



**2025** | **16-20**  
GIJÓN | JUNIO

9º CONGRESO **FORESTAL** ESPAÑOL

**9CFE-1375**

Actas del Noveno Congreso Forestal Español  
Edita: **Sociedad Española de Ciencias Forestales. 2025.**  
ISBN: **978-84-941695-7-1**

Organiza





## Asignación de eucaliptos del programa de mejoramiento genético en función del clima y la litología

ALBANO, P. (1), PINA, J.P. (2), LEAL, L. (1), FERREIRA, L. (1) y FONTES, L. (1)

- (1) Altri Florestal SA  
 (2) Cistus, Floresta e Ambiente Lda.

### Resumen

Aunque los eucaliptos se cultivan en rotaciones de unos 12 años, se gestionan en monte bajo durante unas tres rotaciones, por lo que una asignación incorrecta de los materiales genéticos a plantar tendrá un impacto a largo plazo de unos 36 años. Por lo tanto, elegir el árbol adecuado para el lugar adecuado es uno de los primeros y cruciales pasos de la silvicultura. A partir de los datos de 255 ensayos de mejora genética de eucalipto realizados por Altri Florestal e instalados desde los años 60, con datos sobre clones y cruces (explorando alrededor de 3.800 materiales genéticos diferentes, principalmente *Eucalyptus globulus*), se creó una herramienta basada en hoja de cálculo capaz de incorporar todos estos datos. Como resultado, se pueden realizar análisis estadísticos (ANOVAs, pruebas *post-hoc* y correlaciones entre registros) e interactuar con un análisis *best linear unbiased prediction* (BLUP) para identificar los mejores materiales genéticos para cada combinación de características climáticas, litológicas y/o geográficas. Esta herramienta ya está en uso, aunque sigue perfeccionándose, y los próximos pasos consistirán en incorporar datos de nuevos ensayos, otros datos sobre los materiales/regiones objeto de estudio y otros posibles análisis de los datos existentes.

### Palabras clave

*Eucalyptus globulus*, cambio climático, mejoramiento genético forestal.

### 1. Introducción

El crecimiento de una arboleda de eucaliptos, aunque rápido para un árbol, sigue siendo un proceso largo, ya que los eucaliptos se cultivan en unas 3 rotaciones de 12 años, con un intervalo potencial de 36 años entre el momento de decidir qué material plantar y el final del periodo de impacto directo de esa decisión. Debido a los elevados costes de operación, es crucial que el proceso de toma de decisiones sea eficiente (WHITE, 2001) y que, aun con las incertidumbres que supone plantar pensando en el desempeño de décadas en el futuro, estas decisiones se tomen con la mejor información disponible.

Uno de los métodos más utilizados para evaluar el potencial de crecimiento de diversos materiales genéticos de eucalipto es el uso de un modelo *best linear unbiased prediction* (BLUP). Una de las importantes ventajas de este tipo de modelo es la de que los datos de varias generaciones de pruebas genéticas pueden combinarse en un único análisis (WHITE, 2001). En el caso de Altri Florestal, se ha utilizado un modelo BLUP que es capaz de equilibrar diferentes mediciones de sitios y ensayos con diferentes diseños, ponderando diferentes edades y explotando la genealogía de los materiales originales en estudio, presentando



resultados relativos en relación con el universo de datos en estudio. Este modelo tiene la desventaja de que, en su proceso de filtrado de pruebas adecuadas para su uso en el modelo, excluye pruebas que por diversas razones han tenido un desempeño muy pobre (supervivencia mínima del 50%), lo que provoca cierto sesgo en los resultados. Alternativamente, otro conjunto de análisis, alternativo al BLUP, puede mitigar esta deficiencia, pero presenta otras debilidades. Es por eso esencial intentar combinar e interpretar los resultados de los distintos tipos de análisis para poder extraer la mayor cantidad y calidad de conocimientos.

La ganancia operativa, la ganancia que obtienen los materiales genéticos en condiciones operativas, es más difícil de obtener que la ganancia genética, que es la ganancia de los materiales genéticos que es posible observar en los ensayos de mejoramiento. El clima y la litología de Portugal no son los mismos en todo el país y, como se destaca (GRIFFIN, 2014), algunos problemas se resuelven mejor mediante mejores prácticas de gestión forestal y una mayor capacidad de producción que se debe obtener decidiendo cuál es la mejor combinación de genotipos con las ubicaciones, donde la expresión del potencial genético es posible (PALLET & VENDA, 2002). Por tanto, es fundamental contar con los conocimientos necesarios para producir el material genético más apropiado para una zona determinada.

## 2. Objetivos

Construir una herramienta capaz de agregar los datos existentes, realizar diversos análisis estadísticos, integrar los resultados obtenidos por el método BLUP, permitir la extracción de datos y ayudar a elegir materiales genéticos para un lugar determinado con unas condiciones específicas.

## 3. Metodología

Esta herramienta se ha construido sobre la base de un libro/hoja de cálculo. Tras ser alimentada con una hoja de cálculo para cada medición del ensayo, la hoja de cálculo resume esta información experimental, por material genético, en una hoja de cálculo principal. Ésta recibe otro tipo de información sobre las características del lugar de ensayo (climáticas, litológicas, entre otras) y de los distintos materiales genéticos.

Además de esta información, la herramienta es también alimentada con los resultados obtenidos a través de un análisis de modelos mixtos lineales, con estimación de varianzas por REML (Máxima Verosimilitud Residual) y posterior utilización de estos valores para estimación de efectos aleatorios en un análisis de múltiples rasgos BLUP (Best Linear Unbiased Prediction) (ALVES et al, 2018), utilizando el software ASREML (GEZAN, 2020). Este análisis se llevó a cabo según lo descrito por (COSTA E SILVA et al, 2008), utilizando datos de supervivencia y volumen.

Las clases climáticas utilizadas para categorizar las regiones objeto de estudio fueron: zonas frías, zonas de sequía, zonas frías y de sequía, y zonas poco expuestas al frío y a la sequía (FONTES et al, 2023).

Las clases litológicas utilizadas fueron: suelos básicos de textura pesada, suelos

básicos de textura muy pesada, suelos intermedios de textura fina, suelos silíceos de textura ligera, suelos silíceos de textura fina y suelos silíceos de textura pesada (MONTEIRO-HENRIQUES, 2016).

A partir de estos datos, es posible organizar y crear múltiples variables, así como desarrollar un análisis de las mismas. Entre ellas se incluyen:

- Ranking: (posición del material en la prueba por orden de mejor crecimiento estimado en 10 años).
- Ratio de competitividad: (1-Ranking : N.º de materiales).
- N.º de veces que se ha probado el material.
- N.º de veces entre los 5 primeros materiales de ensayo.
- Ratio N.º de veces entre los 5 primeros materiales de ensayo : N.º de veces que se ha sometido a ensayo el material.
- Valores medios generales, y para diferentes condiciones climáticas y/o litológicas, de volumen estimado a 10 años, supervivencia y ratio de competitividad, para cada material.
- Ratios medios (volumen estimado a 10 años del material : volumen medio estimado a 10 años de ensayo). El equivalente para ratios de supervivencia y competitividad.
- Diferencia de valores del material en cada ensayo, en volumen estimado a 10 años, supervivencia, ratio de competitividad, en relación al valor medio del material, en porcentaje y en valor absoluto, para condiciones generales, y para diferentes condiciones climáticas y/o litológicas.

Es posible filtrar los datos como se desee y comprobar correlaciones, análisis de varianza ANOVA, y pruebas *post-hoc* Tukey HSD entre cualquier variable/subconjunto seleccionado (Figura 1).

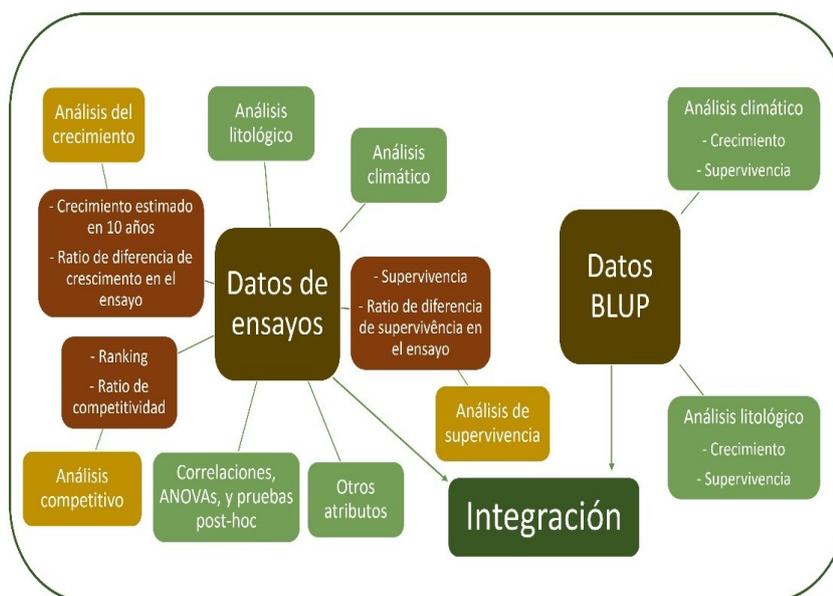
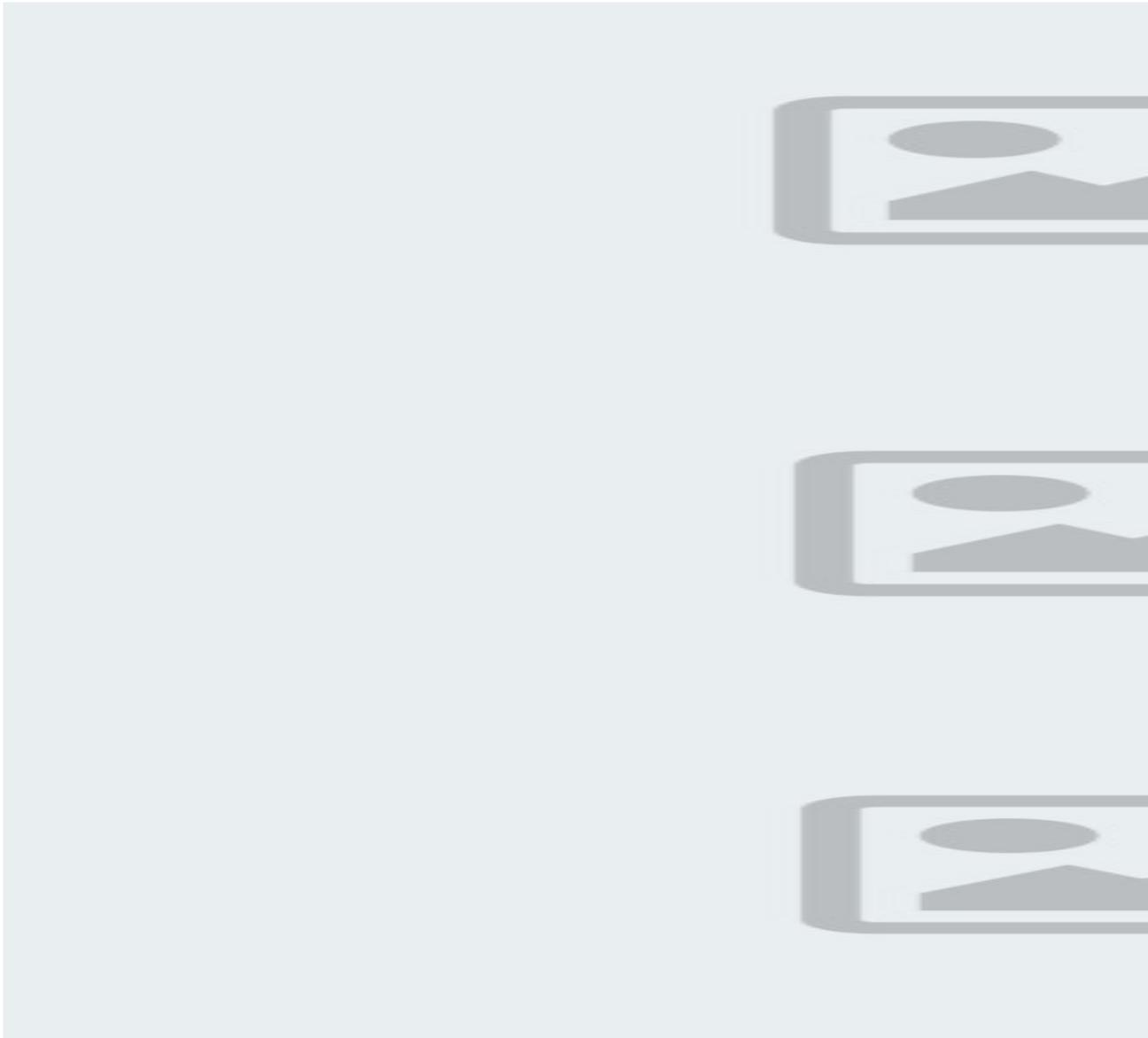




Figura 1. Estructura de la herramienta desarrollada sobre la base de hojas de cálculo.

#### 4. Resultados

De momento, se han incorporado los datos de 255 ensayos de mejora genética de eucalipto realizados por Altri Florestal desde los años sesenta, con información sobre unos 3.800 materiales genéticos diferentes, en su mayoría (>90%) de *Eucalyptus globulus* (Figura 2).





J	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH
1	Estimaciones a 10 años						Estimaciones a 12 años						
2	Índice de calidad de estación a 10 años	Número estimado de árboles a 10 años	Área basal estimada a 10 años (m <sup>2</sup> /ha)	Volumen de la corteza estimado a 10 años (m <sup>3</sup> /ha)	Volumen sin corteza con tocón estimado a 10 años (m <sup>3</sup> /ha)	Volumen total estimado a 10 años (m <sup>3</sup> /ha)	Índice de calidad de estación a 12 años	Número estimado de árboles a 12 años	Área basal estimada a 12 años (m <sup>2</sup> /ha)	Volumen de la corteza estimado a 12 años (m <sup>3</sup> /ha)	Volumen sin corteza con tocón estimado a 12 años (m <sup>3</sup> /ha)	Volumen total estimado a 12 años (m <sup>3</sup> /ha)	
3	19,31	1378	21,10	34,77	149,87	184,63	21,32	1339	23,87	41,97	185,20	227,17	
4	15,34	984	16,60	29,83	134,27	164,10	16,70	957	18,57	35,30	162,03	197,33	
5	14,55	799	11,87	20,83	90,50	111,33	15,91	777	13,57	25,30	112,23	137,53	
6	22,22	1174	23,87	40,30	182,47	222,77	24,24	1141	26,73	47,87	221,20	269,07	
7	20,93	1168	21,65	35,80	157,70	193,50	22,97	1136	24,35	42,85	192,85	235,70	
8	19,58	1384	17,20	28,15	115,75	143,90	21,60	1346	19,80	34,65	146,00	180,65	
9	21,10	1257	21,30	36,80	163,13	199,93	23,14	1223	24,03	44,17	200,07	244,23	
10	13,95	836	10,80	17,57	73,03	90,60	15,31	813	12,43	21,53	91,67	113,20	
11	23,09	1476	26,17	46,37	208,93	255,30	25,12	1435	29,20	54,70	251,67	306,37	
12	6,16	590	5,30	8,90	37,10	46,00	6,83	574	6,10	10,97	47,00	57,97	

Figura 2. Ejemplo (10 primeros registros) de la herramienta desarrollada sobre la base de hojas de cálculo, mostrando: a) variables del árbol y stand, b) medias de ratio de competitividad, c) una medición de ensayo, y d) estimaciones de crecimiento para un ensayo.

A partir de los resultados obtenidos, se han elaborado informes de síntesis para cada clase climática, para cada clase litológica, así como para cada intersección entre estas. Se publicaron por triplicado, ordenados por crecimiento estimado a 10 años, ordenados por supervivencia, y ordenados por coeficiente de competitividad (Figura 3).



Figura 3. Ejemplo de una de las tablas de un informe de síntesis.

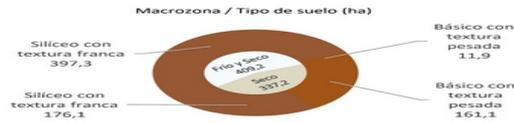
Siempre que ha sido necesario, se han creado informes relativos a determinadas propiedades y/o regiones concretas de interés (Figura 4).

**Caracterización**

**Características de la propiedad:**

<b>Propiedad</b>	Cunheira (9828)
<b>Concelho</b>	Crato
<b>Distrito</b>	Portalegre

Temp. (°C)	13,75
Precip. (mm)	730,1
Altitud (m)	150

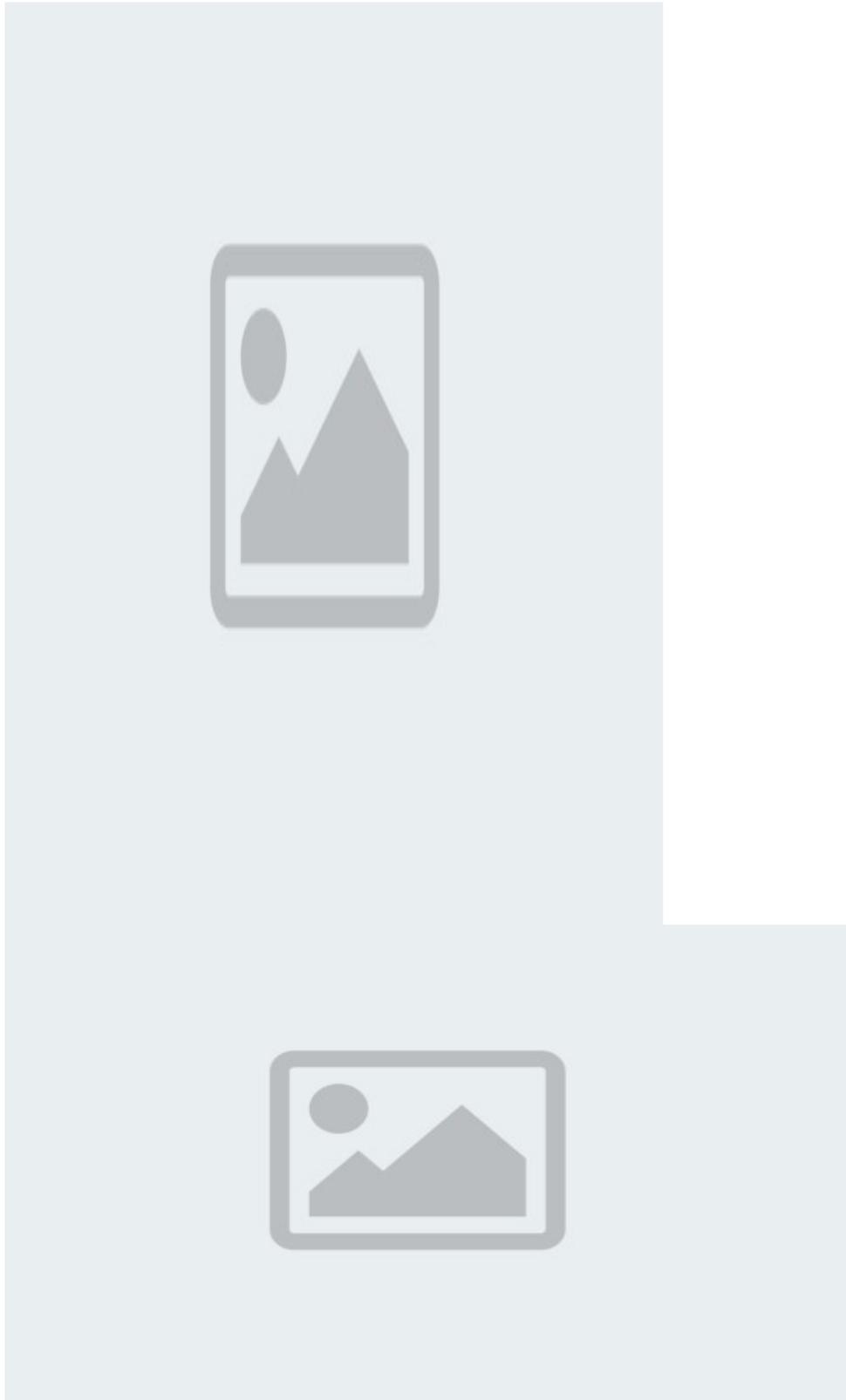


**Descripción:**

Esta propiedad se caracteriza por la heterogeneidad del suelo, que en algunas zonas es muy rocoso y da lugar a una baja tasa de supervivencia.

Figura 4. Ejemplo de un informe relativo a una propiedad de interés (Cunheira).

También se han elaborado hojas de perfil (informe que resume la información obtenida para cada uno de los materiales genéticos, con tablas descriptivas, datos de correlación, análisis de varianza y valores BLUP) para los materiales más relevantes para las operaciones de Altri Florestal (Figura 5).



*Figura 5. Ejemplo de una hoja de perfil de material genético.*

Esta nueva herramienta permite analizar un conjunto de indicadores de forma sencilla, entre ellos los obtenidos por BLUP:

- En cuanto a los datos de volumen, supervivencia, y ranking, se analizaron



- dos variables para cada uno.
- La media del volumen estimado a 10 años del material se analizó junto con la media de la ratio de volumen (Volumen del material en el ensayo: media del volumen de todos los materiales en el ensayo) del material.
- La media de supervivencia del material se analizó junto con la media del ratio de supervivencia (Supervivencia del material en el ensayo: Media de supervivencia de todos los materiales en el ensayo) del material.
- La media del ranking del material se analizó junto con la media del ratio de competitividad (1 - 'Ranking del material en el ensayo' : N.º de materiales en el ensayo) del material.

La utilización de estos dos conjuntos de indicadores nos permite compensar los puntos débiles de un conjunto de indicadores con los puntos fuertes del otro. Más concretamente, las primeras, las medias directas de los valores obtenidos, son más susceptibles de errores derivados de las diferencias en las características de los lugares objeto de estudio en los diversos ensayos: tales como la existencia de incendios, enfermedades, o diferencias sustanciales en la fertilidad del suelo. Y las segundas, las medias de los distintos ratios de los materiales en relación a la media del ensayo, tienen un mayor error en relación al tipo de materiales utilizados, pero son menos susceptibles a errores debidos a variaciones en las características de los sitios estudiados.

### 5. **Discusión**

Uno de los puntos fuertes de esta herramienta será la ahora existente posibilidad de que podamos optimizar el uso de los datos de ensayos existentes, observando el comportamiento de los materiales genéticos desde varias perspectivas, y mejorando así la capacidad de asignación de los mismos. (PALLETT et al, 2001) habla de la necesidad de una estrategia integrada que ligue el potencial de ganancias genéticas con las prácticas operativas en la plantación, destacando tres componentes:

- el conocimiento de la ubicación y las condiciones de cultivo adecuadas para cada material, no sólo para adecuar los genotipos a la mejor ubicación, sino también para ayudar a los productores forestales a priorizar los materiales más relevantes;
- el desarrollo de recomendaciones silvícolas específicas;
- el seguimiento de los ensayos para evaluar los éxitos y los fracasos, y señalar las áreas problemáticas y las situaciones que deben estudiarse más a fondo.

Esta herramienta permite reforzar la contribución en los tres componentes indicados, incluso yendo más allá. Por ejemplo, para la asignación de materiales genéticos para las plantaciones de 2024 y 2025, fue posible realizar un análisis teniendo en cuenta las características de los lugares que se iban a plantar y, cuando por limitaciones operativas no se disponía de la mejor opción de material, disponer de información sobre la siguiente mejor opción. También fue posible identificar diferentes sensibilidades entre los materiales objeto de estudio en



términos de resistencia a las heladas, clases de altura y diferentes intensidades de lluvia. De este modo permitió alcanzar no sólo una mejora genética, sino también convertirla en una ganancia operativa (la estimación de la ganancia final en volumen asociada a la calidad genética disponible en un programa genético y al número de hectáreas plantadas con material mejorado) (PALLET & SALE, 2002).

Trabajos similares fueron realizados por (SALAS et al, 2013) utilizando un análisis BLUP con datos de diámetro, densidad de madera, y altura en la transición a hoja adulta, en familias de *Eucalyptus globulus* nativas de Australia y de la *landrace* colombiana, confirmando una baja diferenciación racial, niveles moderados de control genético y un comportamiento genético estable de las familias en todos los sitios de prueba. También por (ROCHA et al, 2006) en una sola variable, DAP (diámetro a la altura del pecho) en *Eucalyptus urophylla* en Brasil; así como por (MORA, 2006) en *Eucalyptus cladocalyx* en Chile, para analizar la altura total y el diámetro basal, obteniendo una esperada ganancia en productividad futura.

## 6. Conclusiones

Esta es una primera versión de este tipo de herramienta, por lo que, aunque se utiliza en la actualidad, está en este momento, y sigue en constante proceso de mejora. Con la utilización de esta herramienta, ya ha sido posible facilitar la asignación de material genético para las plantaciones de 2024 y 2025.

Los próximos objetivos son la incorporación de nuevos datos de ensayos; la incorporación de otros tipos de datos, por ejemplo, diferentes datos de suelo, datos de nutrición, datos de rendimiento y densidad de la madera, datos de enraizamiento, y atributos específicos de cada material; facilitar la actualización en tiempo real de todos los datos mencionados; así como garantizar una mayor integración con las plataformas SIG.

## Bibliografía

ALVES, R.S.; ROCHA, J.R.A.S.C.; TEODORO, P.E.; RESENDE, M.D.V.; HENRIQUES, E.P.; SILVA, L.A.; CARNEIRO, P.C.S.; BHERING, L.L.; 2018. Multiple-trait BLUP: a suitable strategy for genetic selection of Eucalyptus TREE GENET GENOMES 14:77 1-8

COSTA E SILVA, J.; BORRALHO, N.M.G; ARAÚJO, J.A; VAILLANCOURT, R.E; POTTS, B.M; 2008. Genetic parameters for growth, wood density and pulp yield in Eucalyptus globulus. TREE GENET GENOMES 5 291-305

FONTES, L.; PINA, J.P.; FERREIRA, L.; LEAL, L.; 2023. Development and allocation of improved eucalyptus for biotic an abiotic tolerance. Agrocienc Urug 27 1317

GEZAN, S.A.; 2020. Calculating Accuracy and Reliability of Random Effect Estimates with ASReml-R. en: Case Studies. <https://site.vsni.co.uk/case-studies/calculating->



accuracy-of-random-effect-estimates-with-ASReml-R (accedido el 16 de Abril de 2025)

GRIFFIN, A.R.; 2014. Clones or improved seedlings of Eucalyptus? Not a simple choice. *Int. For. Rev.* 16(2) 216-224

MONTEIRO-HENRIQUES T.; 2016. II. Uma classificação do material parental do solo para Portugal continental. en: Outras camadas SIG. [http://home.isa.utl.pt/~tmh/aboutme/Outras\\_camadas\\_SIG.html](http://home.isa.utl.pt/~tmh/aboutme/Outras_camadas_SIG.html) (accedido el 13 de Enero de 2025).

MORA, F.; 2006. Heredabilidad y valor genético (REML/BLUP) en genotipos de un eucalipto tolerante a la sequía, en el norte de Chile. *Ciênc. Florest.* 16 2 145-151

PALLETT, R.; STANGER, T.; MORRIS, A.; CLARKE, C.; 2001. Operational deployment of genetic gain. *South. Afr. For. J.* 190 53-59

PALLETT, R. N.; SALE, G.; 2002. Operational gain: Measuring the capture of genetic gain. *South. Afr. For. J.* 195 33-38

ROCHA, M.G.B.; PIRES, I.E.; XAVIER, A.; CRUZ, C.D.; ROCHA, R.B.; 2006. Genetic evaluation of half-sib *Eucalyptus urophylla* progenies by the REML/BLUP and minimum squares procedure. *Ciênc. Florest* 16 4 369-379

SALAS, M.; NIETO, V.; PERAFÁN, L.; SÁNCHEZ, A.; BORRALHO, N.M.G.; 2013. Genetic parameters and comparison between native and local landraces of *Eucalyptus globulus* Labill. ssp. *globulus* growing in the central highlands of Colombia. *Ann. For. Sci* 71 405-414

WHITE, T.; 2001. Breeding strategies for forest trees: Concepts and challenges. *South. Afr. For. J.* 190 31-42