



## DESCRIPCIÓN DE VARIABLES DENDRO Y DASOMÉTRICAS DE *Pinus taeda* EN BELLA VISTA (CORRIENTES, ARGENTINA)

Oscar W. REY<sup>1</sup>, Cesar G. TORRES<sup>1</sup>, Cecilia LEZCANO<sup>1</sup>

### RESUMEN

El presente trabajo se enfoca en el análisis estadístico descriptivo de las principales variables dendro y dasométricas de *Pinus taeda* en Bella Vista (Corrientes, Argentina). Se trabajó con datos de diámetro normal (Dn) y altura total (Ht) obtenidos entre los 3 y 10,2 años de edad en un ensayo de fertilización de la especie. Las variables dasométricas calculadas corresponden al Dn promedio ( $\overline{Dn}$ ), Ht media ( $\overline{Ht}$ ) y el área basal (G). El factor aplicado no generó efectos diferenciales, ello permitió explorar las variables dasométricas con el conjunto de los datos. Se observó un elevado nivel de correlación entre las variables dasométricas que resultó inversamente proporcional a la edad. El trabajo es concluyente sobre la necesidad de descripciones detalladas del comportamiento de las variables en el estudio de sistemas forestales, aún más para sustentar inferencias. A su vez, se destaca la conveniencia de estructuras de medición consistentes para aminorar problemas recurrentes a datos longitudinales.

**Palabras Claves:** *pino taeda*, análisis estadístico descriptivo, correlación

### 1. INTRODUCCIÓN

El género *Pinus* es uno de los más plantados en la provincia de Corrientes. De acuerdo con el último inventario provincial (CFI 2018) ocupa un 73 % de la superficie forestada (alrededor de 352 mil ha). En particular, la especie *Pinus taeda* es un material destacado en la realización de plantaciones operativas, ya que presenta buenos rendimientos (Aparicio, 2017; Pezutti y Caldato, 2013; Belaber y Rodríguez, 2008; Fassola et al., 2002).

Estas forestaciones se caracterizan por sus principales variables dendrométricas (Martins et al., 2014): diámetro y altura, particularmente el diámetro medido a 1,3 m (Dn) y la altura total (Ht). La relevancia de estas variables reside en que a partir de las mismas se genera otra información, tal como relaciones hipsométricas, sección normal (Sn) y volumen total (Vt). Dichas variables suelen describirse solamente por los valores de centralidad (Pezutti y Caldato, 2013; Belaber y Rodríguez, 2008; Fassola et al., 2002). El análisis de las medidas de posición no es informativo pues no describen por completo el perfil de los datos. Para entender la distribución de cualquier variable es necesario determinar valores centrales y parámetros de dispersión, y en sistemas forestales es necesario describir cómo estos cambian en el tiempo. Este trabajo se propone evaluar, mediante análisis estadístico descriptivo, el comportamiento y distribución de las principales variables dendrométricas y dasométricas en plantaciones de *P. taeda* realizadas en suelos arenosos de Bella Vista (Corrientes, Argentina).

### 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se emplearon datos de inventario de un ensayo de fertilización de *P. taeda*, cuyo objetivo inicial era evaluar la respuesta a diferentes dosis de fosfato diamónico. Dicho ensayo se instaló en la EEA Bella Vista (Corrientes, Argentina) en el mes de octubre de 1995. El suelo fue identificado como Paleudalfes Psamménticos de la serie lomas. Los niveles de materia orgánica, fósforo y pH fueron de 0,20 %, 4,17 ppm y 6,4, respectivamente (Aparicio y López, 1997). El material de *P. taeda* correspondió a semillas de origen Marion, se empleó una densidad de 833 árboles.ha<sup>-1</sup>. Como resultado de adicionar 50 gr.planta<sup>-1</sup> a la dosis de fosfato, a partir de 0 hasta llegar a 300 gr.planta<sup>-1</sup>, y cubrir o no con aserrín, el ensayo contó con 14 tratamientos en 3 repeticiones de 20 plantas cada una. El ensayo fue sujeto a dos

<sup>1</sup>EEA INTA Bella Vista (rey.oscar@inta.gob.ar)



raleos selectivos a los 4 y 5,5 años, las respectivas densidades residuales resultaron en 580 y 415 árboles.ha<sup>-1</sup>.

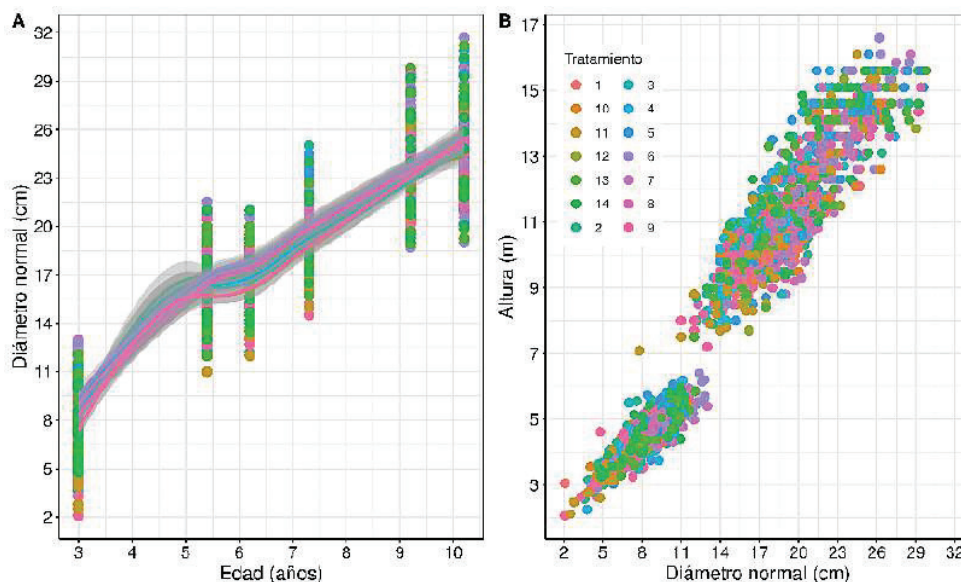
Los datos de inventario analizados corresponden a las mediciones realizadas a las edades de 3, 5,4, 6,2, 7,3, 9,2 y 10,2 años. Las variables medidas fueron diámetro normal (Dn) y altura total (Ht), la primera medida con cinta diamétrica (error de medición de 0,1 cm) y la segunda con hipsómetro (Vertex IV) de 0,1 m de precisión (la última edad no cuenta con mediciones de Ht). Tanto para Dn como para Ht, se estimaron los términos de variabilidad entre ( $\sigma_t^2$ ) y dentro ( $\sigma_\epsilon^2$ ) de tratamientos, además de la variabilidad dentro de la parcela ( $\sigma_d^2$ ). Formalmente, las expresiones de cálculo corresponden a:

- $\sigma_{tt}^2 = \frac{3}{13} \sum_j^{13} (\bar{X}_{jt} - \bar{X}_t)^2$ .
- $\sigma_{\epsilon t}^2 = \frac{1}{28} \sum_j^{14} \left[ \sum_k^3 (\bar{X}_{kjt} - \bar{X}_{jt})^2 \right]$
- $\sigma_d^2 = \frac{1}{42n_t-1} \sum_j^{14} \sum_k^3 \sum_i^{n_t} (X_{kjit} - \bar{X}_{kjt})^2$

Donde los subíndices k, j, i y t indican la k-ésima repetición del j-ésimo tratamiento que afecta al i-ésimo árbol a la t-ésima edad de la variable X, Dn o Ht. A las t edades, en cada parcela (k-ésima repetición del j-ésimo tratamiento) las variables dasométricas que se calcularon fueron el diámetro normal promedio,  $\bar{Dn}_{jkt}$ , la altura total promedio,  $\bar{Ht}_{jkt}$  y el área basal,  $G_{jkt} = sp^{-1} \sum_i n_{jkit}$ ; donde sp es la superficie en hectáreas de la parcela y Sn la sección transversal a la altura normal en m<sup>2</sup>. El análisis estadístico descriptivo (AED) se basó en obtener las medidas de posición y dispersión; las relaciones entre variables se exploraron mediante diagramas de dispersión. La forma de las relaciones se evaluaron mediante curvas de regresión local (loess) (Jacoby, 2000) y el grado de relación con el coeficiente de correlación estimado como  $\rho_{X,Y} = \frac{cov(X,Y)}{\sigma_X \sigma_Y}$  (X e Y enuncian dos variables genéricas). El error estándar de la estimación del coeficiente de correlación se calculó como  $\sqrt{(1 - \rho^2)/(n - 2)}$  (Bowley, 1928).

### 3. RESULTADOS

En el Gráfico 1 se denota el comportamiento del Dn con la edad (Gráfico 1A) y de la Ht en relación al Dn (Gráfico 1B), en cada una se discrimina por tratamiento. El solapamiento de las regresiones loess por tratamiento, que acompañan la evolución del Dn, indican que no existió comportamiento diferencial ocasionado por el factor en estudio. La fuerte relación entre el Dn y la Ht, Gráfico 1B, permitió trasladar la afirmación anterior a la variable Ht.



**Gráfico 1.** Principales variables dendrométricas de *Pinus taeda* en Bella Vista (Corrientes, Argentina): **A)** comportamiento temporal del diámetro normal (Dn) y **B)** relación hipsométrica (Altura ~ Dn).



El Cuadro 1 presenta, para cada edad, los valores medios del  $Dn$ , la varianza entre ( $\sigma_t^2$ ) y dentro de tratamientos ( $\sigma_e^2$ ), y la varianza dentro de la parcela ( $\sigma_d^2$ ). En el mismo, se observa que la variabilidad entre y dentro de tratamiento disminuyó con la edad, mientras que aumentó la observada en la parcela. A su vez,  $\sigma_t^2$  siempre fue considerablemente menor a  $\sigma_e^2$ , lo cual permite reafirmar que los tratamientos no produjeron comportamientos diferenciales en el  $Dn$ .

**Cuadro 1.** Estadísticos de posición y varianza del diámetro normal por edad en *Pinus taeda* en Bella Vista (Corrientes, Argentina).

Edad (años)	$\overline{Dn}$ (cm)	$\sigma_t^2$ (cm <sup>2</sup> )	$\sigma_e^2$ (cm <sup>2</sup> )	$\sigma_d^2$ (cm <sup>2</sup> )
3,0	8,50	0,37	1,70	2,51
5,4	16,70	0,27	1,45	2,89
6,2	16,98	0,30	1,27	2,52
7,3	19,61	0,26	1,21	3,43
9,2	23,95	0,09	0,42	5,12
10,2	24,83	0,10	0,43	5,89

Nota:  $\overline{Dn}$  es el promedio del diámetro normal,  $\sigma_t^2$  varianza entre tratamientos,  $\sigma_e^2$  dentro de tratamientos y  $\sigma_d^2$  dentro de la parcela.

El Cuadro 2 presenta los estadísticos de posición y de variabilidad de la  $Ht$ , equivalente al caso del  $Dn$  (Cuadro 1). A su vez, el comportamiento de la variabilidad fue similar, aunque con menor dispersión, al reportado en la variable  $Dn$ .

**Cuadro 1.** Estadísticos de posición y varianza de la altura total por edad en *Pinus taeda* en Bella Vista (Corrientes, Argentina).

Edad (años)	$\overline{Ht}$ (m)	$\sigma_t^2$ (m <sup>2</sup> )	$\sigma_e^2$ (m <sup>2</sup> )	$\sigma_d^2$ (m <sup>2</sup> )
3,0	4,53	0,05	0,20	0,41
5,4	9,86	0,05	0,29	0,63
6,2	9,98	0,05	0,28	0,59
7,3	11,59	0,14	0,41	0,83
9,2	14,17	0,06	0,22	0,74

Nota:  $\overline{Ht}$  es el promedio del diámetro normal en cm,  $\sigma_t^2$  la varianza entre tratamientos,  $\sigma_e^2$  varianza dentro de tratamientos y  $\sigma_d^2$  varianza dentro de la parcela.

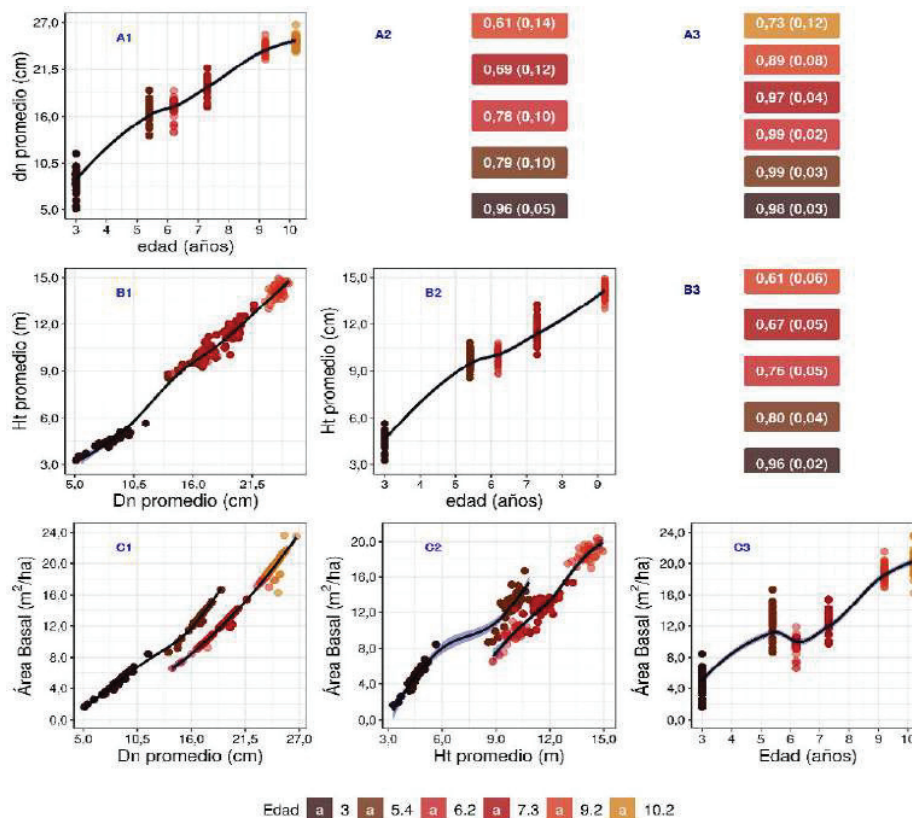
En ambas variables, Cuadro 1 y Cuadro 2, se pudo observar que la variabilidad relativa al promedio fue acotada. Esta medida disminuyó de 0,18 a 0,09, entre la primera y la última medición, en el  $Dn$  y para la  $Ht$  cayó de 0,14 a 0,06.

El AED de las variables dendrométricas evidenció el efecto no significativo de los tratamientos, por ello no se los discriminó en el correspondiente AED en las variables dasométricas. En el Cuadro 3 se presenta la estimación de las correlaciones entre las variables dasométricas analizadas. Estos resultados mostraron un elevado nivel de relación, siempre superior a 0,9, evaluado con alta precisión y error estándar siempre menor que 0,03.

**Cuadro 2.** Correlaciones entre variables dasométricas de *Pinus taeda* en Bella Vista (Corrientes, Argentina).

Correlación	Estimación	Error Estándar
$cor(\overline{Dn}, \overline{Ht})$	0,99	0,01
$cor(\overline{Dn}, G)$	0,96	0,02
$cor(\overline{Ht}, G)$	0,93	0,03

El Gráfico 2 denota gráficamente las relaciones entre las variables dasométricas en estudio. En él, los paneles de la diagonal principal presentan los comportamientos temporales y en las diagonales secundarias las relaciones entre variables, de forma gráfica en la parte inferior y numéricamente en los paneles superiores. La curva de rendimiento del  $\overline{Dn}$ , Gráfico 2 A1, fue similar a la observada en la  $\overline{Ht}$ , (Gráfico 2 B2). Mientras la del Área Basal (Gráfico 2 C3) difirió de forma consistente como consecuencia de los raleos. En estos gráficos se evidencia la heterocedasticidad observada en los tres procesos, que para el  $\overline{Dn}$  y la  $\overline{Ht}$  se describió en el Cuadro 1 y en el Cuadro 2.



**Gráfico 2.** Rendimiento y relaciones en el tiempo de las variables dasométricas de *Pinus taeda* en Bella Vista (Corrientes, Argentina). Rendimiento del  $\overline{Dn}$  (A1), de la  $\overline{Ht}$  (B2) y de  $G$  (C3). Relaciones:  $\overline{Ht}$  vs  $\overline{Dn}$  (B1),  $G$  vs  $\overline{Dn}$  (C1) y  $G$  vs  $\overline{Ht}$  (C2). Correlaciones (valor entre paréntesis denota error estándar):  $\overline{Dn}$  con  $\overline{Ht}$  (A2),  $\overline{Dn}$  con  $G$  (A3) y  $Ht$  con  $G$  (B3).

En la figura B1 del Gráfico 2 se denota que, en el período observado, la forma de la relación hipsométrica promedio fue aproximadamente lineal. En su simétrico, Gráfico 2 A2, se observa que el valor de la correlación entre ambas variables disminuyó de manera consistente, conforme la edad se incrementó. Finalmente, C1 y C2 del Gráfico 2 presentan la relación de  $G$  con el  $\overline{Dn}$  y la  $\overline{Ht}$ , respectivamente. El efecto de los raleos, determinó que se precisan funciones con al menos dos ramas para modelar estas relaciones. Sus simétricos, A3 y B3 del Gráfico 2, presentan los respectivos valores de correlación y denotan como esta disminuyó; se destaca que la más estable fue la observada entre el  $\overline{Dn}$  y  $G$ .

#### 4. DISCUSIÓN

El presente trabajo se centra en la descripción del comportamiento de variables dentro y dasométricas, no en el estudio de los factores que se aplican. Aparicio y López (1997) explicaron el no significativo efecto de la fertilización, lo cual se atribuye a la falta de estructura y baja capacidad de retención del suelo. Por otra parte, el raleo se aplicó en un solo esquema; por lo tanto, no se puede analizar comparativamente.

En general, no se cuentan con descripciones detalladas del comportamiento de las variables aquí estudiadas que permitan una comparación consistente. Se podría afirmar que los valores promedio de  $Dn$  y  $Ht$  se encuentran en el rango esperable. El  $\overline{Dn}$  a los 9,2 años (23,95 cm) es superior, por un poco más que 2 cm, al encontrado por Aparicio (2017) a similar edad e inclusive al máximo valor reportado por Pezzutti y Caldato (2013) a los 13 años. Los trabajos citados anteriormente describen resultados en la misma región, trabajan con el doble de densidad, no reportan manejo silvícola, y evalúan factores que solo afectan el establecimiento de la plantación; Aparicio (2017) evalúa técnicas de preparación de terreno y en Pezzutti y Caldato (2013) se estudia el control inicial de malezas. En cuanto a la  $Ht$ , en



Aparicio (2017) se reportó 13,9 m a los 9,5 años, valor que se aproxima a los 14,17 m de los 9,2 años obtenidos en el presente trabajo. Belaber y Rodríguez (2008), al evaluar el rendimiento de diferentes fuentes semilleras en el NO de Misiones, registraron promedios de Ht entre 10,5 a 12,79 m a los 7 años, en consecuencia la  $\overline{Ht}$  de 11,59 m a los 7,3 años resulta competitiva en relación a las mencionadas.

Conforme a Torres et al. (2017) es necesario emplear estructuras complejas para modelar la variabilidad en datos de ensayos forestales. En el presente se evidencia la no estacionariedad de los procesos estocásticos evaluados, lo cual resulta congruente con el mencionado trabajo y determina la necesidad de generar modelos conjuntos conforme al enfoque de Pourahmadi (1999) y Zimmerman et al. (2001). Es necesario resaltar que, bajo este escenario de modelos de variabilidad con cierto nivel de complejidad, no contar con estructuras de mediciones rectangulares, equiespeciadas y frecuentes, constituye un problema adicional al momento de estimar e inferir. Por otra parte, la caída de la correlación entre las variables dasométricas y las discontinuidades de las relaciones del Área Basal ponen aún más en relevancia la necesidad de contar con mediciones frecuentes.

## 5. CONCLUSIÓN

En el presente trabajo se brinda una descripción adecuada del comportamiento de variables dentro y dasométricas mediante el empleo de sencillas técnicas de AED. Mediante dicho análisis se concluye fehacientemente que la estimación de la correlación global entre variables subestima dicha relación, la cual a su vez disminuye con la edad y que se precisan estructuras de medición más consistentes.

## 6. LITERATURA CITADA

- APARICIO, J. L. (2017). Respuesta de *Pinus elliottii*, *Pinus taeda* y pino híbrido a cuatro técnicas de preparación del terreno en el sudoeste de corrientes. Resultados a los 13 años de edad. Jornadas Forestales de Entre Ríos. 31. 2017 10 5-6, 05 y 06 de Octubre de 2017. Concordia. AR.
- APARICIO, J. L., Y LOPEZ, J. A. (1997). Respuesta de *Pinus taeda* a la fertilización con fosfato diamónico y al agregado de una cubierta de aserrín a los 36 meses de crecimiento. II Jornada Forestal. EEA INTA Bella Vista. Bella Vista. Corrientes. A1-A6.
- BELABER, E. C., Y RODRÍGUEZ, G. H. (2008). Crecimiento al 7° año de *Pinus taeda* L. provenientes de distintas fuentes semilleras comerciales en el NO de Misiones. Jornadas Técnicas, Forestales y Ambientales. 13. 2008 06 05-07, 5-7 de junio de 2008. Eldorado, Misiones. AR.
- BOWLEY, A. L. (1928). The standard deviation of the correlation coefficient. *Journal of the American Statistical Association*, 23(161), 31-34.
- Martins, F. B., Soares, C. P. B., y Silva, G. F. D. (2014). Individual tree growth models for eucalyptus in northern Brazil. *Scientia Agricola*, 71, 212-225.
- FASSOLA, H. E., MOSCOVICH, F. A., FERRERE, P., Y RODRÍGUEZ, F. (2002). Evolución de las principales variables de árboles de *Pinus taeda* L. sometidos a diferentes tratamientos silviculturales en el Nordeste de la provincia de Corrientes, Argentina. *Ciência Florestal*, 12, 51-60.
- JACOBY, W. G. (2000). Loess: a nonparametric, graphical tool for depicting relationships between variables. *Electoral Studies*, 19(4), 577-613.
- PEZZUTTI, R., Y CALDATO, S. (2013). Crecimiento de plantaciones de *Pinus elliottii*, *Pinus taeda* y *Pinus elliottii* var *elliottii* x *Pinus caribaea* var *hondurensis* de 13 años de edad bajo diferentes modalidades del control de maleza. In Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Puerto Iguazú, Misiones.
- POURAHMADI, M. (1999). Joint mean-covariance models with applications to longitudinal data: Unconstrained parameterisation. *Biometrika*, 86(3), 677-690.
- TORRES, C. G., ALFARO, J., ESTEBAN, P., Y LAURA, D. (2017). Selección de estructuras de (CO) varianzas en el análisis de datos en ensayos silviculturales. In Congreso Interamericano de Estadística. 2017 10 17-20, 17 al 20 de Octubre de 2017. Rosario. AR.
- ZIMMERMAN, D. L., NÚÑEZ-ANTÓN, V., GREGOIRE, T. G., SCHABENBERGER, O., HART, J. D., KENWARD, M. G. (2001). Parametric modelling of growth curve data: An overview. *Test*, 10(1), 1-73.

Links: Códigos, datos y recursos disponible previa autorización en: <https://gitlab.com/os.rey/pino-taeda-bella-vista.git>