

Análisis mediante modelamiento asistido por IA del crecimiento y desarrollo del fruto en cerezo (*Prunus avium* L.)

Carlos Tapia T., Emilio Martínez G., Nicolás Martínez G., Mario Contreras A. y Miguel Morales C. Departamento de Investigación y Desarrollo Avium, Curicó, Chile; contacto@avium.cl

RESUMEN

El calibre del fruto es uno de los principales atributos de calidad y retorno comercial en cerezo dulce (*Prunus avium* L.). En este estudio se evaluó la dinámica de crecimiento del fruto en 'Kordia' sobre Gisela®6 durante la temporada 2025–2026 en Curicó, Región del Maule, Chile, comparando un tratamiento testigo y un tratamiento con raleo de yemas. El diámetro ecuatorial del fruto fue monitoreado desde cuaja hasta cosecha y ajustado mediante un modelo doble sigmoideo en función de los días después de plena flor. Los modelos presentaron un buen ajuste, con valores de R² cercanos a 0,95, permitiendo identificar tres fases de desarrollo: fase I hasta aproximadamente 31 DDPF, fase II entre 31 y 44 DDPF, y fase III desde 44 DDPF hasta cosecha. Si bien no se observaron diferencias estadísticas significativas en las principales variables productivas y de calidad, el tratamiento con raleo de yemas presentó una mayor tasa de crecimiento durante la fase III y una mayor proporción de fruta sobre 28 mm, sugiriendo un efecto positivo sobre la distribución de calibres.

Palabras clave: Doble sigmoidea, modelamiento no lineal, calibre de fruto, crecimiento de fruto, kordia.

INTRODUCCIÓN

El calibre, la condición y el porcentaje de fruta embalada son atributos determinantes en la rentabilidad del cerezo dulce, especialmente en un escenario comercial de mayor oferta, menores retornos y creciente exigencia por calidad. Desde una perspectiva técnico-comercial, Avium ha definido como referencia mínima de competitividad productiva alcanzar 12 t ha⁻¹, 70% de fruta sobre 2J y 85% de fruta embalada, valores que deben ser ajustados según la realidad de cada unidad productiva. En este contexto, resulta fundamental evaluar estrategias agronómicas que contribuyan a mejorar la distribución de calibres y la calidad final de la fruta.

El crecimiento del fruto en cerezo dulce sigue un patrón doble sigmoideo, con una fase inicial asociada a división celular, una fase intermedia de menor crecimiento relacionada con el endurecimiento de carozo, y una fase final vinculada a la elongación celular. Identificar estas fases permite definir ventanas críticas de manejo y evaluar con mayor precisión el efecto de prácticas como el raleo de yemas.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo Agrícola Doña Consuelo (lat. 34,9° S, long. 71,0° O) o (lat. 34,9° S, long. 71,1° O). La investigación fue en 'Kordia' sobre Gisela®6 conducidos en eje central y en plena producción (Año plantación 2017) (Tabla 1).

El estudio contempló dos tratamientos, considerando un testigo. Los tratamientos evaluados quedan especificados en la Tabla 2.

Tabla 1. Cuadro de tratamientos

Tratamientos		Raleo yemas (Invierno 2025)
T0 Tratamiento 0	Testigo	-
T1 Tratamiento 1	Raleo Yemas	4-1
Fecha de raleo de yemas		19.08.25

Previo al raleo se realizó un análisis de yemas y centros frutales (AdYC), determinándose una carga promedio de 6,6 yemas por dardo. En el tratamiento T1, la carga fue ajustada a 4 yemas por dardo, equivalente a una reducción aproximada del 40% de la carga inicial.

Cada tratamiento estuvo representado por cinco unidades experimentales, compuestas por un árbol representativo seleccionado según uniformidad de centros frutales, carga frutal, crecimiento vegetativo y estado fitosanitario. Para el seguimiento de la curva de crecimiento, se seleccionaron cuatro frutos por árbol, totalizando 20 frutos por tratamiento. El diámetro ecuatorial se midió cada tres días, desde cuaja inicial hasta cosecha, con un calibre digital (Mitutoyo Corp., Tokio, Japón). La plena floración se consideró como día 0, y las mediciones posteriores se expresaron como días después de plena flor (DDPF).

Los datos de diámetro del fruto en función de los días después de plena flor (DDPF) se ajustaron a un modelo sigmooidal doble, definido como la suma de dos funciones sigmoideas aunque "restringida" ya que se consideró diámetro 0 (mm) en plena flor:

$$D(t) = \left[\frac{A_1}{1 + e^{-k_1(t-t_1)}} + \frac{A_2}{1 + e^{-k_2(t-t_2)}} \right] - \left[\frac{A_1}{1 + e^{k_1 t_1}} + \frac{A_2}{1 + e^{k_2 t_2}} \right]$$

Donde $D(t)$ corresponde al diámetro ecuatorial estimado del fruto, expresado en mm; t corresponde a los días después de plena flor; A_1 y A_2 representan la magnitud del crecimiento de cada sigmoide; k_1 y k_2 corresponden a las tasas de crecimiento; y t_1 y t_2 representan los puntos de inflexión de cada fase de crecimiento. Los parámetros de ajuste se obtuvieron mediante el procesamiento de datos utilizando inteligencia artificial, en base a los datos observados en ambos tratamientos.

La tasa de crecimiento del fruto diario es la derivada de la curva doble sigmoidea ajustada. Entregando el diámetro estimado $D(t)$ en m.

$$\frac{dD(t)}{dt}$$

La tasa diaria de crecimiento del fruto se calculó como la derivada de la curva doble sigmoidea ajustada. Esta tasa representa el incremento estimado del diámetro del fruto por unidad de tiempo y se expresa en mm día⁻¹.

RESULTADOS

Tabla 2. Crecimiento de fruto promedio (mm) por fase de desarrollo de fruto para cada tratamiento.

Tratamiento	R ²	Fase I (0 - 31 DDPF)	Fase II (31 - 44 DDPF)	Fase III (44 - 79 DDPF)
T0	0,949	0,433	0,166	0,310
T1	0,956	0,432	0,168	0,329

Figura 1. Curvas de diámetro de fruto (mm.) y tasa de crecimiento (mm. día⁻¹) 'Kordia' con y sin raleo de yemas. Temporada 2025–2026.

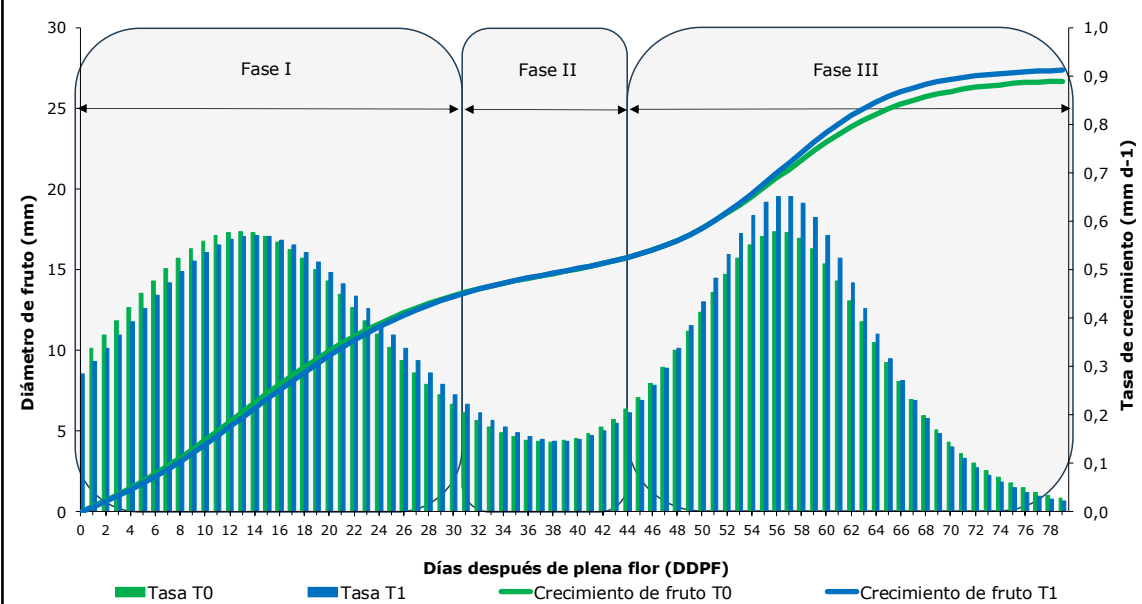
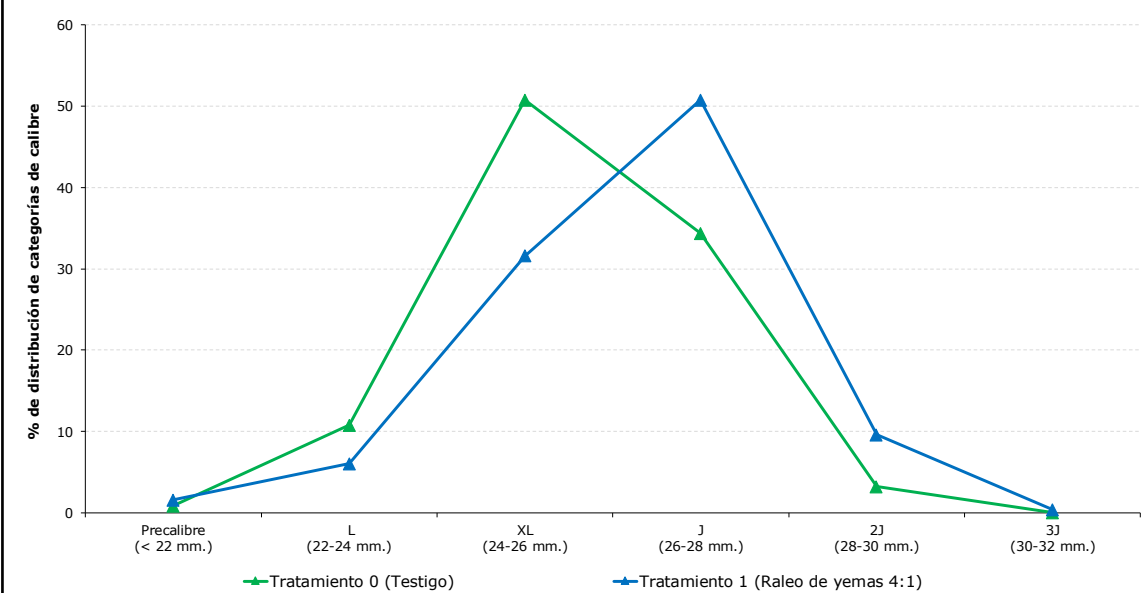


Tabla 3. Resumen principales variables de calidad y condición de los tratamientos evaluados.

Variable	T0	T1	Valor P
S. solubles (°Brix)	20,8 ± 1,5 a	22,7 ± 2,05 a	0,130
% Materia Seca	23,6 ± 1,8 a	23,0 ± 2,16 a	0,634
Durofel (UD)	81,8 ± 1,9 a	83,0 ± 3,24 a	0,497
Σ > 2J	37,6 ± 17,7 a	60,8 ± 16,6 a	0,065
Cuja Final	17,4 ± 3,4 a	18,0 ± 10,9 a	0,420
Producción (Kg ha ⁻¹)	14.007 ± 5.727 a	13379 ± 3772 a	0,843

Figura 2. Distribución porcentual de calibres en frutos de 'Kordia' con y sin raleo de yemas.



CONCLUSIONES

El modelo doble sigmoideo describió adecuadamente la dinámica de crecimiento del fruto en 'Kordia'/Gisela®6, con valores de R² cercanos a 0,95, permitiendo identificar tres fases fisiológicas: Fase I hasta 31 DDPF, Fase II entre 31 y 44 DDPF, y Fase III desde 44 DDPF hasta cosecha. El raleo de yemas presentó una mayor tasa de crecimiento durante la Fase III, especialmente entre 50 y 62 DDPF, lo que se asoció con una mayor proporción de fruta sobre 28 mm. Si bien no se observaron diferencias estadísticas significativas en las principales variables productivas y de calidad, T1 incrementó los retornos en aproximadamente 12% respecto a T0, equivalente a US\$4.500 ha⁻¹ adicionales. Al descontar el costo operativo del raleo, cercano a US\$1.500 ha⁻¹, el beneficio neto estimado fue de aproximadamente US\$3.000 ha⁻¹, bajo las condiciones específicas del estudio. Estos resultados destacan el valor del modelamiento como herramienta para interpretar el desarrollo del fruto, evaluar estrategias de manejo y mejorar la competitividad productiva.

Referencias

- Balbontín, C., Ayala, H., Rubilar, J., Cote, J., & Figueroa, C. R. (2014). Transcriptional analysis of cell wall and cuticle related genes during fruit development of two sweet cherry cultivars with contrasting levels of cracking tolerance. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 74(2), 162–169.
- Bastías, R. M., Diez, F., & Finot, V. L. (2014). Tasa de crecimiento absoluto y relativo como indicadores de fases de desarrollo del fruto en cerezo (*Prunus avium*). *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 30(2), 89–98.
- Vignati, E., Lipska, M., Dunwell, J. M., Caccamo, M., Simkin, A. J., & Angenent, G. C. (2022). Fruit development in sweet cherry. *Plants*, 11(11), 1531.

AGRADECIMIENTOS

Álvaro Salas L., Agrícola Doña Consuelo Ltda., Chile.
Mirko Muñoz A., Agrícola Doña Consuelo Ltda., Chile.