



Uso de teledetección y SIG para evaluar la biomasa de cultivos de maíz en diferentes fechas de siembra, Tucumán, campaña 2022/2023

-
- › Carmina Fandos*, Federico J. Soria*, Pablo Scandaliaris*, Javier I. Carreras Baldrés*, Mario R. Devani** y Daniel Gamboa**
-

Introducción

La campaña de granos gruesos 2022/2023 en la provincia de Tucumán transcurrió bajo la influencia de “La Niña”, fenómeno que transitó el tercer año consecutivo y que se caracteriza por precipitaciones por debajo de los valores normales.

Con respecto a las temperaturas, los meses de noviembre y diciembre de 2022, y enero, febrero y marzo de 2023 se caracterizaron por tener registros de temperaturas máximas medias muy superiores a los esperables, lo que determinó que fuera el periodo más caliente de los últimos 50 años (Forciniti *et al.*, 2023). Dicha situación, complementada con escasas precipitaciones, moldeó un ambiente complicado para el óptimo desarrollo de los cultivos de maíz en la provincia.

Es importante destacar la irregularidad de las lluvias, tanto en la distribución espacial como en los milímetros registrados, situación que determinó diferentes escenarios a lo largo del área granera de la provincia. En la zona pedemontana y en el área granera del departamento La Cocha se lograron cultivos con buen desarrollo, a diferencia de las zonas noreste, este y sudeste, donde la falta de lluvias determinó retrasos en la implantación de los cultivos de maíz, y en algunos casos, hasta imposibilitó la siembra. También se registraron casos en los que directamente se perdieron lotes implantados por la escasez de precipitaciones.

Cabe destacar que los análisis considerando distintas fechas de siembra en Monte Redondo (departamento Burruyacu) mostraron que las fechas más tardías tuvieron mejores condiciones en el aspecto hídrico para los cultivos de maíz, a diferencia de lo ocurrido en la localidad de Casas Viejas (departamento La Cocha), donde el aporte de precipitaciones tuvo una distribución más uniforme en las distintas fechas de siembra (Leal, 2023).

El uso de imágenes generadas por sensores remotos facilita el estudio de las coberturas vegetales. Entre las metodologías utilizadas en el análisis de imágenes se destacan los índices de vegetación. Se trata de un cociente entre los niveles digitales

*Sección Sensores Remotos y S.I.G; ** Sección Granos, EEAOC.
carminaf@eeaoc.org.ar

TUCAGRO

S.R.L.

Agroquímicos - Semillas - Fertilizantes

**Creciendo en calidad y servicio
en beneficio del productor**

Casa Central Tucumán

Av. Juan Domingo Perón Km 5,3
Cevil Pozo, Dpto. Cruz Alta (CP. 4178)
Cel. 3815438402
tucagro@tucagro.com.ar

Sucursal Alberdi

RN 38 Km 710, (CP. 4158)
Dpto. Juan Bautista Alberdi, Tucumán
Cel. 3814645023
tucagroalberdi@tucagro.com.ar

 @tucagrosrl

 @tucagro.tucuman



almacenados en dos o más bandas de la misma imagen. Los niveles digitales corresponden a valores de reflectividad a distintas longitudes de onda y se utilizan con la finalidad de extraer la información relacionada con la vegetación, minimizando la influencia de otros factores externos tales como las propiedades ópticas del suelo, la irradiancia solar, etc. (Sobrino *et al.*, 2000).

El Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (Índice de vegetación de diferencia normalizada) es un índice verde que relaciona la reflectividad en las bandas del infrarrojo cercano y el rojo del espectro electromagnético de la luz. Este ofrece una medida de la cobertura vegetal y su vigor, lo que permite el monitoreo de los cambios estacionales y anuales de la vegetación, ya que responde a cambios en la cantidad de biomasa verde. Los valores del índice NDVI fluctúan entre -1 y 1. Diversos estudios y publicaciones señalan que valores por encima de 0,2 indican presencia de vegetación, y cuanto más alto sea el valor de este índice, las condiciones de vigor son mejores. Si bien el intervalo dinámico del índice NDVI es amplio en condiciones de baja biomasa, y restringido en situaciones de alta biomasa (Jensen, 2007), es uno de los índices de vegetación más difundidos en la observación remota y en el medio agroproductivo.

El objetivo del trabajo fue evaluar la biomasa de los cultivos de maíz en Tucumán en la campaña 2022/2023, a nivel general y según diferentes fechas de siembra, utilizando el índice NDVI.

Procedimiento de análisis

Se realizó un análisis multitemporal de imágenes satelitales Sentinel 2A y 2B MSI, obtenidas del sitio <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>. Estas corresponden al nivel 2A y presentan correcciones atmosféricas. Las fechas de adquisición fueron 11 de febrero, 18 de marzo y 12 de abril de 2023.

En primera instancia, se enmascararon las imágenes satelitales con el fin de conservar únicamente los campos cultivados con maíz, para lo cual se utilizó la capa temática de área maicera a nivel provincial, correspondiente a la campaña 2022/2023 (Fandos *et al.*, 2023).

Seguidamente se aplicó el índice NDVI sobre cada una de las imágenes satelitales, se establecieron diferentes rangos y se calculó el valor promedio de NDVI.

Posteriormente se diferenciaron áreas maiceras teniendo en cuenta las fechas de siembra. Se consideraron cuatro fechas de siembra: primera y segunda quincena de diciembre de 2022 y primera y segunda quincena de enero 2023; y el análisis se restringió a los departamentos Burruyacu, Cruz Alta y Leales.



Aspectos generales sobre las etapas fenológicas y perfil espectral del índice NDVI en cultivos de maíz

La Figura 1 exhibe las etapas fenológicas del maíz y su duración aproximada. Se aprecia que la etapa reproductiva, específicamente entre la polinización y el llenado de granos, coincide con el mayor desarrollo de biomasa del cultivo, presentando una canopia verde con alta capacidad para interceptar la radiación. Cabe mencionar que el periodo alrededor de la floración es crítico para la determinación del número de granos por unidad de superficie, siendo este número el que explica en gran medida la variación en el rendimiento. Por lo tanto, el cultivo de maíz debe ser manejado de forma tal que alcance en esta etapa un estado fisiológico óptimo, es decir, alta tasa de crecimiento, elevada partición de biomasa a estructuras reproductivas, alto factor de fertilidad y prolongada duración (Andrade *et al.*, 2023)

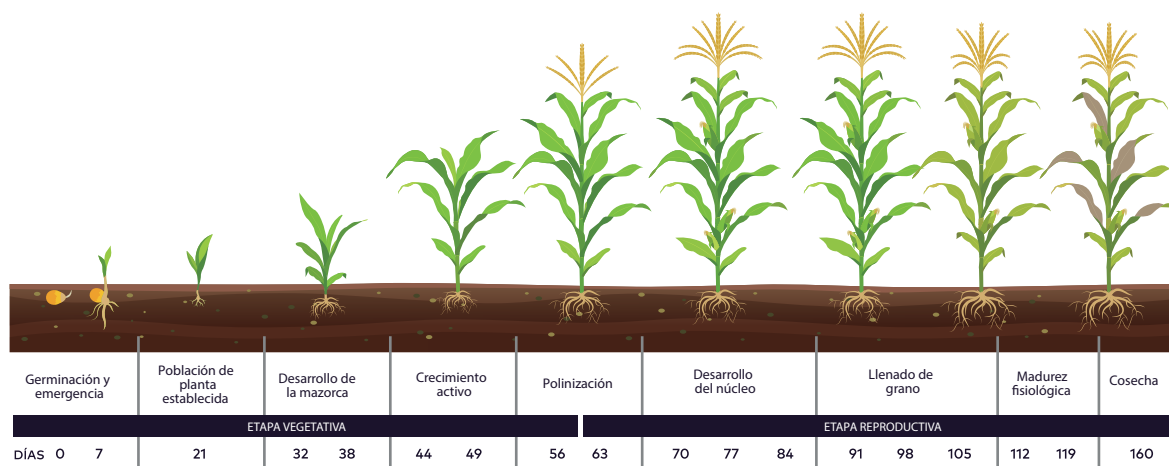


Figura 1: Etapas fenológicas del maíz.

Fuente: <https://blog.cambiagro.com/2022/09/27/fertilizacion-de-acuerdo-al-desarrollo-fenologico-del-cultivo/>

En la Figura 2 se expone la variación temporal de los registros de NDVI para cultivos de maíz con diferentes sensores. Se aprecia que el período con mayores valores de NDVI ocurre entre los 60 y los 100 días después de la siembra, aproximadamente, coincidentes con el periodo reproductivo donde el cultivo presenta alta concentración de biomasa fotosintéticamente activa.

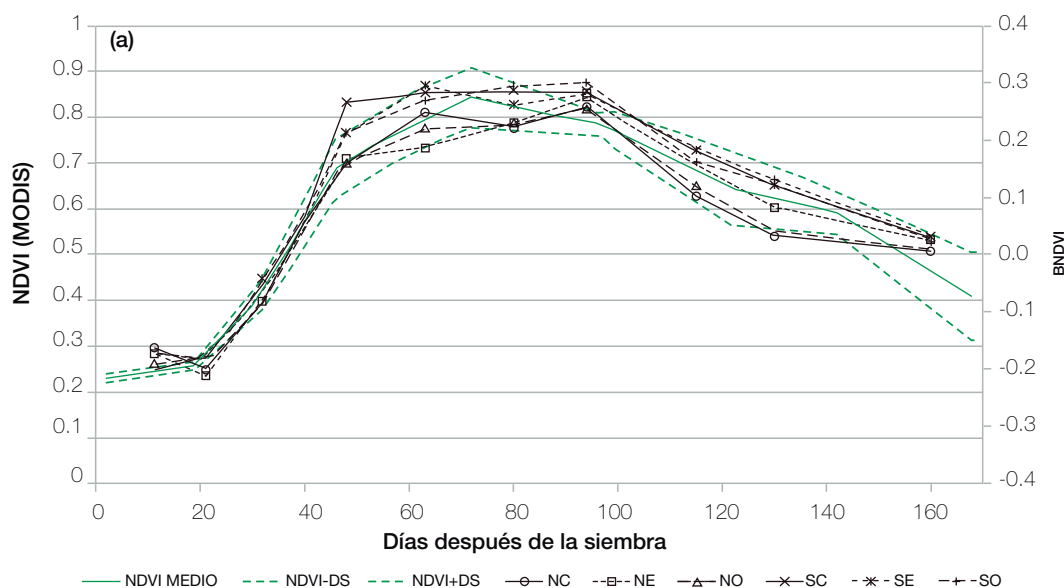


Figura 2. Variación del NDVI respecto a los días después de la siembra obtenidos por AQUA-MODIS y BNDVI obtenido por cámara digital. Fuente: de la Casa *et al.* (2017).

Evaluación de la biomasa del área maicera tucumana

La Figura 3 expone la superficie alcanzada por los diferentes valores del índice NDVI en las tres fechas analizadas, mientras que las Figuras 4, 5 y 6 muestran su distribución espacial.

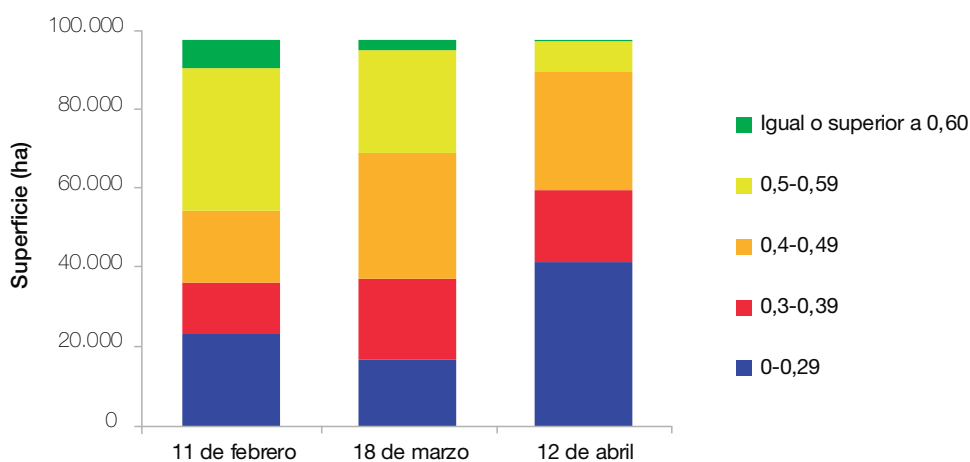


Figura 3. Superficie ocupada por los valores de índice NDVI en el área maicera tucumana, 11 de febrero, 18 de marzo y 12 de abril de 2023. Imágenes Sentinel 2A y 2B.

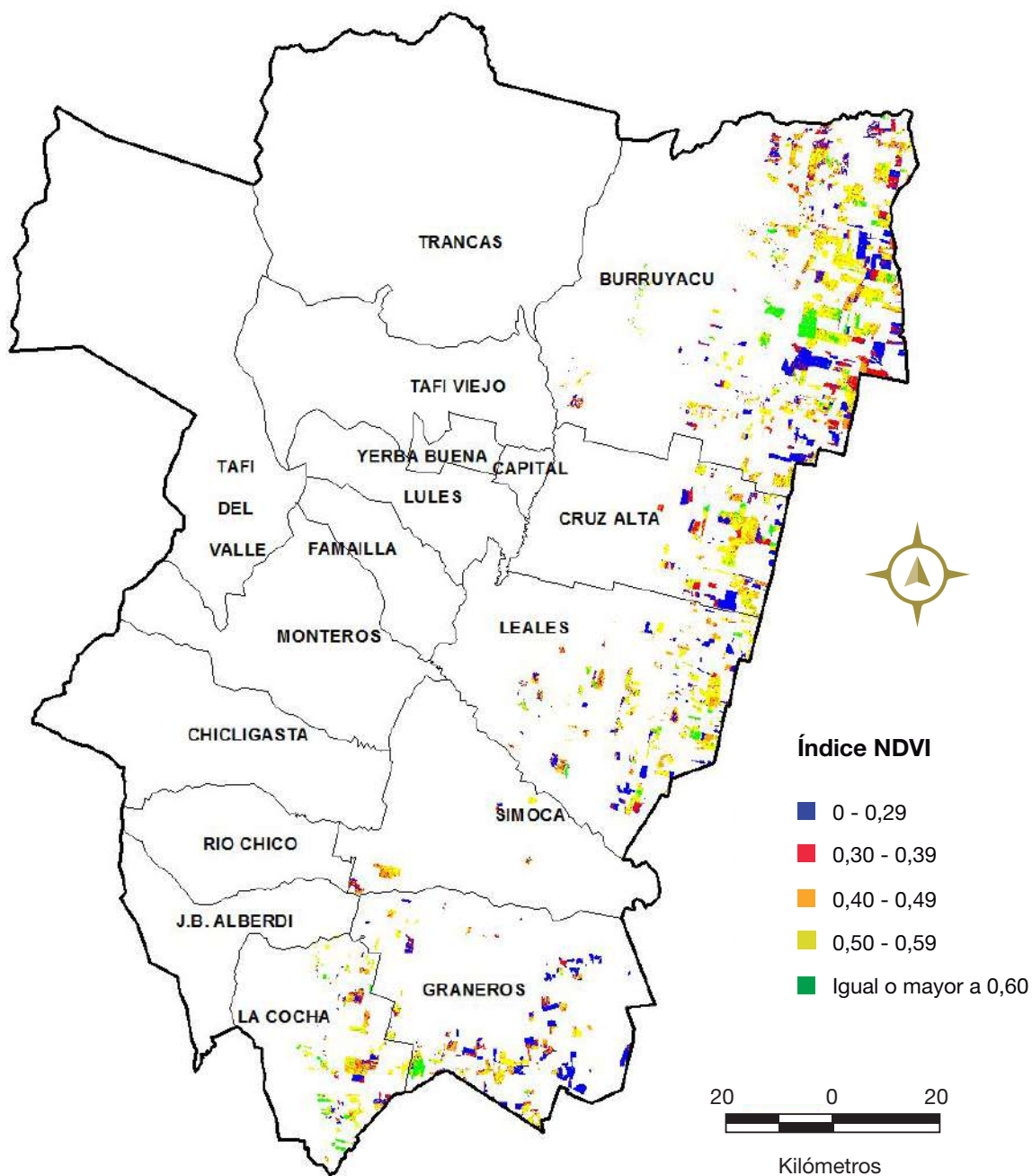


Figura 4. Distribución espacial de valores de índice NDVI en el área maicera tucumana, 11 de febrero de 2023. Imágenes Sentinel 2A.

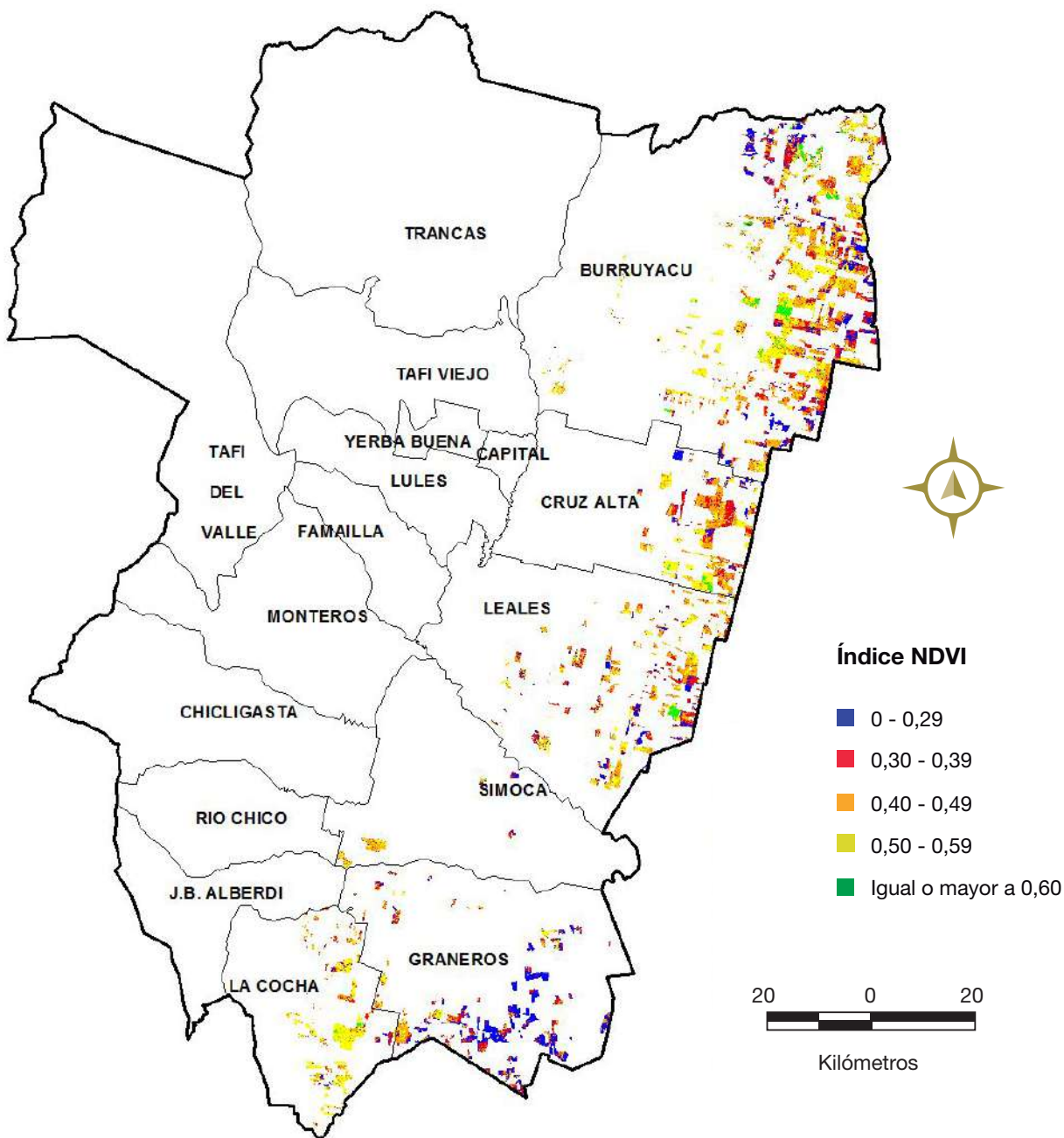


Figura 5. Distribución espacial de valores de índice NDVI en el área maicera tucumana, 18 de marzo de 2023. Imágenes Sentinel 2B.

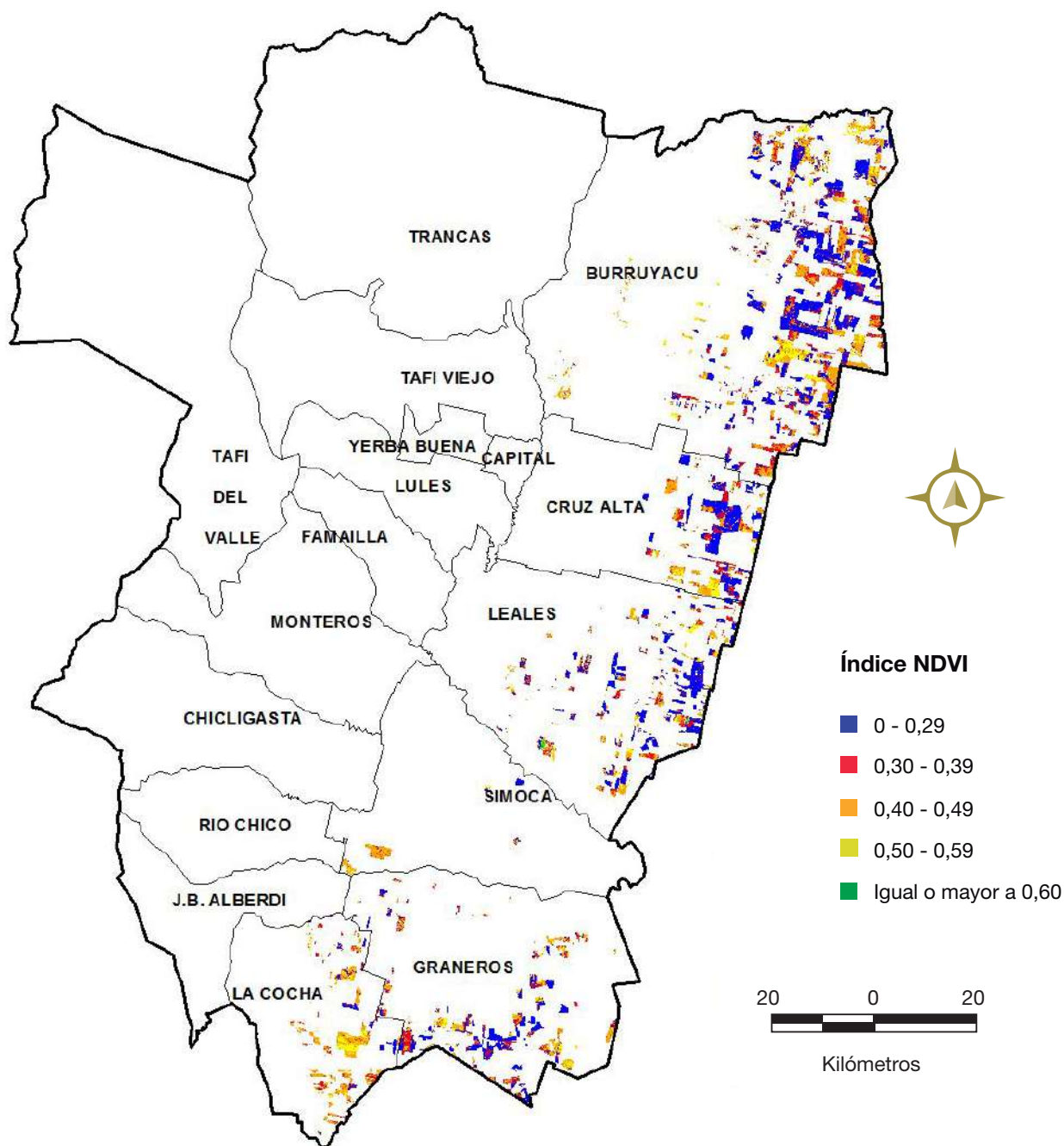


Figura 6. Distribución espacial de valores de índice NDVI en el área maicera tucumana, 12 de abril de 2023. Imágenes Sentinel 2A.

Para una mejor apreciación de la información obtenida se calculó la media ponderada de los valores de NDVI para cada fecha analizada, lo que permitió la obtención del perfil espectral de NDVI para el área maicera en la campaña 2022/2023 (Figura 7). Se constatan valores promedio de NDVI cercanos a 0,40, correspondientes a



desarrollo de biomasa moderado, entre el 11 de febrero y el 18 de marzo, y una marcada disminución hacia el 12 de abril, evidenciando una senescencia anticipada de los cultivos de maíz. El escenario descrito tiene relación con el rendimiento promedio de maíz estimado para la campaña 2022/2023 en la provincia de Tucumán, que sólo alcanzó 4270 kg/ha (Paredes *et al.*, 2023).

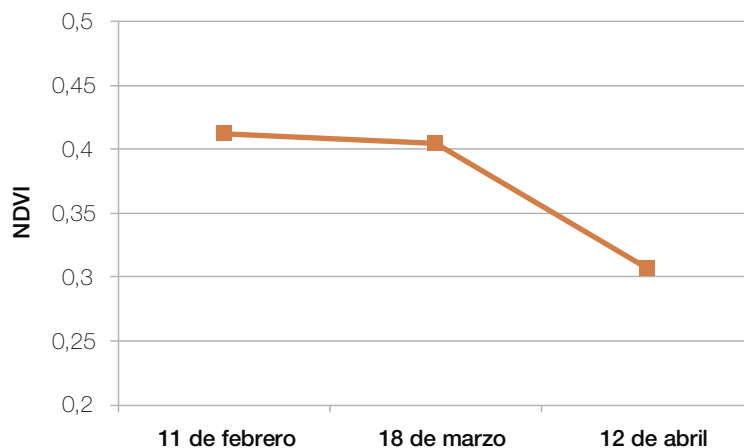


Figura 7. Valores medios de índice NDVI por rangos en el área maicera tucumana, en diferentes fechas de la campaña 2022/2023. Imágenes Sentinel 2A y 2B.

En la Figura 8 se exhiben los perfiles espectrales de valores medios de NDVI del área maicera en la campaña 2022/2023, en los principales departamentos graneros. El análisis de los departamentos Burruyacu, Cruz Alta y Leales revela la misma tendencia registrada a nivel provincial, con rendimientos promedio para la campaña analizada estimados en 4010, 4350 y 3670 kg/ha, en cada caso (Paredes *et al.*, 2023). En La Cocha se observaron los mayores valores de NDVI, con una tendencia levemente creciente entre el 11 de febrero y el 18 de marzo, y un descenso menos pronunciado hacia el mes de abril; mientras que en Graneros se constataron los menores valores de NDVI, que evidenciaron un escaso desarrollo de biomasa en general. Con respecto a los rendimientos promedio fueron estimados en 6450 kg/ha y 3940 kg/ha para La Cocha y Graneros, respectivamente.

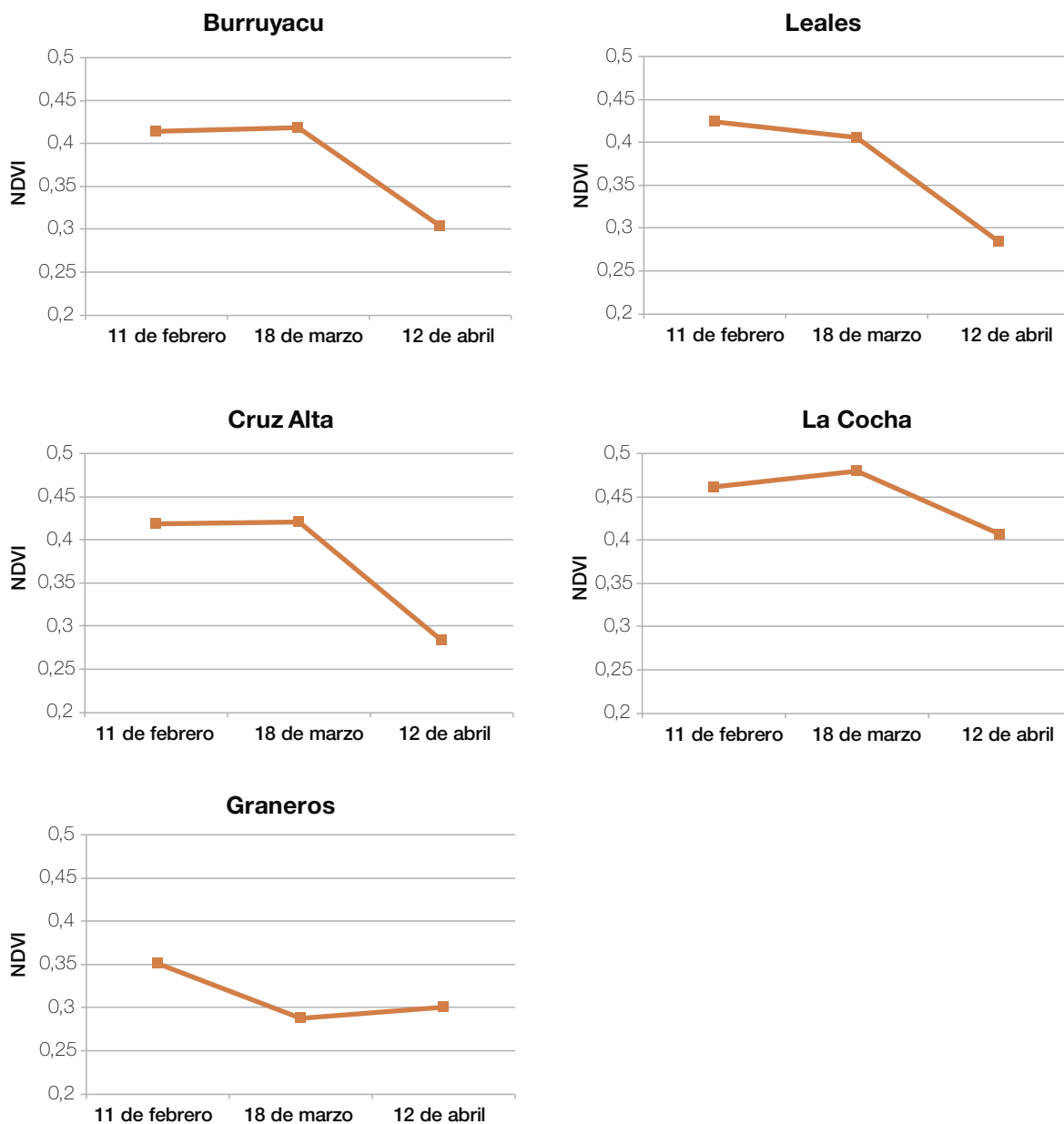


Figura 8. Valores medios de índice NDVI por rangos en el área maicera, en diferentes fechas de la campaña 2022/2023. Imágenes Sentinel 2A y 2B. Principales departamentos graneros de Tucumán.

Evaluación de la biomasa del área maicera según fechas de siembra

Para analizar el comportamiento del índice NDVI se seleccionaron los departamentos Burruyacu, Leales y Cruz Alta, puesto que tuvieron una tendencia similar. También se consideró la importancia de estos a nivel provincial, ya que entre los tres concentraron el 78% de la superficie maicera tucumana en la campaña 2022/2023, con porcentuales individuales de 50%, 15% y 13%, respectivamente (Fandos *et al.*, 2023).



La Figura 9 muestra la distribución espacial de los lotes test utilizados para el análisis de fechas de siembra. Como se mencionó previamente, se consideraron cuatro fechas: primera y segunda quincena de diciembre de 2022 (1QD y 2QD), y primera y segunda quincena de enero 2023 (1QE y 2QE). Se aprecia mayor concentración de lotes test en Burruyacu; y un predominio, en general, de la fecha de siembra correspondiente a la 2QD, seguida muy por debajo por la 1QE.

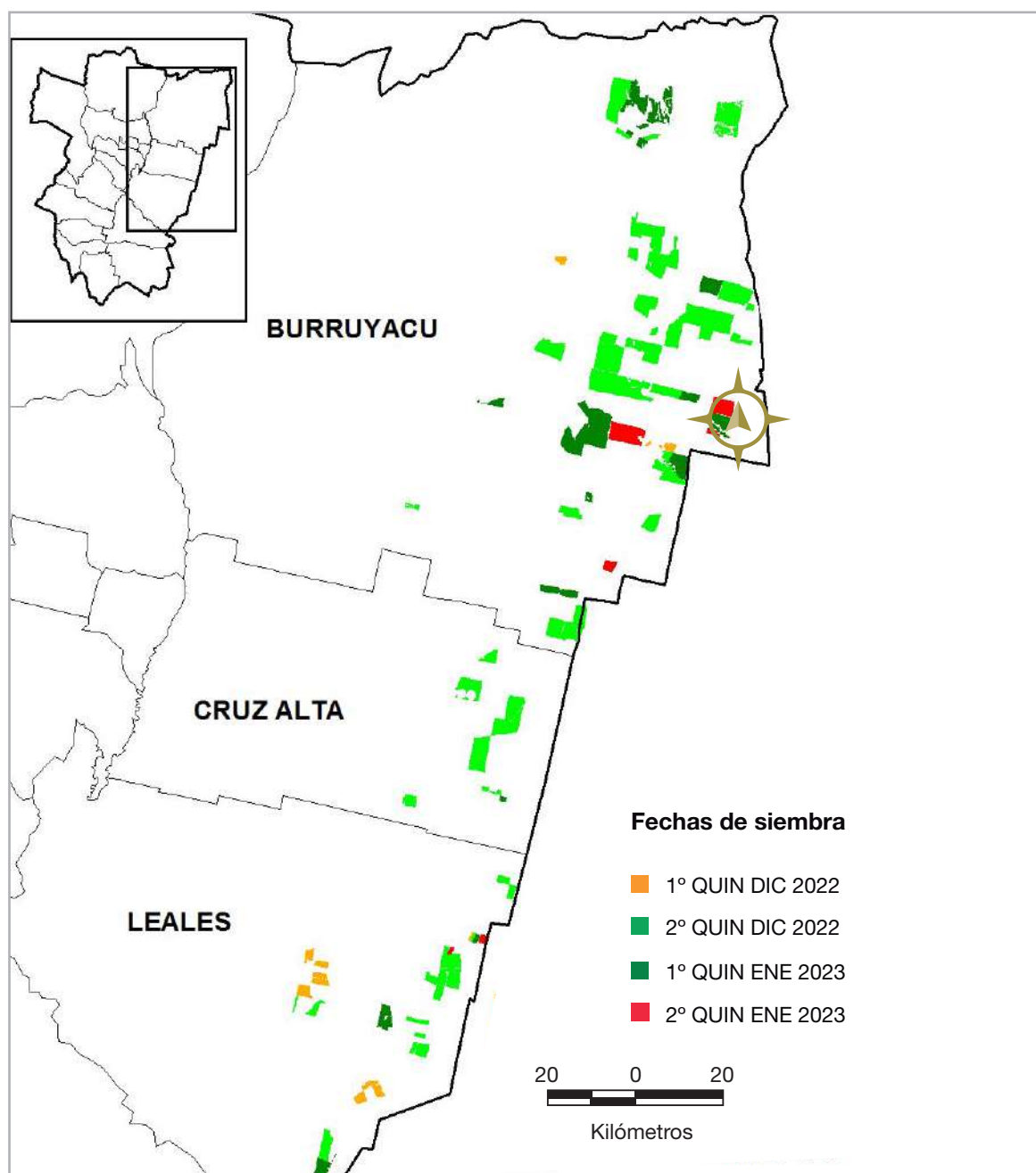


Figura 9. Lotes test utilizados para la evaluación de la biomasa según fechas de siembra. Departamentos Burruyacu, Cruz Alta y Leales.



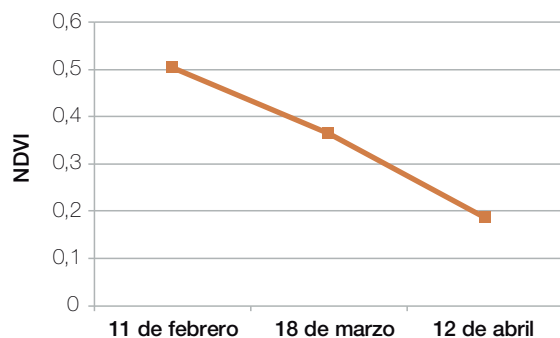
En la Figura 10 se exponen los perfiles espectrales de valores medios de NDVI y los rendimientos promedio de los lotes test para las cuatro fechas consideradas. Se observan perfiles espectrales similares en las dos fechas de siembra de diciembre, pero mayor gradiente negativo en la 1QD. En la 2QD se constata mayor valor al inicio y un descenso menos pronunciado. Cabe destacar el mayor rendimiento con respecto a la 1QD.

La 1QE fue la fecha que presentó los mayores rindes. Su perfil espectral se inicia con bajos valores de NDVI, en consonancia con un escaso desarrollo de biomasa por el poco tiempo transcurrido desde la siembra; luego, un importante ascenso en marzo y un leve descenso en los valores en el mes de abril.

Por último, la 2QE muestra una tendencia ascendente, con el mayor valor en el mes de abril. Esta fecha presentó bajos rendimientos promedio, que podrían ser explicados por las temperaturas extremadamente superiores a lo normal registradas durante el mes de marzo, al momento de la polinización.

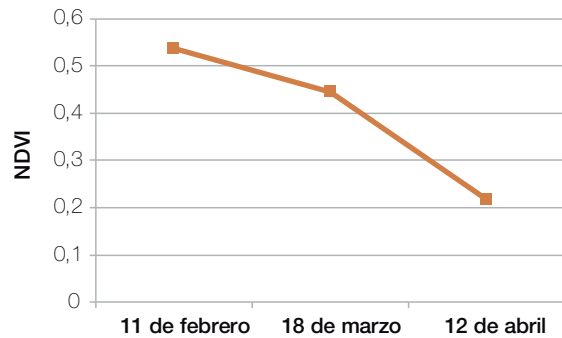
1° Quincena Diciembre (1QD)

Rto. promedio 3.470 kg/ha



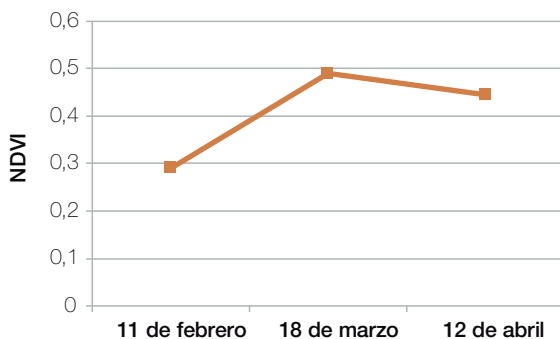
2° Quincena Diciembre (2QD)

Rto. promedio 4.850 kg/ha



1° Quincena Enero (1QE)

Rto. promedio 5.440 kg/ha



2° Quincena Enero (2QE)

Rto. promedio 3.427 kg/ha

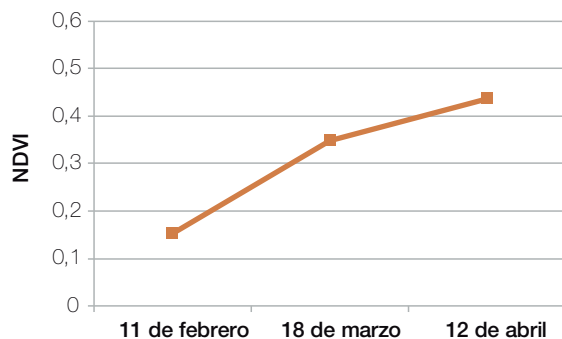


Figura 10. Valores medios de índice NDVI por rangos en el área maicera, según fechas de siembra, en diferentes fechas de la campaña 2022/2023 y rendimientos promedio. Imágenes Sentinel 2A y 2B. Departamentos Burruyacu, Cruz Alta y Leales.



Consideraciones finales

Anivel provincial se constataron valores promedio de NDVI prácticamente iguales entre el 11 de febrero y el 18 de marzo, y una marcada disminución hacia el 12 de abril, evidenciando una senescencia anticipada de los cultivos de maíz. Dicha tendencia fue similar en los departamentos Burruyacu, Cruz Alta y Leales.

En La Cocha se observaron los mayores valores de NDVI, con una tendencia creciente entre el 11 de febrero y el 18 de marzo, y un descenso menos pronunciado hacia el mes de abril; mientras que en Graneros se constataron los menores valores de NDVI, que evidenciaron un escaso desarrollo de biomasa en general.

El análisis de las fechas de siembra (FS) en Burruyacu, Cruz Alta y Leales reveló que la primera quincena de enero presentó los mayores rendimientos promedio, mientras que su perfil espectral mostró valores ascendentes de NDVI entre febrero y marzo, con leve caída de valores hacia el mes de abril.

La FS correspondiente a la segunda quincena de diciembre presentó el segundo lugar en cuanto a rendimientos promedio para esta zona. Le siguen las siembras realizadas en la primera quincena de diciembre y la segunda quincena de enero, con rendimientos similares.

Los perfiles espectrales de la primera y segunda quincena de diciembre fueron similares pero con menores valores de NDVI en las siembras de la primera quincena, mientras que el perfil espectral de la FS relativa a la segunda quincena de enero mostró los menores valores en febrero con tendencia ascendente hasta el mes de abril.

Si bien la FS fue un factor decisivo en la campaña, el manejo del cultivo, el tipo de híbrido, la topografía y las condiciones de suelo jugaron un papel importante en la definición de los rendimientos.

■ Bibliografía citada

Andrade, F.; C. Vega; A. Cirilo y M. E. Otegui. Capítulo 4: Determinación del número de grano. En Andrade F.; M. E. Otegui; A. Cirilo y S. Uhart (eds). Ecofisiología y manejo del cultivo de maíz. 1ª ed. Libro digital, PDF. pp. 106-129.

de la Casa, A.; G. Ovando; L. Bressanini; J. Martínez; C. Miranda y G. Díaz. 2017. La cobertura del cultivo como indicador de la productividad de maíz en un lote con siembra variable. *Agriscientia* (34): pp. 1-14.

Fandos, C.; P. Scandaliaris; J. I. Carreras Baldrés; F. J. Soria; D. E. Gamboa, F. Ledesma, C. Espeche y M. R. Devani 2023. Monitoreo de la superficie implantada con soja, maíz y poroto en Tucumán y comparación con campañas precedentes.



Reporte Agroindustrial EEAOC 275 [En línea] Disponible en <https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=monitoreo-de-las-variables-que-afectan-el-desarrollo-de-la-plantacion-implantada-con-soja-maiz-y-poroto-en-la-campana-2022-2023-en-tucuman-y-comparacion-con-campanas-precedentes> (consultado 02 octubre 2023).

Forciniti, J.; M. L. Soule Gomez; A. M. Leal y J. M. Medina. 2023. Condiciones agrometeorológicas del período julio 2022 – febrero 2023 en Tucumán. [En línea]. Boletín electrónico (273). Disponible en <https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=condiciones-agrometeorologicas-del-periodo-julio-2022-febrero-2023-en-tucuman> (consultado 17 abril 2023).

Leal, Martin. 2023. Condiciones agrometeorológicas para el cultivo de maíz en la campaña 2022/2023. En XXIII Taller de híbridos de maíz, EEAOC. Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=22jB5ipOCAQ> (consultado 04 octubre 2023).

Jensen, John R. 2007. Remote sensing of the environment: an earth resource perspective. Tradução: Epiphanio, J. C. N. *et al.* Sao José dos Campos. SP. Parentese. 2009.

Paredes, V.; D. Pérez y G. Rodríguez. 2023. Resultados de la encuesta de maíz en Tucumán y zonas de influencia en la campaña 2022/2023. En XXIII Taller de híbridos de maíz, EEAOC. Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=22jB5ipOCAQ> (consultado 04 octubre 2023).

Sobrino, J. A.; N. Raissouni; Y. Kerr; A. Oliosio; M. J. López-García; A. Belait; M. H. El Kharraz; J. Cuenca y L. Dempere. 2000. Teledetección. Servicio de Publicaciones, Universidad de Valencia, Valencia, España.