



Universidad Nacional del Nordeste



Facultad de Ciencias Agrarias

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN
MODALIDAD DE TESINA

Curvas de crecimiento en naranjo dulce (*Citrus sinensis* L. Osbeck) var. 'Valencia late' y su distribución del tamaño del fruto al momento de cosecha en la provincia de Entre Ríos.

Alumno: Constanza Zoilo

Asesora: Ing. Agr. Griselda R.R. Bóbeda

Lugar de trabajo: Cátedra de Cálculo Estadístico y Biometría, Departamento de Matemáticas, FCA-UNNE.

Tribunal evaluador:

Lic. (Dra.) Patricia E. NOVO

Lic. (Dr.) Francesco MIGNOLLI

Lic. Paulo M. GUZMÁN

Índice de Contenido	Página
1. Resumen	1
2. Introducción	2
Antecedentes	4
3. Hipótesis y Objetivos	6
Hipótesis de trabajo	6
Objetivos generales	6
Objetivos particulares	6
4. Materiales y métodos	6
Análisis estadístico	10
5. Resultados y discusión	11
Modelos de crecimiento evaluados	11
Evaluación de la precisión del modelo seleccionado	12
Tabla de Crecimiento	15
6. Conclusiones	17
7. Bibliografía	18

1. Resumen:

El objetivo del presente trabajo fue encontrar el modelo matemático-estadístico que mejor describa el patrón de crecimiento de frutos de naranja variedad 'Valencia late', para ello se registró en 4 ambientes (combinación de campaña y lote) precisamente en el departamento de Chajarí, Entre Ríos, Argentina.

Se compararon los modelos no lineales de tipo sigmoideo: Logístico, Gompertz, Weibull, Richards y Monomolecular y Logístico en 5ta reparametrización. Como criterios de selección del modelo, se consideraron el criterio de información Akaike (AIC), el criterio de información Bayesiano (BIC) y el Cuadrado Medio del Error (CME). La combinación datos-modelos-parametrización adecuada para describir el crecimiento de frutos de naranjas 'Valencia', fue el modelo Logístico en su 5ta reparametrización. Para evaluar la precisión del modelo seleccionado se realizó mediante una validación cruzada, obteniéndose un porcentaje de error de estimación del 25,85%.

Para estimar la distribución de los tamaños de los frutos individuales en la cosecha, se realizó en función del modelo seleccionado y se los categorizó por los rangos de calibres comerciales que rigen para la comercialización de frutos en la Unión Europea, en esta distribución del tamaño de los frutos se presentan tamaños extremos, que por pequeños o grandes no coinciden con los estándares de preferencia del consumidor y en consecuencia son rechazados por los mercados. Dicha estimación permite que productores, empaques y empresas exportadoras citrícolas de la Argentina, cuenten con una herramienta con la que pueden predecir con suficiente antelación la distribución esperada de tamaños de frutos, para prever estrategias de comercialización, tanto en el mercado interno y externo.

2. Introducción:

El naranjo dulce 'Valencia late' es la variedad de naranjas más tardía del mercado dado por el momento de cosecha, como su propio nombre indica, late=tarde, entran en producción en el mes de abril-mayo y el momento de cosecha es desde junio a mediados de septiembre para la región del Nordeste Argentino (NEA), dependiendo de las condiciones climáticas y es la única variedad que se encuentra en estas fechas en los árboles. Se caracterizan por tener un tamaño menor del diámetro ecuatorial (62 – 72 mm), piel fina, lisa y un color más pálido que las Navel-lane-late (75 – 80 mm). Son naranjas de calibre pequeño, tienen un alto contenido en zumo, un aroma excelente y un sabor ligeramente ácido. Además de esa acidez, contienen niveles muy altos de azúcar, siendo esto apreciado para zumos.

La producción total de naranja (*Citrus x sinensis* (L.) Osbeck) en la Argentina en el año 2017 fue de 1.024.918 toneladas (t), siendo 240.014 t para industria, 487.792 t para consumo interno, y para exportación en fresco 76.857 t (representando el 11% de las exportaciones en fruta fresca). La superficie implantada de naranja fue de 48.814 has, siendo la provincia de Entre Ríos con la mayor superficie, 19.650 has (con una producción de 365.848 t), seguido por Corrientes con 18.851 has (con una producción de 306.107 t); datos obtenidos de la Federación Argentina del Citrus (Federcitrus).

Para competir en los mercados nacionales e internacionales y anticipar estrategias de comercialización y decisiones respecto al manejo cultural, es de fundamental importancia contar con información anticipada de los rendimientos y calibres comerciales de frutos a obtener en el momento de cosecha. Al respecto, Avanza (2011), ha desarrollado una propuesta metodológica para la predicción de cosecha de naranjo dulce var. 'Valencia late' para una región de la provincia de Corrientes, Argentina.

Predecir la producción de frutos requiere la definición de modelos y para ello es necesario estimar parámetros en relación con las características que los frutos tendrán a la fecha de ser recolectados. Ajustar un modelo a datos de crecimiento de frutos permite encontrar una función apropiada que sintetice la información que proviene de mediciones realizadas en un mismo individuo, favoreciendo la predicción del tamaño del fruto en cualquier momento previo a la cosecha, y estudiar las velocidades y aceleraciones del crecimiento a lo largo del proceso. (Avanza et al., 2008).

Las curvas de crecimiento describen la evolución de órganos o individuos vegetales o animales en un período de tiempo. En el caso de crecimiento de frutos, permiten estimar el tamaño que tendrán en el momento de la cosecha. La curva que representa el crecimiento de un fruto varía con la especie que se trate, en el caso de los cítricos, en general corresponde a una curva sigmoidea simple, caracterizada por tres períodos bien diferenciados: el primero, de crecimiento exponencial, provocado por la división celular, va desde la antesis hasta el final de

la caída fisiológica de la flor (fase I); el segundo, de crecimiento lineal, generado por el crecimiento celular, se prolonga durante varios meses, desde el final de la caída fisiológica de flor, hasta poco antes del cambio de color del fruto (fase II), con una duración variable según la variedad (2 meses en las precoces y 5-6 meses en las tardías); el tercero se caracteriza por una reducida tasa de crecimiento y comprende todos los cambios asociados a la maduración (fase III),(Agustí et al., 2003), como se observa en la figura N° 1, (Avanza, 2011).

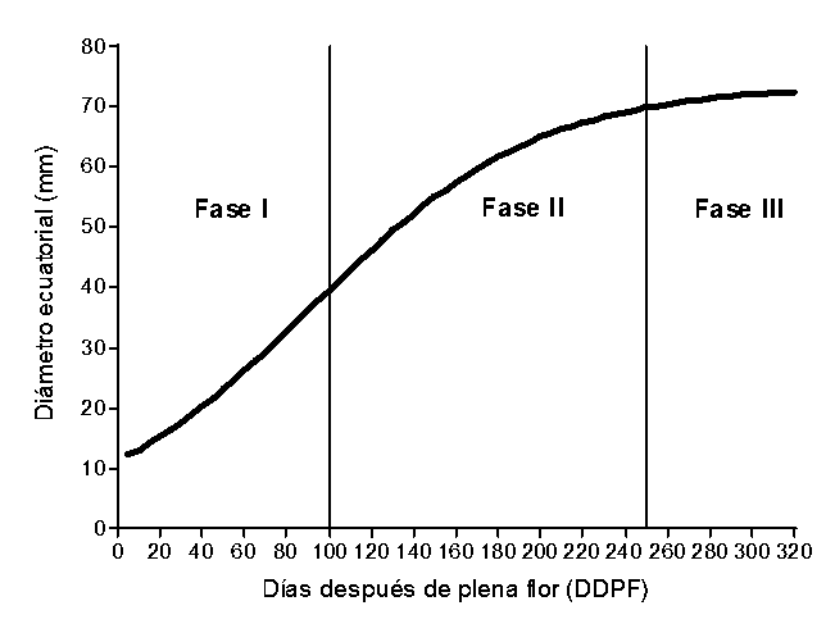


Figura N°1: Fases del desarrollo de un fruto cítrico (Avanza, 2011).

Los procesos de crecimiento que originan curvas sigmoideas son muy frecuentes en biología, agricultura, ingeniería y economía. Tales curvas comienzan en un cierto punto fijo y aumentan su tasa de crecimiento en forma monótona hasta alcanzar un punto de inflexión, después del cual la tasa de crecimiento disminuye y la función se aproxima en forma asintótica a algún valor final (Ratkowsky, 1983). Al tener estas curvas una forma sigmoidea, los modelos adecuados para su descripción son los modelos no lineales, que además tienen la ventaja de que sus parámetros tienen interpretación práctica directa. Así los modelos no lineales son ampliamente utilizados en los estudios de crecimiento de frutos de diferentes especies (Carneiro, 2014; Fernández, 2014)

Los métodos basados en mediciones a campo se pueden subdividir en los que estiman el tamaño de frutos a partir de modelos estocásticos y los que utilizan curvas de crecimiento. Los primeros se basan en el supuesto de que existe una relación entre el tamaño de los frutos (peso) y la carga de los árboles. Las previsiones de producción de frutales de pepita realizadas por el Centro Servizi Ortofrutticoli (CSO) para la Unión Europea, se basan en modelos estocásticos para la estimación del peso medio de frutos. En cambio, en Argentina para los

misimos frutales, dicha relación (peso vs. carga), no se ha logrado establecer, por lo que se utilizan curvas de crecimiento para la estimación del peso de frutos al momento de cosecha (Alvarez et al., 2001, Bramardi et al., 2005).

Tassile et al., (2001), evaluaron el patrón de crecimiento de frutos de manzano cv. Red Delicious y Granny y construyeron tablas de crecimiento por categoría comercial, útiles para la aplicación de raleo manual y/o para la realización de estimaciones del tamaño de los frutos al momento de la cosecha.

Además, Tassile et al., (2002), aplicaron modelos no lineales mixtos en la descripción del crecimiento de frutos de pepita, durante varios ciclos productivos, en distintas localidades del Alto Valle de Río Negro y Neuquén. También analizaron la variabilidad de los frutos y desagregaron la componente de varianza incorporada por el factor año al considerar distintas temporadas.

Disponer de tablas de crecimiento de frutos de naranja 'Valencia late' por calibre comercial (CC) y días después de plena floración (DDPF) sería de gran utilidad para técnicos y productores, dado que contribuirá a establecer predicciones de producción y distribución de calibres esperados a la cosecha.

Antecedentes:

Numerosas funciones matemáticas han sido propuestas para modelar las curvas de crecimiento. Las más utilizadas son Logística, Gompertz, también las de Richards (1959), Morgan-Mercer-Flodin (1975) y los modelos derivados de la distribución Weibull (Ratkowsky, 1983). Muchos autores han utilizado diferentes parametrizaciones en los modelos para describir el crecimiento de órganos y desarrollar curvas de crecimiento para frutos (Sousa, 2014; Terra et al., 2010). Los parámetros de los modelos no lineales son, en general, difíciles de estimar. El método acostumbrado es minimizar en forma directa la suma de cuadrados residuales mediante un proceso iterativo. En un modelo de regresión no lineal, al menos una de las derivadas de la función de valor esperado con respecto a los parámetros depende de cuando menos uno de sus parámetros. El uso de reparametrizaciones (forma en que aparece un parámetro en el modelo), es común en modelos no lineales. Según Cordeiro (2009), muchas veces el modelo no se expresa en una forma paramétrica que facilite la rápida convergencia del proceso iterativo usado para obtener las estimaciones de los parámetros y es necesario buscar la reparametrización más adecuada.

Del Valle, 1989; utilizó la ecuación de Von Bertalanfy como la forma diferencial para describir curvas de incremento anual, en la determinación de la edad y del crecimiento de 2 especies arbóreas tropicales, y encontró que con las curvas de crecimiento se pone en evidencia la versatilidad de la ecuación del modelo de crecimiento y dependiendo de los datos puede producir curvas sigmoidales de tipo logística en Roble.

Mediante el uso de medidas de no linealidad, Bramardi et al., (1997) seleccionaron el modelo logístico en la 3^{ra} parametrización según Ratkowsky (1983), para describir el crecimiento de frutos de pera William's y Packm's Triumph, con el fin de ser utilizados para la predicción del tamaño final de frutos.

Avanza et al., (2008) encontraron que la combinación modelo-datos-parametrización más adecuada para describir el patrón de crecimiento de los frutos de naranjo Valencia late es el modelo Logístico en la 5^{ta} parametrización, según Ratkowsky (1983), definidas para tres tamaños de frutos, pequeño, mediano y grande y que los mismos varían en función del huerto.

Bóbeda et al., (2017) desarrolló una tabla de crecimiento de frutos que permitió pronosticar anticipadamente los calibres comerciales al momento de cosecha de tangor 'Murcott'. Los frutos fueron agrupados en rangos de calibres comerciales, establecidos por las normas de comercialización de la Unión Europea, según su tamaño en fecha de cosecha. A cada grupo se ajustó el modelo regresión no-lineal logístico en su 5^{ta} reparametrización, donde la variable independiente son los DDPF y la dependiente el diámetro del fruto. En función de estos resultados se construyó una tabla de crecimiento del diámetro ecuatorial (DE) en función de los DDPF con el objetivo de que sea una herramienta útil para productores en sus futuras planificaciones de manejos culturales y comercialización de la fruta.

Destefani et al., (2018) en Brasil, realizó una descripción del crecimiento y desarrollo de las frutas pequi (*Caryocar brasiliense*) en función de sus características físicas tales como diámetro longitudinal y transversal y la masa fresca obtenida a través del tiempo. Utilizó modelos no lineales como Brody, Gompertz, logístico y Von Bertalanffy. Los parámetros se estimaron usando rutinas de software R, usando el método de mínimos cuadrados y el proceso iterativo de Gauss-Newton. Los ajustes de los modelos se compararon mediante los siguientes criterios: desviación estándar residual, coeficiente de determinación ajustado y Akaike criterio de información. El crecimiento de las frutas mostró una característica sigmoideal y en general los modelos Gompertz y logísticos presentaron indicadores de buena calidad de ajuste; el modelo de Gompertz fue el más adecuado para describir los datos de diámetro y de masas. Los modelos de Von Bertalanffy y Brody no presentaron buen ajuste.

Aparecido de Oliveira et al., (2015) estudiando la influencia del clima en el desarrollo de la fruta lichi (*Litchi chinensis*), desarrolló modelos agrometeorológicos para la simulación del desarrollo de la materia fresca de la fruta, la materia de la fruta seca, la longitud del fruto, el diámetro del fruto, el volumen de fruta, y el número de frutos por racimo en función de las condiciones climáticas. Llegando a tres análisis: la influencia de los elementos meteorológicos medias sobre las tasas de crecimiento del fruto, la estimación del desarrollo de los frutos por los modelos agrometeorológicos utilizando ajustes sigmoidales, y simulación del desarrollo de

la fruta utilizando regresión múltiple no lineal de dos elementos meteorológicos para mejorar la precisión.

3. Hipótesis y Objetivos:

a. Hipótesis de trabajo:

- Es posible encontrar un modelo que describa el patrón de crecimiento de naranjo Valencia late
- La distribución de los calibres comerciales para naranjo dulce 'Valencia late' en la región nordeste de Argentina se puede realizar teniendo en cuenta la estimación del tamaño del fruto al momento de cosecha.

b. Objetivos:

Objetivos generales

Ajustar funciones matemáticas que describan el incremento del diámetro del fruto en naranjo dulce 'Valencia late', en función de los días después de plena floración y determinar la distribución por tamaño, al momento de cosecha.

Objetivos particulares

- Ajustar curvas de crecimiento de naranjo dulce 'Valencia late' en la provincia de Entre Ríos y seleccionar la ecuación matemática que mejor describa el patrón de crecimiento de esta variedad.
- Evaluar la precisión del modelo de crecimiento seleccionado.
- Analizar la distribución del tamaño de frutos en naranjo dulce 'Valencia late' en diferentes lotes comerciales ubicados en la provincia de Entre Ríos.

4. Materiales y métodos:

La base de datos que se utilizó fue proporcionada por la Cátedra de Cálculo Estadístico y Biometría de la Facultad de Ciencias Agrarias, UNNE, dichos datos proporcionan la evolución de los diámetros del naranjo dulce var. 'Valencia late', desde 60 a 120 días después de plena floración hasta la cosecha, los cuales fueron obtenidos en huertos comerciales durante las temporadas 2006/07 (Temporada 1), 2007/08 (Temporada 2), en el departamento de Chajarí (Figura N° 2 y N° 3), provincia de Entre Ríos, Argentina (Tabla N° 1).

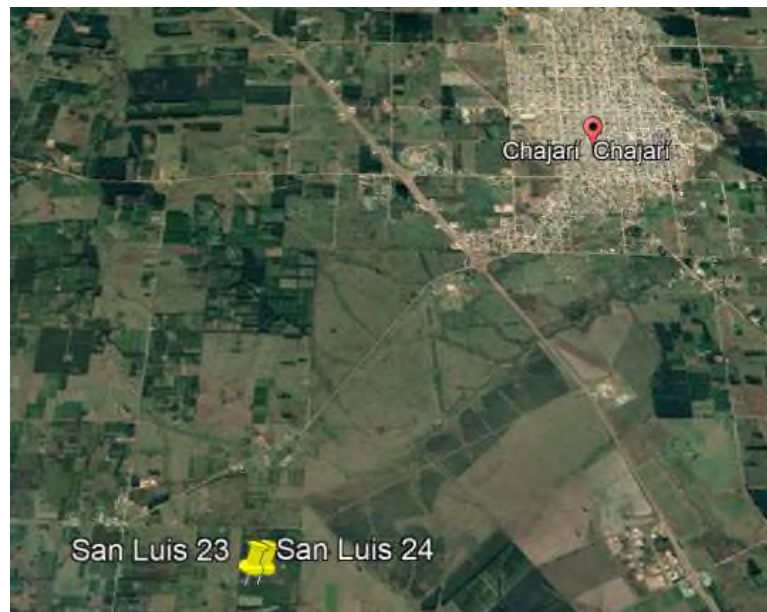


Figura N° 2: Lote en estudio ubicado a 8 km de la localidad de Chajarí, provincia de Entre Ríos. Imagen obtenida desde Google Earth Pro.



Figura N° 3: Ubicación del lote San Luis 23 ($30^{\circ} 46' 22''$ S $58^{\circ} 4' 36''$ W) y San Luis 24 ($30^{\circ} 46' 25''$ S $58^{\circ} 4' 32''$ W). Imagen obtenida desde Google Earth Pro.

Tabla N° 1. Descripción de huertos comerciales de naranjas 'Valencia late' de la provincia de Entre Ríos, Argentina

Campaña	Establecimiento	Geoposición	Pie de Injerto	Marco	N° Plantas	Edad	Plantas en estudio	Riego	Plena Flor	Cosecha	Días a cosecha
2006/07	San Luis 23	30° 46' 22" S 58° 4' 36" W	<i>Poncirus trifoliata</i>	6m x 3m	940	26 años	10	si	7/9/2006	4/7/2007	280
	San Luis 24	30° 46' 25" S 58° 4' 32" W	<i>Poncirus trifoliata</i>	6m x 3m	940	16 años	10	si	8/9/2006	7/9/2007	364
2007/08	San Luis 23	30° 46' 22" S 58° 4' 36" W	<i>Poncirus trifoliata</i>	6m x 3m	940	26 años	10	si	8/10/2007	22/8/2008	297
	San Luis 24	30° 46' 25" S 58° 4' 32" W	<i>Poncirus trifoliata</i>	6m x 3m	940	16 años	10	si	8/10/2007	9/10/2008	364
<i>Días a Cosecha Promedio</i>											326

En el perímetro de cada lote se descartó un borde compuesto por las tres primeras filas y en el resto se seleccionaron 10 plantas sobre las dos diagonales de este, mediante un muestreo sistemático con arranque aleatorio. En cada planta se identificó 30 frutos, distribuidos en toda la copa del árbol, a los que se realizó el seguimiento del DE en mm, empleando calibre digital, con una frecuencia de 7 días. Las mediciones se iniciaron una vez terminados los manejos culturales que definen la carga y fueron referidas a DDPF, que corresponde al 80% de flores abiertas.

Para estudiar la distribución de tamaño a cosecha se basó en las normas de comercialización del Boletín Oficial de la Unión Europea (Tabla N° 2). La información se obtuvo de los registros correspondientes al DE (mm) de frutos de naranjo 'Valencia late', registrados al momento de cosecha en lotes comerciales. Los datos se agruparon según las categorías de calibres comerciales que se rigen bajo el boletín oficial de la Unión Europea que es utilizada para el mercado externo y/o exportación, siendo para la Unión Europea de mayor preferencia a comercializar los calibres 6 a 9, correspondiendo a una caja de 10 a 20kg.

Tabla N° 2. Rangos del diámetro ecuatorial (mm) para cada calibre comercial (CC) de naranjas según las normas de comercialización de la Unión Europea.

Código de calibre	Diámetro (mm)
0	92 - 110
1	87-100
2	84-96
3	81-92
4	77-88
5	73-84
6	70-80
7	67-76
8	64-73
9	62-70
10	60-68
11	58-66
12	56-63
13	53-60

Análisis estadístico.

Ajuste y selección de los modelos de crecimiento

Se realizó un análisis de regresión no lineal el cual permitió obtener los estimadores por mínimos cuadrados de los parámetros propuestos. Este método consiste en una técnica encuadrada dentro de la optimización matemática; encuentra los valores de los parámetros desconocidos con el criterio de mínimo error cuadrático, minimizando el cuadrado de las diferencias entre los datos observados y los puntos obtenidos a partir de la función estimada. Se evaluaron diferentes modelos para describir curvas de crecimiento sigmoideas, como el Logístico, Gompertz, Von Bertalanffy, Brody, Weibull, Richards, Monomolecular, y a su vez, se consideró la 5ta reparametrización del modelo Logístico (L5), dado que fue el modelo que mejor describe el crecimiento para naranjo dulce var. 'Valencia late' en la provincia de Corrientes según lo estudiado por Avanza (2011).

El objetivo de la evaluación de los modelos fue seleccionar aquellos que presentan mayor balance entre la capacidad de ajuste de datos y su complejidad.

Los modelos fueron seleccionados con los criterios de selección clásicos de bondad de ajuste: distribución de los residuales, raíz cuadrada del CME, y los criterios AIC, y BIC.

Las estimaciones de los modelos se realizaron con el paquete InfoStat, 2018. (Di Rienzo, et al., 2018). El ajuste de los diferentes modelos no lineales se realizó por el método Nelder-Mead permitiendo obtener los estimadores. Este método se basa en buscar una solución óptima local a un problema con n variables cuando la función a minimizar varía suavemente. Los modelos no lineales fueron evaluados con los criterios de selección de modelos AIC y BIC. Cuando se tiene una serie de modelos M_1, M_2, \dots, M_n con parámetros K_1, K_2, \dots, K_n respectivamente, una metodología para compararlos corresponde a la función de máxima verosimilitud (*likelihood*). Este 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 son aquellos que presentaron el menor valor de AIC y raíz del cuadrado medio \sqrt{CME} .

Para evaluar la precisión del modelo seleccionado, se utilizó el procedimiento de la función *nls* (*Nolinear Least Squares*), el cual se basa en las estimaciones de los mínimos cuadrados no lineales (ponderados) de los parámetros de un modelo no lineal (R Development Core Team, 2019).

5. Resultados y discusión

5.1 Modelos de crecimiento evaluados

En la tabla N° 3 se observan los modelos evaluados y los criterios de selección.

Tabla N°3. Modelos No lineales evaluados, valores de criterios de selección (AIC y BIC) y cuadrado medio del error (CM ξ) en naranja 'Valencia late'

MODELO	CME	AIC	BIC
Logístico	26,41	223471	223505
Gompertz	26,49	223580	223614
Weibul	No converge		
Richards	31,69	230123	230166
Monomolecular	29,11	227019	227053
Von Bertalanfy	131,16	282062	282096
L5	26,41	223471	223505

De la totalidad de la información evaluada (n=36564) el modelo que mejor ajustó la relación del DE y los DDPF, fue el modelo logístico por presentar menores valores de los criterios de selección AIC, BIC y menor valor de cuadrado medio del error, aunque los registros de DE (mm) no fueron los mismos en una campaña y lote en particular, se procedió a evaluar los modelos no lineales para la situación planteada (Tabla N° 4).

Tabla N°4. Modelos No Lineales evaluados en naranja 'Valencia Late' por campaña y lote valores de criterios de selección (AIC y BIC) y cuadrado medio del error (CM ξ)

Modelo	Campaña	Lote	CM ξ	AIC	BIC
Gompertz	2006/07	San Luis 23	32,07	56109	56137
		San Luis 24	24,99	54166	54195
	2007/08	San Luis 23	14,35	46447	46475
		San Luis 24	15,81	57566	57595
Logístico	2006/07	San Luis 23	31,88	56055	56084
		San Luis 24	24,78	54092	54121
	2007/08	San Luis 23	14,85	46735	46763
		San Luis 24	16,34	57907	57936
L5	2006/07	San Luis 23	31,88	56055	56083
		San Luis 24	24,78	54092	54120
	2007/08	San Luis 23	14,85	46735	46763
		San Luis 24	16,34	57906	57935

5.2 Evaluación de la precisión del modelo seleccionado

Se evaluaron los modelos Logístico, Gompertz y Logístico en su quinta parametrización (L5) por campaña y lote, dado que presentaban los menores valores de AIC-BIC y CM ξ como se observa en la Tabla N° 4. Se observó que para la campaña 2006/07 en ambos lotes, el modelo que mejor estima el diámetro de los frutos es el logístico, por presentar menores valores de AIC, BIC y CM ξ . Para la campaña 2007/08 en ambos lotes, el modelo que mejor estima el diámetro de los frutos en función de los DDPF es el Gompertz, esto se debe a que el crecimiento de los frutos se ve influenciados por una campaña en particular y manejos culturales del monte frutal.

Luego para evaluar la precisión de los modelos ajustados, se utilizó el método de validación cruzada, que consiste en separar datos originales y usar esa observación para investigar el desempeño del modelo en predicción. El conjunto total de datos se dividió en dos partes: el 80% se utilizó para la estimación de los modelos y el 20% restante para estudiar la capacidad predictiva.

De los resultados obtenidos, el modelo que mejor ajusta es el modelo logístico por presentar menor porcentaje de error de estimación (Tabla N° 5).

Tabla N° 5: Porcentaje (%) de errores de estimación de los modelos no lineales

Validación (80/20)	%
Logístico	26,02
Gompertz	25,89
L5	25,85

Por lo tanto, para estimar DE en función de los DDPF queda expresado mediante la siguiente función logística:

$$DE (mm) = 1 / \alpha + \exp (\beta) \gamma^{DDPF}$$

Donde:

DE (mm)= diámetro ecuatorial de frutos

α : Parámetro relacionado con la asíntota superior (máximo crecimiento del fruto)

β : Parámetro relacionado con la ordenada al origen de la función.

γ : Parámetro relacionado con la velocidad de crecimiento del fruto o tasa de crecimiento de la curva.

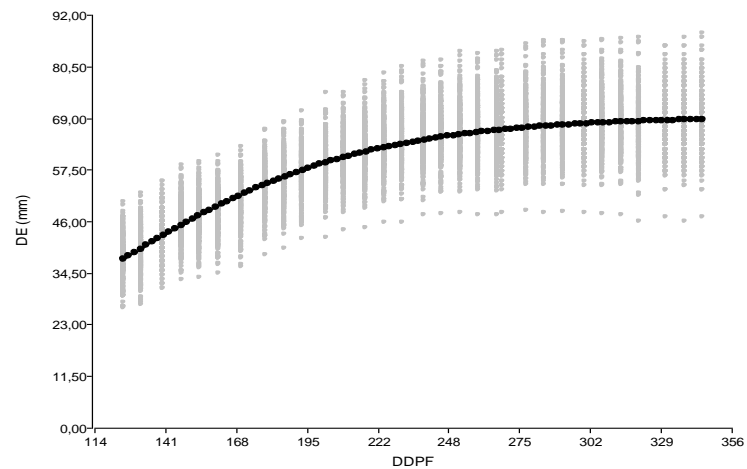
DDPF: días después de plena floración

Tabla N°6: Estimación de parámetros del modelo logístico ajustado, error estándar (EE) y p valor ($\alpha= 0,05$) de los frutos de Naranja 'Valencia Late'

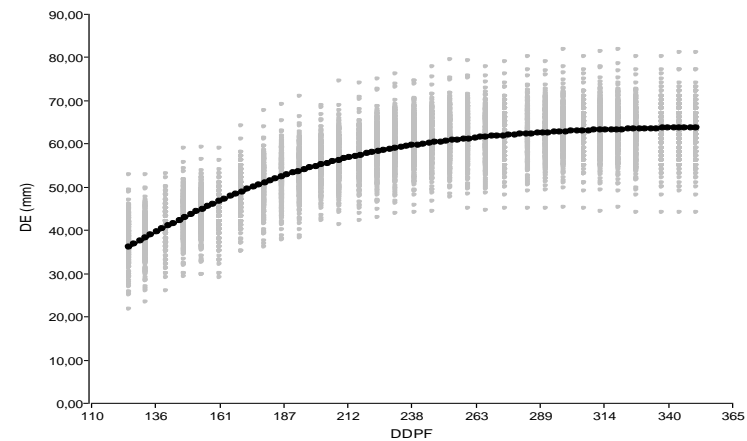
Parámetros	Estimados	EE	p-valor
Alfa	0,0149	0,0002	< 0,0001
Beta	-2,8271	0,0110	< 0,0001
Gamma	0,9850	0,00009	< 0,0001

La estimación de los parámetros alfa, beta y gamma (Tabla N° 6), resultaron altamente significativos para el diámetro ecuatorial de frutos de naranja, ($p<0,05$), por lo cual se describen curvas promedio de crecimiento por cada huerto y temporada evaluados (Figura N° 4).

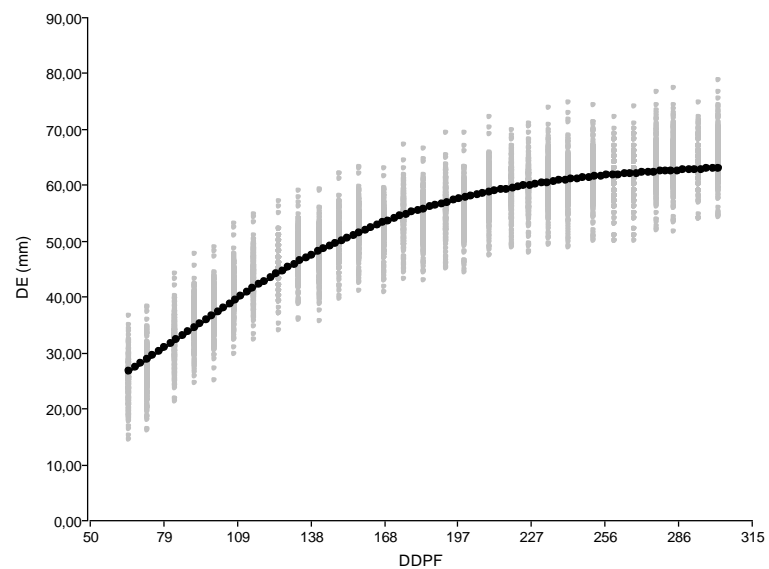
A. 2006/07- San Luis 023



B. 2006/07- San Luis 024



C. 2007/08- San Luis 23



D. 2007/08-San Luis 24

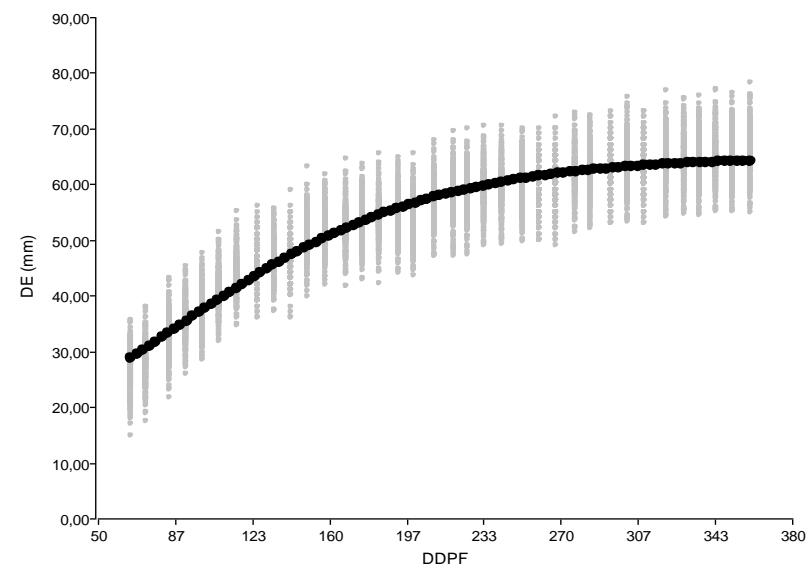




Figura N° 4: A-B-C-D- Curvas promedios de crecimiento de naranja ' Valencia late' (diámetro ecuatorial vs días después de la plena floración) ajuste del modelo logístico en su 5^{ta} reparametrización por campaña y lote.

5.3 Tabla de Crecimiento por calibre comercial según rangos del diámetro ecuatorial (mm) para cada calibre comercial (CC).

En función del modelo de crecimiento seleccionado se elaboró una tabla de crecimiento para frutos de naranja en función de los DDPF con un intervalo de 7 días. La fecha promedio de cosecha para naranja fue a los 330 días de plena floración. Con esta tabla se puede predecir el diámetro ecuatorial que tendrán los frutos al momento de cosecha, y conocer la distribución de los frutos en función de los calibres comerciales que rigen para la Unión Europea, para un mercado de exportación.

El crecimiento del fruto está influenciado por los factores climáticos (temperaturas-precipitaciones) asociados a una campaña y características del lote (suelo, edad de planta, si posee riego o no). Sin embargo, es posible estimar un modelo que describa el comportamiento medio del crecimiento de frutos naranja. Con el modelo seleccionado de naranja Valencia late se estimó el crecimiento promedio por cada tamaño comercial, por lo cual a partir de esta información se elaboraron las tablas de crecimiento.

Las tablas de crecimiento expresan el diámetro ecuatorial medio que los frutos presentan a lo largo de los días después de la plena floración (Tabla N° 7). Estos diámetros se encuentran referenciados a los 330 días después de plena floración, es decir al momento de cosecha promedio. Cabe destacar además que su comercialización depende de los precios mercados interno y externo. Es una tabla que se podría utilizar para conocer la distribución que tendrán los frutos de naranja al momento de cosecha.

Esta tabla es de gran utilidad para el productor citrícola, ya que ubicándose en el rango de calibre que tenga preferencia comercializar, dándose por calibres de mayor valor comercial y estrategias de cada empresa productora, él mismo puede ingresar al lote desde los 60 días después de plena floración en adelante e ir midiendo el calibre que presenta la fruta en ese momento. De este modo, se pueden tomar decisiones respecto al manejo, ya sea fertilización, riego, poda, reguladores de crecimiento, raleo, entre otros manejos culturales para finalmente al período de la cosecha (330 días aproximadamente) llegar al calibre deseado en mm, que corresponde al diámetro promedio del calibre elegido (zona en la tabla coloreada).

El tamaño de los frutos ha llegado a ser tan importante como el rendimiento en la determinación de las ganancias, y un mayor beneficio económico es usualmente obtenido a través del aumento de frutos en calibres vendibles a expensas de la reducción del rendimiento del cultivo de cítricos.

Tabla N° 7. Tabla de crecimiento de frutos naranja ' Valencia late' por calibre comercial (CC). Incremento del diámetro ecuatorial (mm) en función de los días después de plena floración (DDPF)

CC	Promedio	DDPF																				
		60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360
0	100	38,22	43,65	49,24	54,85	60,34	65,58	70,47	74,93	78,91	82,42	85,44	88,02	90,20	92,02	93,52	94,76	95,77	96,59	97,80	96,85	96,85
1	93,5	35,73	40,82	46,04	51,29	56,42	61,32	65,89	70,06	73,78	77,06	79,89	82,30	84,34	86,04	87,44	88,60	89,54	90,31	91,44	90,55	90,55
2	90	34,40	39,29	44,32	49,37	54,31	59,02	63,42	67,43	71,02	74,17	76,90	79,22	81,18	82,82	84,17	85,28	86,19	86,93	88,02	87,16	87,16
3	86,5	33,06	37,76	42,60	47,45	52,20	56,73	60,96	64,81	68,26	71,29	73,91	76,14	78,02	79,60	80,90	81,97	82,84	83,55	84,60	83,77	83,77
4	82,5	31,53	36,01	40,63	45,25	49,78	54,11	58,14	61,81	65,10	67,99	70,49	72,62	74,42	75,91	77,16	78,18	79,01	79,69	80,69	79,90	79,90
5	78,5	30,00	34,27	38,66	43,06	47,37	51,48	55,32	58,82	61,95	64,70	67,07	69,10	70,81	72,23	73,41	74,39	75,18	75,83	76,77	76,02	76,02
6	75	28,66	32,74	36,93	41,14	45,26	49,19	52,85	56,20	59,19	61,81	64,08	66,02	67,65	69,01	70,14	71,07	71,83	72,44	73,35	72,64	72,64
7	71,5	27,33	31,21	35,21	39,22	43,14	46,89	50,39	53,57	56,42	58,93	61,09	62,94	64,49	65,79	66,87	67,75	68,48	69,06	69,93	69,25	69,25
8	68,5	26,18	29,90	33,73	37,57	41,33	44,92	48,27	51,33	54,06	56,45	58,53	60,30	61,79	63,03	64,06	64,91	65,60	66,17	66,99	66,34	66,34
9	66	25,22	28,81	32,50	36,20	39,83	43,28	46,51	49,45	52,08	54,39	56,39	58,10	59,53	60,73	61,72	62,54	63,21	63,75	64,55	63,92	63,92
10	64	24,46	27,94	31,52	35,11	38,62	41,97	45,10	47,95	50,50	52,75	54,68	56,34	57,73	58,89	59,85	60,65	61,29	61,82	62,59	61,98	61,98
11	62,00	23,70	27,06	30,53	34,01	37,41	40,66	43,69	46,45	48,93	51,10	52,97	54,58	55,92	57,05	57,98	58,75	59,38	59,89	60,64	60,05	60,05
12	59,5	22,74	25,97	29,30	32,64	35,90	39,02	41,93	44,58	46,95	49,04	50,84	52,37	53,67	54,75	55,65	56,38	56,98	57,47	58,19	57,62	57,62
13	56,5	21,59	24,66	27,82	30,99	34,09	37,05	39,81	42,33	44,59	46,56	48,27	49,73	50,96	51,99	52,84	53,54	54,11	54,58	55,26	54,72	54,72



Período de Cosecha

6. Conclusiones

- De los modelos sigmoidales el que describe mejor el patrón de crecimiento de naranjas 'Valencia late', cuando se dispone de información a lo largo de todo el período de desarrollo, es el modelo logístico: $DE (mm) = 1 / \alpha + \exp (\beta) \gamma^{DDPF}$
- La precisión del modelo de crecimiento seleccionado se obtuvo mediante una validación cruzada con un porcentaje de error de estimación del 25,85%
- Es posible construir una tabla de diámetros ecuatoriales (mm), tomando como referencia el modelo logístico y estimarlo en función de DDPF y resulta de una aplicación para productores, empresas citrícolas, empacadoras (clientes o potenciales compradores), como así también para obtener estrategias de mercado tanto interno como externo. A su vez esta tabla debe tomarse como guía y debería ser adecuada a las condiciones ambientales y manejos culturales de la región.

7. Bibliografía

- Agustí, M., Martínez-Fuentes, A. Mesejo, C., Juan, M., V. Almela V. 2003. Cuajado y Desarrollo de los Frutos Cítricos. Serie de divulgación técnica. Conselleria de Agricultura, Pesca y Alimentación. Instituto Agroforestal Mediterráneo Universidad Politécnica Valencia. 82 pp.
- Álvarez A., Bramardi S., Stangaferro S. 2001. Modelos de predicción anticipada del peso medio de los frutos en producción de manzanas. Proc. Congreso Latinoamericano de Biomatemática. Campinas- Brasil, 29 Oct 2 nov.
- Aparecido de Oliveira, L. E.; Ferreira, R. B.; Rolim, G. S.; Sarzi de Souza, B. Souza, P. S. 2016. Los modelos no lineales Agrometeorológicos para la estimación de la fruta de Lychee en crecimiento. Revista Brasileira de Fruticultura, v. 39, n. 2: (e-169).
- 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 Agriculture. Res. 6 (4): 577-585.
- Avanza, 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. Doctorado en el Area de Recursos Naturales. Marzo 2011. UNNE. 227 pp.
- Bóbeda, G. R.R., Giménez, L. I., Mazza, S. M., Bramardi, S., 2017. Curvas de crecimiento para la elaboración de tablas de predicción de calibres de frutos de 'Tangor Murcott'. ISSN 1390-3004. VI Encuentro Iberoamericano de Biometría. Noviembre, 2017.
- Bramardi S., Zanelli M.L., Castro H.R., 1997. Aplicación de medidas de no linealidad para la selección de modelos de crecimiento. Revista de la Sociedad Argentina de Estadística 1(1), 39-52
- Bramardi, S., Tassile, V., Reeb, P., De Bernardin, F. 2005. Comparación de métodos para la predicción anticipada del peso de fruta a cosecha: Curvas de crecimientos vs. Modelos estocásticos. X Reunión del Grupo Argentina de Biometría, Corrientes, Argentina, p.6.
- Carneiro, A. P. S.; Muniz, J. A.; Carneiro, P. L. S.; Malhado, C. H. M.; Martins Filho, R.; SILVA, F. F. 2014. Identidade de modelos não lineares para comparar curvas de crescimento de bovinos da raça Tabapuã. Pesqui Agropecuaria Brasil, v. 49, n. 1, p. 57-62.
- Cordeiro, G. M.; Prudente, A. A.; Demétrio, C. G. B. 2009. Uma revisão dos modelos normais não-lineares. Revista Brasileira de Biometria, v. 27, n. 3, p. 360-393
- Destefani, T. R.; Pacopahyba de Mattos, R. W.; Ramalho de Moraes, A.; Muniz, J. A. 2018. Descripción del crecimiento de las frutas pequeñas por modelos no lineales. Revista Brasileira de Fruticultura. Jaboticabal, 2018, v. 40, n. 4: (e-949).

- Del Valle, J.I. 1989. La ecuación del crecimiento de Von Bertalanffy en la determinación de la edad y el crecimiento de árboles tropicales. Revista Facultad Nacional de Agronomía. Medellín, Colombia. VOL. XXXIX-Nro. 1. p. 61-67
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F. Balzarini, MG., Gonzalez, L. Tablada, M., Robledo, CW. InfoStat, Universidad Nacional de Córdoba. 2011. Versión 2018. Disponible en: Pagina web www.infostat.com.ar
- Federcitrus. 2017/18. La Actividad Citrícola Argentina. [En línea]. <http://www.federcitrus.org.ar/actividad-citricola-2017.pdf>. [Consulta: Julio, 2020].
- Fernández, T. J.; Pereira, A. A.; Muniz, J. A.; Savian, T. V. 2014. Seleção de modelos não lineares para a descrição das curvas de crescimento do fruto do cafeeiro. Coffee Science, v. 9, n. 2, p. 207-215
- Morgan, P.H., Mercer, L.P., Flodin N.W. 1975. General model for nutritional responses of higher organisms. Proc. Nat. Acad. Sci. USA 72: 4327-4331
- R Development Core Team. 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- Ratkowsky, D.A. 1983. Nonlinear regression modeling: a unified practical approach, Marcel Dekker Inc., NY, USA, 276 pp.
- Richards F.J., 1959. A flexible growth function for empirical use. J Exp Biol 10: 290-300.
- Sousa, I. F.; Neto, J. E. K.; Muniz, J. A.; Guimarães, R. M.; Savian, T. V.; Muniz, F. R. 2014. Fitting non line arauto regressive models to describe coffee seed germination. Ciencia Rural, v. 44, n. 11, p. 2016-2021
- Tassile, V.; Alvarez, O; Bramardi, S. 2001. Tratamiento de modelos ajustados a medida repetidas sobre una misma unidad muestral. Una aplicación al crecimiento de manzanos cv. Red Delicious. XXIX Coloquio de la Sociedad Argentina de Estadística. Neuquén, Argentina. Resúmenes Pag. 71.
- Tassile, V.; Alvarez, O; Bramardi, S. 2002. Aplicación de modelos no-lineales mixtos en la descripción del crecimiento de frutos de pepita. V Congreso Latinoamericano de Sociedades de Estadística. Buenos Aires, Argentina. 133 p.
- Terra, M. F.; Muniz, J. A.; Savian, T. V. 2010. Ajuste dos modelos Logístico e Gompertz aos dados de crescimento de frutos da tamareira-anã (Phoenix roebelenii O'BRIEN). Magistra, v. 22, n. 1, p. 1-7.