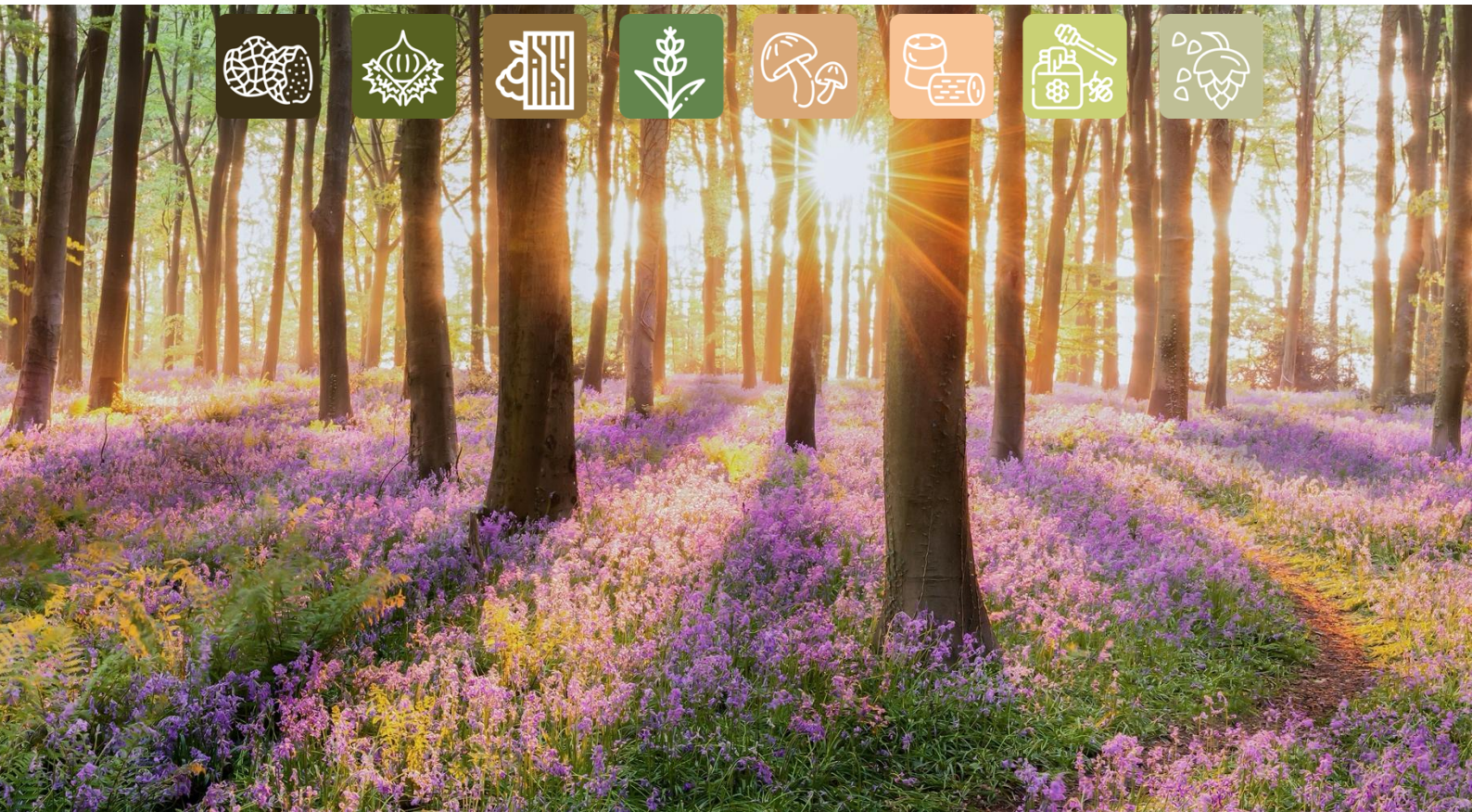




Manual de Buenas Prácticas para la gestión de repoblaciones jóvenes de *Pinus pinea* L. en la Meseta Norte



IMFOREST cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.



Este trabajo ha sido realizado por el ICIFOR-INIA, CSIC en el marco del proyecto IMFOREST – Impulso a la bioeconomía forestal a través del desarrollo, la innovación y la gestión sostenible de los recursos forestales no madereros.

Autores:

Rafael Calama Sáinz, Elisa Fernández Descalzo, Daniel González Gaarslev, Guillermo Margiral Casanueva, Laura Ojalvo Ortega (ICIFOR-INIA, CSIC)

Alfonso González (S.T. Medio Ambiente Valladolid)

Título del material: Manual de Buenas Prácticas para la gestión de repoblaciones jóvenes de *Pinus pinea* L. en la Meseta Norte.

Referencia a financiación: Imforest cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.

Año: 2025

Este material se distribuye bajo la licencia CC BY 4.0. Para ver una copia de esta licencia, visita <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Índice

1. Antecedentes e identificación del problema	5
2. Objetivos	5
3. Datos utilizados.....	5
4. Propuestas de gestión basadas en el índice de Hart-Becking	11
5. Consideraciones para la definición de buenas prácticas selvícolas en repoblaciones	15
6. Ejemplo de aplicación de las relaciones fundamentales (tabla de producción).....	17
7. Ejemplo de actuación en una repoblación del programa de FTA: sitio de ensayo de clareos en la Zarza (expte. 2503)	19
8. Bibliografía	23
Anexo fotográfico	24

Índice de figuras

<i>Figura 1.- Ubicación de los distintos dispositivos usados en el ensayo del MUP 37 (INIA: red de parcelas ICIFOR-INIA, CSIC; FTA: red de parcelas del Observatorio de Forestación de Tierras Agrarias del MITECO).</i>	6
<i>Figura 2.- Curvas de calidad de estación para repoblaciones de Pinus pinea forzadas a pasar por las alturas medias 4, 7, 10 y 13 a la edad de 30 años (Calama et al. 2024).</i>	8
<i>Figura 3.- Esquema de decisión acerca de la necesidad de intervenir selvicolamente en una repoblación joven de Pinus pinea.</i>	17
<i>Figura 4.- Finca de repoblación FTA 2503 sobre la que se desarrolla la acción del Living Lab.</i>	19
<i>Figura 5.- Esquema de tratamientos con las 3 intensidades de clara y tratamiento control.</i>	20
<i>Figura 6.- Ortofoto con la representación de las parcelas (amarillo) y la zona tampón (rojo).</i>	21

Índice de tablas

<i>Tabla 1.- Tratamientos aplicados en el sitio de ensayo de claras-clareos del MUP 37 de Olmedo (Valladolid).</i>	6
<i>Tabla 2.- Valor medio y rango observado para las variables densidad (Ntot_ha), altura media (Hm), índice de calidad de estación (IS), diámetro medio cuadrático (Dg), biomasa total por ha (Btot_ha), y edad, según origen de los datos. ..</i>	7
<i>Tabla 3.- Valores de los parámetros estadísticos de ajuste de las ecuaciones 2.1. y 2.2.</i>	9
<i>Tabla 4.- Valores de los parámetros y estadísticos de ajuste de la ecuación 3.</i>	9
<i>Tabla 5.- Valores de los parámetros y estadísticas de ajuste de la ecuación 3.</i>	10
<i>Tabla 6.- Características dasométricas de las parcelas estudiadas, según su necesidad de intervención.</i>	15
<i>Tabla 7.- Propuestas de silvicultura para repoblaciones presentadas en Gordo et al. (2012).</i>	16
<i>Tabla 8.- Tabla de producción de una intervención realizada en tiempo. Nota ac / dc se refiere a antes de la clara, después de la clara, el resto de abreviaturas ya indicadas en el texto.</i>	18
<i>Tabla 9.- Tabla de producción de una intervención retrasada. Nota ac / dc se refiere a antes de la clara, después de la clara, el resto de abreviaturas ya indicadas en el texto.</i>	19
<i>Tabla 10.- Superficies finales de las parcelas de intervención tras el replanteo en campo.</i>	21
<i>Tabla 11.- Valores de los parámetros y estadísticas de ajuste de la ecuación 6.</i>	22
<i>Tabla 12.- Distribución por parcela y tratamiento de los valores de los parámetros dendrométricos antes (AC) y después de la clara (DC) de: número de pies por hectárea (N), área basimétrica (AB), diámetro medio cuadrático (Dg), altura media (h) e Índice de Hart-Becking.</i>	22

1. Antecedentes e identificación del problema

El programa de forestación de Tierras Agrarias (en adelante, FTA) en Castilla y León ha supuesto un aumento de más de 30.000 ha en la superficie repoblada con *Pinus pinea* L. en Castilla y León. Algunas de las repoblaciones más antiguas se realizaron con una densidad de plantación muy elevada (1.100 – 1.600 pies/ha), presentando muchas de ellas incluso en la actualidad un retraso en la aplicación de una selvicultura orientada a garantizar la persistencia de la masa y la obtención de madera y piña. Gordo et al. (2012) presentaron un modelo de gestión específico para este tipo de masa artificial, definiendo unas normas de intervención. El objetivo general del presente manual es cuantificar la propuesta de Gordo et al. (2012), contrastándola con datos reales obtenidos en más de 40 parcelas FTA repobladas con la especie.

2. Objetivos

Los objetivos del presente manual son:

- Ajustar y/o recopilar relaciones fundamentales (modelos estáticos) que permitan la construcción de tablas de producción con validez en repoblaciones jóvenes de *Pinus pinea*.
- Proponer unas prácticas de gestión (clareos) en repoblaciones jóvenes de *Pinus pinea* definidas a partir del Índice de Hart – Becking.

3. Datos utilizados

Para desarrollar los modelos incluidos en el presente manual se han utilizado las siguientes fuentes de datos (Figura 1):

- Datos de la red de parcelas instaladas por el ICIFOR-INIA, CSIC, en repoblaciones jóvenes (<30 años) realizadas en el marco del programa de FTA en las provincias de Valladolid, Ávila y Madrid, y en las que *Pinus pinea* es la especie dominante. Esta red comprende 28 parcelas instaladas entre 2019 y 2024, de las cuales, 10 se han medido ya dos veces.
- Datos de la red de parcelas del Observatorio de FTA, instaladas por el MITECO en 2008 en repoblaciones realizadas por toda España en el marco del programa de FTA. En el presente trabajo se han empleado datos de 16 parcelas en las que *Pinus pinea* es la especie dominante, localizadas en las provincias de Valladolid, Segovia, Zamora, Burgos y Palencia. Diez de las parcelas fueron remedidas en 2010.
- Datos del ensayo de clareos – claras instalado en 2006 en una repoblación pura de *Pinus pinea* realizada en 1996 (densidad inicial 1.000 pies/ha) en el MUP37 “Corazón”, situado en Olmedo (Valladolid). El ensayo consta de 12 parcelas, en las que se han aplicado cuatro tratamientos distintos (Tabla 1). El ensayo se ha inventariado en los años 2006, 2013, 2017 y 2023.

Tabla 1.- Tratamientos aplicados en el sitio de ensayo de claras-clareos del MUP 37 de Olmedo (Valladolid).

Tratamiento	Inicial (1996)	10 años (2006)	17 años (2013)	27 años (2023)
Testigo (T)	1000	800	600	600
Moderada tardía (MT)	1000	800	250	250
Moderada precoz (MP)	1000	400	250	250
Fuerte (F)	1000	400	150	150

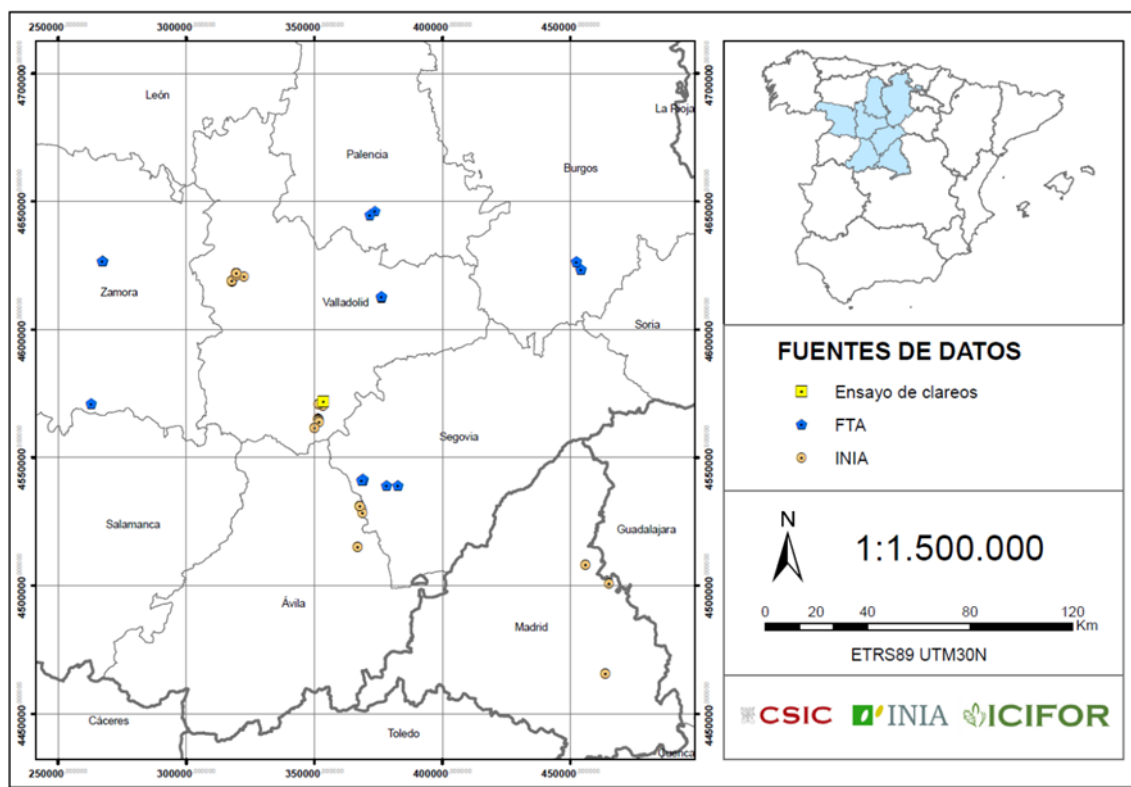


Figura 1.- Ubicación de los distintos dispositivos usados en el ensayo del MUP 37 (INIA: red de parcelas ICIFOR-INIA, CSIC; FTA: red de parcelas del Observatorio de Forestación de Tierras Agrarias del MITECO).

Tanto en las parcelas ICIFOR-INIA, CSIC, como en las FTA y en el sitio de ensayo de claras-claras se ha procedido a medir, en todos los inventarios, diámetro normal, diámetro de tocón y alturas de todos los pies, diámetros de copa en una submuestra, y datos generales del estado de las repoblaciones. En la Tabla 2 se recogen valores generales dasométricos de las parcelas utilizadas en el presente trabajo.

Tabla 2.- Valor medio y rango observado para las variables densidad (Ntot_ha), altura media (Hm), índice de calidad de estación (IS), diámetro medio cuadrático (Dg), biomasa total por ha (Btot_ha), y edad, según origen de los datos.

FUENTE	Promedio Ntot_ha	Mínimo Ntot_ha	Máximo Ntot_ha
Ensayo de claros	419	140	860
FTA	946	425	1550
INIA	892	196	1771

FUENTE	Promedio Hm (m)	Mínimo Hm (m)	Máximo Hm (m)
Ensayo de claros	5,1	1,6	8,7
FTA	3,2	0,9	5,8
INIA	4,1	0,7	8,5

FUENTE	Promedio IS	Mínimo IS	Máximo IS
Ensayo de claros	7,8	5,5	9,6
FTA	6,8	3,0	11,1
INIA	6,8	4,0	10,7

FUENTE	Promedio Dg (cm)	Mínimo Dg (cm)	Máximo Dg (cm)
Ensayo de claros	14,1	3,2	28,5
FTA	9,8	3,8	16,4
INIA	11,9	1,5	29,4

FUENTE	Promedio Btot_ha (kg)	Mínimo Btot_ha (kg)	Máximo Btot_ha (kg)
Ensayo de claros	18761	2886	46234
FTA	19822	1643	40425
INIA	31569	1030	81939

FUENTE	Promedio Edad (años)	Mínimo Edad (años)	Máximo Edad (años)
Ensayo de claros	18,4	10,0	27,0
FTA	13,7	9,0	16,0
INIA	18,0	5,0	29,0

Para la construcción de los esquemas de silvicultura se ha procedido a utilizar relaciones fundamentales preexistentes, o proceder a su ajuste a partir de los datos descritos anteriormente. Las relaciones utilizadas son:

- **Relación 1. Crecimiento en altura media e índice de calidad de estación**

Se ha utilizado el modelo de crecimiento en altura media propuesto para repoblaciones de *Pinus pinea*, presentado en Calama et al. (2024). El modelo permite predecir la altura media de una repoblación H_2 , a una edad determinada t_2 , utilizando como variables predictoras la altura de la repoblación H_1 , a una edad t_1 . La ecuación del modelo es:

$$H_2 = \exp(X_0)(1 - \exp(-a_1 t_2))^{a_2 + X_0} \quad (\text{ecuación 1})$$

$$X_0 = \frac{\log(H_1) - a_2 \log(1 - \exp^{-a_1 t_1})}{1 + \log(1 - \exp^{-a_1 t_1})}$$

donde a_1 toma un valor de 0.0022 y a_2 de -3.6977.

La ecuación anterior permite:

1. Conociendo la altura media actual y la edad actual de la plantación, proyectar su altura media a cualquier otra edad.
2. Fijando una edad índice (30 años en este caso), calcular un índice de calidad de estación IS para repoblaciones con la especie. Determinada la calidad de estación de una plantación es posible simular la evolución de su altura media y construir curvas de calidad de estación (Figura 2).

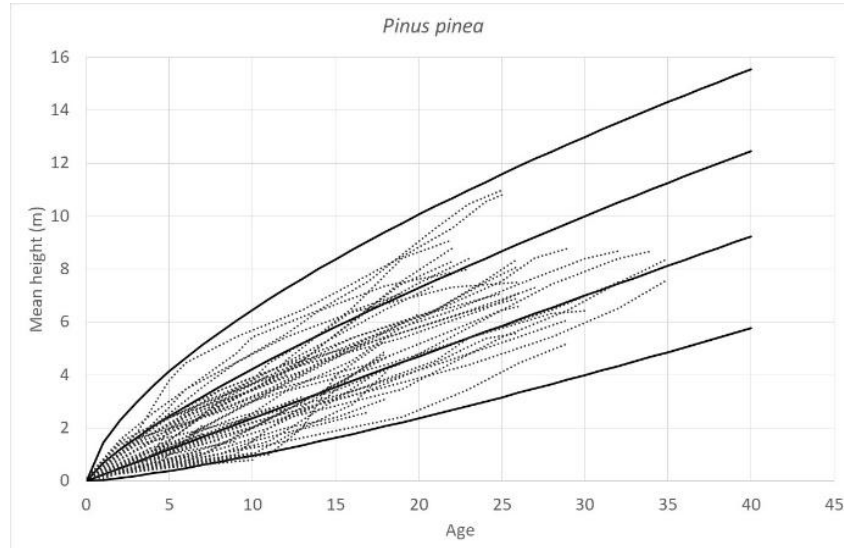


Figura 2.- Curvas de calidad de estación para repoblaciones de *Pinus pinea* forzadas a pasar por las alturas medias 4, 7, 10 y 13 a la edad de 30 años (Calama et al. 2024).

- **Relación 2. Diámetro medio cuadrático y Diámetro medio de tocón en función de la altura media y la densidad de la plantación**

En este caso se han ajustado sendos modelos de regresión lineal múltiple a los datos de las parcelas y sitios de ensayo descritos en el apartado correspondiente. Se ha utilizado como variable de respuesta el *diámetro medio cuadrático de la plantación* (dg), y el *diámetro medio de tocón* (d_{toc}), y como variables predictoras una transformada la densidad de la plantación en el momento de estimación (N) y la altura media de la misma (H):

$$dg = a_0 + a_1 \frac{100}{\sqrt{N}} + a_2 H \quad (\text{ecuación 2.1})$$

$$d_{toc} = b_0 + b_1 \frac{100}{\sqrt{N}} + b_2 H \quad (\text{ecuación 2.2})$$

Tabla 3.- Valores de los parámetros estadísticos de ajuste de las ecuaciones 2.1. y 2.2.

Variable respuesta	a_0 (constante)	a_1 (100/ $\sqrt{N}$)	a_2 (H)	R^2_{adj}	REMC
dg	-2,65641	0,47639	2,89698	0,9479	1,4432
d_{toc}	2,46535	0,50807	2,92903	0,9442	1,5629

Esta segunda relación fundamental permite predecir el diámetro medio cuadrático y el diámetro medio de tocón de una repoblación dada a partir del dato de la altura media de la misma y la densidad actual de la plantación. A partir del valor de dg y del número de pies de la plantación es posible calcular el índice de espesura de Reineke SDI:

$$SDI = N \left(\frac{dg}{25} \right)^{-1,605} \quad (\text{ecuación 2.3})$$

El índice de densidad de Reineke es muy utilizado para definir umbrales de espesura a partir de los cuales empieza a producirse mortalidad por autoaclareo. En el caso de *Pinus pinea* estos umbrales se sitúan en valores en torno a 600 (Calama et al. 2008).

- **Relación 3. Altura dominante en función de la altura media**

Esta relación permite predecir la altura dominante de la plantación (H_{dom}) a partir de la altura media (H), a partir del siguiente modelo de regresión lineal simple ajustado a los datos de las parcelas de repoblación:

$$H_{dom} = a_0 + a_1 \cdot H \quad (\text{ecuación 3})$$

Tabla 4.- Valores de los parámetros y estadísticos de ajuste de la ecuación 3.

Variable respuesta	a_0	a_1	R^2_{adj}	REMC
H_{dom}	1,02806	0,97889	0,9606	0,3966

A partir de esta variable es posible definir el índice de espaciamiento de Hart-Becking, que va a ser elemento fundamental a la hora de identificar los momentos de aplicación de tratamientos.

- **Relación 4. Porcentaje (%) de pies de la repoblación que alcanzan la altura de 1.30 m**

Esta relación permite predecir qué porcentaje de los pies de la plantación han alcanzado una altura de 1.30m (%PIES_MAY) a una edad dada t , en función de la densidad de la plantación N y el índice de calidad de estación. Esta variable puede ser utilizada como un indicador de definición de momento en el que intervenir. Se ha ajustado a partir de los datos de las parcelas, utilizando una ecuación de tipo logístico:

$$\%PIES_{MAY} = 100 \cdot \frac{\exp(a_0 + a_1 IS + a_2 t + a_3 N)}{1 + \exp(a_0 + a_1 IS + a_2 t + a_3 N)} \quad (\text{ecuación 4})$$

Tabla 5.- Valores de los parámetros y estadísticas de ajuste de la ecuación 3.

Variable respuesta	a_0	a_1	a_2	a_3	R^2_{adj}	REMC
%PIES _{MAY}	-10,1550	1,1653	0,5365	-0,00143	0,8783	22,64%

- **Relación 5. Biomasa del árbol medio**

Se utiliza la ecuación de biomasa de árbol individual (b_m) en función de la altura H y el diámetro de tocón (d_{toc}) presenta en Menéndez-Miguélez et al. (2022):

$$b_m = 0,1417 \cdot (d_{toc}^2 \cdot H)^{0,7757} \quad (\text{ecuación 5})$$

A partir de este valor es posible calcular la biomasa total de la plantación, multiplicando por la densidad actual.

- **Relación 6. Producción de piña del árbol medio**

Se estima la producción del árbol medio aplicando la versión más reciente del modelo PINEA-CLIMADAT (ver manual de la aplicación PINEA-CLIMADAT, <https://pre.incamedio.com/clinadat2/>) al árbol medio de la plantación asumiendo un año climático medio. El modelo PINEA es un modelo bietápico, que permite predecir la producción de piña sana por un árbol en un año dado (*piña*).

Construcción de la tabla de producción

La articulación de las relaciones anteriores permite construir tablas de producción de silvicultura a la carta, dentro de los límites de edad y espesura observados en las repoblaciones analizadas. El proceso de construcción sería el siguiente:

- Definir una calidad de estación para la repoblación. Si se conoce la altura y la edad media actual pueda calcularse a partir de la ecuación 1, proyectando la altura actual hasta los 30 años. Si no puede escogerse una (p.ej. calidad baja 4 m, calidad media 7 m, calidad alta 10 m).
- A partir del índice de calidad de estación, y usando nuevamente la ecuación 1, calcular la evolución de la altura media con la edad.
- Establecer la densidad de plantación y el posible régimen de claras, y calcular el diámetro medio cuadrático y el diámetro de tocón medio para cada instante de la tabla, usando las ecuaciones 2.1 y 2.2. Calcular el índice de Reineke SDI.
- Calcular la altura dominante en función de la altura media, a partir de la ecuación 3. Calcular el índice de Hart-Becking.

- e) Usar ecuaciones 4-6 para calcular % de pies con altura superior a 1.30, biomasa del árbol medio y producción del árbol medio.
- f) En el caso de no definir un índice de claras, considerar que a partir de un valor de SDI de 500 la mortalidad por autoaclareo tiene lugar, descendiendo la densidad hasta volver a alcanzar ese límite.
- g) Al tratarse de claros y claras de tipo sistemático, los valores de diámetro medio cuadrático, diámetro medio de tocón, altura media, biomasa media y producción de piña media se mantienen entre el instante “antes” y el “después” de la clara.

4. Propuestas de gestión basadas en el índice de Hart-Becking

El índice de Hart-Becking es un índice de espesura que caracteriza el espaciamiento medio entre los árboles de un rodal. El índice se define como la razón (expresada en tanto por ciento) entre el espaciamiento medio de los pies y su altura dominante. La expresión del índice es:

$$HB = \frac{10000}{H_{dom} \sqrt{N}}, \text{ si los árboles se encuentran a marco real}$$

$$HB = \frac{10000}{H_{dom}} \sqrt{\frac{2}{N\sqrt{3}}}, \text{ si los árboles se encuentran al tresbolillo en una masa natural}$$

En el caso de las repoblaciones utilizaremos la primera expresión. Un valor de 100 del índice indica que el espaciamiento medio entre los pies es igual a la altura dominante del rodal, mientras que un valor inferior a 100 indica que el espaciamiento es inferior a la altura dominante (p.ej. un índice HB de 50 indica que la distancia media entre los pies es la mitad de la altura dominante), y un índice superior a 100 indica que los pies están espaciados entre si una distancia superior a la altura dominante. Lógicamente, a igualdad densidad del rodal, el índice va disminuyendo a medida que el rodal se desarrolla (aumenta la altura dominante), por lo que se ha considerado un buen indicador para definir los momentos de intervención.

Al objeto de definir un esquema de intervención selvícola para repoblaciones de *Pinus pinea* basado en el índice de Hart-Becking se han clasificado de forma visual las parcelas analizadas, de acuerdo a la necesidad urgente o no de intervención, en tres categorías:

- *Intervención muy urgente:* parcelas en las que la intervención (clareo o clara) lleva un notable retraso, y que debían haber sido aclaradas hace tiempo.
- *Intervención necesaria:* parcelas que deben aclararse en la actualidad, o en un tiempo máximo de 5 años.
- *Intervención no requerida:* parcelas en las que no se considera necesario intervenir en los próximos 5 años.

En las páginas siguientes presentamos una clave fotográfica de identificación de las distintas categorías:

Parcelas con intervención muy urgente (retrasada)



Características indicadoras de la necesidad de intervención muy urgente:

- Trabazón entre las copas, entre líneas y/o dentro de la misma línea.
- Autopoda severa en ramas bajas en masas no previamente podadas.
- Presencia de individuos puntisecos.
- Comienzan procesos de mortalidad por autoaclareo.

Parcelas con intervención necesaria



Características indicadoras de intervención necesaria a en un plazo inferior a 5 años:

- Copas próximas a solaparse en al menos una de las direcciones (entre línea o dentro de la línea).
- En parcelas no intervenidas comienzan fenómenos de autopoda en ramas bajas.

Parcelas que no requieren intervención en los próximos años



Características indicadoras de intervención necesaria a en un plazo inferior a 5 años:

- No hay solapamiento entre copas.
- Pies uniformemente distribuidos en el espacio, y con espaciamiento suficiente entre ellos para permitir la expansión lateral de las copas.
- En parcelas no intervenidas no se observan fenómenos de autopoda.

Características dasocráticas de las parcelas de repoblación según necesidad de intervención

En la Tabla 6 se presentan las características dasométricas (medias y rango) asociadas a la edad y espaciamiento de las parcelas estudiadas, de acuerdo a su clasificación según necesidad de intervención

Tabla 6.- Características dasométricas de las parcelas estudiadas, según su necesidad de intervención.

Intervención	Hart-Becking		SDI		Edad	
	Promedio	Min-Max	Promedio	Min-Max	Promedio	Min-Max
Muy urgente	51	40-64	372	168-535	23	17-29
Necesario	74	58-92	215	70-316	15	10-27
No requiere	131	73-298	119	12-233	14	5-29

A partir de la anterior tabla se observa que el rango del índice de Hart-Becking en estas edades iniciales es un buen discriminador de la necesidad de intervención:

- Si el índice de Hart-Becking de la plantación es menor de 60: se requiere intervención muy urgente. En el caso de que el índice SDI supere valores de 500 el peligro de mortalidad por autoaclareo es inminente.
- Si el índice de Hart-Becking se sitúa entre 60 – 90: intervención necesaria en un plazo inferior a 5 años.
- Si el índice de Hart-Becking es superior a 90: intervención no necesaria.

5. Consideraciones para la definición de buenas prácticas selvícolas en repoblaciones

Las propuestas de intervención selvícolas en los primeros 40 años de desarrollo de la repoblación deben diseñarse teniendo en cuenta las siguientes consideraciones selvícolas:

- El primer clareo debe realizarse cuando la repoblación alcance un índice de Hart-Becking de 70-75, siempre que la edad de la plantación supere los 10 años. Este valor umbral se alcanzará a distintas edades, dependiendo de la densidad de plantación N y el índice de calidad de estación.
- En el primer clareo se debe reducir la densidad hasta alcanzar un índice de Hart-Becking en torno a 100.
- En el caso de clareos precoces efectuados a los 10 años esto puede implicar una reducción de la densidad del 50% (p.ej. eliminar un pie sí, un pie no).
- En el caso de que el primer clareo se retrase hasta los 15 o 20 años, el peso del clareo (en porcentaje de pies extraídos) debe de ser forzosamente mayor, pudiendo eliminarse un 33% (dejar uno de cada 3 pies) o incluso un 25% (en repoblaciones por filas, eliminar una de cada dos filas, y en la fila que se mantiene uno de cada dos pies).
- En ningún caso debe reducirse la densidad en el primer clareo por debajo de 250 pies/ha.
- La intensidad del primer clareo debe de ser tal que se garantice, de acuerdo al modelo, que el índice de Hart no alcanza valores en torno a 60 hasta transcurrido al menos un periodo de 10 años. Este criterio es válido para la segunda y sucesivas claras.

- En la segunda clara y siguientes puede alcanzarse un índice de Hart algo inferior (en torno a 90).
- El régimen de claras debe de ser tal que a los 40 años se haya alcanzado una densidad de 150 pies/ha. En ningún caso se reducirá la densidad por debajo de este límite, considerado como el umbral para garantizar la futura regeneración natural de la masa.

A las anteriores consideraciones debe añadirse una serie de consideraciones técnicas

- El primer clareo será siempre de tipo sistemático, mediante la eliminación de filas completas y/o pies dentro de cada fila, buscando alcanzar un espaciamiento regular.
- El diseño de la intervención debe de tener en cuenta la necesidad de mecanización de la misma. En repoblaciones por filas en las que el clareo se haya retrasado la intervención va a requerir siempre la eliminación de al menos una fila de cada dos o cada tres, que permita la circulación de un autocargador (y/o una procesadora).
- En el caso de que el primer clareo se realice en torno a los 10 años, cuando los árboles no hayan alcanzado aún una altura de 2-3 m, la primera poda puede retrasarse hasta la segunda intervención. En caso de intervenciones atrasadas se recomienda realizar la primera poda junto con el clareo.
- El diseño espacial de las intervenciones se ajustará a uno de los esquemas propuestos por Gordo et al. (2012), Tabla 7, mientras que la planificación temporal se realizará de acuerdo a las tablas de producción definidas en este trabajo.
- En el caso de repoblaciones mixtas de *Pinus pinea* con otra conífera (habitualmente *Pinus pinaster* o *Pinus halepensis*) pueden aplicarse directamente las consideraciones anteriores. En el caso de mezclas con frondosas, si la mezcla es por filas se harán los cálculos teniendo en cuenta solo la superficie ocupada por las filas de pino piñonero, no interviniendo en las filas de frondosa.

Tabla 7.- Propuestas de selvicultura para repoblaciones presentadas en Gordo et al. (2012).

SITUACIÓN INICIAL			PRIMER CLAREO							SEGUNDO CLAREO		
Distancia entre filas inicial (m)	Distancia entre plantas inicial (m)	Densidad inicial pies/ha	nº filas eliminadas	nº pies eliminados dentro fila	marco	Distancia entre filas final (m)	Distancia entre plantas final (m)	Densidad final pies/ha	Ancho calle tránsito (m)	Distancia entre filas final (m)	Distancia entre plantas final (m)	Densidad final pies/ha
2,5	2,5	1.600	1	1 de cada 2	real	5,0	5,0	400	5	5,0	10,0	200
3	2	1.667	1	1 de cada 2	real	6,0	4,0	417	6	6,0	8,0	208
3	2	1.667	0	3 de cada 4	tresbolillo	5,0*	5,0*	400	5	SELECTIVO		250
4	2	1.250	1	1 de cada 2	real	8,0	4,0	313	8	8,0	8,0	156
4	2	1.250	0	1 de cada 2	tresbolillo	4,5*	4,5*	500	4	8,9*	8,9*	125
3**	3	1.111	1	1 de cada 2	real	6,0	6,0	278	6	6,0	12,0	140
3	3	1.111	0	1 de cada 2	tresbolillo	4,2*	4,2*	556	4	8,5*	8,5*	140
4**	3,125	800	1	1 de cada 2	real	8,0	6,3	200	8	SELECTIVO		150
4	3,125	800	0	1 de cada 2	tresbolillo	5,1*	5,1*	388	5	SELECTIVO		250

* Distancia final entre plantas en distinta fila

La información anterior se resume de manera esquemática en el árbol de decisión de la Figura 3.

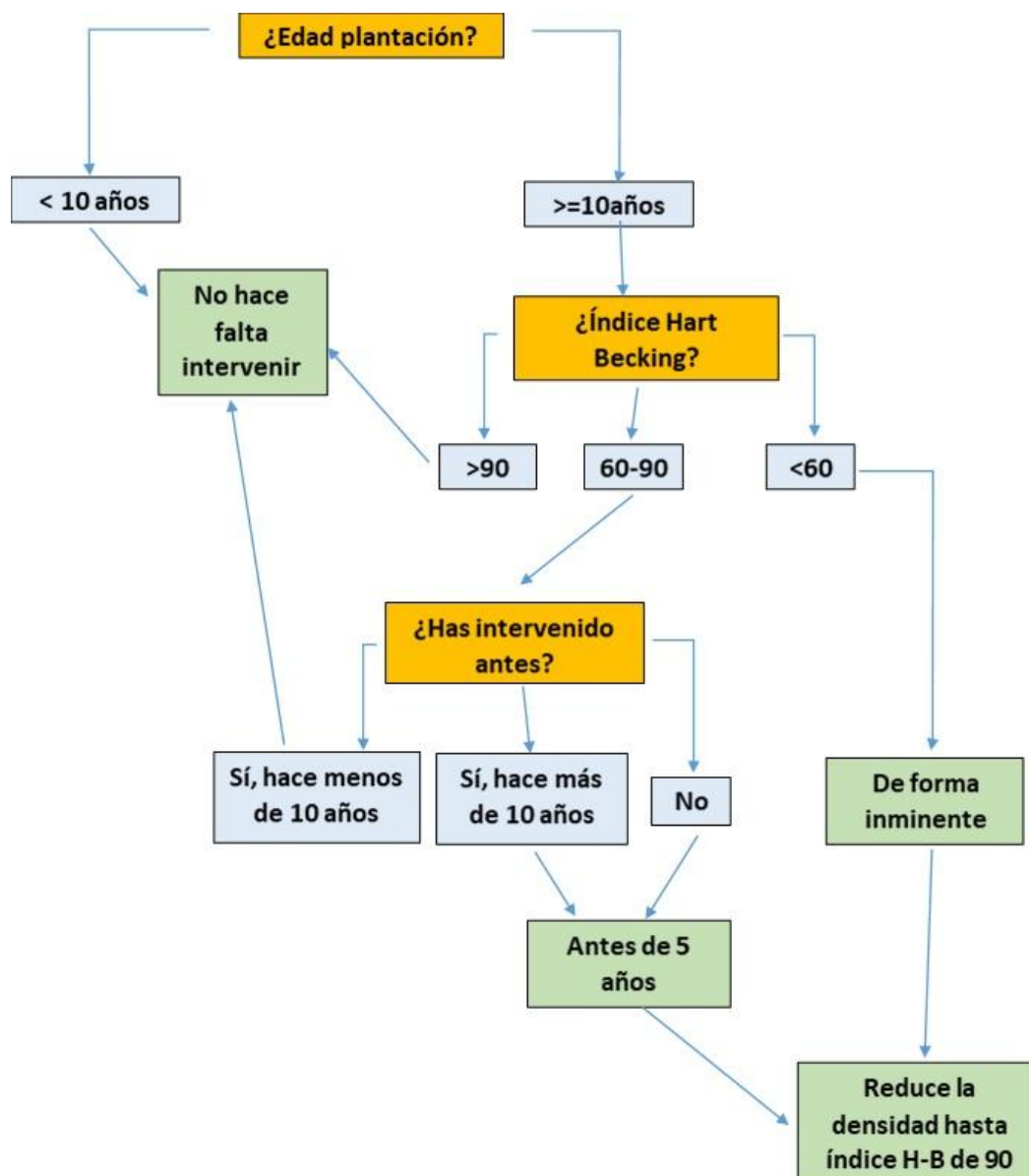


Figura 3.- Esquema de decisión acerca de la necesidad de intervenir selvicolamente en una repoblación joven de *Pinus pinea*.

6. Ejemplo de aplicación de las relaciones fundamentales (tabla de producción)

Ejemplo de intervención realizada en tiempo

- Repoblación realizada en un marco real de 2.5 m x 2.5 m, con una densidad inicial de 1.600 pies/ha (fila 1 de la Tabla 7).
- Calidad de estación media: 8 m a los 30 años de edad.
- Zona de alta producción de piña (P.ej. Tierra de Campos o Páramos Calizos).
- Planteamos realizar una primera intervención sistemática cuando el índice de Hart-Becking llegue a 60, proponiendo eliminar una fila de cada dos y un pie de cada dos en la fila remanente.
- Tras analizar la tabla se ve que a los 10 años se alcanza el valor de 64, ejecutándose la clara, consiguiendo que el índice de Hart-Becking aumente hasta 127. No se plantea realizar poda.

- A los 25 años se alcanza un índice de Hart-Becking de 65, proponiéndose una segunda intervención en la que se reduce la densidad hasta los 200 pies/ha, aumentando el índice de Hart-Becking hasta 89.

Tabla 8.- Tabla de producción de una intervención realizada en tiempo. Nota ac / dc se refiere a antes de la clara, después de la clara, el resto de abreviaturas ya indicadas en el texto.

Edad	H	Hdom	N	HB	d _{toc}	dg	SDI	%_MAY	Biomasa		Piña	
									kg/árb	kg/ha	kg/árb	kg/ha
5	1,6	2,6	1600	97	8,4	-	-	38%	5,5	8801	-	-
10ac	3,0	3,9	1600	64	12,5	7,2	218	89%	16,6	26536	-	-
10dc	3,0	3,9	400	127	12,5	7,2	55	89%	16,6	6634	-	-
15	4,3	5,2	400	96	17,6	12,2	126	100%	37,4	14971	0,089	36
20	5,6	6,5	400	77	21,3	15,9	193	100%	61,8	24711	0,273	109
25ac	6,8	7,7	400	65	25,0	19,4	267	100%	92,1	36854	0,501	201
25dc	6,8	7,7	200	89	25,0	19,4	134	100%	92,1	18427	0,501	100
30	8,0	8,9	200	80	29,5	23,9	186	100%	135,4	27086	1,057	211
35	9,2	10,0	200	71	32,9	27,3	230	100%	178,9	35783	1,397	279
40	10,3	11,1	200	64	36,3	30,6	277	100%	228,2	45645	1,729	346

Ejemplo de intervención retardada

- La misma repoblación de antes: marco real de 2.5 m x 2.5 m, con una densidad inicial de 1.600 pies/ha (fila 1 de la Tabla 7).
- Calidad de estación media: 8 m a los 30 años de edad.
- Zona de alta producción de piña (P.ej. Tierra de Campos o Páramos Calizos).
- La repoblación tiene 20 años de edad y no se ha realizado intervención alguna.
- Los resultados del modelo nos indican que a partir de los 17 años el SDI supera los 500, por lo que asumimos que se produce mortalidad natural por autoaclareo (un 10% hasta los 20 años). El índice de Hart-Becking es cercano a 40, indicando necesidad muy urgente de intervención.
- A los 20 años se plantea una clara que, debido al retraso en la aplicación, debe ser necesariamente muy fuerte. Cortamos una fila de cada dos, y dos árboles de cada tres en la fila que queda, pasando a un marco teórico de 7.5 x 5 (aprox. 250 pies/ha). El índice de Hart-Becking aumenta hasta los 98. La intervención debe acompañarse de poda hasta ½ o 2/3 de la longitud del fuste.
- La siguiente intervención (2ª clara) se retrasa a los 35 años, cuando la plantación alcance un índice de Hart-Becking de 63, reduciendo la densidad hasta los 150 pies/ha que pueden considerarse la densidad final.

Tabla 9.- Tabla de producción de una intervención retrasada. Nota ac / dc se refiere a antes de la clara, después de la clara, el resto de abreviaturas ya indicadas en el texto.

Edad	H	H _{dom}	N	HB	d _{toc}	dg	SDI	%_MAY	Biomasa		Piña	
									kg/árb	kg/ha	kg/árb	kg/ha
5	1,6	2,6	1600	97	8,4			38%	5,5	8801		
10	3,0	3,9	1600	64	12,5	7,2	218	89%	16,6	26536		
15	4,3	5,2	1600	48	16,4	11,1	432	89%	33,6	53703	0,026	41
20ac	5,6	6,5	1440	41	20,2	14,8	621	100%	64,6	93082	0,083	120
20dc	5,6	6,5	250	98	20,2	14,8	108	100%	64,6	16160	0,083	21
25	6,8	7,7	250	82	25,6	20,0	175	100%	95,8	23945	0,648	162
30	8,0	8,9	250	71	29,1	23,5	227	100%	132,9	33225	0,953	238
35ac	9,2	10,0	250	63	32,6	26,9	282	100%	183,3	45834	1,252	313
35dc	9,2	10,0	150	82	32,6	26,9	169	100%	183,3	27500	1,252	188
40	10,3	11,1	150	73	36,8	31,1	213	100%	233,3	35001	1,966	295

7. Ejemplo de actuación en una repoblación del programa de FTA: sitio de ensayo de clareos en la Zarza (expte. 2503)

La repoblación FTA 2503 se llevó a cabo en el año 2004, en una parcela ubicada sobre terreno agrícola en el término municipal de La Zarza, ocupa dos recintos sobre una superficie aproximada de 12,6 ha y presenta un marco de plantación de 3 x 2 m, con una densidad actual de densidad actual teórica de 1.600 pies/ha.



Figura 4.- Finca de repoblación FTA 2503 sobre la que se desarrolla la acción del Living Lab.

Informe de ejecución

El diagnóstico silvícola del estado actual de la repoblación apunta a una necesaria intervención de clara y poda en los pies remanentes (índice de Hart-Backing inferior a 60). La silvicultura propuesta para plantaciones o regenerados jóvenes de la especie apunta a un primer clareo sin poda en torno a los 10 años, cuando la masa tiene una altura media entre 1 y 2 m de altura, para reducir la densidad a unos 400 - 500 pies/ha. Además, recomienda un segundo clareo a los 20 años, cuando la masa se sitúa en torno a los 4 m de altura, acompañado de una poda hasta los 2 m.

La plantación objeto de estudio presenta un retraso en la intervención, siendo esta situación habitual en algunas repoblaciones FTA instaladas en los primeros años de establecimiento del programa. Ante la necesidad de aplicar tanto clara como poda, se proponen 3 tratamientos distintos, junto con un tratamiento control (ver Figura 5).

- **Clara moderada:** Eliminar un 66% de los pies. Se cortan todos los pies de una de cada tres filas y en las dos filas restantes se eliminan un árbol sí y uno no, al tresbolillo. Quedando una densidad final teórica en torno a los 550 pies/ha.
- **Clara fuerte:** Eliminar un 75% de los pies. Se elimina una fila sí y una no, y en la fila que permanece se corta 1 pie de cada 2. De esta manera, la densidad final se sitúa en torno a los 415 pies/ha, con un marco de 6 x 4 (24 m² de espacio individual).
- **Clara muy fuerte:** Eliminar un 85% de los pies. Se elimina una fila sí y una no, y en la fila que permanece se cortan dos de cada tres pies. De esta manera, la densidad final se sitúa en torno a los 275 pies/ha, a un marco de 6 x 6 (36 m² de espacio individual).

En los tres tratamientos anteriores los pies remanentes se podarán hasta una altura de 2 m o hasta el 50% de la altura total del pie, si ésta fuese inferior a 2 m.

- **Control:** únicamente se realizarán cortas de policía si se considerase necesario.

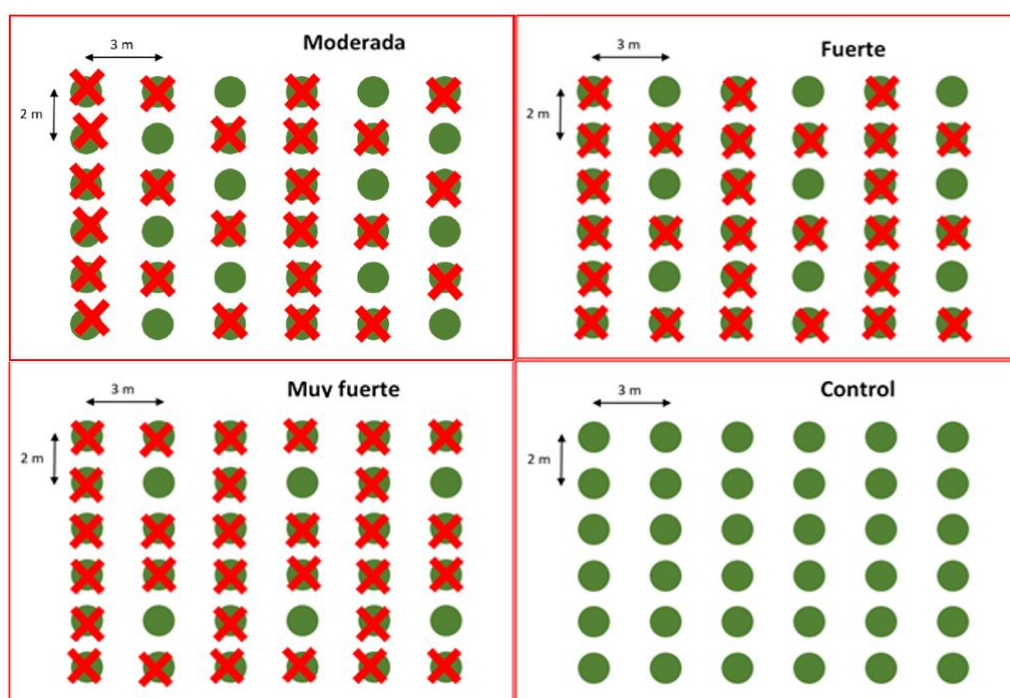


Figura 5.- Esquema de tratamientos con las 3 intensidades de clara y tratamiento control.

Para el replanteo, se marcarán 8 parcelas cuadradas de aproximadamente 36 x 36 m (1.296 m²), lo que supondrá una intervención total sobre 10.368 m². Cada parcela incluye 12 filas y 18 árboles en la fila, conteniendo un total teórico de 216 árboles. Dentro de cada parcela las 2 filas y las 2 líneas de árboles más exteriores de cada lateral se consideran como filas tampón, donde se aplicará el mismo tratamiento, pero no se realizarán mediciones. El corazón central de la parcela, denominado subparcela, incluye entonces 8 filas y 14 árboles por fila (112 pies teóricos, superficie estimada de 24 x 28 m).

Se presenta a continuación las superficies de cada una de las parcelas y subparcelas una vez replanteadas en campo (Tabla 10).

Tabla 10.- Superficies finales de las parcelas de intervención tras el replanteo en campo.

Id Parcela	Sup. Parcela (m²)	Sup. Parcela + tampón (m²)
1	740	1409
2	788	1334
3	699	1351
4	724	1409
5	817	1370
6	688	1316
7	690	1357
8	724	1400

Cuatro de las parcelas se instalarán en la parte N de la finca (bloque N), y 4 en la parte S (bloque S). A cada una de las 2 parcelas de cada bloque se le asignará de manera aleatoria uno de los tratamientos, quedando un total de dos parcelas por tratamiento (Figura 6).



Figura 6.- Ortofoto con la representación de las parcelas (amarillo) y la zona tampón (rojo).

Resultados tras la ejecución

Previo a los tratamientos, se midieron los diámetros normales de todos los pies, y una vez realizada la corta se midieron las alturas de todos los pies que han permanecido en las parcelas. Para poder reconstruir el estado de las alturas antes de la intervención se ha realizado un ajuste para obtener las alturas de cada pie en cada parcela a partir del diámetro normal dn , mediante el modelo de Richards ver ecuación 6, y se han obtenido los siguientes parámetros (Tabla 11).

$$h = a \cdot (1 - e^{b \cdot dn}) \quad (\text{ecuación 6})$$

Tabla 11.- Valores de los parámetros y estadísticas de ajuste de la ecuación 6.

a	B	AIC	R ² _{adj}	RMSE	MAE	Bias
8.2423	0.084949	31.26249	0.126314	0.508686	0.414893	0.000424
6.184447	0.138857	6.223174	0.829279	0.24263	0.20296	-0.00328
5.324454	0.201893	16.07096	0.710324	0.289645	0.231883	-0.00895
5.328145	0.193259	77.54802	0.796129	0.333988	0.239709	-0.02496
6.411042	0.11519	61.06636	0.797817	0.509259	0.39619	-0.04436
5.738342	0.167495	-7.18361	0.856413	0.189554	0.160424	-0.0012
5.942898	0.176788	80.79941	0.786654	0.335924	0.270181	-0.00681
5.197609	0.215143	20.36431	0.830558	0.353126	0.292441	-0.04449

En la siguiente tabla se muestran los valores de densidad para cada parcela y tratamiento antes y tras la intervención.

Tabla 12.- Distribución por parcela y tratamiento de los valores de los parámetros dendrométricos antes (AC) y después de la clara (DC) de: número de pies por hectárea (N), área basimétrica (AB), diámetro medio cuadrático (Dg), altura media (h) e Índice de Hart-Becking.

Parcela	Tratamiento	N (pie/ha)		AB (m ² /ha)		Dg (cm)		h (m)		I. Hart-Becking	
		AC	DC	AC	DC	AC	DC	AC	DC	AC	DC
1	Muy Fuerte (82.7%)	1325	230	16.99	3.69	12.41	14.30	5.01	5.78	46.34	98.70
2	Moderada (68.7%)	1662	520	16.54	5.53	11.40	11.63	4.79	4.83	42.88	76.20
3	Fuerte (75.2%)	1617	401	15.40	4.13	10.97	11.46	4.54	4.63	45.42	89.83
4	Control (0%)	1520	1520	13.16	13.16	10.41	10.45	4.42	4.42	47.85	47.94
5	Moderada (68.4%)	1432	453	10.83	3.97	10.10	11.00	4.09	4.22	52.67	91.09
6	Fuerte (75.9%)	1628	392	15.16	4.27	10.75	11.77	4.53	4.79	45.33	88.32
7	Control (0%)	1637	1637	17.14	17.14	11.35	11.45	4.96	4.96	41.92	42.02
8	Muy Fuerte (83.0%)	1546	262	15.81	2.57	11.21	11.17	4.45	4.48	47.33	113.97

8. Bibliografía

Calama R, Madrigal G, Del Río M, López-Senespleda E, Pardos M, Ruiz-Peinado R, Menéndez Miguélez M. 2024. Dynamic Height Growth Equations and Site Index-Based Biomass Models for Young Native Species Afforestations in Spain. *Forests* 15(5):827. <https://doi.org/10.3390/f15050827>

Gordo Alonso FJ, Rodríguez Blanco MA, del Río López J. 2012. Modelo de gestión orientado a la producción de piña en masas artificiales de pino piñonero (*Pinus pinea* L.) en la Meseta Norte: primer claro. https://selvicultor.net/redfor/wp-content/uploads/6_Gordo_etal_pinea.pdf

Menendez-Miguel, M., Calama, R., Del Río, M., Madrigal, G., López-Senespleda, E., Parods, M., Ruiz-Peinado, R. 2022. Species-specific and generalized biomass models for estimating carbon stocks of young reforestations. *Biomass and Bioenergy* 161, 106453 <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2022.106453>

Anexo fotográfico

Control (sin intervenir)



Clara moderada (550 pies/ha)



Clara fuerte (400 pies/ha)



Clara muy fuerte (260 pies/ha)

