



TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

MODELOS DE CRECIMIENTO DE FRUTOS DE LIMONERO 'EUREKA' DE LA PROVINCIA DE CORRIENTES, ARGENTINA

“Eureka” Lemon Tree Fruits Growth Models in Corrientes, Argentina

Hidalgo, Melisa J.; Bóbeda, Griselda R.R.; Chabbal, Marco D.; Ponce de León, Lucía M.; Giménez, Laura I.¹

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Nordeste. Sargento J. B. Cabral 2131 (3400) Corrientes, Argentina. Correo electrónico: lauraitatigimenez@gmail.com

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue modelar el crecimiento de limonero 'Eureka' (*Citrus limón* (L.) Burn f) injertado sobre Limón Rugoso (*Citrus jambhiri* Lush), desde los 60 días después de plena floración hasta la cosecha, en plantaciones comerciales, de la provincia de Corrientes, Argentina. Para ello se registró el diámetro ecuatorial de frutos desde los 60 días después de plena floración hasta el momento de cosecha en cuatro ambientes de la provincia de Corrientes, Argentina. Para describir el crecimiento se compararon los modelos no lineales de tipo sigmoideo: logístico, Gompertz y monomolecular. Se utilizaron como criterios de selección de los modelos: AIC, BIC y el CME (cuadrado medio del error). La precisión del modelo seleccionado se obtuvo mediante validación cruzada. Los modelos seleccionados para describir el crecimiento de frutos de limonero 'Eureka' fueron los modelos monomolecular y logístico, los cuales tuvieron un error de estimación que fue medido en términos del CME con valores menores a 20,03. Los parámetros estimados para los modelos seleccionados resultaron significativos ($p < 0,01$). De esta manera, productores, y empresas exportadoras cítricas de la región podrán contar con una herramienta con la que puedan predecir la producción al momento de cosecha y así para prever estrategias de comercialización.

Palabras clave: Limón; modelos no lineales; validación cruzada; criterio de información Akaike

ABSTRACT

The objective of this work was to model the growth of 'Eureka' lemon tree fruit (*Citrus limón* (L.) Burn f) grafted on Rugoso lemon tree (*Citrus jambhiri* Lush), since 60 days after full bloom until harvest, in commercial plantations in Corrientes, Argentina. Thus, the equatorial diameter of the fruits was determined 60 days after full blooming up to the harvest in four different environments. To describe the growth, non-linear sigmoid-type models were compared: logistic, Gompertz, and monomolecular. The selection criteria for the models were: AIC, BIC and CME (mean square error). The accuracy of the obtained model was calculated by cross-validation. The models selected to describe the growth of 'Eureka' lemon tree fruits were monomolecular and logistic, which had an estimation error that was measured in terms of CME with values less than 20.03. The estimated parameters for the selected models were highly significant ($p < 0.01$). In this way, producers and citrus exporting companies in the region will have a tool with which they can predict production during harvesting and anticipate marketing strategies.

Keywords: Lemon tree; nonlinear models; cross-validation; Akaike information criteria

Recibido: 03/Ago/2020. Aceptado: 14/Sept/2021



INTRODUCCIÓN

La producción de Limón (*Citrus limón* (L.) Burm.f.) en la Argentina es de aproximadamente 1.675.851 Tn con una superficie implantada de 53.744 ha. La región productora de limón en la Argentina se extiende a dos zonas del territorio nacional: una zona es el Noroeste (NOA), donde se producen limones, naranjas y en menor medida pomelos. La mayor producción de limones de 1.300.000 Tn se concentra en la provincia de Tucumán, seguida por la provincia de Salta de 240.270 Tn. La otra zona es el Noreste (NEA) (Formosa, Corrientes y Misiones) que concentra aproximadamente 19% de la producción total, donde predominan los cultivos de cítricos dulces como las naranjas y mandarinas. Las plantaciones comerciales de limonero, en la provincia de Corrientes, es de 60.515 Tn y ocupan el tercer lugar siguiendo a las plantaciones de naranjo y mandarino (Federcitrus, 2018; Molina et al., 2019).

En la provincia de Corrientes, la región constituida por los departamentos de Bella Vista, Concepción, Saladas, San Roque, San Miguel, Lavalle, Goya, Ituzaingó, Mburucuyá, Empedrado y Esquina el limón es la principal especie plantada, reemplazando a los cítricos dulces. La variedad predominante en estos cultivos es 'Eureka', la cual se caracteriza por plantas vigorosas con dos importantes floraciones durante el año, en verano e invierno. Brindando la posibilidad al productor de obtener producción con fines industriales y fruta para mercado en fresco. En los últimos años, se ha registrado un aumento en los rendimientos por hectárea de este cultivo (Molina et al., 2019).

El poder contar con información anticipada de los rendimientos, crecimiento de los frutos, calibres comerciales a obtener al momento de cosecha se ha vuelto un requisito previo para todos los actores de la cadena citrícola, desde productores, comerciantes, transportistas y minoristas, para lograr competir en los mercados nacionales e internacionales. El modelado del crecimiento del fruto es crucial para predecir la producción por árbol. El incremento del tamaño de los frutos hasta la cosecha y la relación del peso con el diámetro ecuatorial son componentes importantes para realizar predicciones del volumen de producción. Con el ajuste de un modelo de crecimiento se puede predecir el tamaño del fruto en cualquier momento previo a la cosecha (Avanza et al., 2008).

Numerosas funciones matemáticas han sido propuestas para modelar las curvas de crecimiento. Las más utilizadas son logístico, Gompertz, también la de Richards (1959), Morgan-Mercer-Flodin (1975) y los modelos derivados de la distribución Weibull, Ratkowsky, (1983). Avanza et al., (2008) encontraron que el modelo más adecuado para describir el patrón de crecimiento de los frutos de naranjo 'Valencia late' fue el modelo logístico en la quinta reparametrización, según Ratkowsky (1983), definidos para tres tamaños de frutos (pequeño, mediano y grande) y además las curvas varían en función del lote. Chacín et al. (2012), encontraron que en el cultivo de lima de 'Tahití', el desarrollo del fruto siguió un modelo sigmoideo desde anthesis hasta maduración, caracterizado por tres fases. Bóveda et al., (2017) desarrollaron una tabla de crecimiento de frutos que permitió pronosticar anticipadamente los calibres comerciales al momento de cosecha de 'Tangor Murcott', ajustando un modelo de regresión no-lineal logístico en su quinta reparametrización. En función de estos resultados se construyó una tabla de crecimiento del diámetro ecuatorial en función de los días después de plena floración. Esposti et al. (2008), determinaron que el desarrollo de frutos de mandarino 'Poncã' (*Citrus reticulata*, Blanco), en Viçosa – Minas Gerais, siguió una curva de tipo sigmoide simple.

Basado en la importancia comercial que ha adquirido el limón 'Eureka' estos últimos años y teniendo en cuenta que se dispone de escasa información respecto de esta especie en la región, el objetivo de este trabajo fue modelar el crecimiento de limonero 'Eureka' (*Citrus limón* (L.) Burn f) injertado sobre Limón Rugoso (*Citrus jambhiri* Lush), desde los 60 días después de plena floración hasta la cosecha, en plantaciones comerciales, de la provincia de Corrientes, Argentina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lotes Experimentales

En la provincia de Corrientes, Argentina, durante las campañas 2017, 2018 y 2019, se recolectaron datos en lotes comerciales de limonero 'Eureka' (*Citrus limón* (L.) Burn f) injertado sobre Limón Rugoso (*Citrus jambhiri* Lush), ubicados en Lomas de Empedrado (Departamento de Empedrado) y San Lorenzo (Departamento de Saladas), aunque en este último lote sólo se realizaron mediciones durante la campaña 2017 (Tabla 1).

Tabla 1. Descripción de los lotes por campaña de limonero 'Eureka' (*Citrus limón* (L.) Burn f) en Lomas de Empedrado, Departamento de Empedrado y San Lorenzo, Departamento de Saladas, Argentina por denominación y geoposición de 2017 a 2019.

Campaña	Denominación del lote	Geoposición	Nº PL*	Edad	Nº M	DC
2017	Lomas de Empedrado	27°52'54.7"S 58°48'16.5"W	2181	6	9	206
2017	San Lorenzo	28°14'31.5"S 58°49'59.6" W	875	6	8	256
2018	Lomas de Empedrado	27°52'54.7"S 58°48'16.5"W	2181	7	5	214
2019	Lomas de Empedrado	27°52'54.7"S 58°48'16.5"W	2181	8	7	203

*número total de plantas (Nº PL), edad de los árboles en años (, número de muestreos realizados (Nº M) y total de días a cosecha (DC).

En todos los lotes de estudio el marco de plantación es de 4 m x 7 m, cuentan con sistema de riego por goteo y prácticas culturales similares las cuales son comunes en la región. El tipo de suelo en el lote de Lomas de Empedrado corresponde a la Serie Parada Coco, franco arenoso, susceptible a la erosión hídrica, mientras que en el lote de San Lorenzo el tipo de suelo corresponde a la serie Rincón de Ambrosio, franco arcillo arenoso, con buena aptitud agrícola presentando algunas limitaciones por susceptibilidad a la erosión hídrica (Escobar et al., 1996).

Muestreo y Variables

El método de muestreo utilizado fue el muestreo sistemático con arranque aleatorio. Se marcaron las diagonales en cada lote, se seleccionaron 20 plantas (unidad de muestreo - cada planta) sobre las dos diagonales en Lomas de Empedrado y 10 plantas en San Lorenzo, el criterio de considerar menos árboles en San Lorenzo fue debido a la homogeneidad del lote. Se descartaron las líneas perimetrales de los lotes evitando efecto de bordura. Posteriormente, de cada planta seleccionada se identificaron 30 frutos (unidad de observación - cada fruto) distribuidos en toda la copa del árbol a los cuales se les midió el diámetro ecuatorial (DE, mm) , 68 días después de plena floración (DDPF) primaveral hasta la cosecha en la campaña 2017 y desde 60 DDPF otoñal hasta la cosecha en las campañas 2018 y 2019. Las mediciones se iniciaron una vez terminados los manejos culturales y fueron referidas a DDPF, que correspondió al 80% de las flores abiertas. Los registros tuvieron una frecuencia de 15 a 30 días, dependiendo de las condiciones climáticas y la disponibilidad de recursos. Para las determinaciones del diámetro ecuatorial se utilizaron calibres digitales de dos dígitos.

Análisis Estadístico

Modelos de Crecimiento

El ajuste de los modelos no lineales se realizó utilizando el método Nelder-Mead en una primera fase, el cual no requiere la evaluación de derivadas. En una segunda fase se implementó el método de Levenberg-Marquardt partiendo de la solución obtenida anteriormente. Este último método requiere el cálculo de la matriz hessiana necesaria para el cálculo de la matriz de covarianzas de las estimaciones (Balzarini et al., 2008).

Los modelos no lineales fueron evaluados con los criterios de selección de modelos: AIC (criterio de información Akaike), BIC (criterio de información Bayesiano) y el CME (cuadrado medio del error). El criterio AIC tiene en cuenta los cambios en la bondad de ajuste y las diferencias en el número de parámetros entre dos modelos. Los mejores modelos serán aquellos que presenten los menores valores de AIC, BIC y CME (Tabla 2).

Tabla 2. Modelos no lineales evaluados en frutos de limonero 'Eureka' (*Citrus limón* (L.) Burn f) en Lomas de Empedrado, Departamento de Empedrado y San Lorenzo, Departamento de Saladas, Argentina de 2017 a 2019.

Modelo	Fórmula
Logístico	$DE = \alpha / (1 + \beta * e^{(-\gamma * DDPF)})$
Gompertz	$DE = \alpha * e^{-\beta (e^{-\gamma * DDPF})}$
Monomolecular	$DE = \alpha * (1 - \beta * e^{(-\gamma * DDPF)})$

DE: diámetro ecuatorial del fruto (mm); α , β , γ : son los parámetros del modelo; DDPF: días después de plena floración.

Para los distintos modelos estudiados, se utilizaron las letras α , β y γ , que representan los parámetros de cada modelo. Las interpretaciones de los parámetros en relación con las curvas de crecimiento: alfa (α) parámetro relacionado con la asíntota superior; beta (β) parámetro relacionado con la ordenada al origen de la función; gamma (γ) parámetro relacionado con la velocidad de crecimiento de la curva (Rawlings, 1988).

Validación Cruzada

Para investigar el desempeño de cada uno de los modelos en la predicción se utilizó el método de validación cruzada (Browne, 2000). Para ello, se particionó la totalidad de los datos originales en dos partes: el 80% de los datos se utilizó para la estimación de los modelos y el 20% restante se utilizó para medir la capacidad predictiva. Posteriormente, se calculó el cuadrado medio del error (CME), el cual es igual al promedio de la diferencia cuadrática de los valores observados y los valores predichos.

Para la validación cruzada se utilizó la función *nls* del paquete *stats*, del software RStudio versión 1.1.463 (R Team, 2018). El ajuste de los diferentes modelos y las estimaciones de los parámetros se realizaron con el software InfoStat versión 2018 (Di Rienzo et al., 2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Modelos de crecimiento evaluados

La evaluación de los modelos a través de los criterios de selección tuvo como objetivo elegir aquellos modelos que presentaron el mejor balance entre la capacidad de ajuste a los datos y la complejidad del modelo. En los tres modelos evaluados, logístico, Gompertz y monomolecular, se consideraron los criterios de selección AIC, BIC y el cuadrado medio del error (CME) obtenidos para cada modelo en las distintas combinaciones de campaña y lote estudiados. En la campaña 2017, se seleccionó el modelo de Gompertz en el lote de Lomas de Empedrado y el modelo monomolecular en el lote de San Lorenzo fueron los que mejor se ajustaron a los datos, ya que presentaron los menores valores de AIC, BIC y CME. Para las campañas 2018 y 2019, en el lote de Lomas de Empedrado el modelo logístico resultó ser el modelo que presentó un mejor ajuste a los datos de DE (Tabla 3).

Tabla 3. Modelos No lineales evaluados para estimar el crecimiento del fruto del limonero 'Eureka' (*Citrus limón* (L.) Burn f) en Lomas de Empedrado, Departamento de Empedrado y San Lorenzo, Departamento de Saladas, Argentina de 2017 a 2019. Considerando los criterios de selección AIC, BIC y CME

Campaña y Lote	Modelos	AIC	BIC	CME
2017, Lomas de Empedrado	Logístico	22636,88	22662,03	17,64
	Gompertz	22628,70	22653,85	17,60
	Monomolecular	22683,02	22708,16	17,84
2017, San Lorenzo	Logístico	11144,83	11167,25	14,94
	Gompertz	11126,78	11148,78	14,81
	Monomolecular	11109,99	11132,41	14,69
2018, Lomas de Empedrado	Logístico	14410,50	14410,25	11,99
	Gompertz	14424,87	14448,48	12,05
	Monomolecular	14455,15,	14478,76	12,18
2019, Lomas de Empedrado	Logístico	23554,19	23579,39	20,26
	Gompertz	23581,93	23607,13	20,40
	Monomolecular	23662,52	23687,72	20,81

*AIC (criterio de información Akaike), BIC (criterio de información Bayesiano) y el CME (cuadrado medio del error).

Evaluación de la precisión de los modelos

La capacidad predictiva de cada modelo en cada uno de los cuatro ambientes estudiados se evaluó a través de validación cruzada. Para ello se validaron los ajustes de los tres modelos: logístico, Gompertz y monomolecular. Los resultados obtenidos fueron evaluados en términos del cuadrado medio del error (CME) de las predicciones del diámetro ecuatorial de limonero. En la campaña 2017, en el lote de Lomas de Empedrado se observó que el modelo monomolecular fue el que presentó menor valor del CME de 17,41. En este punto se debe resaltar una diferencia respecto al análisis realizado previamente con los criterios de selección AIC, BIC y CME, en el cual el modelo Gompertz fue el modelo con los valores más bajos para esta campaña y lote en particular. Sin embargo, en función de los resultados obtenidos a través de la validación cruzada, el modelo monomolecular se presentó como un buen modelo predictor para esta campaña y lote. En la misma campaña 2017, en el lote de San Lorenzo se ratificó el modelo monomolecular con un valor de CME de 14,84. Para las campañas 2018 y 2019 en Lomas de Empedrado, de igual manera se ratificó que el modelo logístico fue el que mejor estimó el DE de los frutos del limonero 'Eureka', ya que obtuvo el menor valor de CME de 11,54 y 20,02 para cada campaña, respectivamente. Estos tres últimos modelos seleccionados luego de la validación cruzada coinciden con los modelos elegidos en el análisis anterior (tabla 4). En el ajuste de los modelos, se debe considerar que podrían afectar diversos factores tales como los ambientales, las prácticas culturales, el número de mediciones realizadas a lo largo de todo el ensayo y las campañas estudiadas.

Tabla 4. Modelos no lineales y valores del cuadrado medio del error (CME) obtenidos de la validación cruzada para estimar el crecimiento del fruto del limonero 'Eureka' (*Citrus limón* (L.) Burn f) en Lomas de Empedrado, Departamento de Empedrado y San Lorenzo, Departamento de Saladas, Argentina de 2017 a 2019.

Campaña y Lote	Número de Datos entrenamiento/ prueba	Modelos	CME
2017, Lomas de Empedrado	n = 3172 / n = 793	Logístico	17,54
		Gompertz	17,47
		Monomolecular	17,41
2017, San Lorenzo	n = 1608 / n = 402	Logístico	15,10
		Gompertz	14,96
		Monomolecular	14,84
2018, Lomas de Empedrado	n = 2328 / n = 503	Logístico	11,54
		Gompertz	11,63
		Monomolecular	11,74
2019, Lomas de Empedrado	n = 3293 / n = 824	Logístico	20,02
		Gompertz	20,06
		Monomolecular	20,10

Resultados semejantes se obtuvieron para la descripción del crecimiento del fruto de durazno (*Prunus pérsica* L.) bajo tres sistemas de manejo reportado por Martínez et. al., (2017) usando los modelos no lineales logístico, monomolecular y Gompertz. Los autores concluyeron que el modelo monomolecular fue el más adecuado para los tres sistemas de manejo probados. Adicionalmente, Rojas-Lara et. al., (2008) para la estimación del crecimiento el fruto de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) evaluaron los modelos: regresión lineal simple, regresión lineal múltiple y cuatro modelos no lineales (exponencial, Michaelis-Menten, monomolecular y logístico).

El modelo monomolecular tuvo mayor precisión en la estimación del peso fresco de fruto con los valores bajos del CME. Ortega-Farías et al., (2002) utilizaron el modelo monomolecular para desarrollar los modelos predictivos en vid para vinos (*Vitis vinifera* cv. Cabernet Sauvignon y Chardonnay). Peirs et al., (2002) propusieron un modelo logístico modificado para representar el patrón de índice de almidón sigmoideal durante el período previo a la cosecha para distintas variedades de manzanas ('Elstar', 'Cox's Orange Pippin', 'Golden Delicious', 'Jonagold', 'Royal Gala', 'Braeburn', y 'Boskoop'). Avanza et al., (2008) evaluaron y compararon varios modelos de crecimiento para frutos de naranjo 'Valencia late', entre ellos, logístico, Gompertz, Weibull, Morgan-Mercer-Flodin, Richards y las reparametrizaciones de los modelos logístico y Gompertz. Los autores encontraron que el modelo más adecuado para describir el patrón de crecimiento es el modelo logístico en la quinta reparametrización.

Luego de la realización de la validación cruzada y obtención de los modelos con buena capacidad predictora, se procedió a estimar los parámetros para cada modelo, el modelo de Gompertz no fue considerado en este análisis. La Tabla 5 detalla los valores de los parámetros estimados (α , β y γ) correspondientes a los modelos monomolecular y logístico para cada uno de las campañas y lotes. Los parámetros estimados en todos los casos resultaron significativos ($p < 0,01$, tabla 5).

Tabla 5. Parámetros estimados de los modelos de crecimiento en limonero 'Eureka' (*Citrus limón* (L.) Burn f) en Lomas de Empedrado, Departamento de Empedrado y San Lorenzo, Departamento de Saladas, Argentina de 2017 a 2019.

Campaña y Lote	Modelo	Parámetro	Estimación	E.E.*
2017, Lomas de Empedrado	Monomolecular	α	80,89**	2,31
		β	0,81**	0,01
		γ	0,01**	4×10^{-4}
2017, San Lorenzo	Monomolecular	α	78,78**	1,41
		β	0,87**	0,01
		γ	0,01**	3×10^{-4}
2018, Lomas de Empedrado	Logístico	α	74,59**	0,84
		β	2,51**	0,03
		γ	0,01**	3×10^{-4}
2019, Lomas de Empedrado	Logístico	α	83,36**	1,63
		β	2,23**	0,03
		γ	0,01**	3×10^{-4}

*E.E.: Error estándar ** $p < 0,01$

Finalmente, se graficaron las curvas de crecimiento del limonero 'Eureka' a través de los modelos monomolecular y logístico seleccionados para cada campaña y lote (Figura 1 a-d). En la campaña 2017 el modelo monomolecular describe el crecimiento del fruto tanto en Lomas de Empedrado como en San Lorenzo, alcanzando un valor estimado del diámetro al momento de la cosecha de 80,89 mm a los 210 DDPF (Figura 1 a) y de 78,78 mm a los 180 DDPF (Figura 1 b), respectivamente. Para la campaña 2018, en Lomas de Empedrado el tamaño del fruto se incrementó hasta 74,59 mm a los cada 15 o 30 días, al ser curvas no lineales el crecimiento no es constante. 170 DDPF (Figura 1 c) y en la campaña 2019, el diámetro alcanzó los 83,36 mm a los 200 DDPF (Figura 1 d). Estos valores mencionados están relacionados con los valores de α (asíntota superior de la curva) estimados para los distintos modelos. El parámetro β está en relación con el valor del diámetro a los 60 días y el parámetro γ relacionado con la velocidad de crecimiento del diámetro

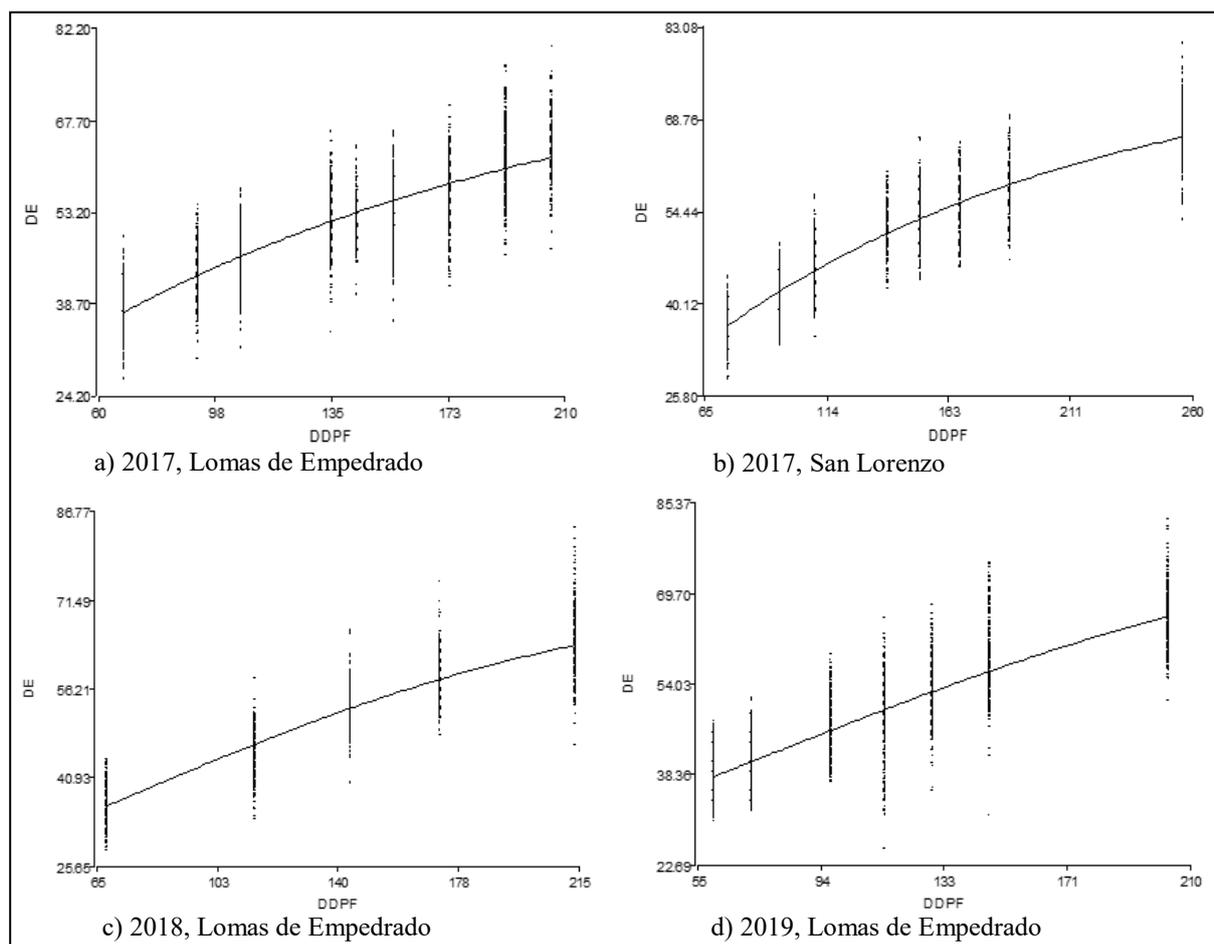


Figura 1. Curvas de crecimiento del fruto de limón 'Eureka' (*Citrus limón* (L.) Burn f) en Lomas de Empedrado, Departamento de Empedrado y San Lorenzo, Departamento de Saladas, Argentina de 2017 a 2019. Donde DE, es el diámetro ecuatorial del fruto y DDPF, son los días después de plena floración. La sección (a) muestra el ajuste del modelo monomolecular para determinar el crecimiento del fruto del limón durante 2017 en Lomas de Empedrado. b) El mejor modelo para extrapolar el crecimiento del fruto de limón es el monomolecular durante 2017 en San Lorenzo. c y d) El mejor modelo para extrapolar el crecimiento del fruto de limón durante 2018 y 2019 en Lomas de Empedrado es el logístico. La línea continua, muestra la relación entre los valores predichos/estimados.

Estos resultados para limón 'Eureka' no concuerdan con los encontrados por Avanza et al., 2008 y Bóveda et al. 2017, quienes propusieron el modelo logístico en la quinta reparametrización para describir el crecimiento de frutos de naranjo 'Valencia late' y de 'Tangor Murcott', respectivamente. Esto puede deberse a que el crecimiento del fruto de limón 'Eureka' tiene un período más corto hasta la cosecha y, comparativamente con los trabajos mencionados, el número de fechas medidas fue menor.

CONCLUSIÓN

En el contexto de este trabajo, los modelos que mejor describen el patrón de crecimiento de limonero 'Eureka', en plantaciones comerciales de la provincia de Corrientes Departamento de Empedrado, Argentina de 2017 a 2019 fueron los modelos monomolecular y logístico y en San Lorenzo, Departamento de Saladas fue el modelo monomolecular. Dichos modelos presentaron, los valores inferiores del AIC y BIC, así como los errores de estimación medido a través del cuadrado medio del error (CME) con los valores más bajos luego de realizar la validación cruzada. Los parámetros estimados para los modelos seleccionados resultaron significativos ($p < 0,01$). De esta manera, productores, y empresas exportadoras cítricas de la región podrán contar con una herramienta con la que puedan predecir con suficiente antelación el tamaño de los frutos al momento de cosecha y de esta forma la producción, para prever estrategias de comercialización, tanto en el mercado interno y externo.

REFERENCIAS

- Avanza, M.M., Bramardi, S. y Mazza, S.M. (2008). Statistical models to describe the fruit growth pattern in sweet orange 'Valencia late'. *Spanish Journal of Agricultural Research*, (4): 577-585.
- Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada M., Casanoves F., Di Rienzo J.A., y Robledo, C.W. (2008). *Infostat. Manual del Usuario*. Córdoba: Editorial Brujas.
- Bóbeda, G.R.R., Giménez, L.I., Mazza, S.M. y Bramardi, S. (2017). Curvas de crecimiento para la elaboración de tablas de predicción de calibres de frutos de 'Tangor Murcott'. VI Encuentro Iberoamericano de Biometría. Sangolquí, Ecuador.
- Browne, M.W. (2000). Cross-validation methods. *Journal of mathematical psychology*, 44(1): 108-132.
- Chacín, A.E.C., Bonafine, O., Natera, J.R.M., Laverde, D. y Puesme, R. (2012). Crecimiento, desarrollo y calidad del fruto de Lima 'Tahití' (*Citrus latifolia* Tanaka) en el Estado Monagas, Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(3): 535-541.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M. y Robledo, C.W. (2018). *InfoStat. Software Estadístico*. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>.
- Escobar, E.H., Ligier, H.D., Melgar, R., Matteio, H. y Vallejos, O. (1996). Mapa de suelos de la provincia de Corrientes 1: 500.000. Convenio MAGIC-INTA. Recursos Naturales, EEA INTA Corrientes.
- Esposti, M.D.D., Lopes de Siqueira, D. y Cecon, P.R. (2008). Crecimiento de frutos da tangerineira 'Poncã' (*Citrus reticulata* Blanco). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 30(3): 657-661.
- Federcitrus. (2018). La Actividad Citricola Argentina. Buenos Aires. <https://www.federcitrus.org/wp-content/uploads/2018/05/Actividad-Citricola-2018.pdf>
- Martínez, J.D., Hernández, I.C., Reyes, J.N.G., Nájera, J.B.P., Güereca, M.C.G. y Pérez, E.C. (2017). Growth models of peach fruit *Prunus pérsica* (L) in three handling systems. *Interciencia*, 42(9): 597-602.
- Molina, N., Canteros, B., Ramírez, A., Beltrán, V., Gochez, A., Vista, I.B. y Uruguay, R. (2019). Informe de la Citricultura Correntina. INTA EEA Bella Vista.
- Morgan, P.H., Mercer, L.P. y Flodin, N.W. (1975). General model for nutritional responses of higher organisms. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 72(11): 4327-4331.
- Ortega-Farías, S. O., Lozano, P., Moreno, Y., y León, L. (2002). Desarrollo de modelos predictivos de fenología y evolución de madurez en vid para vino cv. Cabernet Sauvignon y Chardonnay. *Agricultura técnica*, 62(1): 27-37.
- Peirs, A., Scheerlinck, N., Perez, A.B., Jancsó, P. y Nicolaï, B.M. (2002). Uncertainty analysis and modelling of the starch index during apple fruit maturation. *Postharvest biology and technology*, 26(2): 199-207. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(02\)00038-8](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(02)00038-8)
- R Team. (2018). *RStudio: Integrated Development Environment for R* (Version 1.1. 463). Computer software. RStudio. Inc. <http://www.rstudio.com>.
- Ratkowsky, D.A. (1983). *Nonlinear regression modeling: a unified practical approach*. New York: Marcel Dekker. <http://hdl.handle.net/102.100.100/285909?index=1>
- Rawlings, J.O. (1988). *Applied regression analysis: a research tool*. (1st ed.). Pacific Grove: Wadsworth y Brooks.
- Richards, F.J. (1959). A flexible growth function for empirical use. *Journal of experimental Botany*, 10(2): 290-301.
- Rojas-Lara, P. C., Pérez-Grajales, M., Colinas-León, M. T. B., Sahagún-Castellanos, J. y Avitia-García, E. (2008). Modelos matemáticos para estimar el crecimiento del fruto de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P). *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 14(3): 289-294.