

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

COMPARACIÓN DE MODELOS NO LINEALES PARA DESCRIBIR CURVAS DE CRECIMIENTO DEL PORTAINJERTO LIMÓN RUGOSO (*Citrus jambhiri* Lush.) BAJO CONDICIONES DE VIVERO

Comparison of non-linear models to describe growth curves of the rough lemon root (*Citrus jambhiri* Lush.) under nursery conditions

Forlin Alejandro S.¹; Chabbal Marco D.¹; Yfran Elvira María de las M²; Gimenez Laura I³; Carcaño A. F.⁴; Beltrán V. M.⁴

¹ Cátedra Fruticultura. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Nordeste, Argentina.

² Cátedra Física. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Nordeste, Argentina.

³ Cátedra de Cálculo Estadístico y Biometría. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Nordeste, Argentina.

⁴ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria Bella Vista.

Email: mariyfran077@hotmail.com

RESUMEN

El objetivo fue encontrar el modelo estadístico que mejor describa el patrón de crecimiento del portainjerto Limón 'Rugoso' (*Citrus jambhiri* (Lusch.) en vivero hasta diámetro de injertación. Para ello se sembró en almácigos y a los 45 días de la emergencia los plantines se trasplantaron a macetas de 5 L con sustrato constituido por cascarilla de arroz (40 %), suelo (40 %), y sustrato comercial (20 %). Se evaluaron variables de crecimiento cada 30 días. Para el crecimiento aéreo se cuantificó: diámetro de cuello (DC); cantidad de hojas (CH), largo del tallo (LT); masa fresca del tallo (MFTa), masa fresca de hojas (MFH), masa seca del tallo (MSTa); masa seca de hojas (MSH). También el crecimiento de raíz mediante: largo de raíz (LR), masa fresca (MFR) y seca de raíz (MSR), y variables totales: masa fresca total (MFTotal); masa seca total (MSTotal) y largo total (LT). Para modelar las curvas de crecimiento se probaron los modelos Logístico, Gompertz y Monomolecular. El modelo Gompertz fue el que mejor ajustó al crecimiento del portainjerto en el tiempo para las variables de crecimiento aéreo (a excepción del número de hojas) y para las variables totales (a excepción del largo total), mientras que el modelo Logístico fue el que mejor ajustó al crecimiento del portainjerto en función del tiempo para las variables de crecimiento radicular. También, obtuvo buen ajuste para las variables número de hojas y largo total, debido a que presentó menor cuadrado medio residual del error comparado con los modelos Logístico, Richards y Monomolecular.

Palabras claves: modelo Logístico, modelo Richards, modelo Monomolecular; comparación de parámetros, citrus.

ABSTRACT

This work aimed to find the statistical model that best describes the growth pattern of Lemon 'Rugoso' rootstock (*Citrus jambhir* (Lusch.) in the nursery up to grafting diameter. Thus, the sowing was carried out in seedlings. 45 days after emerging, the seedlings were transplanted to 5 L pots with a substrate consisting of rice husks (40%), soil (40%), and commercial substrate (20%). Growth variables were evaluated every 30 days. For aerial growth, the following were quantified: neck diameter (DC), number of leaves (CH), stem length (LT), fresh mass of the stem (MFTa), fresh mass of leaves (MFH), dry mass of the stem (MSTa), dry mass of leaves (MSH). Also, root growth through root length (LR), fresh (MFR) and dry root mass (MSR), and total variables: total fresh mass (MFTotal), total dry mass (MSTotal), and full length (LT). To model growth curves, Logistic, Gompertz, and Monomolecular models were tested. The Gompertz model best fitted the rootstock growth over time for the aerial growth variables (except the number of leaves) and for the total variables (except the total length), while the Logistic model was the one that best adjusted the growth of the rootstock based on the time for the root growth variables. It was also suitable for the variables number of leaves and total length due to it presented a lower residual mean square of the error compared to the Logistic, Richards, and Monomolecular models.

Key words: Logistic model, Richards model, Monomolecular model, parameter comparison, citrus.

INTRODUCCIÓN

La producción mundial de fruta cítrica fresca fue de 3.565.001 toneladas, en el año 2019/2020. Argentina se encuentra entre los diez mayores productores con 3.636.000 toneladas anuales. Sin embargo, en el país la producción total de cítricos en el año 2021 estuvo en las 3.389.000 toneladas, con caída de producción en limones y fuerte descenso en los cítricos dulces en el nordeste argentino, lo cual agravará la situación de productores de esta región (Federcitrus, 2022).

Una amenaza para la citricultura mundial es la presencia del Huanglongbing (HLB), la enfermedad más devastadora de los cítricos a nivel global (Wang et al., 2017). El HLB fue encontrado en América en 2004, en Sao Paulo, Brasil y en el 2005 fue detectado en Florida, EE.UU. A la fecha, esta enfermedad ha sido reportada también en Carolina del Norte en EE.UU., Cuba, República Dominicana, Belice y Yucatán, México y en 2015 en Misiones-Argentina. Este patógeno se transmite y dispersa por *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) (García et al., 2016) el cual se encuentra presente en la mayoría de las provincias cítricas de la República Argentina, conocido comúnmente como "psílido asiático de los citrus o chicharrita de los citrus".

En Argentina se encuentra vigente el Programa Nacional de Prevención de HLB, que establece la obligatoriedad de la producción de plantas cítricas en ambientes protegidos de insectos vectores para la obtención de plantas sanas, por cobertura plástica de acuerdo a lo establecido en la normativa vigente para vivero cítrica (Res. 930/09 SENASA). Con un sistema de producción de plantines bajo cobertura se alcanza a promover el crecimiento tanto de masa verde, como desarrollo radicular en poco tiempo. Por lo tanto, es necesario el suministro de los nutrientes en las dosis adecuadas y equilibradas (Schäfer et al., 2006).

El comportamiento en el vivero de limón rugoso (*Citrus jambhiri* Luch.) es excelente, tiene uniformidad y vigor, resistencia a la caliza, medianamente resistente a la salinidad. Es muy sensible a *Phytophthora sp.*, resistente a la tristeza, exocortis y xyloporosis. En la zona de la cuenca limonera de Corrientes, el Limón Rugoso, presenta características interesantes, como su gran vigor y rápida entrada en producción. Aunque una desventaja es que presenta gran sensibilidad a la gomosis causado por *Phytophthora parasítica* (Agusti, 2010).

El tiempo para la obtención de plantas cítricas bajo cobertura plástica, a través de injertos, oscila entre 18 y 36 meses, dependiendo del clima de la región y el nivel tecnológico del vivero (Abou-Rawash et al., 1998). Sin embargo, con un manejo óptimo de la nutrición de las plantas este tiempo puede disminuir, lo cual reduce el costo de producción de plantas y permite un mejor aprovechamiento de la estructura por el menor tiempo de permanencia de las plantas en el sistema de propagación (Agusti, 2010).

En frutales se ha establecido que existe relación entre el desarrollo de la raíz y parte aérea, para optimizar la utilización de fotoasimilados y otros compuestos que son empleados para el crecimiento de brotes y definen el tamaño del dosel que captura luz para la fotosíntesis. El crecimiento de la raíz está definido por el volumen de suelo que la planta explora para la obtención de agua y nutrientes (Hsiao, 2000; Pérez-Pérez et al., 2008). En este sentido, el uso de sustratos orgánicos adecuados para la producción de portainjertos cítricos es de los principales problemas en la producción de plántulas. Hay estudios sobre el efecto de sustratos compuestos de acícula de *Pinus spp.* y un sustrato comercial alcalino a diferentes concentraciones sobre el crecimiento y desarrollo del portainjerto *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. Se evaluó el desarrollo de 'Trifoliata' en distintas mezclas (v:v) de un sustrato comercial (Vida®) a base de corteza de eucalipto y acículas de *Pinus spp.* (0,25, 50, 75 y 100 %) con dos granulometrías (3,5 y 8,0 mm). Durante el desarrollo del cultivo, se detectó mayor altura en aquellas plantas de *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. cultivadas en sustrato comercial a base de corteza de eucalipto solo o con 25 % de acícula, independientemente del tamaño de partícula. El diámetro del cuello de las plantas presentó un comportamiento semejante al que ocurrió con la altura. Se detectó una reducción en el diámetro del portainjerto 'Trifoliata' a medida que aumentó el porcentaje de acícula en la mezcla, independientemente del tamaño empleado. En este mismo parámetro, el tratamiento que contenía únicamente sustrato comercial fue superior a los que tenían acícula en sus diferentes concentraciones, esto como consecuencia de su mayor fertilidad inicial. En cuanto al peso seco del portainjerto, los tallos presentaron valores superiores, seguidos de las raíces y las hojas. Se comprobó que el crecimiento de la planta está relacionado directamente con la fertilidad del medio de cultivo. Los tratamientos con mayor fertilidad al inicio del experimento aceleraron el crecimiento de las plantas, ocasionando la acumulación de materia seca tanto en la raíz como en la parte aérea (Ceccagno et al., 2019).

Si se tiene mediciones realizadas a través del tiempo de datos de crecimiento de un individuo, se puede encontrar una función apropiada que permitiría predecir anticipadamente el tamaño del individuo en un tiempo determinado (Avanza, 2011).

Numerosas funciones matemáticas no lineales han sido propuestas para modelar estas curvas. Algunas de ellas son la Gompertz, Logística y Monomolecular (Richards, 1959). Las curvas de crecimiento en los vegetales reflejan el comportamiento de la planta u órgano en un ecosistema en particular; por lo tanto, su elaboración es importante para realizar una adecuada aplicación de las medidas culturales de manejo (Casierra-Posada et al., 2004).

Mateus Cagua y Orduz Rodríguez (2016) evaluando la evolución de las variables vegetativas y reproductivas de un lote de naranja 'Valencia' (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) injertada sobre mandarina Cleopatra (*Citrus reshni* Hort ex Tan) en suelos Oxisoles en tres distancias entre filas (8,7 y 6 m) y dos distancias entre plantas (5 y 4 m) mediante el modelo de regresión no lineal (Montgomery, 1991) encontraron que en condiciones del trópico bajo húmedo la distancia entre plantas resultó ser la variable con mayor influencia sobre el comportamiento vegetativo y productivo. Las menores distancias entre plantas (4 m) presentaron los menores rendimientos, lo que incidió en la rentabilidad de los tratamientos. La mayor competencia se presentó con la distancia de 4 m y en menor proporción con 5 m entre plantas. El aumento en las densidades de plantación debe estar acompañado del uso de patrones que induzcan plantas de porte medio a bajo que permitan aumentar la densidad de siembra en cultivos de naranja 'Valencia'.

En un trabajo realizado por Avanza et al. (2008) se propusieron encontrar el modelo estadístico que mejor describa el patrón de crecimiento de frutos de naranjo dulce var. 'Valencia late' en los departamentos de Concepción y General Paz, provincia de Corrientes, Argentina. Para ajustar dichas curvas de crecimiento evaluaron y compararon los modelos de tipo sigmoideo: Logístico, Gompertz, Weibull, Morgan Mercer Flodin, Richards, y reparametrizaciones de los modelos Logístico y Gompertz. Como criterios de selección del modelo, se compararon las estimaciones de la varianza residual para los distintos modelos. En este modelo, β y γ presentan valores similares para todos los tamaños de fruto en Concepción, y diferentes valores por tamaño de fruto en General Paz; los valores de α difieren entre tamaño de frutos en ambos sitios de muestreo. Por esta razón, es necesaria una familia de curvas para las diferentes situaciones. En diversos artículos se analizaron modelos no lineales en distintas especies en diferentes estadios fenológicos. Sin embargo, la literatura es escasa en la descripción del crecimiento del portainjerto limón rugoso (*Citrus jambhiri* Lush.) bajo condiciones de vivero. Por esta razón este estudio tuvo como objetivo evaluar las variables de crecimiento en función del tiempo que inciden en el desarrollo del portainjerto Limón 'Rugoso' (*Citrus jambhiri* Lusch.) bajo condiciones de vivero hasta diámetro de injertación. A continuación, se presentan las ecuaciones matemáticas correspondientes a estas funciones según Draper y Smith (1981). El significado biológico de los parámetros, α , β y γ , en los modelos de crecimiento sigmoideal, corresponden a los siguientes aspectos de las curvas de crecimiento:

α , es el parámetro relacionado con la asíntota superior. En el modelo logístico Richards el valor de α es la asíntota superior, mientras que en Gompertz la asíntota será e^α .

β , este parámetro está relacionado con la ordenada al origen de la función. En el modelo de Weibull, indica la diferencia entre la asíntota superior y la ordenada al origen. En todos los casos, este parámetro determina la posición de la intercepción de la función con el eje de ordenadas.

γ , este parámetro está relacionado con la velocidad de crecimiento de la curva, desde un valor inicial determinado por la magnitud de β hasta un valor final determinado por la magnitud de α .

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del experimento

El material vegetal que se utilizó fue el portainjerto limón 'Rugoso' (*Citrus jambhiri* Lush), obtenido de semillas certificadas, las cuales se sembraron el 09/06/2016 en una cama de siembra con sustrato comercial Grow mix multipro® cuya composición es la siguiente: turba de musgo sphagnum de fibras medias, compost de corteza, cal calcita, cal dolomita, agentes humectantes, materia orgánica 85-90%, pH entre 5,2- 5,8 y conductividad eléctrica entre 0,3-0,45 mmhos·cm⁻¹. Una vez obtenidos los plantines, a los 60 días desde la emergencia se trasplantaron el 07/08/2016 a macetas para cítricos de 5 litros con un sustrato constituido por: cascarilla de a-



rróz (40 %), suelo (40 %) y sustrato comercial (20 %), el mismo que se utilizó para la cama de siembra. Las características del suelo utilizado fueron: pH: 5,40; MO (%): 1,28; N (%): 0,07; Calcio [Ca^{++} ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$): 4,4; Magnesio [Mg ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$): 1,2; Potasio [K^+ ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$): 0,4.

El ensayo recibió 3 g por maceta de un fertilizante cuya formulación es: 12% N; 11% PO_5 ; 18% K_2O ; 2,7% S más micronutrientes: 0,015% B; 0,2% Fe; 0,02% Mn; 0,02% Zn; fraccionado en tres aplicaciones de 1 g cada 45 días. También se realizaron tratamientos fitosanitarios durante el ensayo cada 20 días para prevenir plagas y enfermedades, basados en oxiclورو de cobre, imidacloprid al 38 % más aceite vegetal al 5 %, abamectina al 1,8 %.

Las fechas de aplicación de fertilizantes fueron: primera aplicación, 15 días después del trasplante el 21/08/2016, la segunda aplicación fue el 06/11/2016 y la tercera el 21/12/2016.

El ensayo se llevó adelante hasta que los plantines llegaron a un diámetro de 4,5 mm, medida que permite la injertación. El diámetro del tallo de la planta se registró mediante calibre digital (marca KLD, $p=0,01$ mm/división) a 15 cm, de altura del tallo respecto del sustrato.

Variables en estudio

Se evaluaron variables que describen el crecimiento, registrándose valores cada 30 días, comprendidos entre agosto del 2016 a diciembre de 2016, totalizando 5 fechas de registro sobre una muestra constituida por dos líneas de 16 plantines cada una. Las variables que describen el crecimiento se agruparon según crecimiento aéreo y crecimiento de raíz y son las que se detallan a continuación:

- Crecimiento aéreo: diámetro de cuello (DC, mm); número de hojas (N° Hojas), largo del tallo (LT, cm); masa fresca del tallo (MFT, g), masa fresca de las hojas (MFH, g), masa seca del tallo (MST, g); masa seca de las hojas (MSH, g).

- Crecimiento de raíz: largo de raíz (LR, cm), masa fresca de la raíz (MFR, g) y masa seca de la raíz (MSR, g).

- También se analizaron variables totalizadoras: masa fresca total (MFT, g); masa seca total (MST, g) y largo total (LT).

Los datos fueron registrados mediante balanza digital. La masa fresca fue registrada inmediatamente después de la extracción de las muestras y la masa seca fue medida luego del secado en estufa a 60-65 °C hasta masa constante.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de regresión no lineal el cual permitió obtener los estimadores de los parámetros. Una vez realizadas las estimaciones, se seleccionó el modelo que mejor ajustó a cada una de las variables. La comparación de modelos alternativos de regresión no lineal se basó en varios criterios, en los cuales se busca que el cuadrado medio del error (CM_{Error}), el número de parámetros del modelo, el error estándar de las estimaciones de los parámetros tenga el menor valor y que los coeficientes estimados no se encuentren altamente correlacionados (Di Rienzo et al., 2022). Los modelos propuestos para ver el comportamiento de las diferentes variables (Tabla 1).

Tabla 1. Modelos matemáticos propuestos para curvas del tipo sigmoideas

Modelos	Ecuaciones ⁽¹⁾
Logístico	$y = \frac{\alpha}{(1 + \beta e^{-\gamma x})}$
Monomolecular	$y = \alpha(1 - \beta e^{-\gamma x})$
Gompertz	$y = \alpha e^{-\beta e^{-\gamma x}}$
Richards	$y = \alpha(1 + \beta e^{-\gamma x})^\delta$

⁽¹⁾y: variable independiente; x: variable regresora; α , γ y β parámetros. Ecuaciones matemáticas correspondientes a estas funciones según Draper y Smith (1981) y Balzarini, et al. (2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las variables DC (mm), LT (cm), MFT (g), MST (g), MFH (g) y MSH (g), MFT(g) y MST (g) presentan un buen ajuste con respecto al modelo Gompertz, pero se puede observar que las variables LR (cm), MFR (g) y MSR (g) y LTR (cm) se ajustan mejor a un modelo logístico.

A continuación se presentan los modelos seleccionados para cada variable:

1. Variables de crecimiento aéreo

El modelo Gompertz fue el que mejor se ajustó al crecimiento del portainjerto con respecto a las variables de crecimiento aéreo. El parámetro gamma (γ), el cual determina la velocidad de crecimiento, posee menor error de estimación y es altamente significativo (Tabla 2 y Figura 1).

Tabla 2. Modelo Gompertz para el largo de tallo (LT, cm), diámetro del cuello (DC, mm), masa fresca del tallo (MFTa, g) y masa seca del tallo (MSTa, g) con sus respectivos cuadrados medios del error (CME), estimación del parámetro (EP) y error estándar (EE) para los parámetros Alfa (α), Beta (β) y Gamma (γ).

Variables	CME	Coeficientes del modelo					
		α		β		γ	
		EP	EE	EP	EE	EP	EE
LT (cm)	108,96	136,07 ^(**)	21,67	7,07 ^(**)	1,17	0,53 ^(**)	0,09
DC (mm)	0,61	12,92 ^(**)	2,10	3,77 ^(**)	0,25	0,39 ^(**)	0,07
MFT (g)	10,39	29,72 ^(**)	4,22	18,41 ^(NS)	7,44	0,79 ^(**)	0,15
MST (g)	1,03	9,60 ^(**)	1,89	15,95 ^(NS)	6,6	0,71 ^(**)	0,16

(**): $p < 0,01$; (*): $p < 0,05$; (NS): no significativo

La parametrización de los coeficientes del modelo de Gompertz, para las variables de crecimiento aéreo del portainjerto suministra una información muy valiosa, ya que permite estimar la evolución en el tiempo para cada una de las variables evaluadas.

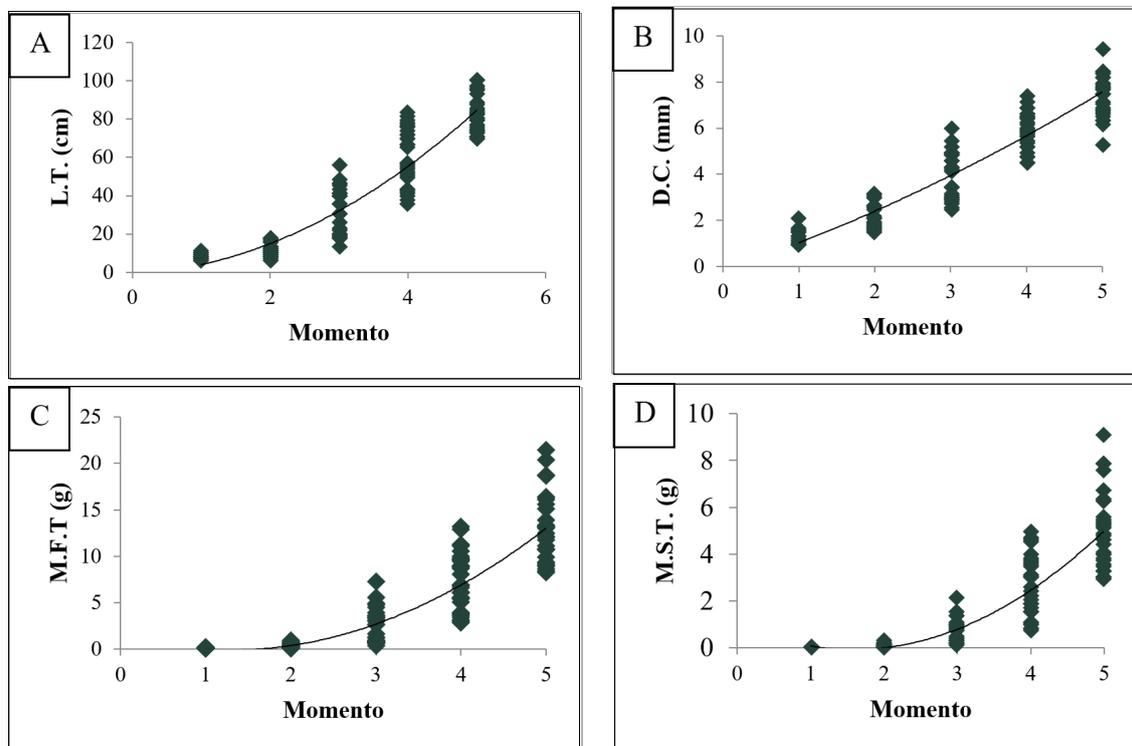


Figura 1. Curva de crecimiento a través del tiempo de la producción de portainjerto Limón 'Rugoso' (*Citrus jambhiri* Lusch.) y su ajuste al modelo Gompertz con respecto a largo de tallo (1A, LT, cm), diámetro de cuello (1B, DC, mm) masa fresca del tallo (C, MFT, g) y masa seca del tallo (D, MST, g).

Sin embargo, el número de hojas (N° Hojas) obtuvo un mejor ajuste con el modelo logístico (ver Tabla 3 - Figura 2). En un trabajo realizado por Ardila (2011), donde caracterizó el crecimiento de frutos de tres híbridos de tomate en el tiempo, determinó que la función logística describió el diámetro de los frutos del primer racimo hasta la maduración en los tres cultivares. Sin embargo, Astegiano et al., (2001) trabajando en la estimación del área foliar en distintos cultivares de tomate encontró que la función lineal, estima el área foliar que relaciona las magnitudes del ancho y largo foliar.

Tabla 3. Modelos que describen la masa fresca de las hojas (MFH, g), masa seca de las hojas (MSH, g) y número de hojas (N° Hojas) con sus respectivos cuadrados medios del error (CME), estimación del parámetro (EP) y error estándar (EE) para los parámetros Alfa (α), Beta (β) y Gamma (γ).

Variables	Modelos	CME	Coeficientes del modelo					
			α		β		γ	
			EP	EE	EP	EE	EP	EE
MFH (g)	Gompertz	5,57	23,47 ^(**)	7,08	16,42 ^(*)	8,04	0,66 ^(**)	0,19
MSH (g)	Gompertz	1,00	10,53 ^(*)	4,64	18,88 ^(NS)	11,71	0,65 ^(**)	0,24
N° Hojas	Logístico	32,18	59,02 ^(**)	7,62	38,82 ^(**)	8,24	0,91 ^(**)	0,11

(**): $p < 0,01$; (*): $p < 0,05$; (NS): no significativo

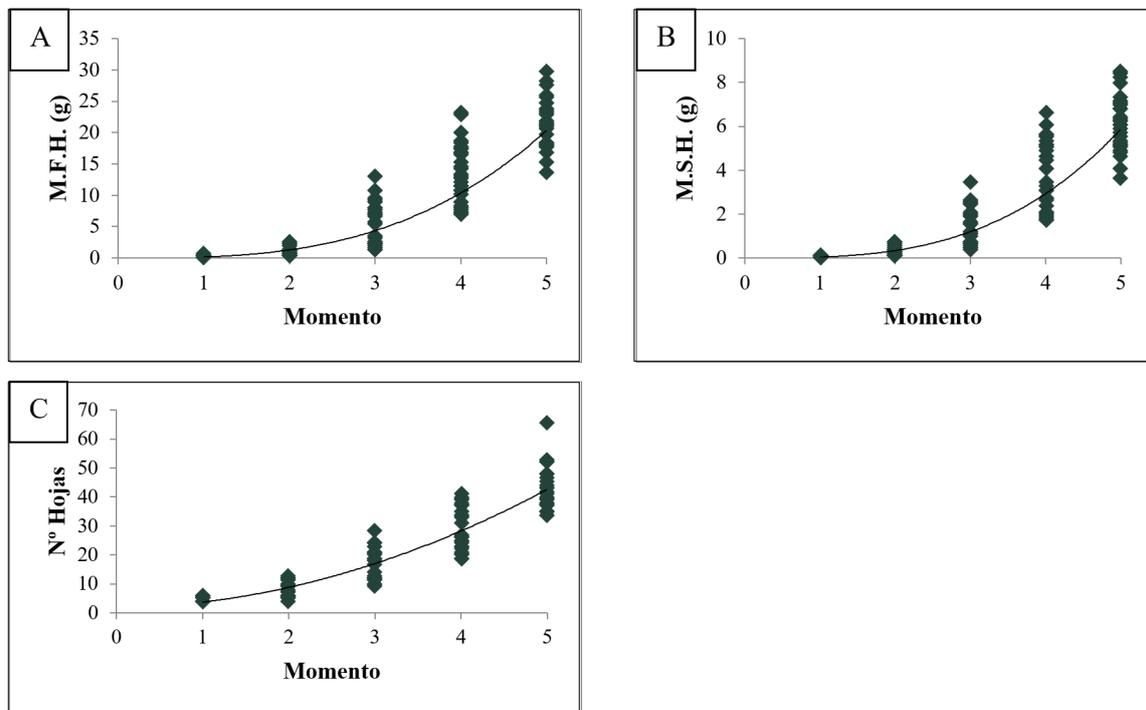


Figura 2. Curva de crecimiento a través del tiempo de la producción de portainjerto Limón 'Rugoso' (*Citrus jambhiri* Lusch.) y su ajuste al modelo Gompertz con respecto a la variable masa fresca (2A, MFH, g) y masa seca (b) de las hojas (2A, MSH, g) y su ajuste al modelo logístico con respecto a la variable número de hojas (N° Hojas).

2. Variables de crecimiento radicular

El modelo logístico obtuvo mejor ajuste al crecimiento del portainjerto con respecto a las variables de crecimiento radicular, presentando el parámetro gamma altamente significativo (ver tabla 4 y figura 3), siendo gama (γ) el parámetro que determina la velocidad de crecimiento y posee menor error de estimación.

Tabla 4. Se presentan los modelos Logístico para el largo de raíz (LR), masa fresca (MFR) y masa seca (MSR), con sus respectivos cuadrados medios del error (CME), estimación del parámetro (EP) y error estándar (EE) para los parámetros Alfa (α), Beta (β) y Gamma (γ).

Variables	Modelos	CME	Coeficientes del modelo					
			α		β		γ	
			EP	EE	EP	EE	EP	EE
LR (cm)	Logístico	74,85	55,74 ^(**)	1,80	15,89 ^(**)	5,13	1,31 ^(**)	0,16
MFR (g)	Logístico	33,70	54,93 ^(*)	23,07	769,13 ^(NS)	612,72	1,38 ^(**)	0,33
MSR (g)	Logístico	1,49	13,54 ^(NS)	7,94	792,48 ^(NS)	530,32	1,32 ^(**)	0,34

(**): $p \leq 0,01$; (*): $p \leq 0,05$; (NS): no significativo

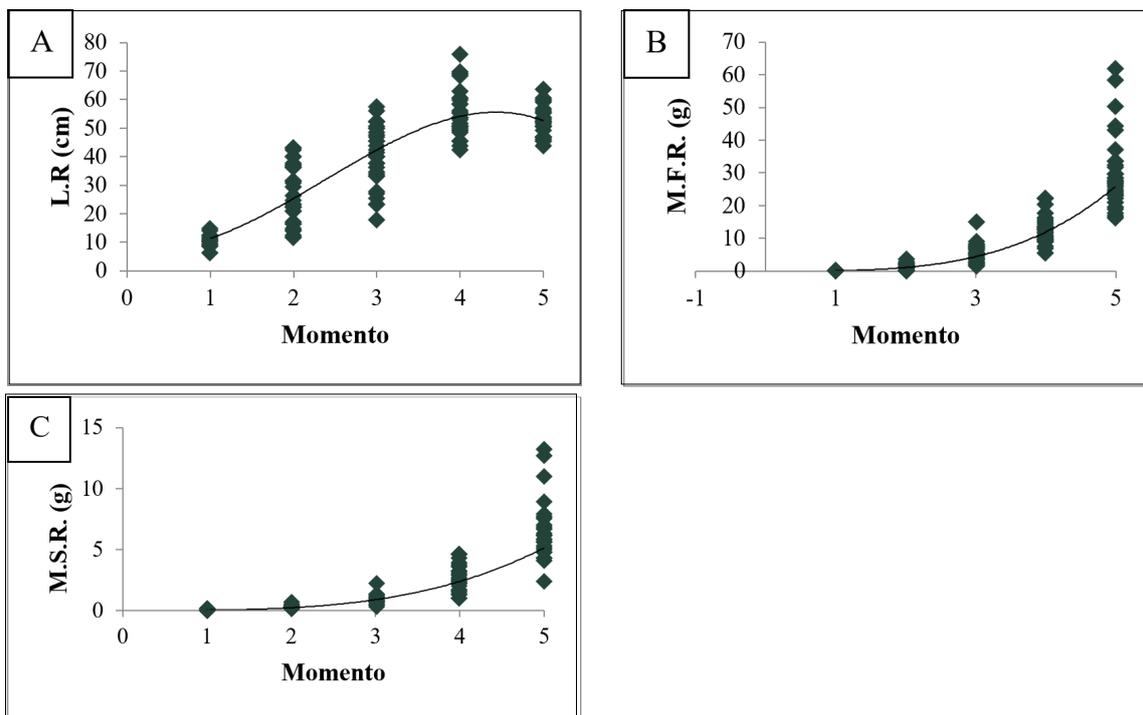


Figura 3. Curva de crecimiento a través del tiempo de la producción de portainjerto Limón 'Rugoso' (*Citrus jambhiri* (Lusch.) y su ajuste al modelo logístico con respecto a la variable largo de raíz (3A, LR, cm), masa fresca de la raíz (2B, MFR, g) y masa seca de la raíz (3C, MSR, g) de raíz.

3. Variables totales

El modelo Gompertz obtuvo mejor ajuste al crecimiento del portainjerto con respecto a las variables totales (tabla 5 y figura 4), presentando el parámetro gamma (γ) altamente significativo como se puede apreciar. Sin embargo, la variable largo total (LT, cm) obtuvo mejor ajuste con el modelo Logístico.

Avanza (2011) trabajó en naranjo dulce analizando los modelos Logístico, Gompertz y Monomolecular para describir el crecimiento de frutos y obtuvo valores diferentes a los resultados presentados aquí. Se estima que las diferencias observadas en los resultados del modelo se deben a que los órganos medidos fueron diferentes. Naturalmente los frutos describen una forma determinada en su crecimiento en relación con los órganos vegetativos. Asimismo, Chabbal et al., (2015) trabajaron modelando la producción de naranja Valencia sobre diferentes portainjertos en EEA INTA Concordia, Entre Ríos, Argentina, encontrando que los modelos Logísticos fueron los que mejor ajustaron al comportamiento de la producción en el tiempo.

Tabla 5. Se presentan los modelos Gompertz para masa fresca total (MFT, g) y masa seca total (MST, g) y para el largo total (LT, cm), el modelo Logístico con sus respectivos cuadrados medios del error (CME), estimación del parámetro (EP) y error estándar (EE) para los parámetros Alfa (α), Beta (β) y Gamma (γ).

Variables	Modelos	CME	Coeficientes del modelo					
			α		β		γ	
			EP	EE	EP	EE	EP	EE
MFTI (g)	Gompertz	108,23	193,00 ^(NS)	107,86	10,46 ^(**)	3,01	0,45 ^(**)	0,15
MST (g)	Gompertz	9,03	49,36 ^(**)	26,79	12,46 ^(**)	4,68	0,50 ^(**)	0,18
LT (cm)	Logístico	270,01	152,05 ^(**)	7,36	26,45 ^(**)	5,98	1,08 ^(**)	0,10

(**): $p < 0,01$; (*): $p < 0,05$; (NS): no significativo

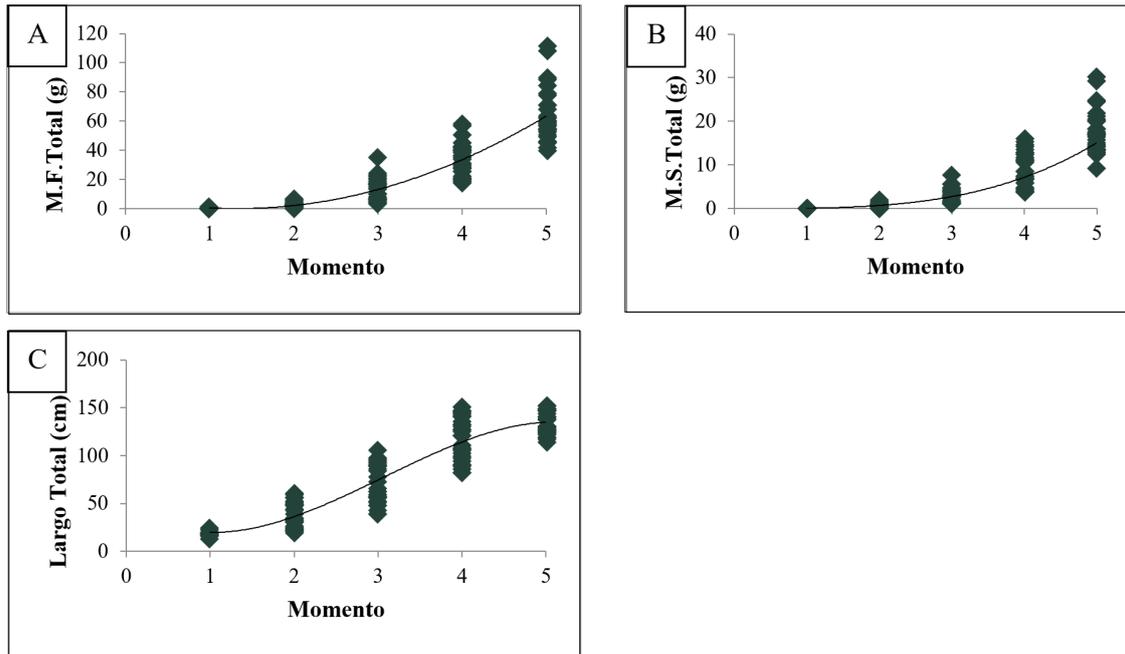


Figura 4. Curva de crecimiento a través del tiempo de la producción de portainjerto Limón 'Rugoso' (*Citrus jambhiri* (Lusch.) y su ajuste al modelo Gompertz con respecto a la variable masa fresca (4A, MFTotal, g) y masa seca total (4B, MSTotal, g) y largo total (4C, LT, cm).

CONCLUSIONES

El modelo no lineal tipo Gompertz fue el que mejor se ajustó al crecimiento del portainjerto en función del tiempo para las variables de crecimiento aéreo (a excepción del número de hojas) y para las variables totales (a excepción del largo total), debido a que presentó menor cuadrado medio residual del error comparado con los modelos Logístico, Richards y Monomolecular.

El modelo no lineal tipo Logístico fue el que mejor se ajustó al crecimiento del portainjerto en función del tiempo para las variables de crecimiento radicular como así también obtuvo buen ajuste para las variables número de hojas y largo total debido a que presentó menor cuadrado medio residual del error comparado con los modelos Gompertz, Richards y Monomolecular.

REFERENCIAS

- Abou-Rawash, M.; El-Wekeel, H. F., Kassem, N., Mohamed, E. A. (1998). Studies on the vegetative propagation of some rootstocks. *Annals Agric. Sci., Ain Shams Univ. Cairo*, 43: 523-537.
- Agusti, M. (2010). *Fruticultura*. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.

- Ardila, G. A.** (2011). Caracterización del crecimiento del fruto y producción de tres híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en tiempo fisiológico bajo invernadero. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 5 (1): 44-56.
- Astegiano, E. D., Favaro, J. C. y Bouzo, C. A.** (2001). Estimación del área foliar en distintos cultivares de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) utilizando medidas foliares lineales. *Invest. Agr. Prod. Prot. Veg.*, 16: 249-256.
- Avanza, M. M., Bramardi, S. J., Mazza, S.M.** (2008). Statistical models to describe the fruit growth pattern in sweet orange 'Valencia late'. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 6 (4): 577-585.
- Avanza, M. M.** (2011). Desarrollo de una propuesta metodológica para la predicción de cosecha de naranjo dulce (*Citrus sinensis* L. Osbeck) var. Valencia late en la provincia de Corrientes, Argentina. PhD Tesis, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Nordeste, Argentina.
- Casierra-Posada, F., Barreto, E. V. y Fonseca, O. L.** (2004). Crecimiento de frutos y ramas de duraznero (*Prunus persica* c.v. Conservero) en los altiplanos colombianos. *Agronomía Colombiana*, 22 (1): 40-45.
- Ceccagno, H., Dutra-De Souza, P. V., Schafer, G., Demari-Avrella, E., Sidnei-Fior, C., Schwarz, S. F.** (2019). Potential of Pinus sp. needles for use as substrate conditioners in the production of 'Trifoliata' rootstock in greenhouses. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 25 (1): 5-16.
- Chabbal, M. D., Giménez, L. I., Garavello, M.F., Alayón Luaces, P., Rodríguez, V. A., Mazza, S. M.** (2015). Caracterización de naranjo Valencia Late sobre diferentes portainjertos en "Entre Ríos", Argentina. *Cultivos Tropicales*, 36(4): 94-99.
- Draper, N. R. y Smith. H.** (1981). *Applied Regression Analysis*. 2nd Edition, John Wiley & Sons, New York.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M. y Robledo, C.W.** (2017). InfoStat versión 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- Federcitrus** (2022). Federación Argentina del Citrus. La Actividad Citrícola Argentina. Disponible en: <https://www.federcitrus.org/>
- García, Y., Ramos, Y. P., Sotelo, P. A. y Kondo, T.** (2016). Biología de *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) bajo condiciones de invernadero en Palmira, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 42 (1): 36-42.
- Hsiao, T. C.** (2000). Leaf and root growth in relation to water status. *HortScience*, 35 (6): 1051-1058.
- Mateus Cagua, D. y Orduz Rodríguez, J. O.** (2016). Efecto de distancias de plantación sobre el rendimiento y crecimiento vegetativo de la naranja 'Valencia' (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) en el trópico bajo húmedo de Colombia. *ORINOQUIA*, 20 (1): 19-27.
- Montgomery, D. C.** (1991). *Introduction to Statistical Quality Control*. New York, E. U.: John Wiley & Sons.
- Pérez Pérez, J. G., Romero, P., Navarro, J. M. y Botía, P.** (2008). Response of sweet orange cv 'Lane late' to deficit irrigation in two rootstocks. I. Water relations, leaf gas exchange, and vegetative growth. *Irrigation Science*, 26 (2): 415-425.
- Schäfer, G., Dutra De Souza, P. V., Koller, O. C. y Schwarz, S. F.** (2006). Desarrollo vegetativo de patrones cítricos cultivados en condiciones de invernadero bajo dos sistemas de riego. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 28 (2): 227-230.
- Richards, F. J.** (1959). A flexible growth functions for empirical use. *J Exp Biol.*, 10: 290.
- Wang, N., Pierson, E. A., Setubal, J. C., Xu, J., Levy, J. G., Zang, Y., Li, J., Rangel, L.T. y Martins, J.** (2017). The candidatus Liberibacter-host interface: Insights into pathogenesis mechanisms and disease control. *Annu. Rev. Phytopathol.*, 55: 20.1-20.32.