

# PINEA ClimaDAT

## Aplicación para la simulación de la producción de piña **PINEA** **ClimaDAT:** manual de uso y descripción del modelo científico

Versión 10 diciembre 2024



Proyecto financiado por la Fundación Biodiversidad que contribuye a la promoción de la bioeconomía forestal, la transición ecológica y al reto demográfico a través del desarrollo, la innovación y la gestión sostenible de los Productos Forestales No Madereros (PFNM): resina, corcho, plantas aromáticas y medicinales (PAM), piñón, setas, trufa, castaña y miel.

El proyecto identifica la potencialidad productiva del conjunto de bioproductos y servicios asociados a los PFNM, diseñando herramientas de gestión sostenible y realizando proyectos innovadores que hagan frente a las amenazas asociadas al cambio climático y al abandono rural.

### Entidades socias



# ÍNDICE

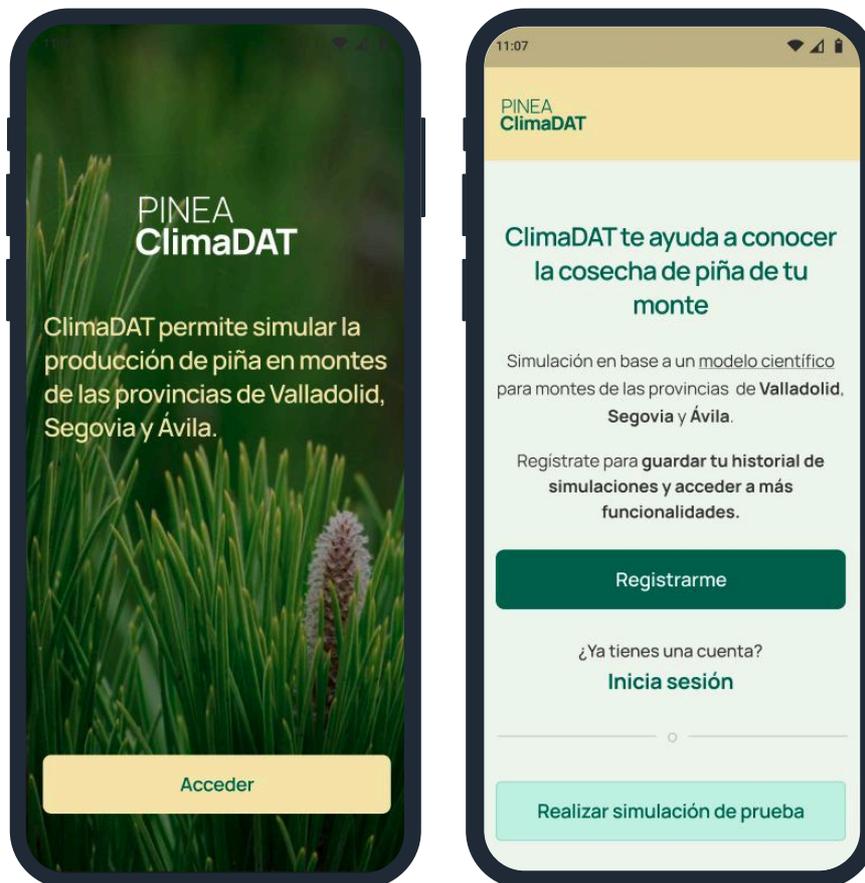
- 01.** Manual de uso de la aplicación PINEA ClimaDAT para la simulación sobre un monte definido con datos propios
- 02.** Descripción del modelo científico para la predicción de piña implementado en la aplicación PINEA ClimaDAT



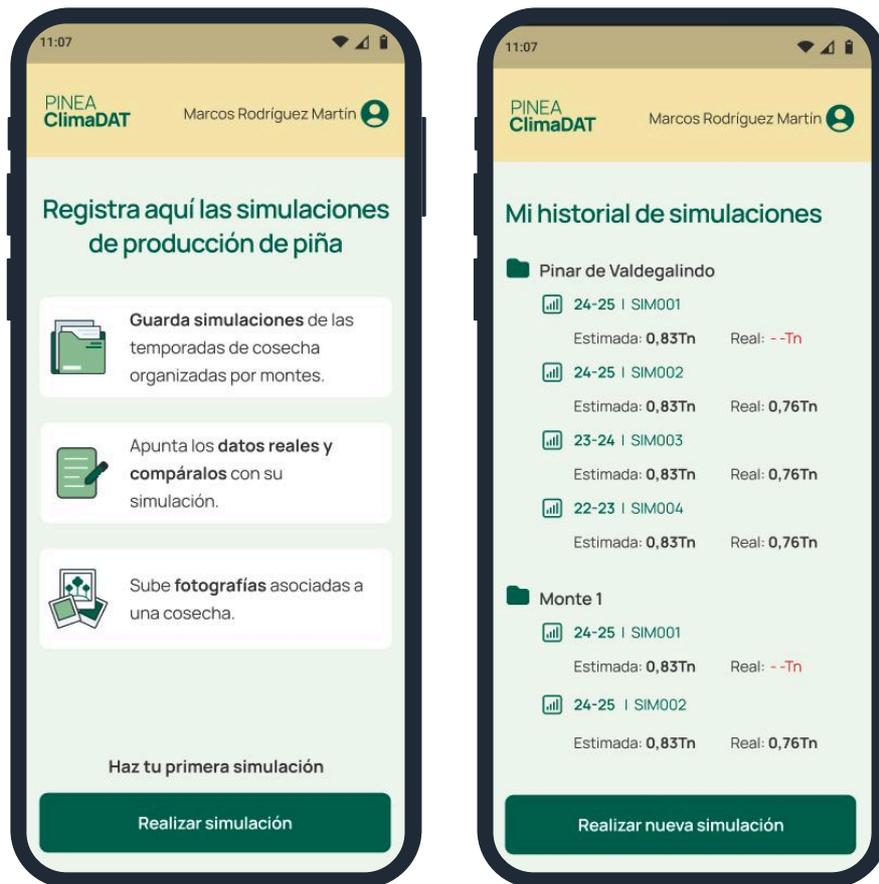
# 01.

## Manual de uso de la aplicación PINEA ClimaDAT para la simulación sobre un monte definido con datos propios

La aplicación PINEA ClimaDAT permite realizar **simulaciones de la producción de piña** en montes con presencia de pino piñonero de las provincias de **Valladolid, Segovia y Ávila**. El acceso a la aplicación para simular la producción sobre un monte definido con datos propios del usuario se realiza a través de [este enlace](#).



**Para realizar simulaciones es necesario registrarse en la aplicación.** Ningún otro usuario puede acceder a los datos salvo el usuario registrado y el equipo científico. También se puede realizar una **simulación de prueba** a través del botón inferior.



Los usuarios registrados podrán realizar **simulaciones en temporadas pasadas**, así como acceder al **histórico de simulaciones** que han realizado previamente. Para registrarse se debe acceder desde el botón "Registrarse" de la pantalla de Inicio e introducir los datos de usuario requeridos. Después se podrá iniciar sesión con el correo electrónico del usuario y la contraseña indicada.

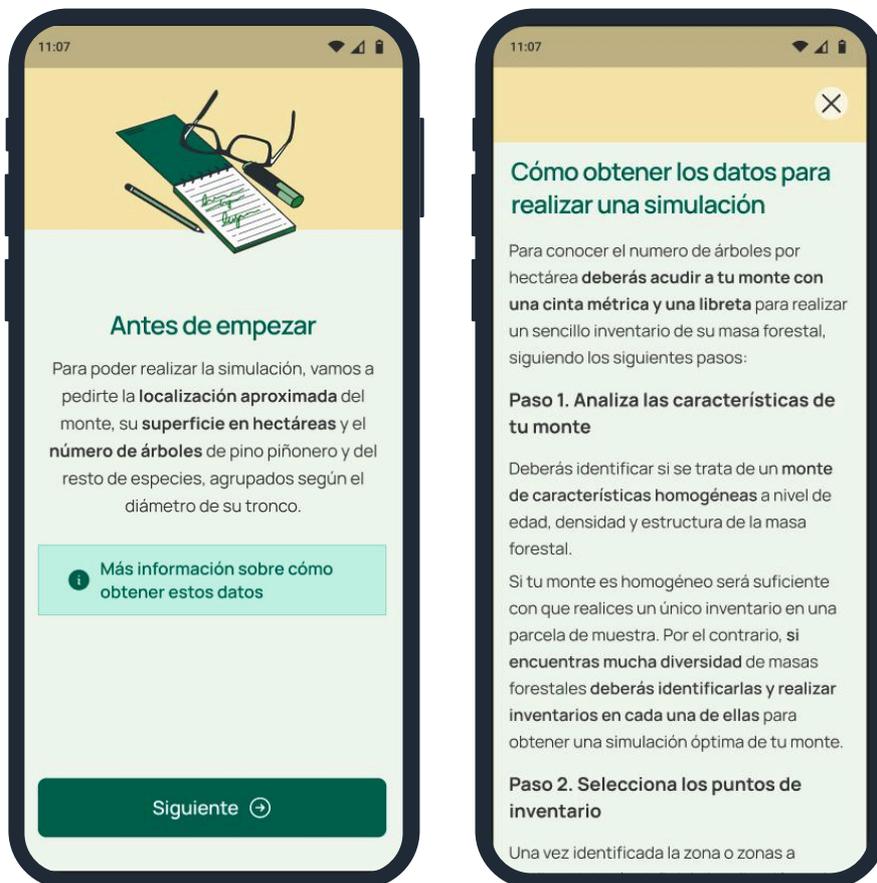
En la pantalla "**Mi historial de simulaciones**" aparecen todas las realizadas por el usuario, con su fecha y el valor de producción estimada. Se puede **acceder al detalle de cada una** de ellas pulsando sobre su nombre.

Para **realizar una nueva simulación** en un nuevo monte se pulsará el botón "Realizar nueva simulación".

## Antes de empezar

En la pantalla "Antes de empezar" se muestran los principales datos que serán solicitados al usuario para poder realizar una simulación.

En la ventana auxiliar se detalla **cómo se pueden obtener** dichos **datos previamente**, especialmente cómo llevar a cabo el conteo de los árboles en base al diámetro de su tronco en una parcela de muestra, así como la definición de ésta.



Una vez se ha accedido a la aplicación, se puede comenzar una simulación para un monte cuyas **características son definidas por el usuario a través de los siguientes parámetros**:

## Datos generales del monte y localización

En primer lugar deben registrarse las **características principales del monte**:

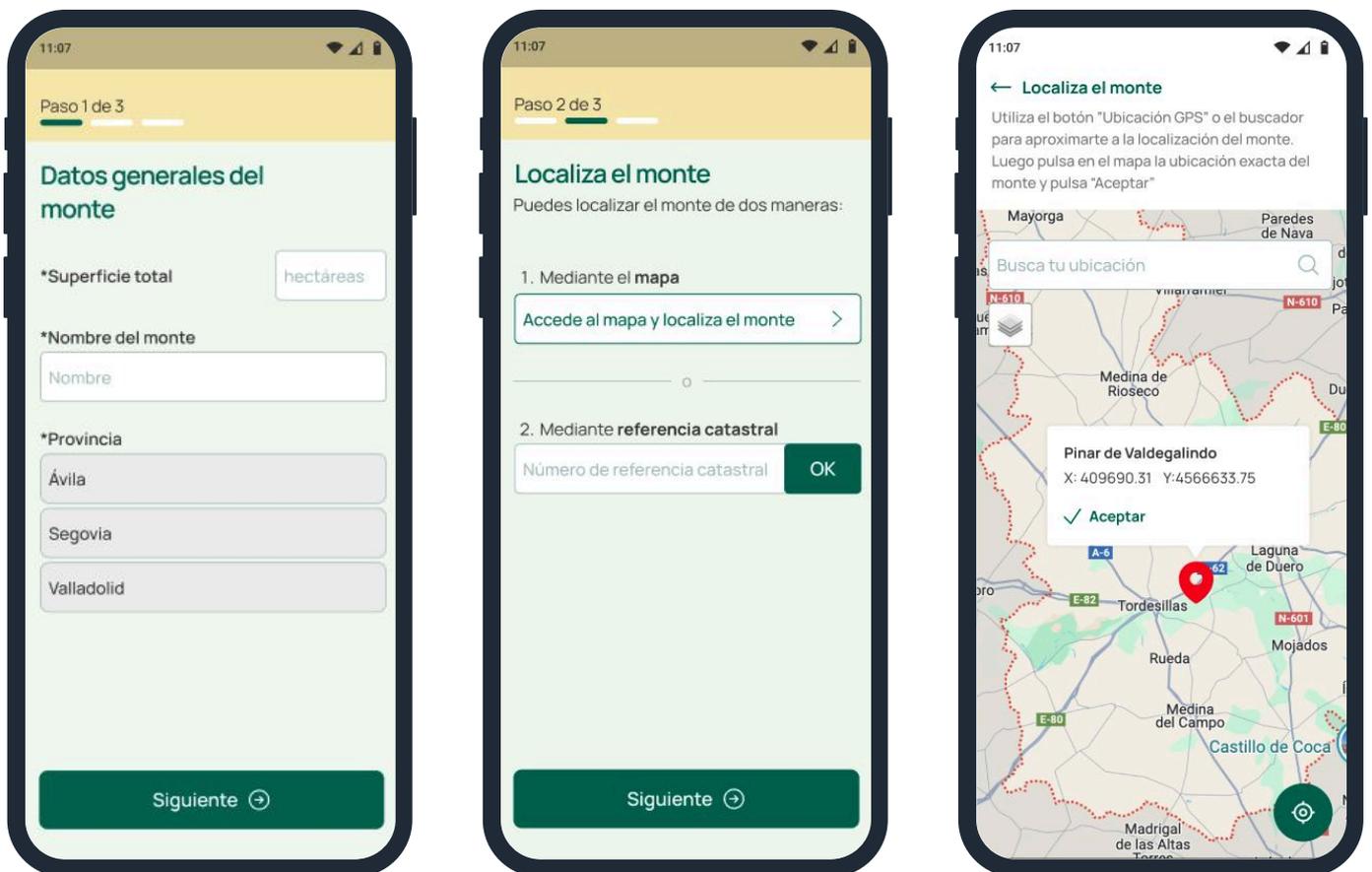
- Superficie total del monte en Hectáreas.
- Nombre del monte
- Provincia en la que se localiza

Las simulaciones de una misma localización en diferentes temporadas o con diferentes parámetros pueden agruparse por Monte. Para ello, cuando se registre una nueva simulación se deberá seleccionar uno de los Montes creados previamente en la pantalla "Datos generales del monte".

Para crear un nuevo monte se debe pulsar "Crear uno nuevo" e indicar su nombre.

En la siguiente pantalla se puede definir la **localización del monte de dos maneras**:

- A través de su **localización en el mapa**: debe pulsarse sobre el mapa en la ubicación del monte. Esta ubicación debe coincidir con las masas forestales de pino piñonero representadas en verde sobre el mapa. Si no fuera así, se debe marcar una ubicación cercana de similares características geográficas.
- A través de la **referencia catastral** del monte.



## Caracterización forestal

En esta pantalla se debe indicar el número de árboles de pino piñonero y del resto de especies en una parcela de muestra de 1 hectárea para cada intervalo de diámetro de su tronco (medido a 1,30m de altura desde su base). Los intervalos o clases diamétricas considerados en el modelo son 7 (medidos en centímetros): 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 y > 60.

Por ejemplo: tenemos 10 árboles en una parcela de 1ha y 8 de ellos son pinos piñoneros; si todos ellos tienen un diámetro de su tronco entre 30 y 40cm, en ese caso deberemos indicar en la fila correspondiente a la clase diamétrica 30-40 un valor 8; si los otros dos ejemplares correspondientes a otras especies tienen un diámetro de su tronco entre 10 y 20cm, indicaremos en la fila correspondiente a la clase diamétrica 20-30 el valor de 2.

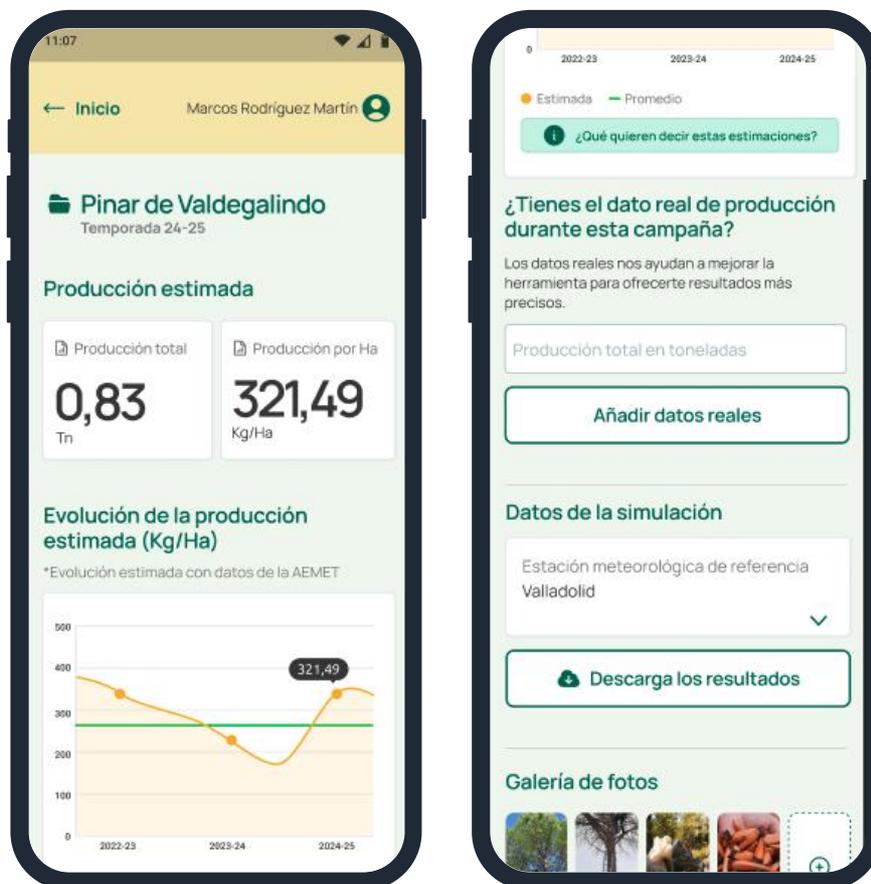
The image displays two screenshots of a mobile application interface for forest characterization. The left screenshot shows the 'Caracterización forestal' screen, which includes a progress indicator 'Paso 3 de 3', a title 'Caracterización forestal', and a description: 'Número de árboles por hectárea de pino piñonero y del resto de especies agrupados según el diámetro de su tronco.' Below this is a button for 'Más información sobre cómo obtener estos datos'. The 'Pino piñonero' section has input fields for diameters 5-10 cm (24), 10-20 cm, 20-30 cm (37), 30-40 cm (37), 40-50 cm, and 50-60 cm. The 'Otras especies' section has input fields for diameters 5-10 cm (21), 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 40-50 cm, 50-60 cm (15), and > 60 cm (15). A 'Calcular resultados' button is at the bottom.

## Resultados

Al pulsar el botón **“Calcular resultados”** la aplicación nos devuelve los valores de producción estimada para la ubicación seleccionada, en base a los parámetros forestales y los datos climáticos de la próxima campaña disponible.

**Los resultados se muestran a nivel global para el total** de la superficie del monte en toneladas y en Kg por hectárea.

También se muestra un **gráfico de evolución** de la producción en las últimas 2 campañas, expresadas en kg por hectárea, así como el valor promedio de producción estimada desde 2012.



Para registrar los valores de **producción real** de un monte simulado previamente se puede acceder al detalle de la simulación y grabar el valor como toneladas totales. También se podrán registrar fotos de dicha campaña para ese monte.

Los resultados de la simulación y los parámetros empleados en la misma se pueden descargar en formato XLS desde el botón **“Descargar los resultados”** para poder analizar los valores con mayor detalle o realizar simulaciones por parte del usuario.

La **campaña de simulación** establecida entre los meses de noviembre y abril, permite seleccionar los parámetros climáticos a partir de las bases de datos de AEMET para las estaciones de la provincia seleccionada (ver detalle en el apartado 3 de descripción del modelo científico). Para realizar una nueva simulación sobre ese monte para una campaña pasada se debe pulsar el botón "Realizar simulación en campaña anterior"



## 02. Descripción del modelo científico para la predicción de piña implementado en la aplicación PINEA ClimaDAT

**Rafael Calama, Guillermo Madrigal, Marta Pardos** (ICIFOR, INIA-CSIC)

**Javier Gordo** (S.T. Medio Ambiente Valladolid)

### Finalidad de la aplicación PINEA ClimaDAT

PINEA ClimaDAT es una aplicación que permite realizar simulaciones de la producción de piña para un monte o rodal forestal poblado con *Pinus pinea* y para una campaña anual determinada. La aplicación puede utilizarse tanto sobre montes públicos incluidos en la aplicación PLANFOR de la Junta de Castilla y León como sobre datos de una parcela o montes incluidos por el usuario.

PINEA ClimaDAT se fundamenta en la utilización del modelo de predicción de piña de árbol individual descrito en el presente documento, utilizando como variables predictoras (1) los datos de inventario por clases diamétricas proporcionados por PLANFOR o introducidos por el usuario, y (2) datos climáticos procedentes de la base de datos abierta de la AEMET. La aplicación realizará una estimación de la producción para cada parcela de inventario y año de simulación, que luego será agregada a escala de rodal o monte. La figura 1 recoge el diagrama de flujo de la aplicación.

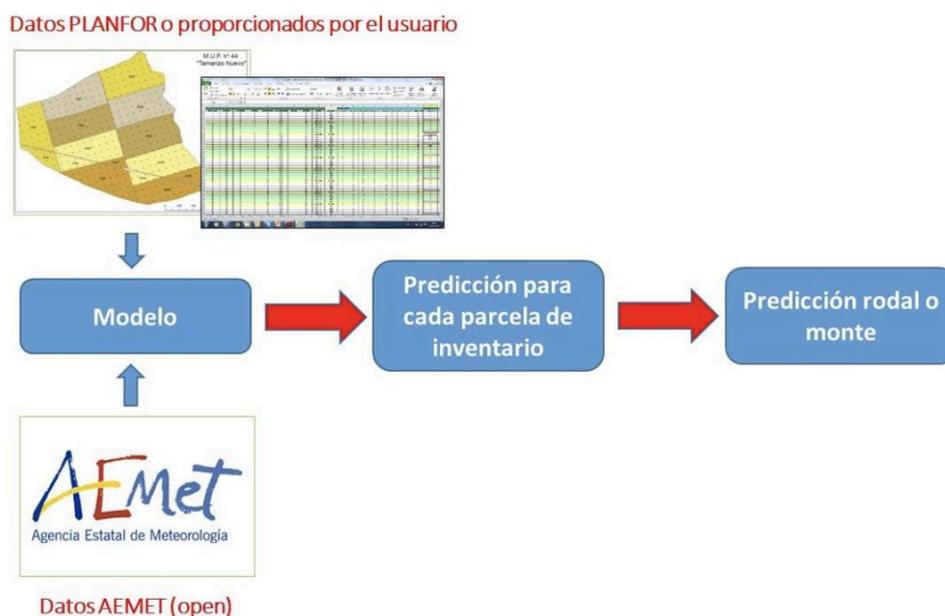


Figura 1. Esquema de flujo de la aplicación PINEA ClimaDAT

## Modelo para la predicción de piña

La presente versión de Pinea ClimaDAT lleva implementada una versión actualizada del modelo desarrollado por Calama et al. (2016), habiendo extendido su rango de validez a dos regiones de procedencia de la especie: Meseta Norte (provincias de Valladolid, Segovia y Ávila) y Valles del Tiétar y del Alberche (provincias de Ávila y Madrid). El modelo permite predecir la producción de piña obtenida en un año en un rodal a partir de la simulación de la producción de piña de cada uno de los árboles incluidos en el rodal. Las simulaciones se realizan para una parcela teórica de 1 ha, que luego es expandida a la escala del rodal o unidad de localización mínima.

El modelo es de tipo bietápico, y permite predecir la producción de piña de un árbol en un año dado como el producto entre la probabilidad de que el árbol tenga piñas ese año y el peso de piñas producido por el árbol ese año. El modelo utiliza como variables de entrada variables del árbol (dimensiones), del rodal (espesura, diámetro medio cuadrático) y de localización geográfica. Asimismo, incluye variables climáticas correspondientes a los 4 años anteriores al de recogida de la piña. Aunque la estructura general del modelo es la misma, las variables de entrada del modelo son distintas para la parametrización de la Meseta Norte y la de Valles del Tiétar y del Alberche.

## Datos empleados en la construcción del modelo

En la construcción del modelo con validez para la Meseta Norte se han empleado datos procedentes de la red de parcelas de crecimiento y producción instaladas por el INIA en colaboración con los servicios territoriales de Medio Ambiente de Valladolid, Segovia y Ávila, de la Junta de Castilla y León, y el Área de Conservación de Montes de la Comunidad de Madrid. En total la red incluye 211 parcelas, de las cuales 141 están localizadas en Valladolid, 18 en Segovia, 34 en Ávila y 18 en Madrid (figura 2). Las parcelas se instalaron en 1996, salvo las de Segovia, instaladas en 2017.

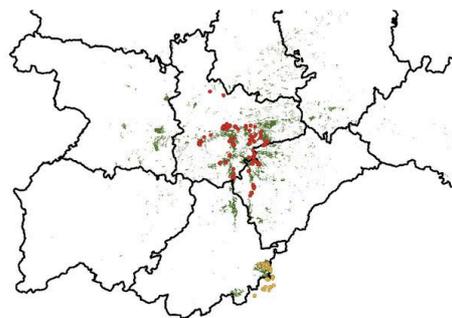


Figura 2. Mapa localización de las parcelas (rojo Meseta Norte, naranja Valles del Tiétar y Alberche) superpuesto sobre el mapa de presencia de *P. pinea* (verde) de acuerdo al MFE

Las parcelas son circulares, de radio variable, incluyen entre 10 y 20 árboles. En el momento de la instalación se posicionaron y marcaron todos los árboles, y se midieron diámetros, alturas y diámetros de copa. Estos inventarios se han repetido de manera periódica cada 5-10 años. En los 5 pies más cercanos al centro de la parcela se recoge la piña, que es clasificada (sana o dañada), contada y pesada de forma separada para cada árbol. La recogida de piña cubre la serie 1996 -2022 para la provincia de Valladolid, 1996-2008 para Ávila y Madrid y 2017-2022 en Segovia. En la actualidad la recogida se mantiene en 34 parcelas de Valladolid y 18 de Ávila. Para la construcción de la versión actualizada del modelo se usan datos hasta la campaña 2021-2022, lo que implica disponer de un total de 9555 observaciones de producción de árbol x año para la Meseta Norte y 2672 para Valles del Tiétar y el Alberche.

## Mejoras incluidas en el modelo

Respecto del modelo de Calama et al. (2016) el nuevo modelo presenta las siguientes mejoras:

- Inclusión de datos correspondientes a la provincia de Segovia
  - Disponibilidad de datos de ajuste hasta 2021
  - Extensión del rango de validez a dos regiones de procedencia: Meseta Norte y Valles del Tiétar y Alberche
  - Nueva definición de Unidades Naturales
  - Evaluación de nuevas variables climáticas
  - Inclusión del efecto *Leptoglossus occidentalis*, agente biótico responsable de las recientes caídas de las cosechas de piña y piñón a nivel internacional (Mutke et al. 2017, Calama et al. 2021)
  - Compatibilidad con datos de entrada tomados de la aplicación PLANFOR
  - No se requiere conocer la edad del rodal

## Datos de entrada requeridos para el modelo

### Inventario dendrométrico

Se requiere disponer de los siguientes datos a nivel de parcela o rodal de superficie conocida:

- d: diámetros individuales (cm) de todos los pies de pino piñonero con diámetro > 5 cm. En el caso de que se tengan los datos por número de pies por hectárea clase diamétrica se asume que todos los pies de la clase diamétrica tienen el diámetro correspondiente a la marca (es decir, si tenemos 10 pies/ha de clase 20-30 los consideramos como 10 pies de 25 cm de diámetro)

- $dg$ : diámetro medio cuadrático de la parcela o rodal (cm), calculado a partir de los anteriores (solo los piñoneros)
- $d/dg$ : cociente entre el diámetro individual de cada pie y el diámetro medio cuadrático de la parcela, considerando sólo los piñoneros
- SDI: índice de densidad de Reineke (1933), **calculado para todas las especies presentes en la parcela o rodal**, utilizando la siguiente fórmula:

$$SDI = N_t (25 / dg_t)^{-1,605}$$

Donde  $N_t$  y  $dg_t$  se refieren al número de pies/ha y diámetro medio cuadrático de la parcela, considerando todas las especies presentes

Los datos anteriores obligan a tener un inventario bien por lista de árbol individual, bien por clases diamétricas.

## Localización geográfica

La superficie con presencia de *Pinus pinea* en la zona delimitada para las dos regiones de procedencia ha quedado dividida en una serie de Unidades Naturales, estratificación ecológica basada en caracteres climático, edáficos, litológicos y orográficos, extensión de la propuesta original de Gordo (2004) para la provincia de Valladolid. Se han definido 12 unidades naturales para la Meseta Norte y 4 unidades para los Valles del Tiétar y del Alberche. En las tablas del anexo se recoge la división en las distintas Unidades Naturales, así como los Montes de Utilidad Pública incluidos en cada una.

## Datos climáticos

Estas variables son las que definen la variación entre años. Si queremos estimar la cosecha para la campaña  $t - t+1$  (es decir la que comienza en noviembre del año  $t$  y termina en abril del año  $t+1$ ) necesitamos tener datos desde el año  $t-3$ . Es decir, para realizar estimaciones para la campaña 2022-2023 necesitamos datos climáticos desde el año 2019. Para el modelo hemos utilizado datos procedentes de la AEMET. Para toda la zona de estudio de la Meseta Norte utilizamos los datos meteorológicos de la estación de Valladolid Central (2465). Para la región Valles del Tiétar y del Alberche usamos los datos de la estación de El Tiemblo, o en su defecto, Cebreros.

En este modelo las variables entran estandarizadas, es decir, restadas por su valor medio en la serie histórica y divididas por su desviación típica. Esto nos permite asignar un valor cero en todas las variables climáticas para estimar la producción en un año promedio.

## Modelo para la Meseta Norte (provincias de Valladolid, Segovia y comarca Arévalo de Ávila)

Este modelo tiene validez para los pinares de la provincia de Valladolid, Segovia y la comarca abulense de Arévalo. El modelo es de tipo bietápico, y nos va a permitir predecir para un árbol dado (o para el árbol medio de cada clase diamétrica) en un año determinado dos valores:  $\theta$ , que es la probabilidad de que el árbol tenga piña ese año, y  $wc$  que es el peso de piña sana que se espera produzca el árbol ese año, condicional a que tenga piña. El peso total de piña producida por el árbol en el año  $pc$  se calcula como el producto  $\theta \cdot wc$ , multiplicado por un factor de corrección.

Al ser un modelo bietápico tanto  $\theta$  como  $wc$  tienen un modelo específico, dado por las siguientes ecuaciones:

$$\text{logit } \theta = 0,5106 + 0,5532 \text{ pp}_{ag\_7\_3} + 0,5365 \text{ pp}_{mv\_3\_3} + 0,4230 \text{ pp}_{mr\_3\_2} + 0,1426 \text{ pp}_{sp\_4\_2} + 0,3813 \text{ pp}_{jl\_3\_0} - 0,6195 \text{ nhel} - 0,00161 \text{ SDI} - 45,5294 (1/dg) + 1,8056 d/dg + \text{UN1}$$

$$\ln(wc) = -0,4013 + 0,2815 \text{ pp}_{ag\_7\_3} + 0,3723 \text{ pp}_{mv\_3\_3} + 0,1298 \text{ pp}_{sp\_4\_2} + 0,3171 \text{ pp}_{jl\_7\_0} - 0,2577 \text{ nhel} + 0,03287 d - 0,00079 \text{ SDI} - 24,0907 (1/dg) + 0,7496 d/dg + \text{UN2} - 1,3786 \text{ leptog}$$

En las ecuaciones anteriores,  $d$ ,  $dg$ ,  $d/dg$  y  $SDI$  ya han sido definidas.  $UN1$  y  $UN2$  toman un valor dependiendo de la Unidad Natural donde se realice la estimación (ver tabla 1),  $lepto$  es una variable que toma el valor 1 si el año de simulación es posterior a 2011 (posterior a la entrada de *Leptoglossus*), y 0 en el resto de ocasiones. El resto de variables se corresponden con datos climáticos incluidos en la tabla 2.

Tabla 1. Valor de los parámetros  $UN1$  y  $UN2$  de las ecuaciones según Unidad Natural (Meseta Norte)

Unidad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	101	102
$UN_1$	1,5794	0	-0,1588	-1,5495	-1,7735	-1,2612	-0,5855	-1,6726	-0,6978	-0,2756	0,3063	1,2944
$UN_2$	0,5517	0	-0,2812	-0,8834	-1,0233	-0,4759	-0,1224	-0,6596	-0,8039	-0,2345	0,1543	0,9023

Tabla 2. Descripción de los parámetros climáticos incluidos en el modelo para la Meseta Norte y valor medio y desviación típica requeridos para la estandarización, obtenidos de la Estación AEMET de Valladolid, para el periodo 1990-2020. El año t se refiere al año en el que empieza la campaña de recogida.

Variable	Descripción	Media	Desv típica
ag_7_3	Precipitación entre febrero y agosto de t-3 (mm)	199.1	65.6
nv_3_3	Precipitación entre septiembre y noviembre de t-3 (mm)	135.9	58.5
mr_3_2	Precipitación entre enero y marzo de t-2 (mm)	97.5	58.1
sp_4_2	Precipitación entre junio y septiembre de t-2 (mm)	82.4	46.5
jl_3_0	Precipitación entre mayo y julio de t (mm)	85.3	46.3
jl_7_0	Precipitación entre enero y julio de t	230.2	80.9
N_hel	Número de días con temperatura inferior a -5°C entre noviembre año t-2 y abril año t-1	3.411	3.906

A partir de las estimaciones de  $\text{logit } \theta$  y  $\ln(wc)$  obtenidas en las ecuaciones anteriores, la producción esperada por árbol ( $pc$ , referida en kg) para el año determinado se calcula como:

$$pc = 2,0506 * \exp(\ln(wc)) * \exp(\text{logit } \theta) / (1 + \exp(\text{logit } \theta))$$

Aplicando la fórmula anterior determinaríamos la  $pc$  para el árbol medio de cada clase diamétrica en una parcela y año determinado. Multiplicando por el nº de pies/ha de cada clase diamétrica en la parcela, y sumando, tendríamos una estimación de la producción (kg/ha) esperada para la parcela. A partir de ahí habría que extender al tramo y al monte.

## Modelo para la Valles del Tiétar y Alberche

Este modelo tiene validez para la región de procedencia de los Valles del Tiétar y Alberche, que incluye pinares de la provincia de Ávila (comarcas de Hoyo de Pinares, Cebreros, El Tiemblo y Piedralaves), Madrid (San Martín de Valdeiglesias, Cadalso de los Vidrios, Pelayos de la Presa, Cenicientos) y Toledo (Almorox).

Al igual que el modelo para la Meseta Norte, el modelo es de tipo bietápico, y nos va a permitir predecir para un árbol dado (o para el árbol medio de cada clase diamétrica) en un año determinado dos valores:  $\theta$ , que es la probabilidad de que el árbol tenga piña ese año, y  $wc$  que es el peso de piña sana que se espera produzca el árbol ese año, condicional a que tenga piña. El peso total de piña producida por el árbol en el año  $pc$  se calcula como el producto  $\theta.wc$ , multiplicado por un factor de corrección. Al ser un modelo bietápico tanto  $\theta$  como  $wc$  tienen un modelo específico, dado por las siguientes ecuaciones:

$$\text{logit } \theta = -1,0670 + 0,7117 \text{ pp}_{dc\_10\_3} + 0,1812 \text{ pp}_{sp\_2\_2} + 0,5762 \text{ pp}_{jn\_4\_0} - 0,00178 \text{ SDI} - 37,5155 (1/\text{dg}) + 3,0660 \text{ d/dg} + \text{UN1}$$

$$\ln(\text{wc}) = 0,5612 + 0,4720 \text{ pp}_{dc\_10\_3} + 0,1596 \text{ pp}_{my\_2\_2} + 0,2450 \text{ pp}_{dc\_4\_1} + 0,3719 \text{ pp}_{jn\_4\_0} - 0,00084 \text{ SDI} - 74,4542 (1/\text{dg}) + 2,4210 \text{ d/dg} + \text{UN2}$$

Donde d, dg, d/dg y SDI como se ha indicado anteriormente. UN1 y UN2 son parámetros correspondientes a la Unidad Natural donde se realice la estimación (tabla 3). El resto de variables se corresponden con datos climáticos incluidos en la tabla 4

Tabla 3. Valor de los parámetros UN1 y UN2 para el modelo de Valles del Tiétar y Alberche

Unidad	21	22	23	24
UN <sub>1</sub>	1,5794	0	-0,1588	-1,5495
UN <sub>2</sub>	0,5517	0	-0,2812	-0,8834

Tabla 4. Descripción de los parámetros climáticos incluidos en el modelo para Valles del Tiétar y Alberche y valor medio y desviación típica requeridos para la estandarización, obtenidos de la Estación AEMET de Valladolid, para el periodo 1990-2020. El año t se refiere al año en el que empieza la campaña de recogida.

Variable	Descripción	Media	Desv típica
dc_10_3	Precipitación entre marzo y diciembre de t-3 (mm)	548,2	159,1
My_2_2	Precipitación abril y mayo de t-2 (mm)	117,0	62,5
Sp_2_2	Precipitación agosto y septiembre de t-2 (mm)	47,1	31,4
Dc_4_1	Precipitación entre septiembre y diciembre de t-1 (mm)	344,6	145,9
Jn_4_0	Precipitación entre marzo y junio año t (mm)	174,3	68,2

A partir de las estimaciones de logit  $\theta$  y  $\ln(\text{wc})$  obtenidas en las ecuaciones anteriores, la producción esperada por árbol (pc, referida en kg) para el año determinado se calcula como

$$\text{pc} = 1,8259 * \exp(\ln(\text{wc})) * \exp(\text{logit } \theta) / (1 + \exp(\text{logit } \theta))$$

Aplicando la fórmula anterior determinaríamos la pc para el árbol medio de cada clase diamétrica en una parcela y año determinado. Multiplicando por el nº de pies/ha de cada clase diamétrica en la parcela, y sumando, tendríamos una estimación de la producción (kg/ha) esperada para la parcela. A partir de ahí habría que extender al tramo y al monte.

## Bondad del ajuste de los modelos

La capacidad predictiva de los modelos ajustados se analiza a tres escalas: escala de región de procedencia, escala de parcela y escala de árbol. Los análisis se centran en la comparación entre valores observados y predichos, así como en el uso de dos estadísticos de ajuste: el error medio  $E$  en la estimación a la escala estudiada y el coeficiente de determinación  $R^2$ :

$$E = \frac{\sum[y - \hat{y}]}{n} = \frac{\sum e}{n}$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum e^2}{\sum [y - \bar{y}]^2}$$

Donde  $y$ ,  $\hat{y}$  e  $\bar{y}$  representan el valor observado, predicho y medio de la variable de estudio del modelo.

En la escala superior comparamos el valor medio predicho y el valor observado de producción de piña por árbol y año para la región Meseta Norte y para la región Valles del Tiétar y del Alberche (figuras 3 y 4). En el caso de la región Meseta Norte se presentan por separado los datos de las provincias de Valladolid y Segovia, dada la disparidad de duración de las series.

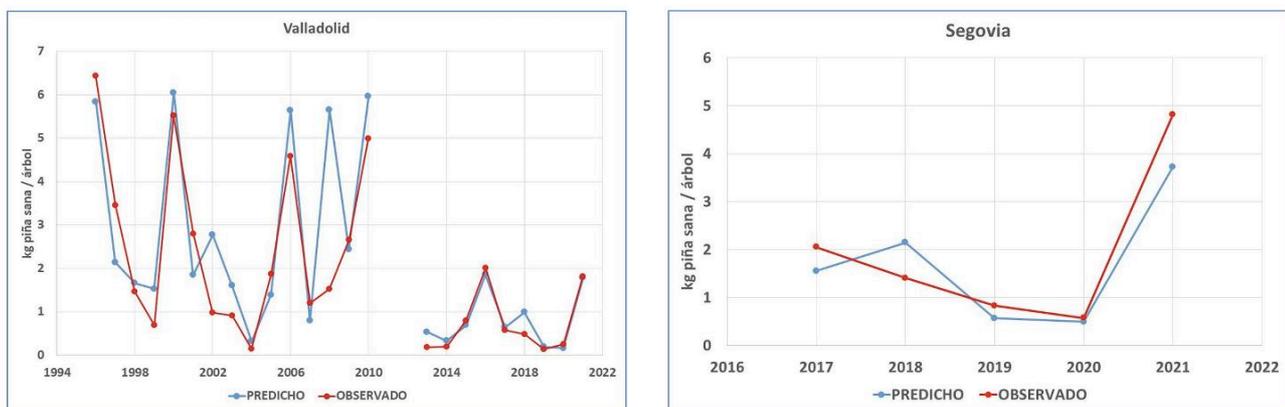
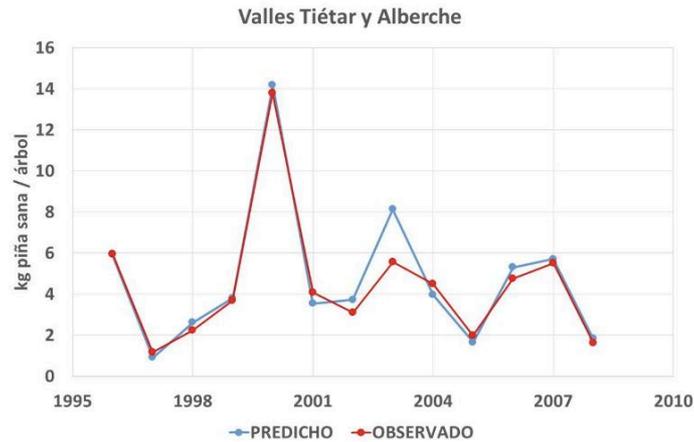


Figura 3. Concordancia entre el valor medio observado y predicho por el modelo de producción media por árbol y año de piña sana, para las parcelas estudiadas en Valladolid (1996-2021) y Segovia (2017-2021)



**Figura 5. Valores observados frente a predichos por el modelo de producción de piña por parcela y año para la Meseta Norte y Valles del Tiétar y Alberche. La línea roja indica la concordancia total 1:1**

A esta escala obtenemos un error medio para la estimación de la producción media de un árbol en un año de  $-0,204$  kg/árbol.año para la Meseta Norte y  $-0,257$  kg/árbol.año para Valles del Tiétar, con un valor de  $R^2$  de 66,9% para Meseta Norte y 93,2% para Valles del Tiétar y Alberche. Se puede observar como el modelo sigue muy bien las tendencias de variabilidad interanual, recogiendo bien la caída en la producción observada en Valladolid a partir de 2011, asociada a *Leptoglossus*. Se observa, sin embargo, como hay dos años (2002 y sobre todo 2008) en los que el modelo tiende a realizar sobreestimaciones muy acusadas. Esto es claro indicador de la ocurrencia de algún fenómeno esos años no considerado en el modelo.

A medida que descendemos la escala de aplicación del modelo disminuye lógicamente la capacidad predictiva del mismo. A escala de parcela y año (figura 5), el modelo es capaz de dar unas estimaciones de la producción total de la parcela dada en un año dado con un error medio  $E = -0,747$  kg / parcela.año y  $R^2 = 46,4\%$  para la Meseta Norte, y error medio  $E = -1,202$  kg/parcela.año y  $R^2 = 54,8\%$  para Valles del Tiétar y Alberche. Por último, a escala de la capacidad predictiva del modelo para un árbol y un año determinado el error medio desciende a  $E = 0,145$  kg/árbol.año, pero con un notable descenso en el  $R^2 = 33,6\%$  para la Meseta Norte, mientras que para Valles del Tiétar y Alberche  $E = 0,241$  kg/árbol.año y  $R^2 = 42,3\%$

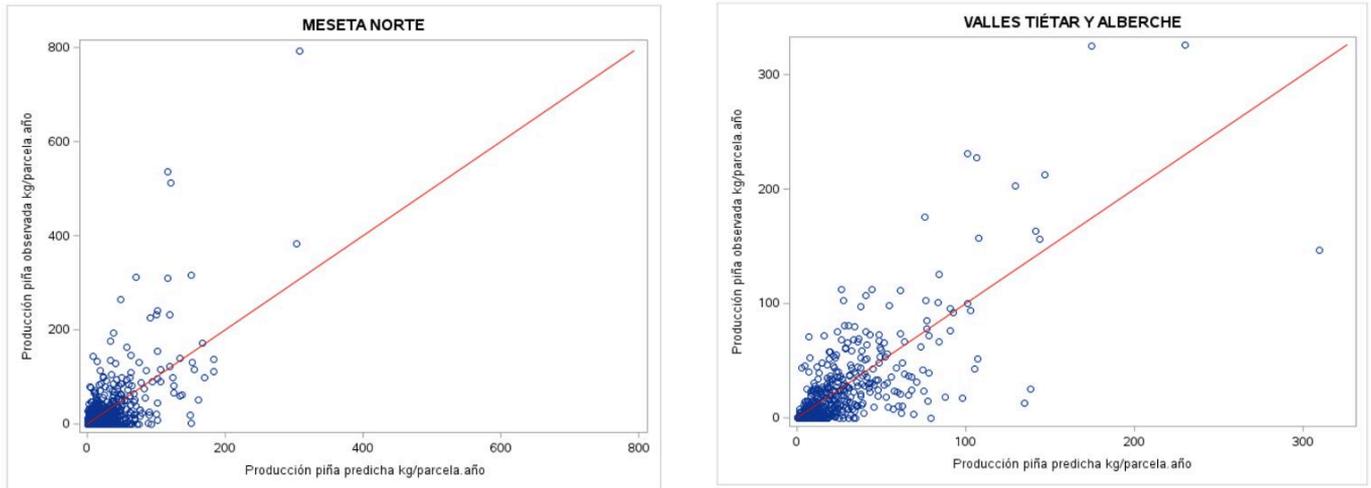


Figura 4. Concordancia entre el valor medio observado y predicho por el modelo de producción media por árbol y año de piña sana, para las parcelas estudiadas en Valles del Tiétar y Alberche (1996-2008)

## Conclusiones

Se presentan dos modelos para la producción anual de piña a escala de árbol individual, con validez en las regiones de procedencia Meseta Norte y Valles del Tiétar y Alberche. Los modelos utilizan como variables de entrada atributos propios de los inventarios forestales (diámetro normal, diámetro medio cuadrático, especie, densidad e índice de Reineke), pudiendo aplicarse tanto a listados individuales de pies como a inventarios por clases diamétricas. El modelo se alimenta también de datos climáticos de la AEMET, así como de una clasificación ecológica del territorio. Los modelos permiten realizar estimaciones insesgadas y precisas a escala media de la región de procedencia y año, disminuyendo su potencia predictiva a medida que lo hace la escala (parcela o árbol). Aunque la precisión del modelo para Valles del Tiétar y Alberche es superior, debe indicarse que en esta zona no se dispone de datos posteriores a la entrada de *Leptoglossus*, lo que impida que se tenga en consideración este factor.

## Referencias

CALAMA, R., GORDO, J., MADRIGAL, G., MUTKE, S., CONDE, M., MONTERO, G., PARDOS, M. 2016. Enhanced tools for predicting annual stone pine (*Pinus pinea* L.) cone production at tree and forest scale in Inner Spain. *Forest Systems*, 25(3), e079. <http://dx.doi.org/10.5424/fs/2016253-09671>

CALAMA, R., GORDO, F.J., PARDOS, M., MADRIGAL, G., PASCUAL, S., RAPOSO, R., ELVIRA, M., MUTKE, S., 2021. Caídas en el rendimiento en piñón de las piñas de *Pinus pinea* L. y evidencias acerca de la causalidad de *Leptoglossus occidentalis*. *Foresta* 78, 100-107

GORDO, F.J. 2004. Selección de grandes productores de fruto de *Pinus pinea* L. en la meseta norte. Tesis Doctoral, UPM. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.179>.

MUTKE, S., CALAMA, R., NASRALLAH, E., ROQUES, A. 2017. Impact of the dry cone syndrome on commercial kernel yield on Stone pine cones. *Options Méditerranéennes* 122, 79 – 84

## ANEXO 1. Unidades Naturales

### Unidades Naturales descritas para la provincia de Valladolid

UN	Nombre	Área (Ha)	Altitud	IS (m)	Litología	CRA (mm)	Montes
1	Torozos	1.834	847	14,0	Caliza – Margas	350	85, 86, 115, 120, 152
2	Páramo calizo Oeste	4.757	845	14,9	Caliza – Margas	313	40, 41, 47-95-101, 48-103, 50, 54,55,64
3	Páramo calizo Este	2.284	854	14,4	Caliza – Margas	295	65, 66, 72, 73, 91, 92, 107-108-109-110, 117, 141
4	Valladolid	1.908	687	13,1	Arenas cuarcíticas	107	69, 79, 80
5	Nava del Rey	1.480	710	11,8	Gravas	175	17
6	Viana de Cega	7.211	707	15,1	Arenas cuarcíticas	160	8 a 16, 18, 24, 25, 35, 42, 43, 44, 45, 57, 58, 59
7	Iscar	2.945	745	16,7	Arenas cuarcíticas – arcillas	186	19, 29, 30, 31, 32, 33, 46
8	Medina	4.044	746	12,5	Arenas cuarcíticas	111	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 22, 23, 28, 36, 37, 38, 39, 51, 52, 56, 60, 61, 62, 63, 97
9	Tudela de Duero	1.401	712	12,6	Arenas cuarcíticas	166	20, 21, 74, 75, 75, 76, 77, 78
10	Terrazas fluviales	1.664	688	16,8	Suelos de depósito aluvial	158	65, 67, 68, 70, 71

### Unidades Naturales descritas para la provincia de Segovia

UN	Nombre	MUP	Términos Municipales - Comarcas	Datos climáticos
101	Terrazas Voltoya	98, 99, 103, 104, 113, 115, 121, 122, 125	Coca, Villeguillo, Santiuste de San Juan, Nava de la Asunción, Aldehuela del Codonal	Valladolid
102	Páramo Cuéllar	33, 47	Cuellar	Valladolid
7 (Valladolid)	Coca	27, 44, 46, 57, 58, 105	Coca, Samboal, Fuente el Olmo Iscar, Villaverde Iscar, fresneda de Cuellar	Valladolid
8 (Valladolid)	Arévalo	107, 111	Montejo de Arévalo, Don Hierro	Valladolid

## Unidades Naturales descritas para la provincia de Ávila en la Región Procedencia Meseta Norte

UN	Nombre	MUP	Términos Municipales	Datos climáticos
8 (Valladolid)	Arévalo	24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 118, 160, 161, 162, 164, 170, 171, 172	Toda la Comarca Arévalo	Valladolid

## Unidades Naturales Región de Procedencia Valles del Tiétar y del Alberche

UN	MUP	Términos Municipales - Comarcas	Datos climáticos
21	70, 71, 72, 74, 78, 42, 57, 64, 65, 66, 67, 88, 89, 133	Hoyo Pinares, Cebreros, El Tiemblo, San Bartolomé Pinares, Navas Marqués	El Tiemblo
22	75, 20, 56, 88	Hoyo Pinares, Piedralaves, Sotillo de la Adrada	El Tiemblo
23	Avila:73 Montes CAM: 54, 47, 51, 185 Montes Toledo: 4	Hoyo Pinares Cadalso, San Martín Valdeiglesias, Cenicientos Valdemaqueda Almorox	El Tiemblo
24	Montes CAM. 50, 55, 56, 45,48, 49	Pelayos de la Presa, Villa del Prado, Navas del Rey, Robledo Chavelea	El Tiemblo

# PINEA ClimaDAT



## Créditos:

Rafael Calama (ICIFOR, INIA-CSIC)  
Guillermo Madrigal (ICIFOR, INIA-CSIC)  
Marta Pardos (ICIFOR, INIA-CSIC)  
Javier Gordo (S.T. Medio Ambiente Valladolid)  
INCA Medio ([www.incamedio.com](http://www.incamedio.com))



Proyecto financiado por la Fundación Biodiversidad que contribuye a la promoción de la bioeconomía forestal, la transición ecológica y al reto demográfico a través del desarrollo, la innovación y la gestión sostenible de los Productos Forestales No Madereros (PFNM): resina, corcho, plantas aromáticas y medicinales (PAM), piñón, setas, trufa, castaña y miel.

El proyecto identifica la potencialidad productiva del conjunto de bioproductos y servicios asociados a los PFNM, diseñando herramientas de gestión sostenible y realizando proyectos innovadores que hagan frente a las amenazas asociadas al cambio climático y al abandono rural.

## Entidades socias

