no muestreable (%):	5	5	5	5	5	10	30	35	10	20	50
Pedregosidad no muestreable (forma):	Subangulosa	Subangulosa	Subangulosa	Subangulosa	Subangulosa	Platiforme	Platiforme	Platiforme	Platiforme	Platiforme	Platiforme
Humedad:	Húmedo	Húmedo	Húmedo	Húmedo	Húmedo	Húmedo	Húmedo	Húmedo	Húmedo	Húmedo	Húmedo
Tránsito al horizonte inferior:	Neto	Difuso	Neto	Neto		Difuso	Neto		Neto	Difuso	
Estructura:	Grumosa	Masiva	Grumosa	Masiva	Masiva	Grumosa	Grumosa	Masiva	Grumosa	Masiva	Masiva
Consistencia:	Débil	Debil	Débil	Débil	Débil	Débil	Firme	Dura	Débil	Firme	Firme

(*) Manchas anaranjadas -jaspedado-.

2 Anexo III: Resultados analíticos de las calicatas realizadas en la repoblación

3

				Elementos gruesos y textura (USDA)					Materia orgánica		Reacción del suelo y presencia de sales			Complejo Adsorbente	Fertilidad					
				EG (%)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Tipo textural	MO (%)	Calif. MO	pH agua	Calif. pH	Conductiv (dS/m)	CIC (meq/100g)	N (%)	Calif.N	P (mg/Kg)	Calif. P	K (mg/Kg)	Calif. K
C1	P11	A	15	6,6	61,0	26,0	13,0	Franco Arenosa	5,7	Muy Alto	5,1	Fuertemente ácido	0,03	15,94	0,20	Normal	1,4	Muy Bajo	56,0	Muy Bajo
	P12	Bwg	85	15,4	57,0	31,0	12,0	Franco Arenosa	1,1	Bajo	5,1	Fuertemente ácido	0,01	6,87						
C2	P21	A	30	9,7	59,0	27,0	14,0	Franco Arenosa	6,9	Muy Alto	4,9	Fuertemente ácido	0,04	18,13	0,29	Bien provisto	2,9	Muy Bajo	73,0	Bajo
	P22	Bwg	20	6,3	66,0	22,0	12,0	Franco Arenosa	2,1	Normal	5,2	Fuertemente ácido	0,02	10,31						
	P23	Bw/Cg	50	11,7	62,0	24,0	14,0	Franco Arenosa	2,9	Alto	4,9	Fuertemente ácido	0,03	5,31						
C3	P31	A	30	17,4	58,0	33,0	9,0	Franco Arenosa	7,8	Muy Alto	4,0	Muy fuertemente ácido	0,06	16,88	0,24	Bien provisto	5,6	Bajo	63,0	Bajo
	P32	Bt	20	30	37,0	34,0	29,0	Franco Arcillosa	2,5	Normal	4,7	Fuertemente ácido	0,04	26,56						
	P33	Bt/C	50	22,7	60,0	17,0	23,0	Franco Arcillo Arenosa	2,2	Normal	4,8	Fuertemente ácido	0,03	19,38						
C4	P41	A	10	30,2	62,0	29,0	9,0	Franco Arenosa	6,6	Muy Alto	4,4	Muy fuertemente ácido	0,04	13,13	0,23	Bien provisto	2,8	Muy Bajo	73,0	Bajo
	P42	BA	30	43,2	62,0	28,0	10,0	Franco Arenosa	2,7	Alto	4,4	Muy fuertemente ácido	0,06	10,63						
	P43	Bt/C	60	32,2	32,0	26,0	42,0	Arcillosa	2,7	Alto	4,8	Fuertemente ácido	0,02	18,44						

4