



## Productividad, adaptabilidad y estabilidad de clones de *Eucalyptus* spp. en condiciones de estrés hídrico en los Llanos Centrales de Venezuela

Oswaldo Cancio<sup>1\*</sup> , Júpiter I. Muro Abad<sup>2</sup> , Jhonny Escalona<sup>1</sup> ,  
Luis Zambrano<sup>1</sup> , Eleazar Zorrilla<sup>1</sup> , Jesús Pérez<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Desarrollos Forestales San Carlos (DEFORSA), Cojedes, Venezuela. <sup>2</sup>Head Toba Pulp Lestari Tbk, Forest R&D and Nursery. Medan, North Sumatra, Indonesia. \*Correo electrónico: [osvaldo.navegante@paveca.com.ve](mailto:osvaldo.navegante@paveca.com.ve)

### RESUMEN

El cambio climático y sus consecuencias, como el aumento de la temperatura global, modifican los regímenes de lluvia, afectando a las plantaciones forestales. Estas se desarrollan en suelos con limitaciones físicas; exceso o déficit de humedad, que pueden provocar alteraciones de la productividad en los árboles. El objetivo fue evaluar la productividad, adaptabilidad y estabilidad para la selección de clones de *Eucalyptus* spp. en condiciones de estrés hídrico con diferentes distanciamientos. El ensayo fue instalado en la empresa Desarrollos Forestales San Carlos (DEFORSA), estado Cojedes, Venezuela. Se utilizó un diseño factorial 8 x 3, con 8 clones de uso comercial y 3 distanciamientos: 4 x 2,25 m (sistema pulpa plantación); 8 x 2,25 m y 12 x 2,25 m (sistema silvopastoril), evaluados con 5 años de edad. La heredabilidad de la media de productividad de clones fue de 0,3533, la cual resultó significativa. La correlación entre ambientes: 0,47, moderada, demostrando interacción entre clon x distanciamiento del tipo compleja. Los clones 3049 y 2425 presentaron los mejores valores genotípicos de productividad en el análisis simultáneo, con ganancia de 21 % sobre el promedio del ensayo. Por el análisis de adaptabilidad y estabilidad la ganancia predicha con la selección de los mismos clones fue de 31 % sobre el promedio del ensayo. Se concluye, la utilidad que implica el método de evaluación de la productividad, adaptabilidad y estabilidad en la selección de clones para diferentes distanciamientos.

Palabras clave: estrés de sequía, clones, genotipos.

## Productivity, adaptability and stability of *Eucalyptus* spp. clones under water stress conditions in the Central Plains of Venezuela

### ABSTRACT

Climate change and its consequences, such as the increase in global temperature, modify rain regimes and can affect forest plantations. The soil physical limitations (e.g. moisture deficit or excess) of the sites where planted forests are commonly established, can directly impact the plants' productivity. The objective of this study was to evaluate the productivity, adaptability, and stability of *Eucalyptus* spp. clones under conditions of water stress and at different spacings. The trial was established in the company Desarrollo Forestales San Carlos (DEFORSA), Cojedes State, Venezuela. An 8 x 3 factorial design was used, with 8 commercial clones and 3 spacing: 4 x 2.25 m (pulp plantation system), 8 x 2.25 m, and 12 x 2.25 m (silvopastoral system), and evaluated at 5 years of age. The heritability of the mean productivity of clones was significant at 0.3533. The correlation between environments was moderate at 0.47, demonstrating a complex interaction between clone x spacing. Clones 3049 and 2425 presented the best genotypic productivity values in the simultaneous analysis, with a gain of 21 % over the overall mean. The adaptability and stability analysis indicated a predicted gain of 31 %, compared to the test average, with the selection of the same clones. With these results, it is concluded the relevance and utility of conducting the evaluation of adaptability and stability in the selection of clones for different spacings.

Key words: drought stress, clones, genotypes.

Recibido: 13/07/2020 - Aprobado: 10/11/2020



## INTRODUCCIÓN

El crecimiento de las especies forestales al igual que todas las plantas, ocurre frecuentemente bajo algún nivel de estrés, siendo el estrés hídrico uno de los que más condiciona la productividad en el campo forestal (Flexas *et al.* 2002). El crecimiento de las plantaciones forestales se da como resultado de varios procesos eco-fisiológicos, que están condicionados por factores de orden genético y ambiental, el exceso de agua en el suelo se considera un factor que limita el proceso del crecimiento y producción de biomasa (Lawlor 1995).

En presencia del déficit hídrico, las plantas manifiestan diversos síntomas como respuesta a esta condición ambiental en donde la tasa de transpiración excede la disponibilidad de agua. El déficit hídrico no sólo ocurre cuando hay escasez de agua en el ambiente, sino también se puede originar por altas temperaturas, compactación del suelo y por niveles altos de salinidad. Estas condiciones, son capaces de inducir una disminución del agua disponible en el citoplasma de las células (Levitt 1980).

El género *Eucalyptus* presenta una amplia variabilidad de especies e híbridos que pueden adaptarse a condiciones de gran estrés fisiológico, como el hídrico. Los programas de mejoramiento genético y selección clonal permiten el desarrollo de plantaciones con capacidad de producción económica de madera bajo estas condiciones. Con la introducción de diferentes especies de *Eucalyptus* y en ocurrencia de su alta variabilidad genética, es posible seleccionar materiales genéticos adaptados a la disponibilidad hídrica. Especies como: *E. camaldulensis*, *E. tereticornis* y *E. alba* son consideradas más resistentes a ambientes de sequía, sin embargo, *E. grandis*, *E. urophylla* y otras especies presentan cierto grado de resistencia a estas condiciones, viabilizando la selección de individuos. Los híbridos naturales o inducidos entre estas u otras especies constituyen una excelente oportunidad para la obtención de materiales genéticos de alta adaptación y superior productividad forestal para estas condiciones (Assis *et al.* 2016).

En Venezuela, las actividades de producción forestales están condicionados a suelos con capacidad de uso restringido de acuerdo a lo establecido en la Ley de Tierras y Desarrollo Agrario (ANV 2001). Estos suelos, como los de los llanos venezolanos,

son considerados geológicamente nuevos, de baja altitud, planos, sin estructura desarrollada y con problemas de drenaje, caracterizados por anegamiento en el periodo de las lluvias y limitaciones hídricas en el periodo de sequía; por la existencia de horizontes impermeables que dificultan tanto el crecimiento de raíces como la infiltración de agua, provocando inundaciones durante toda la época de lluvia. Todo esto limita el crecimiento del eucalipto requiriendo un manejo diferenciado (Ker y Pereira 2013).

En estos tipos de suelos, la alta densidad aparente en los horizontes superficial o sub superficial, es otro aspecto que impide el crecimiento de las raíces y limitan su función de soporte, almacenamiento de agua y nutrientes. Normalmente las especies de eucalipto más utilizadas toleran una densidad de  $1,6 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  (McColl y Powers 1984).

En las áreas de la empresa Desarrollos Forestales San Carlos (DEFORSA) donde se consiguen estos tipos de suelos, el manejo forestal adoptado es un sistema silvopastoril de baja densidad de plantas por unidad de superficie ( $\text{árboles}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), y se utilizan mayores distanciamientos de los árboles para adecuar el establecimiento de pasto para el ganado vacuno y bufalino (DEFORSA 2020).

Para componer el elemento arbóreo de los sistemas silvopastoriles, se indican especies del género *Eucalyptus* (Reis *et al.* 2007) debido a que ciertos materiales genéticos tienen densidad de dosel que permite la transmisión de radiación a estratos inferiores del sistema a niveles que favorecen el desarrollo de especies forrajeras y contribuyen al rendimiento animal (Oliveira *et al.* 2009, Paciullo *et al.* 2011).

Algunos clones de eucalipto presentan interacción significativa con este factor y pueden estar sujetos a selección de acuerdo con el sistema de plantación adoptado (Pires *et al.* 2011); sin embargo, difícilmente un clon es el mejor en todas las condiciones de cultivo (Venduscolo *et al.* 2001). La respuesta diferenciada de clones a la variación ambiental o interacción genotipo x ambiente, indica la dependencia entre el efecto genético y ambiental (Cruz *et al.* 2014, Anputhas *et al.* 2011, Campoe *et al.* 2018); adicionalmente, la información de adaptabilidad y estabilidad fenotípica proporciona criterios completos y datos exactos sobre el comportamiento

de cada clon frente a las variaciones del ambiente (Cruz *et al.* 2014).

El análisis de adaptabilidad y estabilidad de clones es un método eficiente para definir los clones que son más productivos, estables y que presentan una mejor respuesta a las condiciones ambientales diversas. Este abordaje puede ser aplicado para evaluar las interacciones producidas entre clones y las variaciones de las condiciones de plantación como, por ejemplo, el distanciamiento. Estas metodologías son muy útiles cuando se desea minimizar el riesgo de errores en la selección de clones considerando la interacción genotipo x ambiente o con distintos sistemas de manejo (Cruz *et al.* 2014, Resende 2007, Rosado *et al.* 2012, Santos 2012). Adicionalmente, mejorar nuestra comprensión sobre la interacción entre la genética y el medio ambiente es crucial para optimizar la zonificación de genotipos (Campoe *et al.* 2018).

Para la evaluación de la estabilidad y adaptabilidad genotípica, el Método del Promedio Harmónico del Desempeño Relativo de los Valores Genéticos MHPRVG (por sus siglas en portugués: **Método da Média Harmônica do Desempenho Relativo dos Valores Genéticos**), es efectivo para evaluar simultáneamente la productividad de los clones en diferentes condiciones de acuerdo con los estudios de Resende (2007) y Santos (2012). El estudio es asociado al análisis de un conjunto de genotipos en varios locales o condiciones, utilizando un modelo mixto asociando a las estimaciones de las varianzas REML (por sus siglas en inglés: **Restricted Maximum Likelihood**) y los valores genéticos del propio BLUP (por sus siglas en inglés: **Best Linear Unbiased Prediction**), para ser interpretados directamente como resultado de la estabilidad y adaptabilidad de los clones (Resende 2007, Rosado *et al.* 2012). De esta manera, el modelo permite la selección para cada sitio de los mejores clones (Santos 2012).

En este contexto, el objetivo de esta investigación consistió en evaluar la productividad, adaptabilidad y estabilidad para selección de clones de *Eucalyptus* spp. en condiciones de estrés hídrico y distanciamientos en la finca de DEFORSA, estado Cojedes, Venezuela.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo de clones y distanciamiento fue instalado en la empresa DEFORSA, en San Carlos, Cojedes, en la parcela 51 de lote V, cuyo punto de referencia en el centro de la parcela son las coordenadas UTM: 560472,792 E - 1057564,458 N. Los suelos corresponden a unidades de manejo con limitación de crecimiento (planosol haplico, distrófico gleizado A), que en DEFORSA se define como unidad de manejo 4; es decir, son suelos típicos de zona baja, desestructurados, con altos niveles de compactación los cuales son influenciados por saturación hídrica, textura media a arcillosa, que en el periodo de lluvia permanece anegado y en el periodo de sequía reduce drásticamente la humedad del suelo.

El ensayo se localizó a 135 m.s.n.m.; en clima tipo BSh; con temperatura media, máxima y mínima del aire promedio anual de 26,60; 32,60 y 18,20 °C, respectivamente; con un régimen de lluvia media anual de 1.365 mm, concentrada en los meses de mayo a agosto y con periodo muy seco de enero a abril; con una evaporación media anual de 1.807 mm·año<sup>-1</sup> (Paredes 2009).

La preparación del suelo consistió en un subsolado de hasta 40 cm de profundidad e incorporación de cal dolomítica a razón de 1.200 kg·ha<sup>-1</sup>. Luego una fertilización pre-plantación, con fórmula química a base de N-P-K (10-30-20) a razón de 100 g·planta<sup>-1</sup>, y una post-plantación (a los 2 meses) a base de N-P-K (15-15-15) a razón de 100 g·planta<sup>-1</sup>. Al año se realizó una fertilización de cobertura a base de N-P-K con 18-10-30 a razón de 100 g·planta<sup>-1</sup>. Al segundo año se realizó una fertilización a base de cloruro de potasio a razón de 100 g·planta<sup>-1</sup>. El control de malezas fue manual y químico (herbicidas Glifosato a razón de 2 L·ha<sup>-1</sup>) al primer año. A partir del segundo año, el control de maleza se realizó mecánico (rolo argentino o rotativa) y biológico a través del pastoreo con una carga animal de 0,5 a 0,75 Unidad Animal·ha<sup>-1</sup>, de acuerdo con la necesidad, para evitar competencia con las plantas.

### Condiciones del ensayo y obtención de los datos de crecimiento y sobrevivencia

En el ensayo se utilizó un diseño factorial 8 x 3, con 8 clones de uso comercial en DEFORSA (Cuadro 1), plantados en el año 2014 y evaluados con 5 años

de edad en 2019. Se usaron 3 distanciamientos: 4 x 2,25 m, 8 x 2,25 m y 12 x 2,25 m. El primer distanciamiento es utilizado para la producción de madera para pulpa y papel; los otros dos distanciamientos bajo el sistema silvopastoril de baja densidad, la madera producida tiene múltiples usos: pulpa, carbón, estantillos y madera para aserradero. Cada unidad de muestreo estuvo conformada por 3 bloques al azar, con 4 hilos de 12 árboles para un total de 48 plantas (Figuras 1 y 2). Las mediciones fueron realizadas en los 2 hilos centrales respetando los bordes, para un total de 20 árboles (Figura 3).

Las mediciones de campo se organizaron en hojas de cálculo Excel® y se usaron ecuaciones volumétricas (Ecuaciones 1 y 2) del Departamento de Inventario Forestal de DEFORSA, para la determinación de la productividad en Incremento Medio Anual (IMA; m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>·año<sup>-1</sup>), y el volumen del árbol en pie.

#### Ecuación 1

$$IMA = \frac{\pi * \left(\frac{DAP}{2}\right)^2 * H * 0,45 * N}{N}$$

donde “IMA” es el Incremento Medio Anual, “DAP” es el diametro altura de pecho, “H” es la altura del árbol, “0,45” es el factor de conicidad, “N” es el número de árboles por hectárea y “E” corresponde a la edad de la plantación.

#### Ecuación 2:

$$V = (DAP)^2 * \frac{\pi}{4} * H * 0,45$$

donde “V” es el volumen del árbol en pie, “DAP” es el diametro altura de pecho, “H” es la altura del árbol y “0,45” corresponde al factor de conicidad.

Los resultados de IMA calculados de forma individual para cada árbol fueron procesados con la aplicación Selegen® (Resende 2007), se generaron estimaciones de varianzas y se determinaron los valores genotípicos para la estimación de los parámetros de adaptabilidad y estabilidad.

Cuadro 1. Características y ubicación de los clones de *Eucalyptus* spp. utilizados en el ensayo de distanciamiento, realizado en la Finca DEFORSA, San Carlos, Cojedes, Venezuela.

Clon	Especie	Productividad comprobada (m <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> ·año <sup>-1</sup> )	Unidad de manejo
3049	Hibrido natural de <i>E. urophylla</i> probablemente con <i>E. alba</i> : denominado “Platyphylla”.	37,68	3
2425	Hibrido natural de <i>E. urophylla</i>	43,44	2
66	Hibrido natural de <i>E. urophylla</i> probablemente con <i>E. alba</i> : denominado “Platyphylla”.	18,22	4
2897	Hibrido natural de <i>E. urophylla</i> probablemente con <i>E. alba</i> : denominado “Platyphylla”.	33,27	2
251	Hibrido natural de <i>E. urophylla</i> probablemente con <i>E. alba</i> : denominado “Platyphylla”.	42,12	2
1193	Hibrido natural de <i>E. urophylla</i> con <i>E. camaldulensis</i>	21,4	2
1084	Hibrido natural de <i>E. urophylla</i>	24,85	2
241	Hibrido natural de <i>E. urophylla</i> probablemente con <i>E. alba</i> : denominado “Platyphylla”.	32,71	3

Fuente: Departamento Programa de Mejoramiento Genético Forestal (DEFORSA 2019).

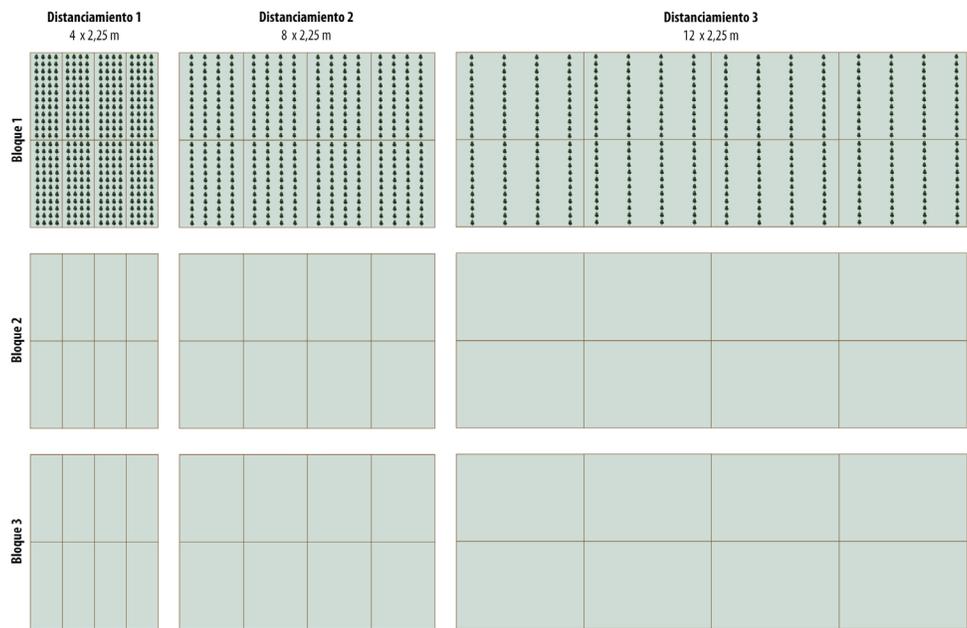


Figura 1. Esquema representativo de la distribución de tratamientos en campo; 3 distanciamientos x 3 bloques, con 8 clones de *Eucalyptus* spp. por cada bloque. Finca DEFORSA, Cojedes, Venezuela.

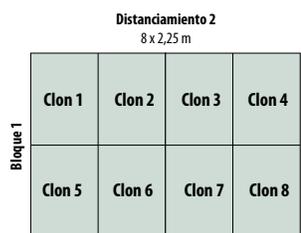


Figura 2. Esquema representativo de la composición de un bloque para el distanciamiento 2, con 8 clones de *Eucalyptus* spp. Finca DEFORSA, Cojedes, Venezuela.

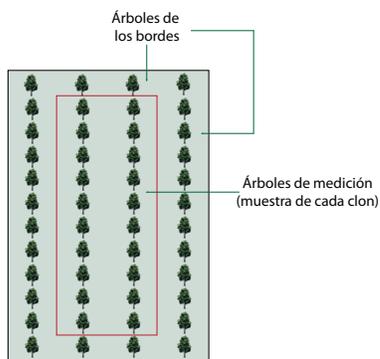


Figura 2. Esquema representativo del área de muestra para cada clon de *Eucalyptus* spp., en un bloque de distanciamiento Finca DEFORSA, Cojedes, Venezuela.

### Evaluación de adaptabilidad y estabilidad

El modelo estadístico para el análisis de los datos IMA de los clones en los ensayos con 3 distanciamientos considerando las observaciones por parcela, fue establecido mediante la Ecuación 3 (Resende 2004).

#### Ecuación 3:

$$y = Xb + Zg + Wge + e$$

donde “y” es el vector de datos para productividad en IMA, “b” es el vector de datos para promedio de bloque a través de los tratamientos (fijo), “g” se corresponde a los vectores de datos para efectos genotípicos (aleatorio), “ge” es el vector de datos para la interacción genotipo x distanciamientos (aleatorio) y “e” representa los errores aleatorios. X, Z y W, son matrices de incidencia para “b”, “g” y “ge”, respectivamente.

La selección simultánea de productividad, estabilidad y adaptabilidad del material genético se basó en las estadísticas MHPRVG. Los análisis de estabilidad, adaptabilidad y productividad para ensayos de genotipos en bloques, con varias plantas por muestreo y varios ambientes, se realizaron con el software Selegen-Reml / Blup®, usando el modelo 51, tal como

lo describe Resende (2004). Para este trabajo, se considero el parámetro distanciamiento como un factor de variación ambiental.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Evaluación de productividad de la interacción clones x distanciamientos, de acuerdo con los valores genéticos predichos

La eficiencia selectiva de la IMA fue de 0,59, este es un valor aceptable conforme a la clasificación de Resende y Duarte (2007), demostrando confiabilidad en la selección realizada en el ensayo (Cuadro 2). El valor obtenido en la estimación de heredabilidad fue de 0,3533 (Cuadro 2), demostrando que existe variabilidad genética significativa para el promedio de los clones evaluados, y se infiere que hay oportunidad en la selección con ganancias genéticas. El coeficiente de variación genotípica ( $CV_{gi}$ ), fue de 18 %, esto confirma la significancia del valor de la heredabilidad de acuerdo con Santos (2012) que estudió una red de ensayos de clones en diversos ambientes y con los aportes de los trabajos de Resende y Duarte (2007).

Cuadro 2. Parámetros genéticos (REML individual), para el Incremento Medio Anual (IMA;  $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$ ) en clones de *Eucalyptus* spp, en análisis simultáneo entre los distanciamientos. Finca DEFORSA, Cojedes, Venezuela.

Parámetros genéticos	Estimaciones
Coefficiente de determinación de la interacción clon x ambiente ( $C^2_{int}$ )	0,0731
Heredabilidad ajustada de la media de clon, asumiendo sobrevivencia completa ( $h^2_{mg}$ )	0,3533
Precisión genética en la selección de clones (Acgen)	0,5943
Correlación genotípica entre los distanciamientos (Rgloc)	0,4730
Coefficiente de variación genotípica ( $CV_{gi}$ ) %	18,2879
Coefficiente de variación experimental ( $CV_e$ ) %	66,2795
Promedio general de los caracteres entre los diferentes distanciamientos (MG)	20,0325

La correlación genotípica entre los distanciamientos (Rgloc), fue moderada (0,47), de acuerdo con Vencovsky y Barriga (1992), esto indica la presencia de interacción clon x distanciamiento del tipo compleja, demostrando que en cada distanciamiento los clones pueden cambiar de posición en productividad lo que se recomienda realizar la evaluación de adaptabilidad y estabilidad (Resende 2007, Santos 2012).

### Componentes de Media (BLUP Individual)

En el Cuadro 3 se muestra el ordenamiento de los clones en los tres distanciamientos de acuerdo al IMA obtenido. La ganancia genética comparada con el promedio general del ensayo, y con la selección de los 2 mejores clones; es de 21 %, indicando ganancia con la selección en estas condiciones en que se evalúa simultáneamente los 3 distanciamientos utilizados. Esta ganancia basada en valores genotípicos predichos BLUP asegura el comportamiento del clon en futuras plantaciones en el ambiente de ensayo, porque reduce los errores de predicción (Resende 2007).

Es importante destacar que los clones utilizados están certificados por su uso comercial en otros tipos de

Cuadro 3. Ordenamiento de clones de acuerdo a sus valores genotípicos y ganancias predichas para para el Incremento Medio Anual (IMA;  $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$ ), en análisis simultáneo entre los niveles de distanciamientos. Finca DEFORSA, Cojedes, Venezuela.

Orden	Clones	$g^*$	$(\mu + g)^{**}$	Ganancia	Nuevo promedio
1	3049	4,5649	24,5974	4,5649	24,5974
2	2425	3,7804	23,8128	4,1726	24,2051
3	66	1,8166	21,849	3,3873	23,4198
4	2897	-1,2948	18,7377	2,2168	22,2493
5	251	-1,3466	18,6859	1,5041	21,5366
6	1193	-1,4385	18,594	1,0137	21,0461
7	1084	-2,8217	17,2108	0,4658	20,4982
8	241	-3,2603	16,7722	0	20,0325

Promedio general: 20,03; Ganancia por la selección de los dos mejores clones en relación al ensayo: 21 %; \*: valor genotípico; \*\*: promedio + valor genotípico.

suelos, con productividad definida en sus localidades de plantación, en sistema de pulpa plantación de alta densidad, para los cuales fueron seleccionados.

### Selección de Material Genético por distanciamiento

Al observar los resultados de los valores genotípicos de los clones por distanciamientos, se constató que el orden de selección no coincide con la evaluación simultánea (Cuadros 3, 4 y 5). Esto indica la existencia de interacción compleja, situación igual a la constatada en el estudio de Santos (2012), que al investigar la correlación genotípica de 3 ambientes para clones de *Eucalyptus*; concluyó que, al existir este tipo de correlación, es necesario seleccionar clones para cada ambiente diferente. Es decir, para cada distanciamiento se tiene la selección de grupos diferentes de clones o un cambio de posición de selección, de acuerdo con lo postulado por Resende y Duarte (2007).

Los resultados muestran que el clon 66 puede ser utilizado para plantación en sistema silvopastoril de baja densidad, pero no es indicado para pulpa plantación en sistema de alta densidad. Situación inversa se constata para el clon 2897; este es indicado para sistema de pulpa plantación en los suelos agrupados en la unidad de manejo 4, pero no puede ser utilizado para el sistema silvopastoril de baja densidad. Resultados que pueden ser observados en el Cuadro 5, donde se indica la naturaleza de la interacción de cada clon con el distanciamiento.

De acuerdo al Cuadro 4, para el distanciamiento 4 x 2,25 m, los clones que presentaron mejores ganancias en relación al promedio del ensayo y un mayor desarrollo del IMA en condiciones de estrés hídrico fue el clon 2425 ( $44,8815 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ ) y el clon 3049 ( $38,9061 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ ). Para el distanciamiento 8 x 2,25 m, los clones que presentaron mejores ganancias en relación al promedio del ensayo y un mayor desarrollo del IMA en condiciones de estrés hídrico fue el clon 3049 ( $28,5656 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ ) y el clon 66 ( $26,743 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ ).

Ensayos efectuados en Suramérica para evaluar clones de *Eucalyptus* ante el estrés hídrico, han indicado que el IMA puede oscilar entre  $17 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$  en áreas con intenso déficit hídrico en el suelo (600 mm precipitación anual) hasta  $65 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$  en áreas con más de 1.200 mm de precipitación anual (Campoe *et al.* 2018).

Cuadro 4. Ordenamiento de clones de acuerdo a sus valores genotípicos y ganancias predichas para para el Incremento Medio Anual (IMA;  $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ ), en los niveles de distanciamiento evaluados. Finca DEFORSA, Cojedes, Venezuela.

Distanciamiento	Orden	Genotipo ( $\mu + g + ge$ )*	Gainancia	
4 x 2,25 m (1,111 plantas·ha <sup>-1</sup> )	1	2425	44,8815	11,4112
	2	3049	38,9061	8,4235
	3	2897	34,0741	5,8169
	4	66	32,5917	4,1430
	5	1193	30,5748	2,7353
	6	1084	29,5735	1,6299
	7	251	29,5681	0,8396
	8	241	27,5930	0
	<b>Promedio</b>		33,4703	
8 x 2,25 m (555 plantas·ha <sup>-1</sup> )	1	3049	28,5656	9,4755
	2	66	26,7430	8,5641
	3	2425	20,0690	6,0357
	4	251	18,6810	4,4245
	5	1193	15,4776	2,8171
	6	241	15,3387	1,7223
	7	2897	15,3010	0,9350
	8	1084	12,5454	0
	<b>Promedio</b>		19,0901	
12 x 2,25 m (375 plantas·ha <sup>-1</sup> )	1	3049	11,4073	3,8703
	2	2425	10,7005	3,5170
	3	66	8,2367	2,5779
	4	1193	8,1267	2,0809
	5	1084	6,3692	1,4311
	6	251	6,3080	0,9878
	7	2897	5,3953	0,5407
	8	241	3,7518	0
	<b>Promedio</b>		7,5369	

\*: promedio + valor genotípico + interacción genotipo-ambiente.

Cuadro 5. Valores de la interacción de los clones con el nivel de distanciamiento para el Incremento Medio Anual (IMA;  $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$ ). Finca DEFORSA, Cojedes, Venezuela.

Distanciamiento 4 x 2,25 m		Distanciamiento 8 x 2,25 m		Distanciamiento 12 x 2,25 m	
Clon	(g x e)*	Clon	(g x e)*	Clon	(g x e)*
241	-2,617	241	-0,4911	241	-0,5248
251	-2,5557	251	0,9374	251	0,1177
1084	-1,0752	1084	-3,7230	1084	1,6539
1193	-1,4570	1193	-2,1741	1193	2,0282
2425	7,6308	2425	-2,8015	2425	-0,6168
2897	1,8985	2897	-2,4944	2897	-0,8469
3049	0,8708	3049	4,9105	3049	-0,6946
66	-2,6952	66	5,8363	66	-1,1168

\*: interacción genotipo-ambiente.

Los clones 3049, 2425 y 66 son híbridos naturales de *E. urophylla* con otras especies que posee excelente tolerancia a sequía, principalmente las especies de la sección Exsertaria, como *E. alba*, *E. camaldulensis* y *E. brassiana*, que probablemente fueron mezclada con el *E. urophylla* en su origen (Pryor y Johnson 1971, Jovanovic y Booth 2002, Moura 2004).

Para el distanciamiento 12 x 2,25 m el clon 3049 ( $11.4073 m^3 \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$ ) y el clon 2425 ( $10.7005 m^3 \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$ ), presentaron los parámetros de desarrollo en cuanto al IMA más resaltantes y mejores ganancias en relación al promedio del ensayo.

Los promedios de valor genotípico de productividad para los diferentes distanciamientos (Cuadro 4): pulpa plantación de  $33,47 m^3 \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$  (1.111 plantas por hectárea); y los distanciamientos de manejo silvopastoril, con  $19,09 m^3 \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$  (555 plantas por hectárea) y  $7,54 m^3 \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$  (370 plantas por hectárea), reportan una alternativa de utilización de estos suelos, normalmente destinados a potreros, que pueden ser utilizados para la producción de madera en sistemas silvopastoriles o pulpa plantación empleando el clon adecuado. En el sistema silvopastoril es posible manejar la producción de ganado conjuntamente con madera para diferentes

usos, aunque con menor productividad debido a la baja densidad del número de árboles (Matias 2016, Silva 2016, Moulin *et al.* 2017, Pena 2018).

Es importante destacar que la productividad estimada para este ensayo es basada en bloques con reducido número de árboles. En plantaciones comerciales, las estimaciones de productividad normalmente presentan valores menores, esto se explica debido a la competencia intra-clones dentro de la parcela muestreada, o sea, se elimina el efecto borde en el muestreo (Silva 2001, Muniz *et al.* 2009, Dias 2014). Por esta razón, en la experiencia de empresas forestales como DEFORSA, el ajuste de ecuaciones, las curvas de crecimiento y estimaciones de productividad son definidas en fase siguiente al ensayo clonal (Moraes Neto *et al.* 2020).

#### Evaluación de la adaptabilidad y estabilidad de clones con los distanciamientos de plantación de acuerdo con los valores genéticos predichos

Al observar los Cuadros 6 y 7, no hay cambio de posición en el listado de los mejores clones para la estabilidad (MHVG), para la adaptabilidad (PRVG) ni en la evaluación simultánea (MHPRVG). El cambio solamente ocurrió en los materiales de menor productividad. Estos resultados indican que los clones más confiables para utilizar en suelos con estrés hídrico, sea en sistema de pulpa plantación o silvopastoril, son los clones 3049 y 2425, de este grupo evaluado.

Cuadro 6. Valores Genéticos de Estabilidad (MHVG) y Adaptabilidad (PRVG) predichos por BLUP para el Incremento Medio Anual (IMA;  $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$ ). Finca DEFORSA, Cojedes, Venezuela.

Genotipo	MHVG	PRVG	PRVG x MG*
3049	20,2192	1,3908	27,8603
2425	18,1201	1,2707	25,4543
66	15,8325	1,1558	23,154
1193	13,6136	0,9342	18,7137
251	12,2012	0,8996	18,0221
1084	11,0893	0,7953	15,9312
2897	10,7124	0,8451	16,9301
241	8,1527	0,7086	14,1942

\*: promedio general (20,0325).

Cuadro 7. Valores genéticos simultáneos de Estabilidad y Adaptabilidad (MHPRVG) predichos por BLUP para el Incremento Medio Anual (IMA; m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>·año<sup>-1</sup>). Finca DEFORSA, Cojedes, Venezuela.

Orden	Genotipo	MHPRVG	MHPRVG x MG*
1	3049	1,3703	27,4506
2	2425	1,2493	25,0268
3	66	1,1296	22,6284
4	1193	0,9215	18,4601
5	251	0,8959	17,9465
6	2897	0,8272	16,5701
7	1084	0,7819	15,6634
8	241	0,6717	13,4552

Ganancia genética en relación al promedio del ensayo (2 superiores): 31 %; \*: promedio general (20,0325).

Como se observó anteriormente, la existencia de interacción compleja indicó la necesidad de evaluar la adaptabilidad y estabilidad. Pero como esta interacción fue más significativa dentro de los clones de menores valores genéticos, no provocó alteración en el listado de los 2 mejores clones; no obstante, la estimación de ganancia por valores genotípicos del análisis simultáneo fue de 21 % (Cuadro 3) y de 31 % por análisis de adaptabilidad y estabilidad (Cuadro 7).

Eso ocurre porque con la selección por la adaptabilidad y estabilidad agrega la ganancia con la interacción media entre los ambientes. Los estudios de Santos (2012), de igual modo presentan un valor más alto de ganancia por el análisis de adaptabilidad y estabilidad que por selección de valores genotípicos de análisis simultáneo, justificando que se trata de una refinación del proceso de selección de acuerdo con los estudios de Resende (2007) y los trabajos de Anputhas *et al.* (2011).

### CONCLUSIONES

La estimación de los parámetros genéticos para los 8 clones evaluados, en 3 distanciamientos, presentaron ganancia genética, lo que demuestra una condición optimista para la selección de clones.

Existe interacción del tipo compleja entre los clones, en este tipo de suelo y los distanciamientos, confirmando la utilidad del método de evaluación de la productividad, adaptabilidad y estabilidad porque los clones pueden reaccionar diferente cuando se plantan en diversos distanciamientos, como fue constatado.

La selección de los 2 mejores clones (3049 y 2425) por el valor genotípico del análisis simultáneo estimó una ganancia de 21 %. La selección practicada por valores genotípicos de adaptabilidad y estabilidad predijeron una ganancia de 31 % para los mismos clones, al contabilizar las ganancias de interacción entre clon y distanciamientos.

Los clones 3049 y 2425 presentaron mejor estabilidad y adaptabilidad, indicando que pueden ser utilizados en cualquiera de los distanciamientos, en este tipo de suelo.

El clon 66 responde positivamente en sistema de plantación silvopastoril, pero no es indicado para sistema de pulpa plantación. El clon 2897, presenta interacción invertida, y no puede ser utilizado para sistema silvopastoril, solamente para pulpa plantación.

### LITERATURA CITADA

- Anputhas, M; Samita, S; Abeysiriwardena, DS. 2011. Stability and adaptability analysis of rice cultivars using environment-centered yield in two-way ANOVA model (en línea). *Communications in Biometry and Crop Science* 6(2):80-86. Consultado 14 may. 2020. Disponible en <https://bit.ly/35LLHhp>
- Assis, TF; Abad, JAM; Aguiar, AM. 2016. Melhoramento Genético do Eucalipto (en línea). *In* Schumacher, MV; Vieira, M. (eds.). *Silvicultura do Eucalipto no Brasil*. Santa Maria, Rio Grande del Sur, Brasil, Editora UFSM. p. 217-244. Consultado 06 jun.2020. Disponible en <https://bit.ly/39b4Cgf>
- ANV (Asamblea Nacional de Venezuela). 2001. Ley de Tierras y Desarrollo Agrario (en línea). Decreto 1546 en Gaceta Oficial N° 37.323. Caracas. Venezuela. 13 nov. 30 pp. Consultado 28 may. 2020. Disponible en <https://bit.ly/394HXSG>
- Campoe, OC; Binkley, D; Carneiro, R; Ryan, M; Afonso, C; Silva, C; Alvarez, C; Andrade, H; Leite, F; Gomes, F; Bassa, G; Moreira, G; Friederichs,

- G; Lourenço, H; Pirez, J; Stahl, J; Masson, M; Chaves, R; Buzzo, R; Paim, R; Loos, R; Coutinho, R; Cavalcante, R; Oliveira, U; Silva, V. 2018. Understanding the interaction between genetics and environment shows potential to maintain and increase *Eucalyptus* productivity (en línea). In IUFRO (International Union of Forest Research Organizations, Francia). Eucalyptus 2018. Plantations under global changes, Montpellier, Francia, CIRAD. p. 88-89 Consultado 24 oct. 2020. Disponible en <https://bit.ly/2XyHpzv>. ISBN 978-2-87614-743-0
- Cruz, CD; Carneiro, PCS; Regazzi, AJ. 2014. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 3 Ed. rev. y ampl. Viçosa, Brasil. UFV. 668 p. ISBN 978-85-7269-515-2
- Dias, TC. 2014. Forma e tamanhos ótimos de parcelas experimentais de eucalipto clonal em sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta. Tesis MSc. Lavras, Minas Gerais, Brasil. Universidade Federal de Lavras. 114 p.
- DEFORSA (Desarrollos Forestales San Carlos, Venezuela). 2019. Inventario Forestal de DEFORSA 2019. Departamento Programa de Mejoramiento Genético Forestal. DEFORSA, San Carlos, Venezuela. 80 p
- DEFORSA (Desarrollos Forestales San Carlos, Venezuela). 2020. Principales actividades (en línea). Consultado 28 may. 2020. Disponible en <https://bit.ly/2XaG15M>
- Flexas, J; Bota, J; Escalona, J; Sampol, B; Medrano, H. 2002. Effects of drought on photosynthesis in grapevines under field conditions: An evaluation of stomatal and mesophyll limitations (en línea). Functional Plant Biology 29(4):461-471. Consultado 14 may. 2020. Disponible en <https://doi.org/c6xvkg>
- Jovanovic, T; Booth, T. 2002. Improved Species Climatic Profiles. RIRDC Publication No. 02/095 (Project No. CSF-56A). Rural Industries Research and Development Corporation, Canberra. 74 p.
- Ker, J; Pereira, T. 2013. Relatório final dos recursos de solos. Desarrollos Forestales San Carlos. (Datos en digital). Disponible en el Departamento de Investigación Forestal y Viveros DEFORSA. Cojedes, Venezuela. 1 disco compacto.
- Lawlor, DW. 1995. Effects of water deficit on photosynthesis. In Smirnov, N. (ed.) Environment and plant metabolism: flexibility and acclimation BIOS Scientific Publishers Limited. p. 129-160.
- Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stresses. Academic Press, Nueva York, Estados Unidos de América. 607 p.
- Matias, SVBG. 2016. Desempenho silvicultural e qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus* em sistemas de integração lavoura pecuária floresta. Tesis Dr. Lavras, Minas Gerais, Brasil. Universidade Federal de Lavras. 201 p.
- McCull, J; Powers, R. 1984. Consequences of forest management on soil tree relationships. In Bowen, G; Nambiar, E. (eds.). Nutrition of plantation forests. Academic Press. London. 516 p.
- Moraes Neto, SP; Pulrolnik, K; Vilela, L; Souza, KW; Guimarães, JR. 2020. Estimativa do volume de madeira de eucalipto em sistema agrossilvipastoril. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 354. Planaltina, Distrito Federal, Brasil, Embrapa Cerrados. 22 p.
- Moulin, JC; Arantes, MDC; Oliveira, JGL; Campinhos, E; Gomes, F; Vidaurre, GB. 2017. Efeito do Espaçamento, Idade e Irrigação no Volume e Densidade Básica do Eucalipto (en línea). Floresta e Ambiente 24: 10 p. Consultado 05 jun. 2020. Disponible en <https://bit.ly/3q41p9l>
- Moura, VPG. 2004. O germoplasma do *E. urophylla* S.T. Blake no Brasil (en línea). Comunicado Técnico 111. Brasília, Brasil, Embrapa. 12 p. Consultado 05 jun. 2020. Disponible en <https://bit.ly/3ips6Cu>
- Muniz, JA; Aquino, LH; Simplício, E; Soares, AR. 2009. Estudo do Tamanho de Parcelas Experimentais em Povoamentos de *Eucalyptus grandis* Hill, Usando Parcelas Lineares (en línea). Ciência e Agrotecnologia 33(4):1002-1010. Consultado 14 may. 2020. Disponible en <https://bit.ly/3nw25CM>
- Oliveira, TK; Macedo, RLG; Venturin, N; Higashikawa, EM. 2009. Desempenho silvicultural e produtivo de eucalipto sob diferentes arranjos espaciais em sistema agrossilvipastoril (en línea). Pesquisa Florestal Brasileira 1(60):1-9. Consultado 05 jun. 2020. Disponible en <https://bit.ly/3bfPdOB>

- Paciullo, DSC; Castro, CRT; Gomide, CAM; Maurício, RM; Pires, MFA; Müller, MD; Xavier, DF. 2011. Performance of dairy heifers in a silvopastoral system (en línea). *Livestock Science* 141(2-3):166-172. Consultado 05 jun. 2020. Disponible en <https://doi.org/fnf5tg>
- Paredes, F. 2009. Nociones elementales de la climatología e hidrología del estado Cojedes (en línea). Publicaciones del Área de Estudios de Postgrado. Serie Investigación. N° 1. UNELLEZ-San Carlos, Cojedes, Venezuela. 262 p. Consultado 10 may. 2020. Disponible en <https://bit.ly/3q42iib>
- Pena, RF. 2018. Análise silvicultural de clones de eucalipto e características produtivas do pasto em sistema silvipastoril, em Coronel Pacheco. Tesis MSc. Vicosa, Minas Gerais, Brasil. Universidade Federal de Viçosa. 55 p.
- Pires, IE; Resende, MDV de; Silva, RL da; Resende Junior, MFR de. 2011. *Genética Florestal*. Vicosa, MG: Arka. 318 p.
- Pryor, LD; Johnson, LAS. 1971. A classification of eucalypts. Canberra, Australia, Australian National University. 102 p. ISBN 0708105637
- Reis, MGF; Reis, GG; Fontan, ICI; Monte, MA; Magalhães, LL; Silveira, VP. 2007. Leaf area index in pruned stands of two clones of different crown architecture in an agrosilvopastoral system. *In* IUFRO CONFERENCE: Eucalypts and diversity – balancing productivity and sustainability. Durban, Sudafrica. 6 p.
- Resende, MDV de. 2004. Novas abordagens estatísticas na análise de experimentos e campo (en línea). Colombo, Parana, Brasil, Embrapa Florestas. 57 p. Consultado 30 may. 2020. Disponible en <https://bit.ly/38mZNR5>
- Resende, MDV de; Duarte, JB. 2007. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares (en línea). *Pesquisa Agropecuária Tropical* 37(3):182-194. Consultado 30 may. 2020. Disponible en <https://bit.ly/38mZNR5>
- Resende, MDV de. 2007. Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético. Colombo, Parana, Brasil, Embrapa Florestas. 561 p.
- Rosado, AM; Rosado, TB; Alves, AA; Laviola, BG; Bhering, LL. 2012. Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade, estabilidade e adaptabilidade (en línea). *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 47(7):964-971. Consultado 05 jun. 2020. Disponible en <https://bit.ly/3opMGFI>
- Santos, GA. 2012. Interação genótipos x ambientes para produtividade de híbridos multi-espécies de eucalipto no Rio Grande do Sul. Tesis Dr. Curitiba, Parana, Brasil. Universidade Federal do Paraná. 128 p.
- Silva, RL. 2001. Influência do Tamanho da Parcela Experimental em Testes Clonais de Eucalipto. Tesis MSc. Vicosa, Minas Gerais, Brasil. Universidade Federal de Viçosa. 78 p.
- Silva, S. 2016. Eficiência de redes neurais artificiais para estimar variáveis dendrométricas em sistemas agrosilvipastoris na Zona da Mata mineira. Tesis MSc. Viçosa, Minas Gerais, Brasil. Universidade Federal de Viçosa. 103 p.
- Vencovsky, R; Barriga, P. 1992 *Genética biométrica no fitomelhoramento*. Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil, Sociedade Brasileira de Genética. 496 p.
- Venduscolo, E; Scapim, C; Pacheco, C; de Oliveira, VR; de Lucca, A; Gonçalves-Vidiga, BM. 2001. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de milho-pipoca na região centro-sul do Brasil (en línea). *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 36(1):123-130. Consultado 26 mar. 2019. Disponible en <https://bit.ly/35q5E7B>