



## EFFECTO DE LAS HELADAS EN CLONES DE *Eucalyptus grandis* FERTILIZADOS AL ESTABLECIMIENTO

Alejandra VON WALLIS<sup>1</sup>, Fidelina SILVA<sup>1</sup>, Ana Beatriz GUARNASCHELLI<sup>2</sup>, Ana María LUPI<sup>3</sup>

### RESUMEN

El género *Eucalyptus* presenta más requerimientos edáficos y climáticos que el género *Pinus*, siendo sensible a las heladas, cuya incidencia depende en parte del estado nutricional de las plantas. Con el objetivo de evaluar la respuesta de la plantación a las heladas en un ensayo de fertilización inicial de clones de *E. grandis* con nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), en suelos rojos del norte de las provincias de Misiones y Corrientes, se establecieron en Montecarlo, Misiones y Virasoro, Corrientes, dos ensayos factoriales de fertilización inicial con tres dosis de NPK y 5 clones, donde se evaluaron el daño por heladas en el follaje y el tallo de las plantas mediante una escala visual. En cuanto al daño por heladas al follaje y al tallo de los clones, EG1 INTA y EG 36 INTA presentaron los menores daños, mientras que los mayores daños se registraron en el clon DDT02155. Referido al efecto de la fertilización sobre la respuesta de la plantación a las heladas, no se dieron diferencias significativas entre las distintas combinaciones de NPK, pero se observó que los menores daños por heladas en follaje y tallo se dieron ante el agregado de combinaciones de NPK al suelo con la dosis más alta de P propuesta.

**Palabras clave:** *fertilización, bajas temperaturas, daños*

### 1. INTRODUCCIÓN

Del total de la superficie forestada en Argentina, alrededor de 344.625 ha corresponden al género *Eucalyptus*, lo que representa el 27 % del total de bosques implantados en el país. De esta superficie, cerca del 83 % se encuentra en la región NEA (Noreste Argentino). En la provincia de Misiones, la superficie con cultivo del género *Eucalyptus* asciende actualmente a 38.350 ha, mientras que en Corrientes alcanza 136.157 ha (MAGyP, 2024). Se tiene conocimiento de que *E. grandis* tiene mayores requerimientos edáficos y climáticos que las especies del género *Pinus*, presentando sus mayores rendimientos en suelos fértiles y profundos, ligeramente ácidos y sin salinidad, pero resulta muy sensible a las heladas, sobre todo en plantaciones jóvenes. El daño ocasionado por heladas a los cultivos forestales es un problema práctico de importancia en el manejo forestal (Josefek, 1989), cuya incidencia depende en gran medida del estado nutricional de las plantas, pues un desbalance podría alterar las propiedades y el gradiente osmótico de las membranas celulares. Existen antecedentes que muestran que el potasio (K) podría contribuir a la atenuación de los efectos y daños de las bajas temperaturas en esta especie. Se han encontrado correlaciones negativas significativas entre el daño por heladas y la concentración foliar de K. Es decir, un adecuado suministro de K puede efectivamente aumentar la resistencia a las heladas (Römheld y Kyrkby, 2010). Este género se destaca por sus altas tasas de crecimiento, superiores a 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para los mejores suelos de Corrientes (Aparicio et al., 1995), y para alcanzar dicha productividad presentan elevadas demandas nutricionales. Un buen crecimiento de arranque de la plantación permitiría a las plantas sobrellevar en mejores condiciones los efectos de posibles heladas. Este estudio plantea evaluar la respuesta a las heladas de clones de *E. grandis* fertilizados con distintas dosis de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), en suelos rojos del norte de las provincias de Misiones y Corrientes.

<sup>1</sup> INTA EEA Montecarlo- [vonwallis.alejandra@inta.gob.ar](mailto:vonwallis.alejandra@inta.gob.ar) / [silva.fidelina@inta.gob.ar](mailto:silva.fidelina@inta.gob.ar)

<sup>2</sup> Facultad de Agronomía, UBA - [guarnasc@agro.uba.ar](mailto:guarnasc@agro.uba.ar)

<sup>3</sup> Instituto de Suelos, INTA Castelar – [lupi.ana@inta.gob.ar](mailto:lupi.ana@inta.gob.ar)



## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

En el año 2016 se instalaron dos ensayos idénticos de fertilización inicial de cinco clones de *E. grandis*, uno en Montecarlo, Misiones (26° 35' 46" S; 54° 44' 41" O) y el otro en Colonia Unión, Gobernador Virasoro, Corrientes (28° 05' 06" S; 55° 48' 47" O). El ensayo de Montecarlo se encuentra sobre un suelo rojo perteneciente al gran grupo de los Kandiuultes y Kandiudalfes. Son profundos, arcillosos, bien drenados y sumamente ácidos, con pendientes medias del 3 al 5 %. El clima de la zona es cálido y húmedo, con una precipitación media anual de 1865 mm, con una distribución del tipo isohigro. La temperatura media del mes más cálido y del más frío es de 26,4 °C y 15,9 °C respectivamente, con una mínima absoluta de -5,6 °C (julio). El balance hídrico es positivo para todos los meses del año (Silva et al., 2019). El ensayo de Gobernador Virasoro se ubica sobre un suelo rojo, arcilloso, profundo y bien drenado, con pendientes medias de 3 a 5 %, perteneciente al gran grupo de los Kandihumultes y Kandiudalfes. El clima de la zona es subtropical, cálido en verano, pero con probabilidad de heladas en invierno. Tiene características de clima húmedo, con frecuentes excesos hídricos en otoño y primavera, y moderados y eventuales déficit, principalmente en verano. La temperatura media anual es de 20,5 °C. Los inviernos son templados-fríos, entre los 7 y 20 °C, aunque puede haber temperaturas de hasta -4 °C. Las precipitaciones rondan los 1.500 mm anuales (Ministerio de Producción, 2019).

La plantación se realizó en forma manual en la primavera de 2016 y se fertilizó 3 meses después, a aproximadamente 30 cm del cuello de las plantas, a ambos lados e incorporado al suelo con azada para evitar la volatilización. Se plantaron 5 clones comerciales de *E. grandis*: 1-Clon EG1 INTA, 2-Clon EG36 INTA, 3-Clon EG152 INTA, 4-Clon FTSA A-130-96 Forestadora Tapebicuá S.A. y 5-Clon DDT02155 Pomera Maderas. La distancia de plantación fue de 4 m entre plantas y 2,5 m entre líneas. Los ensayos presentaron un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones, con arreglo factorial de los tratamientos, que resultaron de la combinación de tres dosis de N (0, 45 y 90 g/planta) aplicado en forma de urea, tres dosis de P (0, 90 y 180g/planta) aplicado en forma de superfosfato triple de calcio y tres dosis de K (0, 50 y 100 g/planta) aplicado en forma de cloruro de potasio, totalizando 27 tratamientos (Cuadro 1).

En el invierno de 2017 se registraron fuertes heladas que afectaron los ensayos: en Montecarlo mínimas de -1,5 °C (18/07/2017) y en Virasoro mínimas de -3,3 °C (19/07/2017). En septiembre de 2017 se evaluó el daño por helada de las plantas utilizando una escala visual de 0 a 5, tanto para el daño foliar como para el daño en el tallo iniciando las observaciones por el ápice de las plantas, donde 0 indica planta sin daños, 1: menos del 25 % del follaje/tallo dañado, 2: entre 25 y 50 % del follaje/tallo dañado, 3: entre 50 y 75 % del follaje/tallo dañado, 4: más del 75 % del follaje/talle dañado y 5: 100 % del follaje/tallo dañado.

**Cuadro 1.** Tratamientos según dosis de nutrientes a aplicar.

Trata- miento	Urea (g.pl <sup>-1</sup> )	SFT (g.pl <sup>-1</sup> )	KCl (g.pl <sup>-1</sup> )	Trata- miento	Urea (g.pl <sup>-1</sup> )	SFT (g.pl <sup>-1</sup> )	KCl (g.pl <sup>-1</sup> )	Trata- miento	Urea (g.pl <sup>-1</sup> )	SFT (g.pl <sup>-1</sup> )	KCl (g.pl <sup>-1</sup> )
1	0	0	0	10	45	0	0	19	90	0	0
2	0	0	50	11	45	0	50	20	90	0	50
3	0	0	100	12	45	0	100	21	90	0	100
4	0	90	0	13	45	90	0	22	90	90	0
5	0	90	50	14	45	90	50	23	90	90	50
6	0	90	100	15	45	90	100	24	90	90	100
7	0	180	0	16	45	180	0	25	90	180	0
8	0	180	50	17	45	180	50	26	90	180	50
9	0	180	100	18	45	180	100	27	90	180	100

SFT: superfosfato triple de calcio; KCl: Cloruro de Potasio

Las variables respuestas consideradas fueron: daño foliar promedio y daño en tallo promedio. Con los datos tomados, se procedió a realizar pruebas de supuesto de normalidad y homogeneidad de variancias a partir de las pruebas de Shapiro-Wilks modificada y la prueba de Levene con el software InfoStat (Di Rienzo et al., 2018). Visto el no cumplimiento de los datos se procedió a utilizar la técnica no paramétrica ART (Aligned Rank Transform, por sus siglas en inglés) (Wobbrock et al., 2011). Los datos fueron procesados en el software R utilizando los paquetes ART y ARTool. La técnica ART



permite realizar un ANOVA tradicional (aunque no es paramétrico) sobre datos rankeados y la ventaja principal es la posibilidad de evaluar la interacción entre factores. Para las comparaciones múltiples se utilizó la prueba de Tukey incluida como función de ART y ARTool.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Realizadas las pruebas sobre los supuestos de normalidad y homocedasticidad, en ambos ensayos las variables daño foliar y daño en tallo no cumplieron con los supuestos, cuyos resultados se muestran en el Cuadro 2.

Con motivo de procesar los datos con ANOVA paramétrico se probaron varias transformaciones de los datos, pero ninguna de ellas ajustó a una distribución normal, por lo cual se resolvió el uso de una técnica no paramétrica para la evaluación de los factores en estudio mediante la técnica ART.

**Cuadro 2.** Resultados de las pruebas de supuestos de normalidad y homocedasticidad.

Variable	Valor de p			
	Montecarlo		Virasoro	
	Prueba de Shapiro-Wilks	Prueba de Levene	Prueba de Shapiro-Wilks	Prueba de Levene
Daño foliar	<0,0001	0,838	<0,0001	<0,0001
Daño en tallo	<0,0001	0,4391	<0,0001	<0,0001

ART hace un análisis como modelo mixto donde el bloque es el factor aleatorio, de esta manera las fuentes de variación que se evaluaron fueron tratamientos (combinación de dosis de fertilizantes), clones de eucalipto y la interacción de estos dos factores.

En ambos ensayos, las diferencias en los factores clon y tratamiento fueron altamente significativos, no así para la interacción clon-tratamiento (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Resultados del análisis de variancia no paramétrico para las variables daño foliar y daño en tallo para ambos ensayos evaluados.

Fuente de variación	Montecarlo		Virasoro	
	Valor de F	Valor de p	Valor de F	Valor de p
<b>Variable daño foliar</b>				
Tratamiento	2,11	0,0013311 **	2,405	0,00031173***
Clon	13,10	4,85E-10 ***	***	1,25E-09***
Clon x Tratamiento	0,68	0,9892678	0,653	0,99
<b>Variable daño tallo</b>				
Tratamiento	2,15	1,04e-3 **	2,40	1,8***
Clon	24,47	< 2,22e-16 ***	24,028	< 2,22e-16 ***
Clon x tratamiento	0,77	0,9480520	0,705	0,98

Referencias: \*\*) Diferencia significativa a 0,01; \*\*\*) diferencia significativa a 0,001

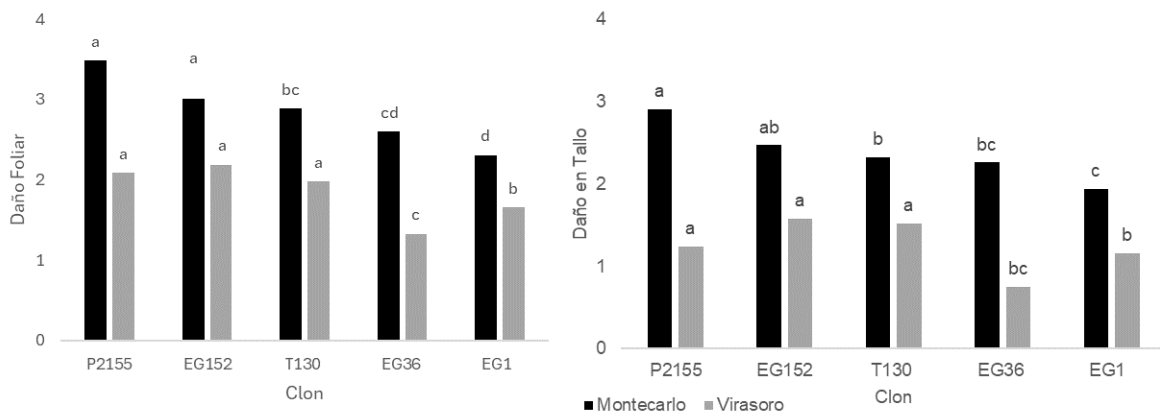
Para el efecto del factor clon sobre el daño foliar, en Montecarlo, se encontraron diferencias significativas entre EG1, con el menor daño foliar y los clones EG152, T130 y P2155, éste último con el mayor daño foliar por heladas ( $p < 0,0001$ ). Para Virasoro EG36 y EG1 se diferencian entre todos los clones, mientras que P2155, EG152 y T130 no presentaron diferencias (Cuadro 4 y Gráfico 2). Allí, el menor daño foliar se dio para el clon EG36 mientras que el mayor daño en el EG152.

**Cuadro 4.** Resultados de las comparaciones múltiples entre medias daño foliar y de tallo de clones de eucalipto en Montecarlo (Misiones) y Virasoro (Corrientes).

Clon	Daño foliar		Daño de tallo	
	Montecarlo	Virasoro	Montecarlo	Virasoro
P2155	3,49 a	2,09 a	2,91 a	1,24 a
EG152	3,01 b	2,19 a	2,47 ab	1,58 a
T130	2,89 bc	1,98 a	2,32 b	1,52 a
EG36	2,60 cd	1,33 c	2,26 bc	0,75 b
EG1	2,31 d	1,66 b	1,94 c	1,16 bc

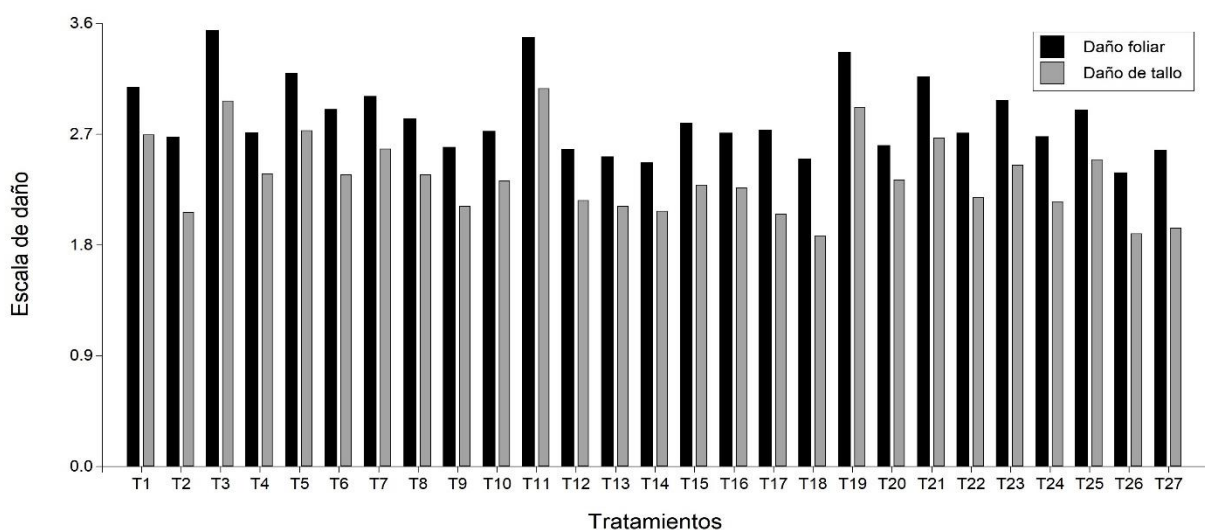
Para el efecto del factor clon sobre el daño por heladas producido sobre el tallo, en Montecarlo se encontraron diferencias significativas entre los clones P2155 con el mayor daño por heladas y EG1 con

el menor daño ( $p= 0,0011$ ,  $p=0,00296$ , respectivamente). Para Virasoro, se encontró que EG36 se diferenció de todos los clones, observándose el menor daño en tallo (Cuadro 4 y Gráfico 2). Respecto del efecto de las heladas sobre los clones, Guarnaschelli et al. (2017) obtuvieron resultados similares cuando evaluaron daños por helada en estos mismos clones en Entre Ríos.

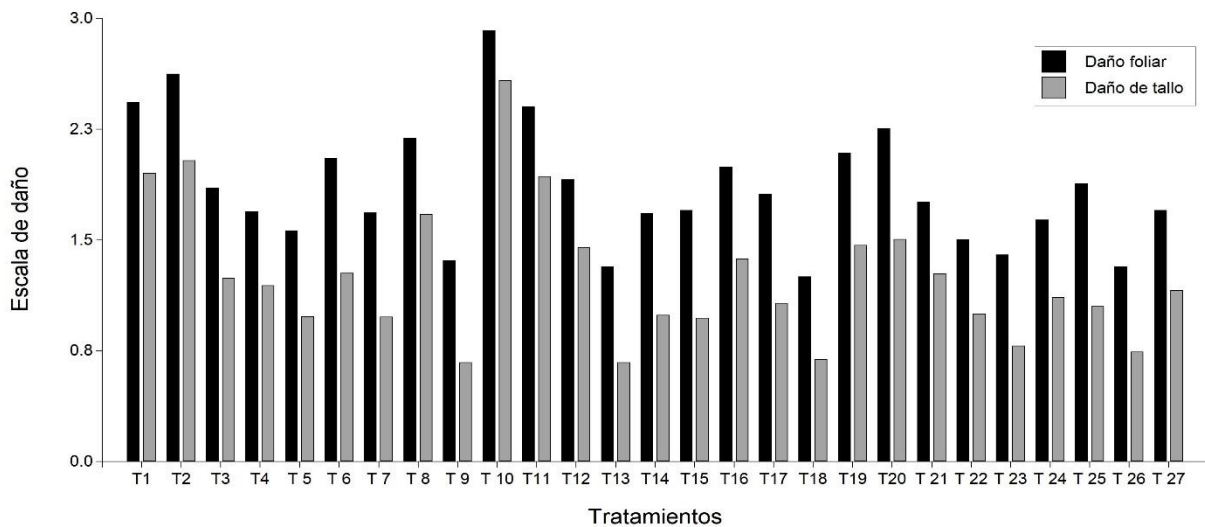


**Gráfico 2.** Daño foliar y en tallo por clon de *Eucalyptus grandis* en ensayo de Montecarlo y Virasoro. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre clones en un mismo sitio.

Referido a la respuesta del daño por heladas a cada tratamiento de fertilización, se detectaron diferencias estadísticas significativas entre algunos tratamientos. Para Montecarlo, hay diferencias significativas entre T26 y T3 con el menor y el mayor daño foliar respectivamente y entre T11 y T18 con el menor y mayor daño en tallo (Gráficos 3). En Virasoro, en tanto, se hallaron diferencias significativas entre los tratamientos T18 y T 10 con el menor y mayor daño foliar y entre T9 y T10 con el menor y mayor daño en tallo respectivamente (Gráfico 4). En todos los tratamientos que presentaron menores daños por las heladas, la dosis de P fue la más alta que se probó (180 g/planta). El efecto beneficioso de la aplicación de K que mencionan Römheld y Kyrkby (2010), no fue detectado en este estudio, ya que incluso T3, con solo 100 g/planta de K, presentó los mayores daños foliares en Montecarlo. Si se observa la escala de daños entre ambos ensayos, los mayores daños causados por heladas se dieron en Montecarlo, lo que puede deberse a que, en días previos a las heladas, las temperaturas máximas estaban en el orden de los 28°C y es de suponer que las plantas se encontraban en crecimiento.



**Gráfico 3.** Daño foliar y de tallo por heladas en ensayo de fertilización de *Eucalyptus grandis* en Montecarlo



**Gráfico 4.** Daño foliar y de tallo por heladas en ensayo de fertilización de *Eucalyptus grandis* en Virasoro

#### 4. CONCLUSIONES

Al considerar los cinco clones evaluados, los menores daños por helada, tanto en el follaje como en el tallo de las plantas se dieron en los clones EG1 INTA y EG 36 INTA, mientras que los mayores daños se registraron para el clon DDT02155 Pomera Maderas.

Respecto de la respuesta a las heladas de clones de *E. grandis* fertilizados con distintas dosis de NPK, se detectaron diferencias estadísticas significativas entre algunos de los tratamientos, donde los menores daños al follaje y al tallo de las plantas se dieron ante al agregado de distintas combinaciones de N, P y K al suelo, siendo en todas las combinaciones, la dosis de P, las más alta probada.

No se detectó un efecto positivo de la aplicación de K como posible medida de protección de las plantas ante los daños por heladas.

#### 5. LITERATURA CITADA

- DI RIENZO J.A., CASANOVES F., BALZARINI M.G., GONZALEZ L., TABLADA M., ROBLEDO C.W. InfoStat versión 2018. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- GUARNASCHELLI, AB; LUPI, AM; OBERSCHELP GP. 2017. Fertilización inicial en plantaciones de *Eucalyptus grandis* en suelos arenosos: crecimiento, supervivencia y tolerancia a heladas. Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia, Octubre 2017.
- JOSEFEK, H. J. 1989. "The effect of varying levels of potassium on the frost resistance of birch seedlings". *Silva Fennica* 23 (1): 21-31.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y PESCA. (29 de julio de 2024). Tableros de plantaciones forestales. Ministerio de economía de la República Argentina. <https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/desarrollo-forestal-industrial/inventarios/tablero.php>
- MINISTERIO DE PRODUCCIÓN. 2019. Plan de gestión integral del riesgo agropecuario de la provincia de Corrientes. <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/girsar-corrientes-ppgira.pdf>
- RÖMHELD, V. Y E. A. KIRKBY. 2010. Research on potassium in agriculture: needs and prospects. *Plant and Soil* 335: 155-180.
- SILVA, F; HABERLE, T; MULLER, H; MÜNZ, R; VISENTINI, JM. 2019. Normales del clima de la región de Montecarlo. XIII Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales 2019. Eldorado, Misiones
- WOBBROCK, J. O., FINDLATER, L., GERGLE, D., & HIGGINS, J. J. (2011, May). The aligned rank transform for nonparametric factorial analyses using only anova procedures. In Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems (pp. 143-146).