

Girasol: modelado morfométrico para aplicaciones SAR En condiciones locales para La Pampa

M. Soledad Mieza¹, Walter R. Cravero² y Federico D. Kovac¹

¹ Facultad de Ingeniería, UNLPam, General Pico. L.P. 6360, Argentina

² IFISUR, UNS y CONICET, Alem 1253, Bahía Blanca, Argentina
ageo@ing.unlpam.edu.ar

Abstract. En este trabajo se presenta un modelo de crecimiento basado en la parametrización de las dimensiones de los distintos órganos de un cultivar de girasol (*Helianthus annuus L.*), en función de la altura del tallo, en condiciones de producción para la zona NE de La Pampa. La particularidad que presenta este modelado es que está orientado a analizar el comportamiento electromagnético del cultivo para el desarrollo de aplicaciones a partir de imágenes de radares de apertura sintética (SAR), en el marco de la puesta en órbita del primer satélite argentino SAR (SAOCOM 1A). Se realizó un exhaustivo trabajo de campo para lograr mediciones en situación de producción, y se obtuvieron las distribuciones estadísticas de las variables relevadas (tallo, peciolo y hojas) durante todo un ciclo productivo. A partir de los datos, se encontraron discrepancias significativas con algunos de los modelos vegetales incluidos en los códigos de transporte de microondas utilizados para simular el coeficiente de *backscattering* de radar (σ_0). En particular, estas discrepancias son notables para las dimensiones asociadas a los peciolo que, dada la longitud de onda de operación del SAOCOM, pueden resultar en variaciones significativas de σ_0 . En este caso, se propone un ajuste de los datos mediante funciones logísticas, habiéndose obtenido correlaciones altamente significativas.

Keywords: Girasol, morfometría, modelo de crecimiento, SAR, La Pampa

1 Introducción

En Argentina, con amplias zonas geográficas dedicadas a la agricultura extensiva, la teledetección, en cualquiera de sus formas, resulta una herramienta óptima para caracterizar y evaluar distintos aspectos relacionados con esta actividad. Durante los últimos

años el desarrollo de aplicaciones mediante teledetección radar o *SAR* (*Synthetic Aperture Radar*), ha sido especialmente impulsado por el Plan Espacial Nacional [1], con el desarrollo de dos satélites SAR en banda L (f:1.275 GHz), el SAOCOM 1A (ya operativo) y el SAOCOM 1B (en fase de lanzamiento) [2]. Estos satélites forman parte del sistema SIASGE [3], en una constelación con cuatro satélites COSMO SkyMed de la Agencia Espacial Italiana que operan en banda X (f:9.6 GHz) [4].

Para este trabajo se seleccionó el cultivo de girasol (*Helianthus annuus L.*), dado que es una de las oleaginosas más importantes en Argentina [5], así como para la provincia de La Pampa, con aproximadamente 150000 hectáreas sembradas en la campaña 2018-2019[6]. Además, como su expansión geográfica no es tan significativa como para los cultivos de trigo y maíz a nivel mundial [7], existen menos estudios al respecto.

En el ámbito de la teledetección por SAR, en cultivos, resulta de gran importancia contar con un modelo realista de la vegetación. Si bien existen modelos de simulación para el cultivo de girasol, la mayoría están orientados fundamentalmente a variables de interés agronómico [8–12]. En este caso particular, se requiere analizar el comportamiento del girasol desde el punto de vista dieléctrico.

La interpretación y el desarrollo de aplicaciones a partir de datos SAR pueden resultar complejos, dado que es necesario conocer en profundidad los mecanismos de interacción entre la onda electromagnética incidente y el blanco que se pretende estudiar. Para aplicaciones agrícolas, la señal retro-dispersada, caracterizada por el coeficiente de retrodispersión (σ^0) depende de variables relacionadas con el sistema de adquisición (frecuencia, modos de polarización y el ángulo de incidencia), de las propiedades dieléctricas del suelo (humedad y rugosidad) y, en presencia de vegetación, de su morfometría y humedad volumétrica, que determinan su comportamiento dieléctrico. Las variables que determinan el sistema de detección son conocidas y controladas. Otras, como la composición del suelo, pueden considerarse constantes durante una campaña. Las variables dinámicas son la humedad del suelo, la morfometría de la cobertura vegetal, y en menor grado la rugosidad del suelo. Un amplio detalle de todos los aspectos relacionados con la teledetección SAR puede encontrarse en [13].

En consecuencia, una de las variables que resulta relevante modelar es la morfometría ya que en su interacción con la radiación, tallos, hojas y pecíolos se asimilan usualmente a dieléctricos de formas geométricas más simples, como discos y cilindros, de dimensiones equivalentes a las reales. Como criterio general, un modelado más detallado de las diferentes estructuras vegetales será importante cuando sus dimensiones características estén en un rango cercano a la longitud de onda de la banda utilizada, lo cual será naturalmente función del tiempo durante el ciclo del cultivo.

En estudios previos, para la simulación de σ^0 hemos trabajado sobre un código desarrollado en la Universidad Tor Vergata (TV), Roma, para transferencia radiativa de microondas en la atmósfera [14]. Como la simulación originalmente se desarrolló para las condiciones en Italia, existen discrepancias significativas en lo que se refiere al suelo, clima, cultivares, densidades de siembra, etc. En una primera etapa, se realizó una adaptación considerando datos texturales de suelo y densidades de siembra locales. Sin embargo, los valores de σ^0 simulados, en ese caso, aún presentaban discrepancias importantes con los datos satelitales disponibles (COSMO SkyMed)[15]. Mediciones puntuales, realizadas a campo en La Pampa, mostraron diferencias significativas, en

particular, en la longitud y diámetro de los pecíolos y las dimensiones de las hojas, con las previstas en el modelo vegetal considerado por el código de TV. Por estos motivos se estimó necesario desarrollar un modelo de la evolución morfométrica del cultivo en condiciones locales, objeto principal de este trabajo.

2 Materiales y métodos

2.1 Relevamiento de datos de campo

El sitio de estudio está localizado en un establecimiento cercano a General Pico en la zona NE de La Pampa. Desde 2008, se implementan en éste técnicas de manejo de sitio específico [16]; la delimitación de ambientes productivos se realiza fundamentalmente a partir de mapas topográficos y parámetros derivados, dando lugar usualmente a la delineación de tres ambientes por parcela (loma, media loma y bajo) [17, 18] en los cuales se implementan dosis variables de semillas y fertilizantes [19].

Se seleccionó un área representativa de media loma con una densidad promedio de 42000 plantas/hectárea. Se realizaron mediciones morfométricas de un cultivar de girasol (DKOP3845), cada 10 días aproximadamente durante la campaña 2013-2014. Se realizó un muestreo aleatorio de entre 8 y 20 ejemplares midiendo las siguientes variables: altura (longitud del tallo), diámetro medio del tallo, longitud y diámetro medio de los pecíolos, y ancho y largo de las hojas. En la Tabla 1 se presentan datos relacionados con el trabajo de campo, se indican: fecha de realización de las mediciones, días transcurridos desde la siembra (*ds*), estado fenológico (**EF**) de acuerdo a [20], y número de muestras (**n**) y fotografías.

Tabla 1. Relevamiento de datos de campo: fecha, días transcurridos a la siembra (*ds*), estado fenológico (**EF**), número de muestras (**n**) y fotografías representativas.

Fecha	<i>ds</i>	EF	n	
25 Nov. 2013	26	V6	20	
5 Dic. 2013	36	V10	11	
16 Dic. 2013	46	R1	15	
27 Dic. 2013	57	R2	12	

7 Ene. 2014	68	R5	8	
22 Ene. 2014	83	R6	20	

Cabe mencionar que en la fecha correspondiente al 22 de enero, solo se midió la altura del cultivo dado que el resto de las dimensiones, después de alcanzar la madurez fisiológica, no varían en forma significativa.

2.2 Modelo de crecimiento

Una vez recopilados y tabulados los datos de campo, se calculó el área foliar (**AF**) según [21] que permite estimar el **AF** en función del ancho máximo de las hojas, y el Índice de área foliar (**IAF**) [22]. Se realizó un análisis estadístico exploratorio de los datos recopilados y calculados. Como medida de tendencia central se seleccionó la mediana y como medida de la dispersión el rango intercuartil [**Q1-Q3**] [23].

A-posteriori, se ajustaron los datos mediante una función logística (Ecuación 1) utilizada para modelar el crecimiento de cultivos [24] en [25]. Un panorama general y ejemplos de funciones logísticas pueden hallarse en [26].

$$y = \frac{a}{1+e^{-k(x-x_c)}} \quad (1)$$

Donde

a: es el valor máximo que alcanza el parámetro biofísico bajo análisis.

k: es una constante que determina la curvatura del modelo de crecimiento.

x_c: es el valor de la variable independiente cuando el parámetro modelado presenta su máximo crecimiento.

El modelo propuesto, para cada variable, se comparó con el modelo de crecimiento para girasol incluido en el código del modelo para estimar σ^0 de TV. Se utilizó el criterio de Akaike (AIC) [27] para realizar la comparación entre ambos modelos de crecimiento. Este criterio, ampliamente utilizado en ecología [28], permite determinar entre un conjunto de modelos cual presenta el mejor ajuste para un determinado set de datos. El mejor modelo será aquel que presente el menor AIC.

3 Resultados

3.1 Datos de campo

En la Fig. 1 se presentan los *boxplots* correspondientes a los parámetros relacionados con el tallo (longitud y diámetro). En Fig 1.a se observa que, para la altura del cultivo, la dispersión de datos es baja en la mayor parte de las fechas. Respecto del diámetro, en la Fig 1.b, se observa mayor dispersión y asimetría.

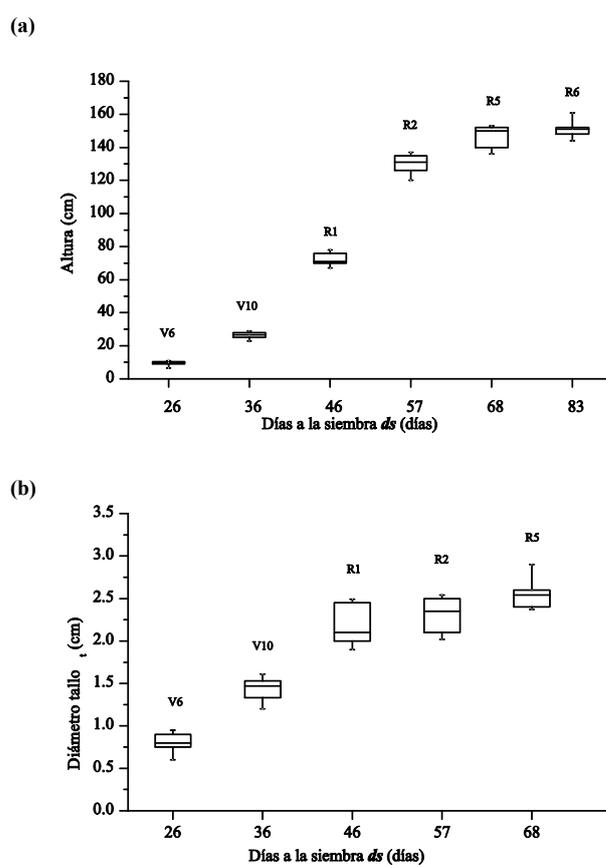


Fig. 1. Altura del cultivo (longitud del tallo) (a) y diámetro (b) en función de los días a la siembra (*ds*). Se indica el estado fenológico en la parte superior de los boxplots.

En la Fig. 2 se presentan los datos relacionados con los pecíolos. Se observa gran dispersión en los datos que corresponden a la longitud, en Fig 2.a.

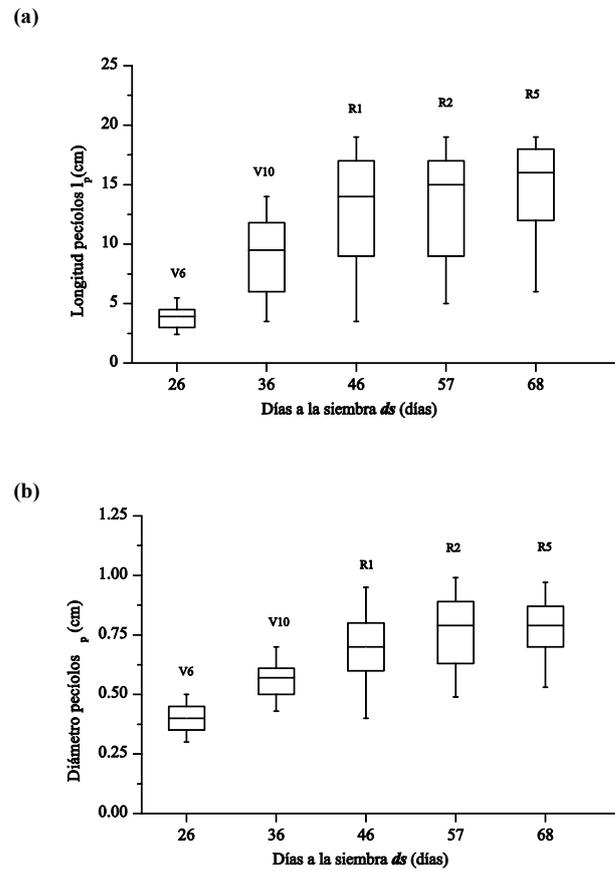


Fig. 2. Longitud de los pecíolos (a) y diámetro (b) en función de los días a la siembra (ds). Se indica el estado fenológico en la parte superior de los boxplots.

En la Fig. 3 se presentan los *boxplots* correspondientes al área foliar total (**Aft**) por planta. Se observa cierta dispersión y asimetría de los datos.

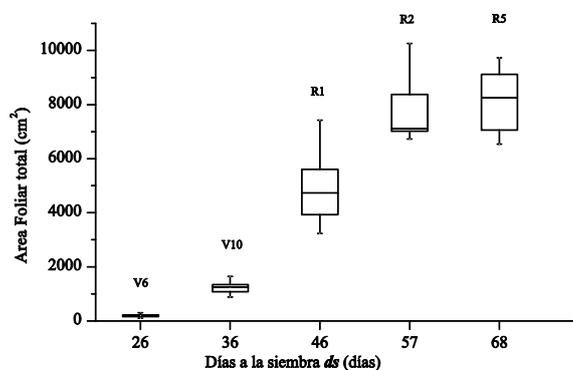


Fig. 3. Area foliar total (AFt) por planta en función de los días a la siembra (ds). Se indica el estado fenológico en la parte superior de los boxplots.

3.2 Modelo de crecimiento

Como variable independiente se utilizó la altura del cultivo (**h**), dado que es la variable utilizada en la simulación de TV. En vista de la baja dispersión de los datos (Fig. 1.a) se estima que la mediana representa una medida robusta de esta variable. Se ajustaron los datos de campo locales mediante la función logística propuesta (Ecuación 1).

En la tabla 2, se presentan los valores calculados para cada parámetro de la función y sus errores standard.

Tabla 2. Parámetros de la función logística utilizada para ajustar los datos de campo. Φ_t : diámetro del tallo, l_p = longitud de los peciolo, Φ_p = diámetro de los peciolo, n_1 = cantidad de datos utilizados en el ajuste

dato	n_1	a	a (SE)	x_c	x_c (SE)	k	k (SE)
Φ_t^*	66	2.50	0.11	22.84	4.36	0.04	0.01
l_p^*	66	13.74	0.56	19.89	2.65	0.09	0.02
Φ_p^*	66	0.76	0.02	5.58	3.64	0.04	0.01
IAF**	66	3.45	0.09	64.37	2.85	0.05	0.01

Unidades de a, a(SE), x_c y x_c (SE): * [cm], ** adimensional

Unidades de k y k(SE): * [1/cm], ** adimensional

En la Fig. 4 se presentan las gráficas de ambos modelos de crecimiento, el propuesto en este trabajo, que denominaremos LP (La Pampa) y el de TV, y los datos de campo (mediana, [Q1-Q3]).

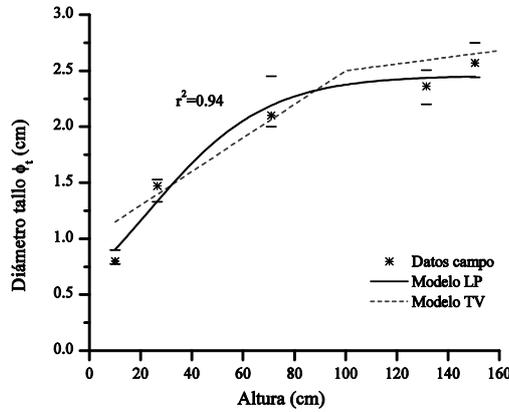


Fig. 4. Modelo LP, Modelo TV y datos de campo para el diámetro del tallo en función a la altura del cultivo.

En las Fig. 5.a y 5.b se muestran los resultados relacionados con los peciolos. En ambos casos el modelo de TV presenta discrepancias significativas con los datos de campo, por exceso en el caso de la longitud y por defecto para el diámetro.

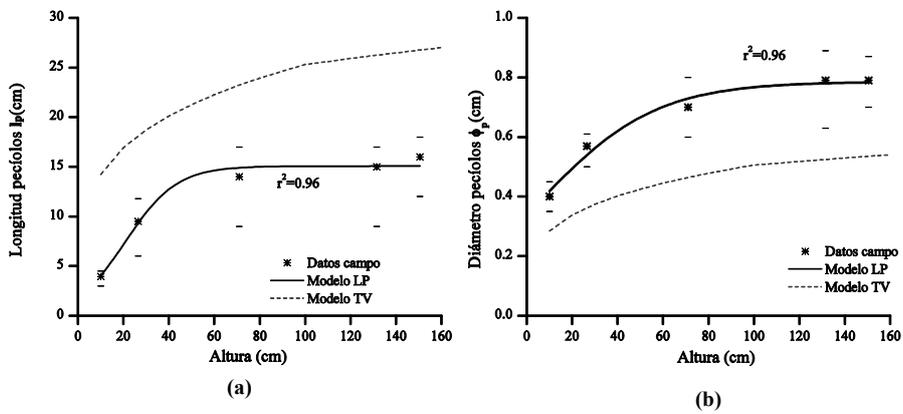


Fig. 5. Modelo LP, Modelo TV y datos de campo para la longitud (a) y diámetro (b) de los peciolos en función a la altura del cultivo.

En la Fig. 6, se presentan los resultados para el índice de área foliar (IAF). En este caso también existen discrepancias entre los datos de campo y el modelo TV.

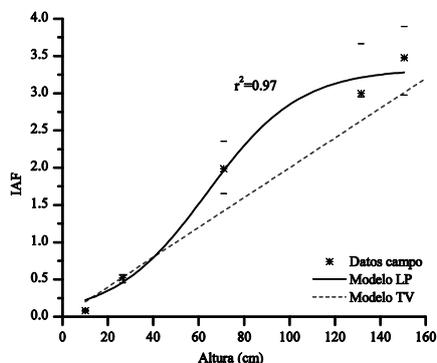


Fig. 6. Modelo LP, Modelo TV y datos de campo para el IAF en función a la altura del cultivo.

Se observa que existen discrepancias, en particular, en las dimensiones de pecíolos (longitud y diámetro) e IAF medidos a campo en la zona de estudio en La Pampa con las previstas en el modelo TV. De la comparación entre los dos modelos el AIC confirmó que el modelo propuesto en este trabajo ajusta mejor que el de TV para todas las variables.

4 Discusión

La morfometría de los pecíolos, que probablemente no represente una variable de especial interés desde el punto de vista fenológico o en modelos orientados a predecir rendimiento, puede resultar clave en las aplicaciones SAR. Como regla general, la interacción entre la onda incidente y el blanco o elementos del blanco, en este caso el cultivo, será significativa cuando las dimensiones de los elementos observados sean al menos del mismo orden de magnitud que la longitud de onda (λ) de la radiación incidente [29]. Para los satélites SAOCOM, $\lambda=23.5$ cm y para los COSMO SkyMed $\lambda=3.1$ cm. La longitud de los pecíolos, presenta una variación en la mediana de entre 4 y 16 cm para las distintas fechas, y gran dispersión de los datos para cada fecha. Es de interés notar que, en aquellas fechas en las que el cultivo alcanza su máximo desarrollo, se obtienen algunas medidas iguales o superiores a 20 cm. Por lo tanto, es factible que en Banda X (COSMO SkyMed) los pecíolos siempre contribuyan al coeficiente de retrodispersión, dado que su longitud es durante todo el ciclo superior o igual a 3 cm. En cambio, para la Banda L, los pecíolos probablemente resulten transparentes durante las primeras etapas del cultivo pero presenten algún grado de interacción al alcanzar el girasol su máximo desarrollo. Un efecto similar podría suceder con las hojas.

5 Conclusiones

Se realizaron mediciones de las dimensiones de los distintos órganos de un cultivar de girasol en la zona NE de La Pampa durante todo un ciclo productivo cada diez días aproximadamente.

Se ajustaron los datos de campo mediante una función logística, que presentó un mejor ajuste que el modelo de vegetación incluido en la simulación de TV.

En particular, las mayores discrepancias se observaron en los pecíolos, que dada la relación entre sus dimensiones características y la longitud de onda de operación del SAOCOM, puede dar lugar a variaciones significativas en el coeficiente de retrodispersión.

Se concluye que este modelo podrá utilizarse como punto de partida para adaptar los códigos que permiten estimar σ_0 con datos fiables para zonas con condiciones similares a aquellas para las que fue desarrollado, lo cual permitirá, a futuro, la inversión de dichos modelos con el objeto de estimar variables de interés.

A futuro, para la simulación final de σ_0 , se prevé modelar el resto de las variables relacionadas con el cultivo, como humedad volumétrica, y las asociadas al suelo (humedad y rugosidad) en la misma zona.

Finalmente, cabe mencionar que se presentan las distribuciones estadísticas de los datos recopilados que podrán utilizarse para el desarrollo de otras aplicaciones de interés, por ejemplo agronómicas, en condiciones similares a las de la zona de estudio.

Agradecimientos

Agradecemos al Ing. Agr. Daniel E. Martínez (*in memoriam*) y al Ing. Agr. Agustín Picardi, asesores técnicos del establecimiento agropecuario donde realizamos el trabajo de campo por sus invaluable aportes y sugerencias, así también como al propietario del mismo. Agradecemos al Profesor Paolo Ferrazzoli de la Universidad Tor Vergata, Roma por el asesoramiento respecto del modelo TV. Este trabajo fue financiado por la Facultad de Ingeniería de la UNLPam.

Referencias

1. CONAE: Plan Espacial Nacional, <https://www.argentina.gob.ar/ciencia/conae/plan-espacial>, last accessed 2020/03/28.
2. Giraldez, A.E.: Saocom -1 Argentina L band SAR mission overview. Eur. Sp. Agency, (Special Publ. ESA SP. 245–248 (2004).
3. CONAE: SIASGE, <https://www.argentina.gob.ar/ciencia/conae/misiones-espaciales/siasge>, last accessed 2020/03/31.
4. Fiorentino, C., Virelli, M.: COSMO-SkyMed Mission and Products Description - Agenzia Spaziale Italiana (ASI), https://www.asi.it/wp-content/uploads/2019/08/COSMO-SkyMed-Mission-and-Products-Description_rev3-1.pdf, last accessed 2020/04/06.
5. I.N.D.E.C: Anuario Estadístico de la República Argentina 2017. INDEC, Ciudad

- Autónoma de Buenos Aires (2018).
6. Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca: Estimaciones Agrícolas, <http://datosestimaciones.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=Estimaciones>, last accessed 2020/04/06.
 7. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO): FAOSTAT, <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>, last accessed 2020/04/06.
 8. Hernández, L., Aguirrezábal, L., Orioli, G.: Girasol. Aspectos fisiológicos que determinan el rendimiento. (1996).
 9. Leite, J.G.D.B., Silva, J.V., Justino, F.B., van Ittersum, M.K.: A crop model-based approach for sunflower yields. *Sci. Agric.* 71, 345–355 (2014). <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2013-0356>.
 10. Pereyra-Irujo, G.A., Aguirrezábal, L.A.N.: Sunflower yield and oil quality interactions and variability: Analysis through a simple simulation model. *Agric. For. Meteorol.* 143, 252–265 (2007). <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2007.01.001>.
 11. Villalobos, F.J., Hall, A.J., Ritchie, J.T., Orgaz, F.: OILCROP-SUN: A development, growth, and yield model of the sunflower crop. *Agron. J.* 88, 403–415 (1996). <https://doi.org/10.2134/agronj1996.00021962008800030008x>.
 12. Chapman, S.C., Hammer, G.L., Meinke, H.: A Sunflower Simulation Model: I. Model Development. *Agron. J.* 85, 725–735 (1993). <https://doi.org/10.2134/agronj1993.00021962008500030038x>.
 13. Ulaby, F., Long, D.: Microwave Radar and Radiometric Remote Sensing. The University of Michigan Press (2014). <https://doi.org/10.3998/0472119356>.
 14. Bracaglia, M., Ferrazzoli, P., Guerriero, L.: A fully polarimetric multiple scattering model for crops. *Remote Sens. Environ.* 54, 170–179 (1995). [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(95\)00151-4](https://doi.org/10.1016/0034-4257(95)00151-4).
 15. Mieza, M.S., Cravero, W.R.: Datos SAR en Agricultura : Modelado del Coeficiente de Retrodispersion para el cultivo de girasol. In: VIII Congreso Argentino de Tecnología Espacial (2015).
 16. Leonard, E.C.: Precision Agriculture. In: *Encyclopedia of Food Grains: Second Edition*. pp. 162–167. Academic Press (2015). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394437-5.00203-5>.
 17. Mieza, M.S., Cravero, W.R., Kovac, F.D., Bargiano, P.G.: Delineation of site-specific management units for operational applications using the topographic position index in La Pampa, Argentina. *Comput. Electron. Agric.* 127, 158–167 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.06.005>.
 18. Mieza, M.S., Kovac, F.D., Martínez, D.E.: Agricultura de Precisión: experiencias y potencial de aplicación en La Pampa. In: Di Liscia, M.S. (ed.) *Resultados Finales: Proyectos de Investigación Científica y Tecnológica Orientados al Desarrollo Productivo Provincial*. p. 193. EdUNLPam (2014).
 19. Ghironi, E., Corró Molas, A.E., Gili, A., Hevia, E., Reinoso, H.: Manejo sitio-específico de densidades en los cultivos de girasol, maíz y sorgo en la región semiárida pampeana central. *Av. la Agric. por Ambient. en la región semiárida pampeana*. 64 (2012).
 20. Zuil, S.: Girasol Estados fenológicos, https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-fenologia_girasol.pdf, last accessed 2020/08/18.
 21. Aguirrezabal, L., Orioli, G., Hernández, L., Pereyra, V., Miravé, J.P.: Girasol: Aspectos fisiológicos que determinan el rendimiento. (2001).
 22. WATSON, D.J.: Comparative Physiological Studies on the Growth of Field Crops. I. Variation in Net Assimilation Rate and Leaf Area between Species and Varieties and between Year. *Ann. Bot.* 11, 41–76 (1947). <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a083148>.
 23. Tukey, J.W.: Exploratory Data Analysis. In: *Exploratory Data Analysis*. pp. 61–100 (1977). <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7976-6>.

24. Verhulst PF.: A note on population growth. In: *Correspondance mathématique et physique*, Volumen10. pp. 113–121 (1838).
25. Yin, X., Goudriaan, J., Lantinga, E.A., Vos, J., Spiertz, H.J.: A flexible sigmoid function of determinate growth. *Ann. Bot.* 91, 361–371 (2003). <https://doi.org/10.1093/aob/mcg029>.
26. Bergerud, W.A.: Practical Guide to Logistic Regression. (2016). <https://doi.org/10.18637/jss.v071.b03>.
27. Akaike, H.: A new look at the statistical model identification. *IEEE Trans. Automat. Contr.* 19, 716–723 (1974). <https://doi.org/10.1109/TAC.1974.1100705>.
28. Johnson, J.B., Omland, K.S.: Model selection in ecology and evolution. *Trends Ecol. Evol.* 19, 101–108 (2004). <https://doi.org/10.1016/j.tree.2003.10.013>.
29. Le Toan, T.: Introduction to SAR Remote Sensing, <https://earth.esa.int/landtraining07/D1LA1-LeToan.pdf>, last accessed 2020/03/04.