



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



Desarrollo de estrategias innovadoras para la optimización del estado nutricional de las plantaciones de eucalipto

GONZÁLEZ GARCÍA, M.¹, COLADO, D.², DÍAZ-ACEVEDO, A.³ y MAJADA, J.¹

¹ Centro Tecnológico Forestal y de la Madera de Asturias (CETEMAS).

² Forestal Malleza S.L.

³ COVIASTUR SL

Resumen

En la actualidad la pérdida de productividad asociada a la falta de optimización de la gestión nutricional de las plantaciones de eucalipto, así como los problemas sanitarios, está afectando a la productividad potencial de eucalipto, cultivo generador de riqueza, así como de múltiples beneficios ambientales.

Con el objetivo de mejorar la productividad del eucalipto, durante los años 2019-2021 se ha llevado a cabo la instalación de una red de ensayos experimentales en Asturias que combinan distintos tratamientos selvícolas con la aplicación de fertilizantes.

Se han seleccionado tres tipos de escenarios en función del momento de realización de los tratamientos: nuevas plantaciones, plantaciones jóvenes hasta 2 años y plantaciones de monte bajo. Los tratamientos realizados con un diseño experimental anidado incluyen la aplicación de hasta 4 tratamientos de fertilización (en función del escenario) combinados con tratamientos de corrección del pH, desbroces de la vegetación y el uso de herbicidas.

Estos ensayos han sido caracterizados inicialmente con análisis nutricionales e inventarios forestales y serán monitorizados en remoto para conocer la evolución de su crecimiento, así como las distintas variables edafoclimáticas mediante el empleo de sensores IoT, información que permitirá optimizar la gestión de las plantaciones.

Palabras clave

Eucalyptus globulus, fertilización, nutrición, tratamientos selvícolas, productividad.

1. Introducción

El eucalipto presenta en la actualidad gran relevancia en la Península Ibérica donde da soporte a los sectores de la pasta de celulosa, madera y bioenergía, empezando a utilizarse en los últimos años en otros sectores como la producción de fibras textiles o productos biotecnológicos de alto valor añadido (TOMÉ et al., 2021).

El cultivo de eucalipto ocupa en España aproximadamente el 3 % de la superficie forestal lo que equivale a unas 800.000 ha y que se traduce en más del 30% de la madera obtenida en el país con una producción anual de 6,9 millones de m³ de madera (año 2017) (MAPA, 2020). Estos datos evidencian la importancia económica del sector del eucalipto que incentiva la generación de empleo directo y está asociado además del desarrollo de las áreas rurales donde se localizan los montes y regiones cercanas.

A pesar de la relevancia que presentan las plantaciones de eucalipto en España, existen diferentes factores que limitan su productividad haciendo que muchos cultivos estén generando rendimientos inferiores a los que podrían obtenerse. Estos factores son la falta de gestión selvícola y optimización nutricional de las plantaciones, el envejecimiento y el abandono de los cultivos, el uso de materiales vegetales no apropiados y los daños por plagas y enfermedades.

La optimización de la gestión nutricional de las plantaciones de eucalipto mediante la aplicación de una dosis ajustada de fertilizantes produce el crecimiento óptimo de los árboles, sin que exista déficit nutricional, reduciendo los riesgos bióticos y abióticos y asegurando y manteniendo la capacidad productiva de los suelos forestales para futuros ciclos de cultivo (MERINO et al., 2003; VIERA et al., 2016). La gestión nutricional es una de las estrategias que permite mejorar el rendimiento del cultivo para obtener masas de eucalipto más productivas sin la necesidad de incrementar la superficie actual ocupada por el mismo, limitada actualmente en algunas CCAA de la Península Ibérica por la legislación.

La fertilización se ha instaurado en las plantaciones forestales como práctica habitual, empleada comúnmente en el establecimiento de las masas de eucalipto, tras múltiples experiencias y evidencias científicas que han demostrado un incremento en la productividad de los cultivos (JACOBS, 1981; GONZÁLEZ-RÍO et al., 1997). Sin embargo, para *Eucalyptus globulus* en el noroeste de España los tratamientos empleados son los mismos que se han utilizado durante décadas restringiéndose sólo al momento de la plantación y con una formulación y dosis, en los que no se tienen en cuenta las necesidades nutricionales de los cultivos en función de la tipología de masa, la rotación, las características edáficas, posibles deficiencias nutricionales o la extracción previa de la biomasa en el terreno.

2. Objetivos

El principal objetivo de este trabajo es estudiar la optimización del estado nutricional de las plantaciones de eucalipto mediante la instalación de un dispositivo experimental de ensayos que cubren la variabilidad disponible del cultivo de eucalipto en cuanto a características de las masas forestales en el área de distribución de *Eucalyptus globulus*. En este dispositivo se evaluará la aplicación de distintos tratamientos fertilizantes que en combinación con distintas tareas selvícolas permitirán mejorar la producción de las plantaciones manteniendo la fertilidad de los suelos forestales. Adicionalmente la optimización de la producción también se llevará a cabo mediante la monitorización edafoclimática de las plantaciones mediante la instalación de una red de sensores IoT.

3. Metodología

3.1. Tratamientos de fertilización

La mejora de la productividad forestal mediante la optimización del estado nutricional de las plantaciones se ha llevado a cabo mediante la definición de distintos programas de fertilización orientados a tres tipologías de escenarios de acuerdo con el tipo de masas de eucalipto existentes en el noroeste de España: (1) nuevas plantaciones, (2) plantaciones jóvenes de hasta 2 años y (3) plantaciones de monte bajo tras la primera corta. Estos programas no se restringen únicamente al momento de la plantación, están ajustados a la edad de los árboles y consideran características edáficas como la acidez edáfica para intentar optimizar el rendimiento del cultivo.

Los tratamientos y programas de fertilización empleados en los ensayos experimentales se seleccionaron previamente a partir de una revisión exhaustiva de referencias y trabajos para *Eucalyptus globulus* en la península ibérica u otras regiones de interés (CEMPA, 2018ab; Viera et al., 2016; Ruiz et al., 2001). Toda la información referente a los tratamientos como la composición nutricional, la dosis o el modo de aplicación se incluye en la tabla 1.

Tabla 1. Características de los tratamientos de fertilización aplicados en los ensayos.

Momento de aplicación	Tratamiento Fertilización	Composición nutricional	Tipo de liberación	Dosis	Modo de aplicación	Escenarios
Establecimiento	C	Control	---	---	---	Nuevas plantaciones
	I	NPK 8-24-16	Inmediata	200 g/planta	Huecos a los lados	
	L	NPK 11-21-9 +6MgO	Controlada	50 g/planta	Fondo del hoyo	
	S	NPK 11-21-9+6MgO NPK 0-27-0	Controlada-inmediata	50 g/planta 100 g/planta	Fondo del hoyo y huecos a los lados	
Mantenimiento	T1	NPK(S) 21-10-9 (23)+B	Controlada	500 g/planta	Superficie suelo proyección copas ²	Nuevas plantaciones
				500 g/planta	Superficie suelo proyección copas ²	Plantaciones jóvenes
				500 kg/ha	Entre líneas de cultivo	Monte bajo
Encalado	E	CaO (30%), MgO (4.5%) y SO ₃ (10%)	Inmediata	500 g/planta	Superficie suelo proyección copas ²	Nuevas plantaciones ¹
		CaO (55%) y MgO (30%)		500 g/planta	Superficie suelo proyección copas ²	Plantaciones jóvenes ¹
				500 kg/ha	Entre líneas de cultivo	Monte bajo ¹

Nota 1: *Sólo para plantaciones predefinidas con pH muy ácido y deficiencias nutricionales.

Nota 2: El fertilizante de mantenimiento y el encalado se aplica sobre el suelo, sin enterrar, en el radio que ocupa la proyección de las copas de los árboles en el momento de la aplicación.

Para la fertilización de establecimiento (tabla 1), que se realiza en el momento de la plantación en el escenario de nuevas plantaciones, junto al tratamiento C o control, en el que no se aplican fertilizantes, se empleó el tratamiento I como referencia ya que es el más utilizado en la región desde hace casi tres décadas. Este es un tratamiento con alto contenido en fósforo y potasio, de liberación inmediata, donde todos sus componentes se aportan en forma totalmente asimilable para las plantas y que se aplica en dos huecos en el suelo alrededor de la planta. Adicionalmente se emplearon otros dos tratamientos, L y S, que incorporan un compuesto de liberación lenta que incluye magnesio, para favorecer la fotosíntesis, y se aplica en el fondo del hoyo combinándolo en el caso del tratamiento S con la aplicación de otro fertilizante con un aporte extra de fósforo que favorece el desarrollo radicular de las plantas en la fase de establecimiento del cultivo.

La fertilización de mantenimiento (tabla 1) se aplica en todos los escenarios en los siguientes años a la plantación o tras la corta (aproximadamente 1 año después de la plantación en el escenario de nuevas plantaciones, y durante la instalación de los ensayos en los escenarios de plantaciones jóvenes y de monte bajo). Este tratamiento T1 se realiza con un abono de liberación controlada, con parte del nitrógeno encapsulado, que contiene boro y azufre, adecuado para la fertilización de mantenimiento en los primeros años tras la plantación aportando los elementos que necesita el cultivo y reduciendo la pérdida de nutrientes. El fertilizante es aplicado manualmente en la superficie suelo, sin enterrar, en el radio que ocupa la proyección de las copas de los árboles para los escenarios de nuevas plantaciones y plantaciones jóvenes, y entre líneas de cultivo en el escenario de monte bajo, ya que es donde se estima que se encuentran las raíces por la edad de las masas.

Finalmente, el encalado tiene el objetivo de corregir la acidez del suelo incrementando el pH edáfico para favorecer la disponibilidad de nutrientes para el cultivo. Este tratamiento sólo se ha realizado en alguno de los ensayos seleccionados previamente. El producto seleccionado para el encalado (E), que se aplicó en el mismo momento y del mismo modo que lo citado anteriormente para

la fertilización de mantenimiento, combina elementos como el calcio y el magnesio y azufre para incrementar el pH del suelo y mejorar sus deficiencias nutricionales.

3.2. Diseño experimental

El diseño de los ensayos varía en función de las tipologías de masas de eucalipto citadas en los escenarios: nuevas plantaciones, plantaciones jóvenes y plantaciones de monte bajo. Cada escenario incluye los tratamientos de fertilización (tabla 1) combinados con tratamientos de fertilización de mantenimiento y del control de la vegetación para poder evaluar el efecto conjunto de llevar a cabo la gestión nutricional y el control de la competencia en los primeros años del cultivo de eucalipto.

En el escenario de nuevas plantaciones se empleó un diseño experimental con los tratamientos de forma anidada (split-plot) donde a partir de las condiciones de manejo de la vegetación de competencia, se evaluaron con un diseño de bloques los tratamientos de fertilización de establecimiento. En la instalación de los ensayos la preparación del terreno se realizó mediante desbroce mecanizado de la vegetación y ahoyado con retroaraña. La plantación se realizó manualmente con material clonal con una densidad de 1100 pies/ha, aplicando simultáneamente los tratamientos de fertilización (tabla 1). Además del efecto de los tratamientos de fertilización también se incluyeron otros factores a evaluar en los ensayos como el efecto del sitio, el material genético empleado y la época de plantación instalando ensayos en distintas épocas, primavera y otoño.

Al año siguiente de la plantación, se realizaron las siguientes actuaciones en combinación con tratamientos de fertilización que habían sido aplicados en el establecimiento: control (T0), desbroce (D), desbroce y fertilización de mantenimiento (D+T1), desbroce, fertilización de mantenimiento y herbicida (D+T1+H) y desbroce, fertilización, herbicida y tratamiento de encalado (D+T1+H+E). Este último tratamiento sólo se realizó en las parcelas donde previamente se tomó la decisión por sus características de llevar a cabo un encalado para incrementar el pH del suelo y mejorar sus deficiencias nutricionales.

En el escenario de plantaciones jóvenes, masas de eucalipto de entre 1 y 2 años, se emplearon los tratamientos: control (T0), sin la realización de ningún tratamiento, desbroce (D), desbroce y fertilización de mantenimiento (D+T1), desbroce, fertilización y herbicida (D+T1+H), desbroce, fertilización, herbicida y encalado (D+T1+H+DEF). Este último tratamiento sólo se realizó en algunos ensayos para incrementar el pH del suelo, como en el caso escenario anterior.

Finalmente, en el escenario de monte bajo, se seleccionaron plantaciones en la segunda rotación, es decir la siguiente rotación tras la primera corta, donde se realizó el desbroce y la selección de brotes a los aproximadamente 4 años del aprovechamiento. En este escenario se aplicaron los siguientes tratamientos: control (T0), fertilización de mantenimiento (T1), fertilización y herbicida (T1+H), fertilización, herbicida y encalado (T1+H+DEF). Este último tratamiento, como en los casos anteriores, sólo se realizó en las parcelas donde se tomó la decisión por sus características de llevar a cabo un encalado para incrementar el pH del suelo. Los tratamientos de fertilización y encalado en este escenario fueron los mismos que se emplearon en el escenario de plantaciones jóvenes y se aplicaron en la línea de plantación, dispersando el producto manualmente en una faja de 2 m tomando como referencia la línea para que llegara al área de dispersión de las raíces.

3.3. Ensayos experimentales

Este dispositivo experimental fue instalado entre los años 2019 y 2021 e incluye un total de 16 ensayos, que ocupan 26 ha en total, distribuidos en distintas ubicaciones del Principado de Asturias (figura 1). Estos ensayos seleccionados a partir de las localizaciones disponibles de la

Asociación de Propietarios forestales del Principado de Asturias (PROFOAS) cumplen una serie de requisitos previos como superficie, momento de la plantación, edad o densidad, y a su vez cubren la variabilidad edafoclimática en el área de distribución del eucalipto en la región.

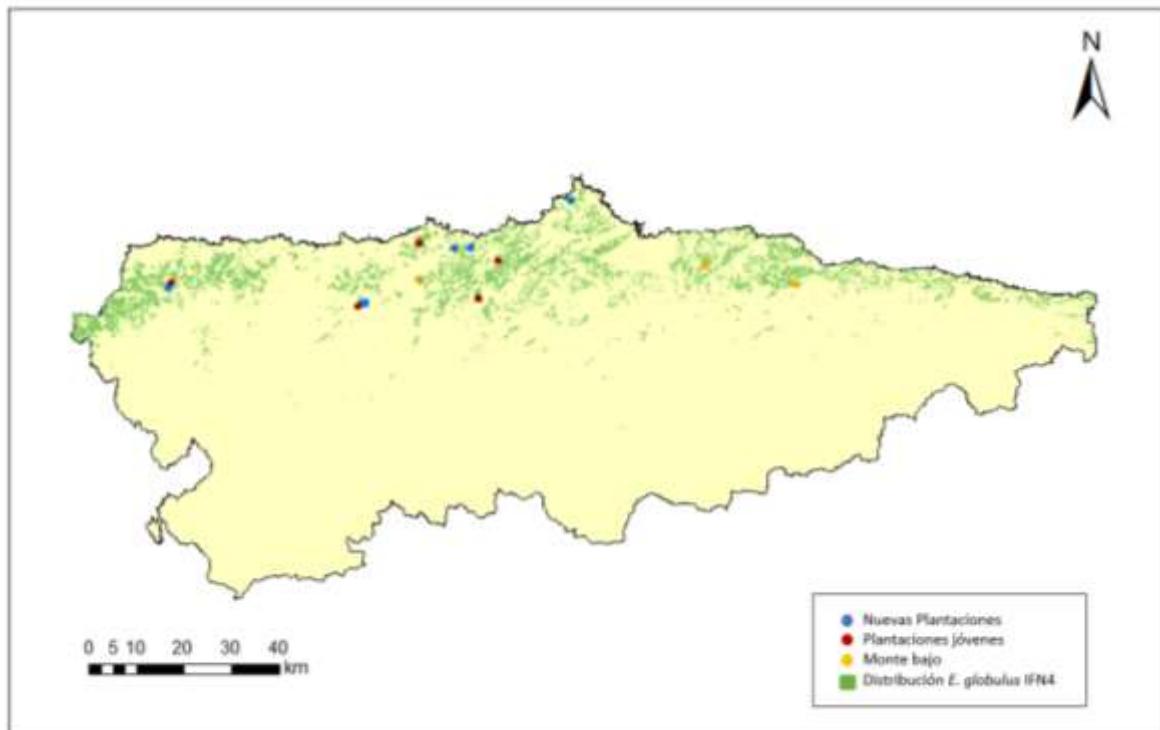


Figura 1. Localización de los ensayos de la red experimental de gestión nutricional.

En este trabajo, se presenta la red experimental de ensayos completa, sin embargo, sólo se muestran los resultados de uno de los ensayos del escenario de nuevas plantaciones ya que es la única información disponible en la actualidad, aunque está planificado obtener los datos del resto de los ensayos en los próximos meses.

El ensayo seleccionado es Peñona 1 ubicado en el concejo de Pravia (Asturias) e instalado en otoño de 2019. Este ensayo se encuentra a una altitud de 375 m sobre el nivel del mar y tiene una superficie de 1,5 ha presentando una litología de pizarras, cuarcitas y conglomerados.

3.4. Evaluaciones, inventarios dendrométricos y análisis de datos

Para caracterizar las parcelas de ensayo se recogieron muestras edáficas en los ensayos instalados antes de la realización de los tratamientos. Cada muestra recogida se compuso de varias submuestras en diversos puntos de la parcela de muestreo para cubrir la variabilidad de la misma que se mezclaron homogéneamente como una única muestra de aproximadamente 1-2 kg. Para la extracción del suelo se empleó una barrena que penetra hasta la profundidad deseada, en este caso 20 cm, eliminando la cubierta vegetal y las piedras. Todas las muestras recogidas fueron identificadas y enviadas al laboratorio para su análisis completo.

En cada tratamiento de los distintos ensayos se instaló una parcela de seguimiento. Estas parcelas permanentes de inventario se ubican en una zona homogénea y representativa de la masa dentro de cada tratamiento y contienen un mínimo de 30 árboles. Para evitar el efecto borde se ha mantenido como mínimo una línea de borde en los extremos izquierdo y derecho, y un árbol en la

parte superior e inferior de la parcela. Los árboles se identifican individual y permanentemente mediante chapas.

En el escenario de nuevas plantaciones se ha llevado a cabo un inventario durante el otoño de 2021 e invierno de 2021-2022 mientras que en los ensayos de los escenarios de plantaciones jóvenes y monte bajo se llevó a cabo un inventario al inicio del estudio para conocer estado inicial de la masa, y luego se realizará otro en invierno de 2022. Las variables recogidas en los inventarios son las siguientes: diámetro normal (1,30 m del suelo) (d , cm), cuando el árbol alcanza dicha altura, altura total del árbol (h , m), supervivencia y cualquier observación apreciada sobre el estado del árbol (bifurcado, deformaciones, estado sanitario...).

A partir de las variables de árbol se calcularon las principales variables de masa de las parcelas, así como el cálculo de volumen empleando los modelos disponibles para la especie (GARCÍA-VILLABRILLE, 2015). Posteriormente se realizó un análisis comparativo de producción entre tratamientos mediante un análisis de varianza (ANOVA) para los distintos ensayos. Tras comprobar que existían diferencias significativas en la producción entre tratamientos ($p < 0,05$) se llevó a cabo una comparación múltiple de medias con el objetivo de clasificar los tratamientos en grupos de igual productividad. Para el propósito de la comparación de medias se utilizó el test de Scheffé. Este test está considerado un test de contraste de nivel alto desde el punto de vista conservativo y posee la ventaja de no requerir que se disponga del mismo número de observaciones para cada grupo (SIT, 1995).

3.5. Monitorización de variables ambientales y del cultivo

Además del seguimiento clásicos de los ensayos con el objetivo de monitorizar parámetros forestales de interés se ha instalado una red de dispositivos IoT (*Internet de las Cosas*) en la red experimental de ensayos. Los equipos IoT incluyen sensores para la medición de variables ambientales (radiación PAR, temperatura y humedad ambiental), edáficas (sensores para la medición de la temperatura, humedad y conductividad del suelo) y otras propias de los árboles como sensores hoja (sensores temperatura y humedad de las hojas de los árboles) y dendrómetros que registran el crecimiento radial del tronco de los árboles con alta precisión. Estos equipos capturan y envían la información en remoto pudiendo interactuar con los datos en tiempo real, así como estimar el crecimiento de los árboles reduciendo el número de visitas de campo y disponiendo de datos robustos con mayor regularidad.

Los dispositivos IoT se instalaron en la red de ensayos en 2021. En el caso de los sensores edáficos se colocaron dos por ensayo a distinta profundidad, 20 y 40 cm, sin alterar el perfil del suelo. Los dendrómetros se instalaron en árboles previamente caracterizados con diámetros superiores a 5 cm, inicialmente sólo los escenarios de plantaciones jóvenes y monte bajo cumplían este requisito. La captura de datos se programó para realizarse cada 15 minutos asegurando el envío de los mismos en remoto al servidor cada hora. Todos los datos registrados son posteriormente procesados y correlacionados con las variables de interés para su análisis.

4. Resultados

4.1. Caracterización edáfica

En la tabla 2 se muestra los resultados de la analítica edáfica para el ensayo seleccionado del escenario de nuevas plantaciones. En el monte de Peñona se identifica un suelo de textura franca con un alto contenido de materia orgánica, un pH muy ácido con un nivel de fertilidad bajo en K, Mg, Ca y Na y una baja capacidad de intercambio catiónico (CIC).

Tabla 2. Variables edáficas en la fase inicial antes de la instalación del ensayo en el escenario de nuevas plantaciones.

Variable	Unidades	Peñona
PH en agua (1:2,5)	Ud. pH	4,62
PH en KCl (1:2,5)	Ud. pH	3,87
Conductividad eléctrica 25 °C (1:5)	mS/cm	0,102
Nitrógeno	% p/p	0,3
Fósforo Olsen	mg/kg	16
Potasio intercambiable	mg/kg	124
Calcio intercambiable	mg/kg	100
Magnesio intercambiable	mg/kg	30
Sodio intercambiable	mg/kg	49
Boro (micronutriente)	mg/Kg	0,9
C.I.C. efectiva	meq/100g	9
Materia Orgánica Oxidable	% p/p	8,03
Relación C/N	Sin unidad	15,4
Arena	%	44
Limo	%	42
Arcilla	%	14
Clasificación USDA	Sin unidad	Franco

4.2. Monitorización de variables ambientales y del cultivo

Aunque la monitorización de los ensayos no fue continua en todas las ubicaciones durante todo el proceso debido a algunos fallos puntuales técnicos en los equipos, se consiguieron monitorizar las variables ambientales de los cultivos durante un largo periodo de 2021. En la figura 2 se muestra un ejemplo de los datos recogidos en algunos meses tras el procesado a escala diaria para el ensayo de Peñona 1.

Para el periodo de datos registrado comprendido entre febrero y noviembre de 2021, con un periodo de interrupción en los registros en algunos de los días de junio y julio la temperatura mínima absoluta en el ensayo de Peñona fue de 4,4°C obtenida en marzo de 2021 mientras que la temperatura máxima fue de 31,5°C registrada en agosto. La temperatura media del periodo obtuvo valores de 13,9°C considerando todo el periodo registrado.

La humedad ambiental osciló entre el 40 y el 98% con un promedio de 80% para este periodo. La humedad media de la hoja alcanzó valores de 6±5%. La humedad edáfica por su parte en este suelo identificado como de textura franca muestra valores con un rango de 15-86% y 7-55% para la profundidad de 20 cm y 40 cm, y un promedio de 39±18% y 23±13% para las mismas profundidades respectivamente a lo largo del periodo.

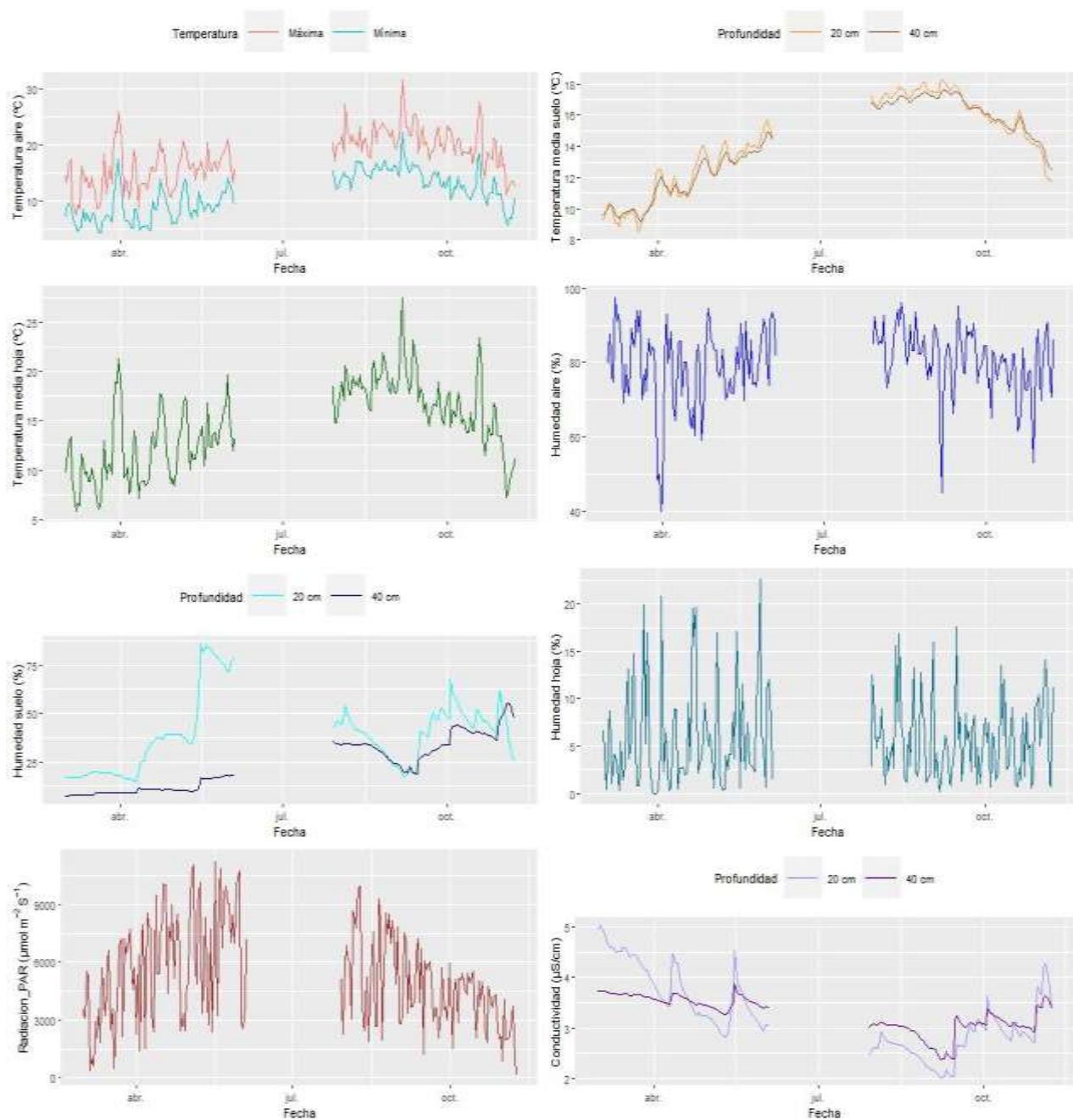


Figura 2. Ejemplo de monitorización de variables ambientales del ensayo en el escenario de nuevas plantaciones.

4.3. Crecimiento y producción

El ensayo del escenario de nuevas plantaciones, Peñona 1, instalado en otoño de 2019, tenía una edad de 2 años cuando se realizó el inventario. En la tabla 3 se incluye el resultado de las principales variables dendrométricas obtenidas en la medición para los distintos tratamientos aplicados en el ensayo.

Tabla 3. Variables dendrométricas obtenidas en el ensayo en el escenario de nuevas plantaciones.

Tratamiento control vegetación y fertilización mantenimiento	Tratamiento fertilización establecimiento	Diámetro normal, <i>d</i> (cm)				Altura total, <i>h</i> (m)			
		Min	Max	Media	Desv.	Min	Max	Media	Desv.
Control T0	C - control	0,70	3,30	1,56	0,64	1,50	3,70	2,47	0,59
	L - NPK 11-21-9 +6MgO	1,50	4,60	3,08	0,88	2,80	6,20	4,13	0,91
	I - NPK 8-24-16	0,80	5,10	3,22	1,19	1,70	6,10	4,15	1,23
	S - NPK 11-21-9+6MgO NPK 0-27-0	1,30	4,30	2,53	0,76	2,40	5,30	4,03	0,81
Desbroce D	C - control	0,50	1,00	0,68	0,18	1,05	2,20	1,54	0,29
	L - NPK 11-21-9 +6MgO	0,90	3,80	2,44	0,71	1,75	6,00	4,25	0,99
	I - NPK 8-24-16	1,00	4,30	2,64	0,94	2,20	6,20	4,34	1,06
	S - NPK 11-21-9+6MgO NPK 0-27-0	1,40	5,30	3,67	1,05	2,40	6,20	4,63	1,01
Desbroce y fertilización mantenimiento D+T1	C - control	0,80	2,70	1,38	0,43	1,70	3,50	2,37	0,45
	L - NPK 11-21-9 +6MgO	1,40	5,50	3,40	0,66	4,20	5,40	4,91	0,36
	I - NPK 8-24-16	1,10	6,20	3,10	1,30	2,40	7,10	4,48	1,17
	S - NPK 11-21-9+6MgO NPK 0-27-0	1,30	6,20	3,55	1,13	3,00	6,40	4,61	0,85
Desbroce, fertilización mantenimiento y herbicida D+T1+H	C - control	1,00	3,00	1,98	0,44	1,25	3,30	2,63	0,61
	L - NPK 11-21-9 +6MgO	1,50	5,00	3,03	0,77	2,30	5,50	4,37	0,81
	I - NPK 8-24-16	2,00	5,00	3,72	0,87	3,40	5,80	4,92	0,61
	S - NPK 11-21-9+6MgO NPK 0-27-0	0,50	4,30	2,90	0,97	2,00	5,50	4,18	1,02

Hay que resaltar que algunos de los árboles de esta plantación fueron afectados por el viento, sobre todo durante su segundo periodo vegetativo produciéndose una inclinación en los mismos que afectó al 28% de la plantación lo que dificultó la medición de las alturas en algunos árboles. Por ello, estos pies fueron filtrados y no considerados en el análisis. En la actualidad está planificado el enderezamiento de los árboles afectados como labor de mantenimiento del ensayo y la remedición del ensayo un tiempo después para evaluar el desarrollo del ensayo.

Como puede verse en los resultados obtenidos los tratamientos control en los que no se llevó a cabo ningún tipo de fertilización de establecimiento obtuvieron en todos los casos un menor crecimiento en altura media total y diámetro medio normal quedando evidente el efecto positivo de la fertilización en el desarrollo de los árboles. Si nos fijamos por ejemplo en el tratamiento T0 en el que no se realiza ningún tratamiento de control de la vegetación ni fertilización de mantenimiento se puede observar que para el tratamiento de fertilización en el establecimiento C (control) la altura media de los árboles alcanzó un valor de 1,5 m lo que representa un 38-41% menos que cualquiera del resto de los tratamientos de fertilización que superaron en todos los casos los 4 m de altura media. El resto de los tratamientos no presentan diferencias destacables entre sí en la actualidad. Por otro lado, en el caso del diámetro normal el incremento por la aplicación de fertilizantes al inicio de la plantación respecto al control (C), con un valor de diámetro medio de 1,6 cm en el tratamiento

T0, se eleva del 38-52% obteniéndose diámetros superiores de 2,5 cm en cualquiera de los otros tratamientos.

Los análisis de varianza realizados mostraron diferencias altamente significativas ($p < 0,001$) tanto en el factor de los tratamientos de control de la vegetación y la aplicación de la fertilización de mantenimiento como el factor del tratamiento de fertilización de establecimiento para ambas variables dendrométricas (h y d). Tras comprobar la existencia de diferencias significativas en la producción entre los tratamientos aplicados se clasificaron los tratamientos en grupos de igual productividad obteniéndose tres grupos en el caso de la altura media para el factor tratamiento de control vegetación y fertilización mantenimiento donde se evidencia una mayor producción cuando se aplica una segunda fertilización, aunque no se constatan diferencias significativas con el tratamiento de control mediante desbroce (tabla 4). En el caso de la variable diámetro normal los resultados son similares en el caso del tratamiento de fertilización inicial. Para esta variable no se encuentran diferencias significativas entre algunos grupos con tratamientos de control de vegetación y fertilización de mantenimiento sólo existen diferencias entre el control y el tratamiento más completo que incluye desbroce, aplicación de herbicida y la aplicación de una segunda fertilización.

Tabla 4. Crecimientos medios y grupos de productividad en los distintos tratamientos.

Tratamiento control vegetación y fertilización mantenimiento	Altura total <i>h</i> (m)	Diámetro <i>d</i> (cm)
D+T1+H - Desbroce, fertilización mantenimiento y herbicida	4,24a	3,06a
D+T1 - Desbroce y fertilización mantenimiento	4,06ab	2,88ab
D - Desbroce	3,76bc	2,75ab
T0 - Control	3,71c	2,50b
Tratamiento fertilización establecimiento	Altura total <i>h</i> (m)	Diámetro <i>d</i> (cm)
I - NPK 8-24-16	4,59a	3,33a
S - NPK 11-21-9+6MgO NPK 0-27-0	4,50a	3,24a
L - NPK 11-21-9 +6MgO	4,44a	2,95a
C - control	2,20b	1,39b

Las letras indican los grupos de igual productividad con diferencias significativas en grupos ($p < 0,001$).

La estimación de volumen de madera con corteza para los distintos tratamientos se muestra en la figura 3. El rango de volumen medio por árbol en el ensayo para los distintos tratamientos fue de 0,03 a 2,38 dm³ encontrándose los tratamientos de fertilización de establecimiento control con las menores producciones que no superaron de media los 0,40 dm³ frente al resto de los tratamientos que superan en la mayor parte de los casos 1,00 dm³ de madera. El tratamiento que mayor producción media obtuvo con un volumen de 2,38 dm³ se correspondió en este caso con el tratamiento más completo que incluía fertilización de mantenimiento, desbroce y herbicida y la fertilización de establecimiento I. Por otra parte, otros tratamientos que incluyeron desbroce y desbroce combinado con una segunda fertilización además de la fertilización de establecimiento con los tratamientos S e I obtuvieron producciones por encima de 2,00 dm³ de madera en este ensayo.

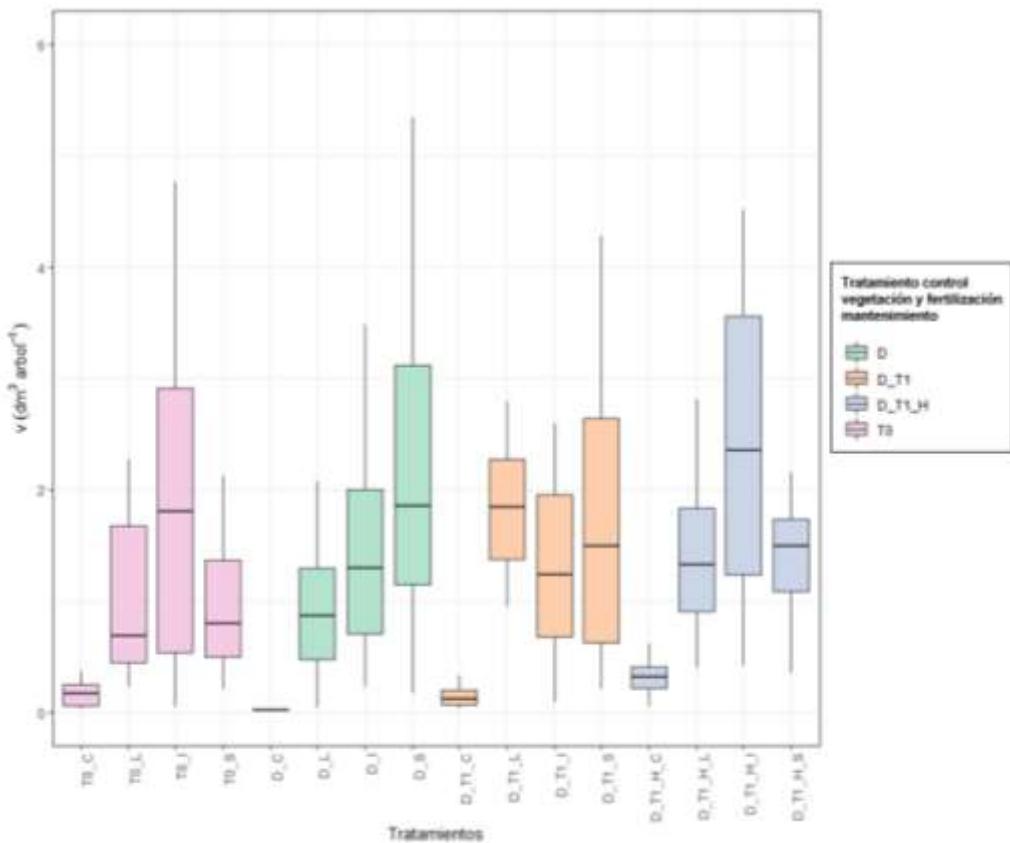


Figura 3. Producción estimada en volumen de madera con corteza para los ensayos analizados. Tratamiento control vegetación y fertilización mantenimiento: **T0** – Control, **D** – Desbroce, **D+T1** -Desbroce y fertilización mantenimiento, **D+T1+H** - Desbroce, fertilización mantenimiento y herbicida. C - control I - NPK 8-24-16. Tratamiento fertilización establecimiento: **C** – control, **L** - NPK 11-21-9 +6MgO, **I** - NPK 8-24-16, **S** - NPK 11-21-9+6MgO NPK 0-27-0.

Discusión

La fertilización es uno de los tratamientos más eficientes para mejorar la supervivencia de los árboles tras la plantación, acelerar el desarrollo de los cultivos de eucalipto, incrementar la productividad y mantener la fertilidad del suelo para futuros ciclos de cultivo (SMETHURST, 2010). Existen fundamentalmente tres tipos de fertilización en las plantaciones: fertilización inicial o de establecimiento, fertilización de mantenimiento y fertilización de brotación o tras la corta. Todas ellas precisan de conocer las demandas nutricionales de la planta en cada momento, además de la capacidad del terreno para asegurar dicha nutrición en la cantidad y tiempo adecuados (RUIZ et al., 2001). En las plantaciones de eucalipto del norte de España se emplea fundamentalmente sólo la fertilización de establecimiento y en la mayor parte de los casos ésta se emplea el mismo tratamiento nutricional sin considerar otros factores de gran importancia para el cultivo.

En este estudio se presenta una red experimental de ensayos nutricionales instalado recientemente con el objetivo de evaluar distintos tratamientos de fertilización y del control de la vegetación bajo distintos escenarios de plantaciones de eucalipto: nuevas plantaciones, plantaciones jóvenes y plantaciones de monte bajo. Los tratamientos empleados en los ensayos han sido seleccionados tras una exhaustiva revisión bibliográfica, incluyendo programas de fertilización de *E. globulus* utilizados con éxito en otros países y manteniendo en los ensayos los tratamientos más comúnmente empleados actualmente en España para contrastar el resultado.

En el escenario de nuevas plantaciones, los resultados muestran mayor productividad en los cultivos cuando se realiza un tratamiento de control de la vegetación y la aplicación de la fertilización

de mantenimiento respecto al control en el que no se aplican tratamientos. Se corrobora también la importancia de realizar la aplicación de fertilizantes en el establecimiento de la plantación (GONÇALVES Y BARROS, 1999), donde en este caso se incrementa entorno al 40% el crecimiento en altura y el 45% en diámetro a la edad de 2 años. Estos valores son superiores a los obtenidos por otros autores en ensayos de fertilización de eucalipto instalados el sur de España que establecían un incremento del 10% en altura total (RUÍZ et al., 1997). Sin embargo, no existen por el momento indicaciones concluyentes de los tratamientos de fertilización inicial, interesantes debido a la joven edad de las plantaciones, por lo que es importante seguir evaluando los ensayos en los siguientes años. Cabe destacar que los resultados de las mediciones serán acompañados de evaluaciones foliares nutricionales, que comparándose con referencias de los rangos y niveles óptimos para *E. globulus* (VIERA et al., 2016), permitirá establecer el estado nutricional y las deficiencias de los árboles, si existieran, en cada uno de los tratamientos.

Por otra parte, es importante resaltar el hecho de que para obtener conclusiones más sólidas que permitan apoyar la toma de decisiones es necesario disponer de la información derivada del resto de los ensayos de los distintos escenarios ya que estos cubren la variabilidad existente en este tipo de cultivos y podrán aportar información de gran valor en la gestión nutricional de las plantaciones de eucalipto del norte de España.

5. Conclusiones

La falta de gestión selvícola y de optimización nutricional en las masas de eucalipto, junto con otras problemáticas, ha provocado en la actualidad que la productividad de estas plantaciones sea inferior a la esperada y no se asegure la capacidad productiva de los suelos forestales para futuros ciclos de cultivo. En este trabajo se presenta una ambiciosa red experimental instalada recientemente en el norte de España cuyo objetivo es evaluar el efecto de distintos tratamientos de fertilización combinados con el control de la vegetación bajo distintos escenarios en los cultivos de eucalipto: nuevas plantaciones, plantaciones jóvenes y plantaciones de monte bajo. Aunque los resultados obtenidos son aún preliminares el efecto de la fertilización y el control de la vegetación ha quedado ampliamente demostrado. Por otra parte, la aplicación de un tratamiento de fertilizante será analizada de forma más exhaustiva cuando se disponga de los resultados de todos los ensayos, así como en el seguimiento de su evolución que se llevará a cabo en los próximos años.

6. Agradecimientos

Los resultados de este estudio provienen del proyecto de innovación “Grupo Operativo autonómico de Innovación para la Productividad del Cultivo de *Eucalyptus globulus*” (PDR Asturias). Este grupo coordinado por COVIASTUR, S.L. engloba asociaciones relacionadas con el sector forestal, (ASMADERA y PROFOAS), empresas (ENCE Energía & Celulosa y FORESMA) y centros tecnológicos, (Fundación CETEMAS). La financiación para la ejecución de las actividades del proyecto parte de la convocatoria de la Consejería de Desarrollo Rural y Recursos Naturales de Gobierno del Principado de Asturias, por la que se aprueban ayudas para la selección y puesta en funcionamiento de proyectos de innovación de grupos operativos de la AEI, el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) y el Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER).

Finalmente agradecemos la realización de los trabajos de campo e inventarios a la empresa SILVANA Medioambiental y al personal técnico de la Fundación CETEMAS.

7. Bibliografía

AFIF-KHOURI, E.; CANGA LÍBANO, E.; OLIVEIRA PRENDES, J. A.; GORGOSO VARELA, J. J.; y CÁMARA OBREGÓN, M. A.; 2010. Crecimiento en volumen y estado nutricional de *Eucalyptus globulus* Labill y *Pinus radiata* D. Don en Asturias, España. Rev. Mex. Cienc. For., 1(1) 47-54.

CELPA; 2018a. Fertilização Florestal. Projeto Melhor Eucalipto. CELPA.

CELPA; 2018b. Manutenção de Povoamentos de Eucalipto: Adubação e Controlo do mato (Aspectos Práticos). CELPA.

JACOBS, M. R.; 1981. El eucalipto en la repoblación forestal. FAO. Roma.

GONÇALVES, J.L.M.; BARROS, N.F.; 1999. Improvement of site productivity for short-rotation plantations in Brazil. *Bosque* 20 89–106.

GONZÁLEZ-RÍO, F.; CASTELLANOS, A.; FERNÁNDEZ, O.; ASTORGA, R. Y GÓMEZ, C.; 1997. El cultivo del eucalipto: Manual práctico del silvicultor. Krk Ediciones, Navia.

GARCÍA-VILLABRILLE, J.D.; 2015. Modelización del crecimiento y la producción de plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill. en el noroeste de España. Tesis doctoral. Departamento de Enxeñaría Agroforestal. Escola Politécnica Superior. Universidad de Santiago de Compostela. Lugo.

MAPA; 2020. Avance anuario de Estadística Forestal 2019. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 740p. Madrid.

MERINO, A.; LÓPEZ, A.R.; BRAÑAS, J.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R; 2003. Nutrition and growth in newly established plantations of *Eucalyptus globulus* in northwestern Spain. *Ann. For. Sci.* 60 509–517.

RUÍZ, F.; SORIA, F.; TOVAL, G.; 1997. Ensayos de fertilización localizada de masas clonales de *Eucalyptus globulus* en el momento de la plantación en la Provincia de Huelva. En Sociedad Española de Ciencias Forestales, II, 23–27 Junio 1997; Congreso Forestal Español: Pamplona, España. 585–590.

RUIZ, F.; SORIA, F.; TOVAL, G.; y PARDO, M.; 2001. Ensayos factoriales de fertilización en masas de *Eucalyptus globulus* (Labill.) de mediana edad. In Análisis de rentabilidad de inversión por fertilización. IUFRO Conference. The Eucalypts of the future, Valdivia, Chile (pp. 10-15).

SIT; V. (1995). Analyzing ANOVA designs: Province of British Columbia, Ministry of Forests Research Program.

SMETHURST; P.J.; 2010. Forest fertilization: Trends in knowledge and practice compared to agriculture. *Plant Soil* 335 83–100.

TOMÉ, M.; ALMEIDA, M.H.; BARREIRO, S.; BRANCO, M.R.; DEUS, E.; PINTO, G.; SILVA, J.S.; SOARES, P.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.; 2021. Opportunities and challenges of *Eucalyptus* plantations in Europe: the Iberian Peninsula experience. *Eur. J. For. Res.*, 1-22.

VIERA, M.; RUÍZ FERNÁNDEZ, F.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.; 2016. Nutritional Prescriptions for *Eucalyptus* Plantations: Lessons Learned from Spain. *Forests* 7 84.