

Análisis espacio-temporal de secuencias de cultivos en lotes de soja mediante técnicas geoespaciales: campañas 2023/2024 y 2024/2025 en Tucumán

› Carmina Fandos*, Pablo Scandaliaris*, Javier I. Carreras Baldrés*

Introducción

La sostenibilidad de los agroecosistemas depende en gran medida de la implementación de prácticas de manejo del suelo óptimas. Dentro de estas, la rotación de cultivos y la intensificación agrícola se posicionan como estrategias fundamentales para asegurar la viabilidad a largo plazo de los sistemas de producción.

El cultivo de maíz tiene gran importancia para el área de producción de granos de Tucumán y otras provincias del Noroeste Argentino, fundamentalmente por su contribución a la sostenibilidad del sistema y al incremento de los rendimientos de otros cultivos, especialmente soja (Ploper, 2012). Si bien es la alternativa de rotación para los cultivos de soja y poroto, no tiene el grado de adopción recomendable (40-50%) desde el punto de vista de la sustentabilidad ambiental, por razones coyunturales y estructurales (Valdez Naval *et al.*, 2018).

Para la campaña 2023/2024, el maíz se vio afectado por un fuerte ataque de *Dalbulus maidis*, lo que impactó en los bajos rendimientos, principalmente en el sur del área granera (Fandos *et al.*, 2024a). Dicho escenario influyó notablemente en la decisión de siembra de los cultivos estivales en la campaña 2024/2025 que derivó en cambios en las frecuencias de siembra de las secuencias de cultivos.

En este contexto, los objetivos del trabajo fueron identificar y cuantificar los cultivos antecesores de la superficie sembrada con soja en las campañas 2023/2024 y 2024/2025 en Tucumán, y realizar una comparación entre ambas campañas para determinar las variaciones en las secuencias de cultivos.

El estudio se basó en un análisis multitemporal de imágenes satelitales categorizadas con herramientas de SIG. Se analizaron las clasificaciones multiespectrales de los cultivos de soja, maíz, poroto, trigo, garbanzo y caña de azúcar. La temporalidad del estudio incluyó un período de tres campañas de verano y dos de invierno para los cultivos de granos, y las dos últimas campañas disponibles para la caña de azúcar.

*Sección Sensores Remotos y S.I.G., EEAOC.

E-mail: carminaf@eeaoc.org.ar

➤ Agradecemos a las siguientes empresas por su apoyo constante



Superficie con cultivos de granos y de caña de azúcar en el último lustro

Para contextualizar el estudio se elaboró la Figura 1, que expone la superficie con cultivos de granos y caña de azúcar en el período 2021-2025. El detalle del cultivo de soja permite constatar que la superficie se mantuvo alrededor de las 170.000 ha hasta la campaña 2023/2024. El ciclo 2024/2025 mostró un notable incremento, alcanzando una superficie de alrededor de 186.000 ha.

En cuanto al maíz, la superficie presentó valores cercanos a las 95.000 ha en las tres primeras campañas. En el ciclo 2023/2024 la superficie alcanzó un valor cercano a las 90.000 ha, mientras que en la última campaña se registró una importante reducción, del 44,2%, disminuyendo el área a aproximadamente 50.000 ha.

Respecto al trigo, en 2021 se cultivaron alrededor de 83.000 ha. En 2022 se constató una notable disminución de la superficie cultivada, con aproximadamente 66.000 ha. En los años 2023 y 2024 se registraron sendos aumentos de superficie, presentando el año 2024 cerca de 93.000 ha.

En lo referente al garbanzo, se detectaron valores cercanos a las 13.000 ha, en 2021 y 2022, y próximos a las 17.000 ha en 2023 y 2024.

En cuanto a la caña de azúcar, se observaron valores cercanos a las 280.000 ha en 2021 y 2023, y a las 270.000 en 2022. Los dos últimos años mostraron incrementos de superficie, alcanzando un valor cercano a las 300.000 ha en 2025.

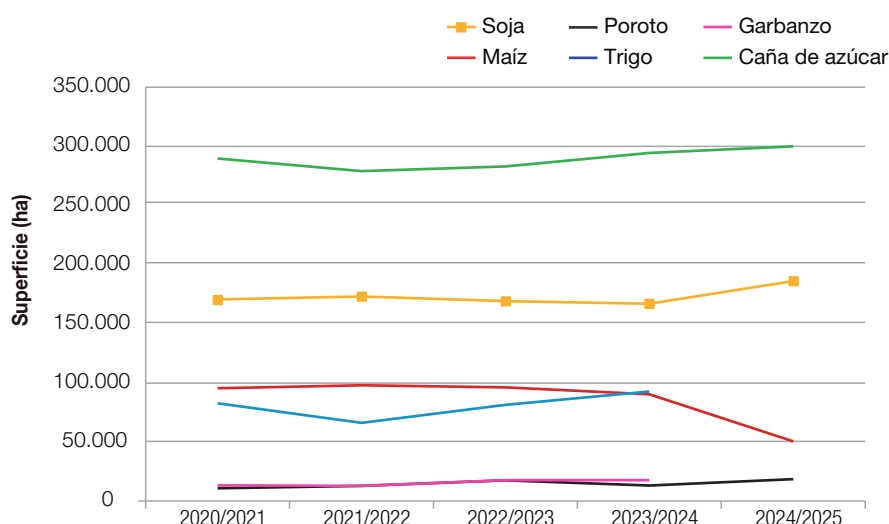


Figura 1. Evolución de la superficie con cultivos de granos y caña de azúcar en el período 2021-2025. Tucumán.

Fuente: SR y SIG - EEAOC.

La Figura 2 muestra la distribución espacial de los cultivos de soja, maíz, poroto y caña de azúcar en la campaña 2024/2025 en Tucumán.

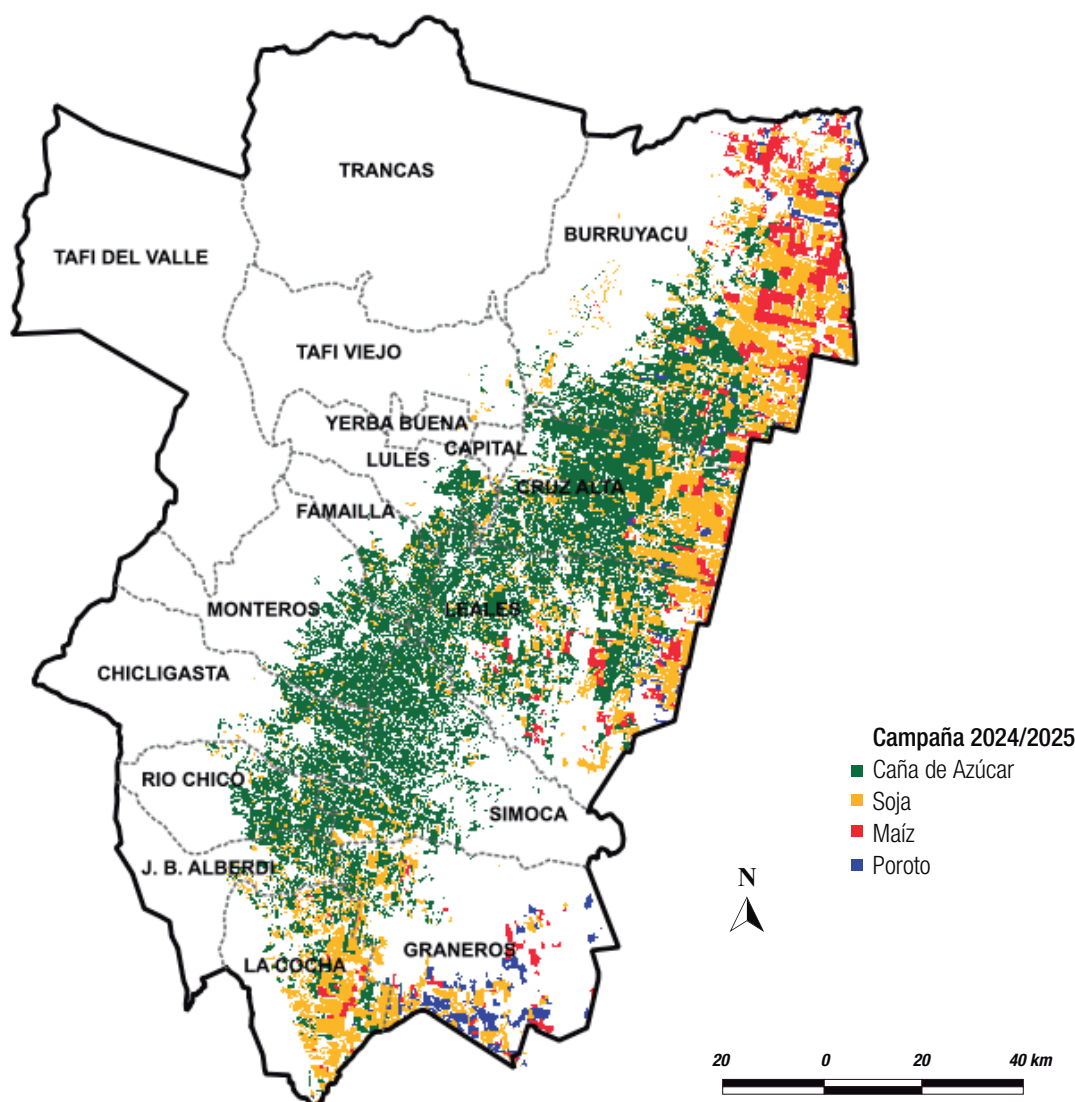


Figura 2. Distribución espacial de los cultivos de granos estivales (soja, maíz y poroto) y caña de azúcar en la campaña 2024/2025. Tucumán. SRySIG - EEAOC.

Secuencias de cultivos antecesores de la soja

La superposición de las coberturas temáticas permitió identificar los cultivos antecesores de la soja en las campañas 2023/2024 y 2024/2025. Las Tablas 1 y 2 presentan las secuencias detectadas, ordenadas por la superficie cultivada. El ítem “Otras” comprende las secuencias con superficie inferior a 1000 ha. Los espacios en celeste indican lotes en barbecho o con otros cultivos, que en adelante se referirán como “Barbecho”.

Tabla 1. Secuencias de cultivos antecesores de la soja sembrada en la campaña 2023/2024. Tucumán.

■ Barbecho u otro cultivo

Secuencias	Ver 2021/22	Inv 2022	Ver 2022/23	Inv 2023	Ver 2023/24	Sup. (Ha)	Sup. %
1	Caña de azúcar	Caña de azúcar	Caña de azúcar	Caña de azúcar	Soja	34.610	20,7
2	Soja	Trigo	Maíz		Soja	32.530	19,5
3	Soja		Maíz		Soja	21.990	13,2
4	Maíz		Soja	Trigo	Soja	10.000	6,0
5	Soja	Garbanzo	Maíz		Soja	7.590	4,5
6	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja	5.980	3,6
7	Soja		Soja		Soja	5.660	3,4
8			Soja		Soja	4.610	2,8
9	Maíz		Maíz		Soja	4.320	2,6
10	Soja				Soja	4.120	2,5
11	Soja		Soja	Trigo	Soja	3.300	2,0
12			Maíz		Soja	2.340	1,4
13			Soja	Trigo	Soja	2.830	1,7
14	Maíz		Soja		Soja	2.810	1,7
15	Poroto		Maíz		Soja	2.330	1,4
16	Maíz		Soja	Garbanzo	Soja	2.180	1,3
17	Soja	Trigo	Soja		Soja	2.110	1,3
18	Soja	Trigo	Maíz	Trigo	Soja	1.450	0,9
19	Soja			Trigo	Soja	1.400	0,8
20	Maíz				Soja	1.260	0,8
21	Soja		Maíz	Trigo	Soja	1.080	0,6
Otras (menos de 1.000 ha).						12.380	7,4
Total						166.880	100,0

Tabla 2. Secuencias de cultivos antecesores de la soja sembrada en la campaña 2024/2025. Tucumán.

■ Barbecho u otro cultivo

Secuencias	Ver 2022/23	Inv 2023	Ver 2023/24	Inv 2024	Ver 2023/24	Sup. (Ha)	Sup. %
1	Caña de azúcar	Caña de azúcar	Caña de azúcar	Caña de azúcar	Soja	37.820	20,3
2	Soja	Trigo	Maíz		Soja	34.570	18,6
3	Maíz		Soja	Trigo	Soja	22.930	12,3
4	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja	12.580	6,8
5	Soja		Maíz		Soja	11.240	6,0
6	Soja	Garbanzo	Maíz		Soja	9.390	5,0
7	Maíz		Soja		Soja	5.310	2,9
8			Soja		Soja	4.790	2,6
9	Maíz		Soja	Garbanzo	Soja	3.930	2,1
10	Soja		Soja	Trigo	Soja	3.830	2,1
11	Soja		Soja		Soja	3.690	2,0
12			Soja	Trigo	Soja	3.490	1,9
13	Maíz		Maíz		Soja	2.840	1,5
14	Soja				Soja	2.750	1,5
15	Soja	Trigo	Maíz	Trigo	Soja	2.170	1,2
16			Maíz		Soja	1.850	1,0
17	Soja	Trigo	Soja		Soja	1.750	0,9
18	Soja	Trigo			Soja	1.740	0,9
19		Trigo	Maíz		Soja	1.440	0,8
20	Maíz	Trigo	Soja	Trigo	Soja	1.030	0,6
Otras (menos de 1.000 ha).						16.890	9,1
Total						186.030	100,0

El detalle de las Tablas 1 y 2 muestra que la secuencia 1 concentró la mayor superficie en ambos casos y corresponde a lotes con soja en el último ciclo que presentan caña de azúcar como cultivo antecesor. En este punto es pertinente mencionar que una práctica agronómica frecuente en la zona cañera tucumana es la rotación de los cañaverales con soja. Este manejo diversifica el agroecosistema cañero, lo que contribuye a la sustentabilidad del sistema. Cabe destacar que el 55% del área cañera disponible para la zafra 2024 en Tucumán fue sembrada con soja al menos en una ocasión entre los años 2016 y 2023 (Fandos *et al.*, 2024b).

En ambas campañas de soja las secuencias Caña de azúcar - Soja y Soja - Trigo - Maíz - Barbecho - Soja ocupan las dos primeras posiciones, con una leve disminución en los porcentuales calculados para la soja sembrada en el ciclo 2024/2025. Al avanzar en el número de las secuencias, se destacan en la última campaña las sucesiones 3, 4 y 5 por las variaciones de porcentaje respecto a la campaña precedente. La secuencia 3, Maíz-Barbecho-Soja-Trigo-Soja, en la campaña pasada tenía una superficie considerablemente menor (10.000 ha o 6,0%) y en la última fue la tercera más importante con 22.930 hectáreas (12,3%). En el caso de la secuencia 4, Soja - Trigo - Soja - Trigo - Soja, pasó de representar el 3,6% de la superficie con soja en el ciclo pasado a un valor de

6,8% en el último ciclo. Mientras que la secuencia 5, Soja-Barbecho-Maíz-Barbecho-Soja, se destaca por su disminución con respecto a la campaña anterior (pasando de 13,2% a 6,0%).

Se aprecia además un leve aumento en las secuencias con trigo o garbanzo en el período invernal.

En las Figuras 3 y 4 se visualiza la distribución geográfica de las seis principales secuencias de cultivos antecesores de la soja en los ciclos agrícolas 2023/2024 y 2024/2025 en la provincia de Tucumán. En las figuras, la letra S indica soja y M corresponde a maíz, mientras que las letras B, T, G y P indican barbecho u otro cultivo, trigo, garbanzo y poroto, respectivamente.

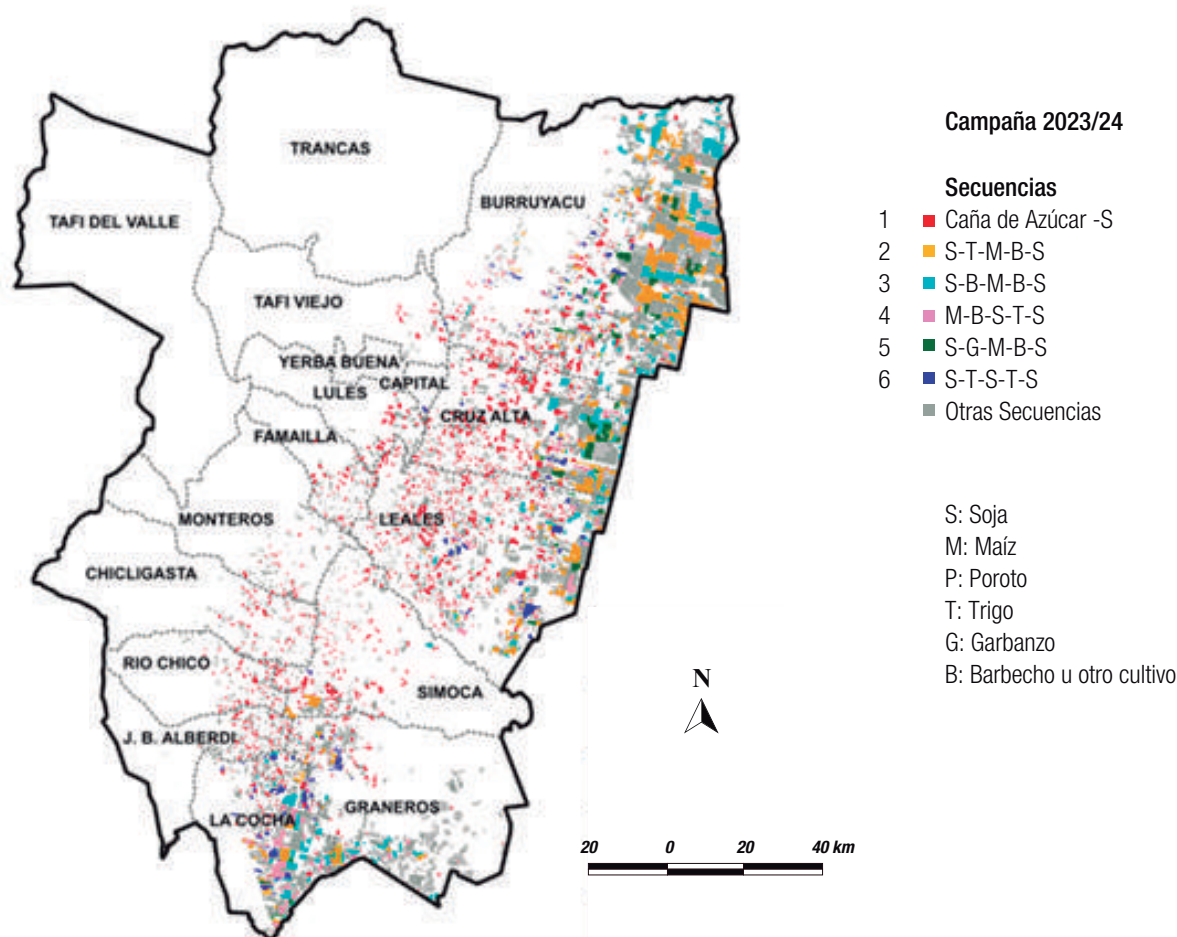


Figura 3. Distribución espacial de las principales secuencias de cultivos antecesores de la soja campaña 2023/2024. Tucumán.

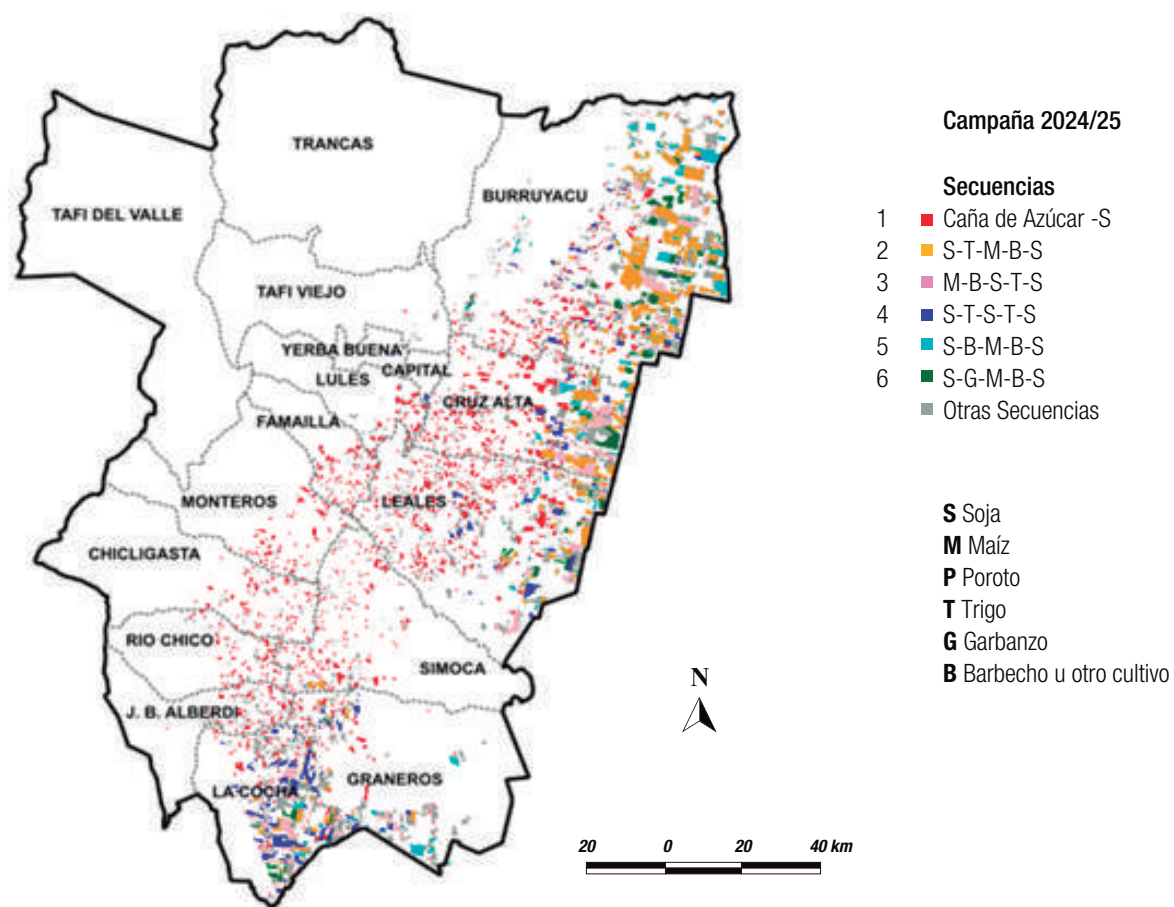


Figura 4. Distribución espacial de las principales secuencias de cultivos antecesores de la soja campaña 2024/2025. Tucumán.

Cabe destacar que el orden de importancia de las secuencias fue variable en los diferentes departamentos. Las Figuras 5 a 9 muestran las principales secuencias en Burruyacu, Cruz Alta, Leales, La Cocha y Graneros, respectivamente. A continuación, se comentarán brevemente las dos secuencias principales de cada departamento.

En Burruyacu (Figura 5), la principal secuencia en ambas campañas fue S-T-M-B-S. Para la campaña 2024/2025, la secuencia M-B-S-T-S desplazó a la secuencia S-B-M-B-S.

Con respecto a Cruz Alta y Leales (Figuras 6 y 7), en ambos ciclos agrícolas el orden de las secuencias fue similar al provincial, esto es Caña de azúcar-S seguida de S-T-M-B-S.

Los departamentos del sur mostraron las variaciones más significativas en el orden de secuencias entre ambas campañas. En La Cocha (Figura 8), por ejemplo, la campaña pasada registró las secuencias M-B-S-T-S y S-B-M-B-S en el primer y segundo puesto respectivamente, mientras que en la campaña 2024/2025 el primer lugar correspondió a S-T-S-T-S que desplazó a la secuencia M-B-S-T-S. Con respecto a Graneros (Figura 9) las secuencias S-B-M-B-S y S-T-M-B-S ocupaban el primer y segundo lugar en la campaña pasada mientras que en la última campaña las secuencias M - B - S - T - S y Caña de azúcar-S ocuparon el primer y segundo lugar, respectivamente.

Burruyacu

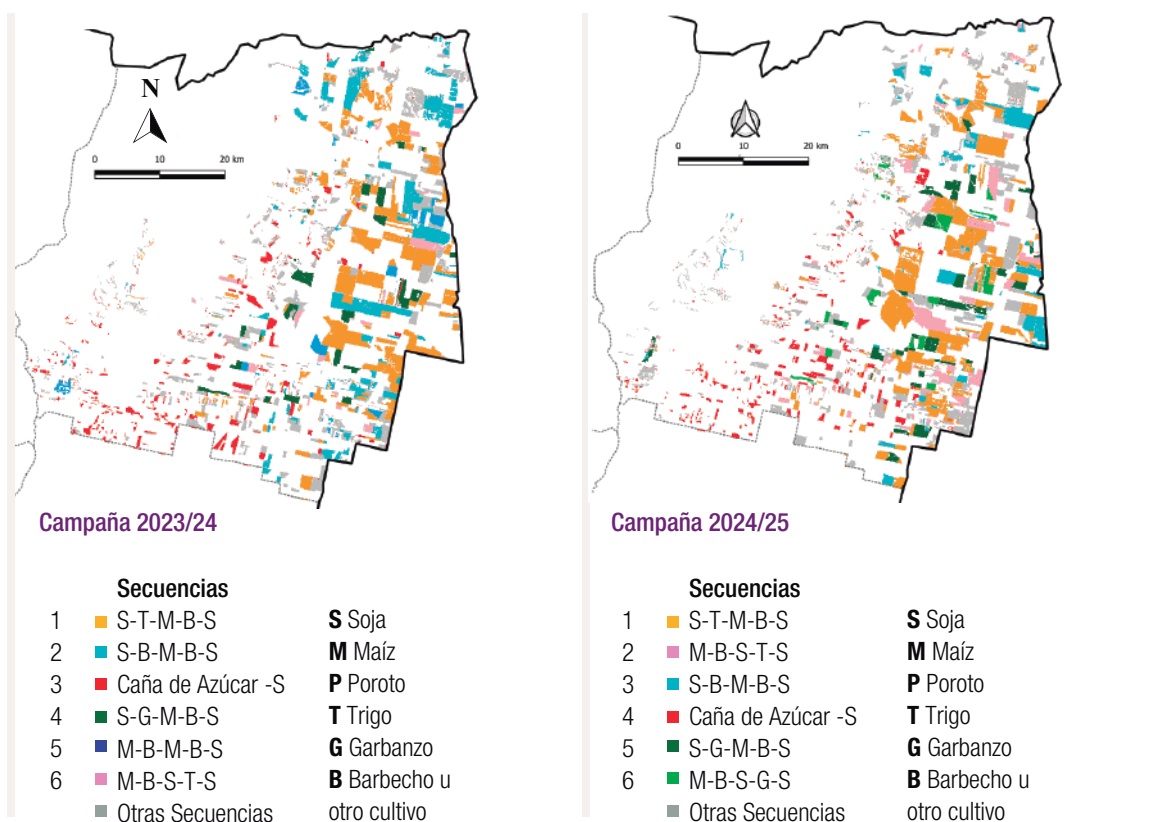


Figura 5. Distribución espacial de las principales secuencias de cultivos antecesores de la soja campaña 2024/2025. Departamento Burruyacu.

Cruz Alta

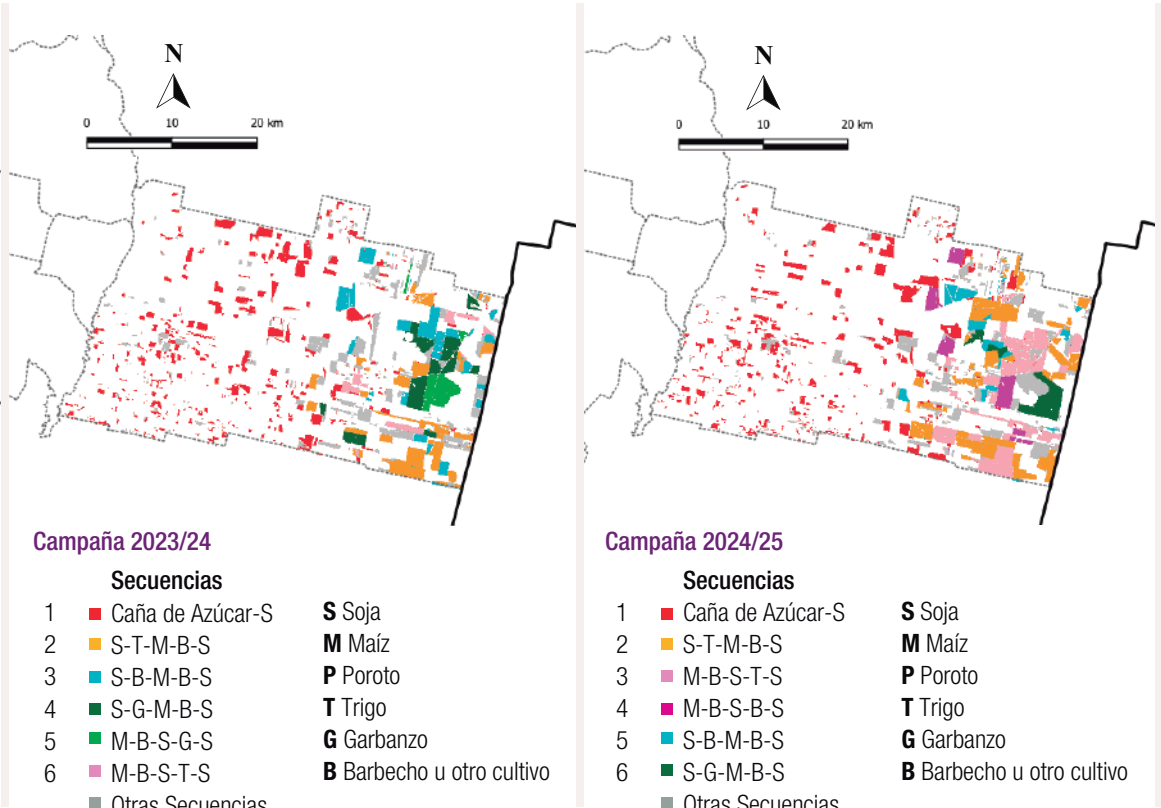


Figura 6. Distribución espacial de las principales secuencias de cultivos antecesores de la soja campaña 2024/2025. Departamento Cruz Alta.

Leales

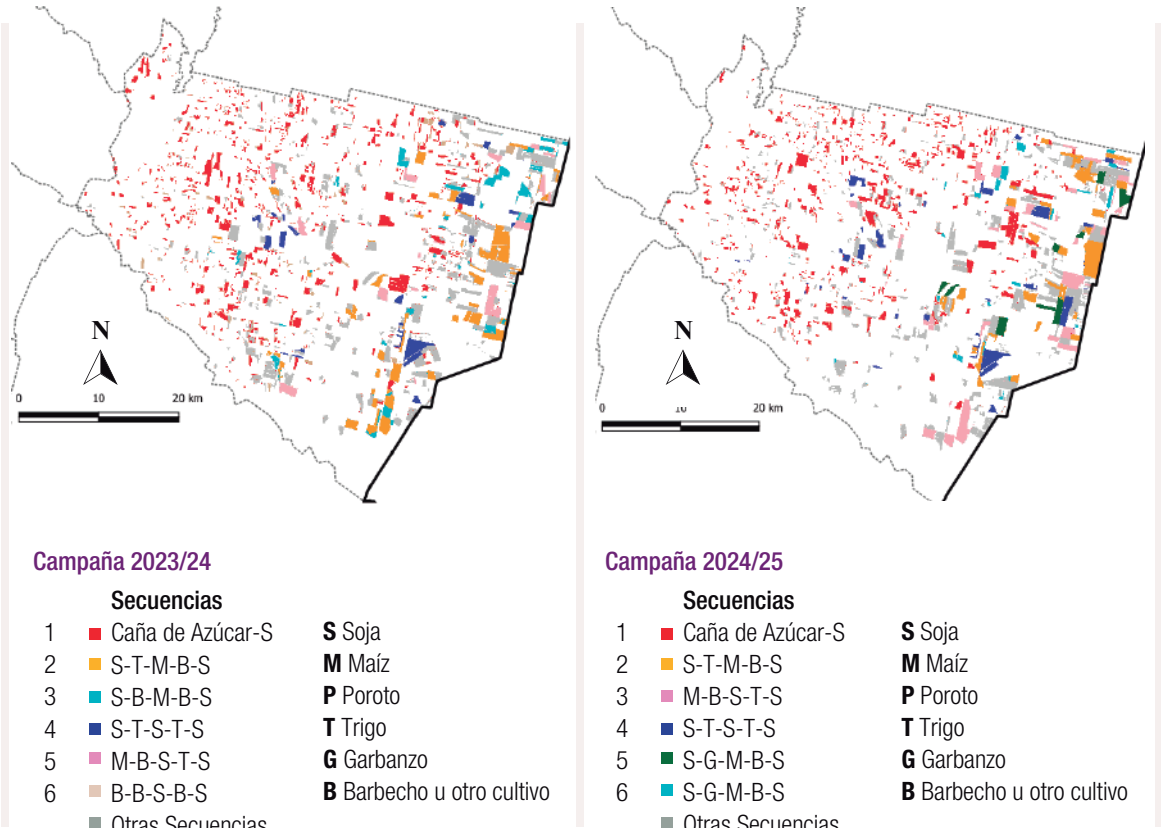


Figura 7. Distribución espacial de las principales secuencias de cultivos antecesores de la soja campaña 2024/2025. Departamento Leales.

La Cocha

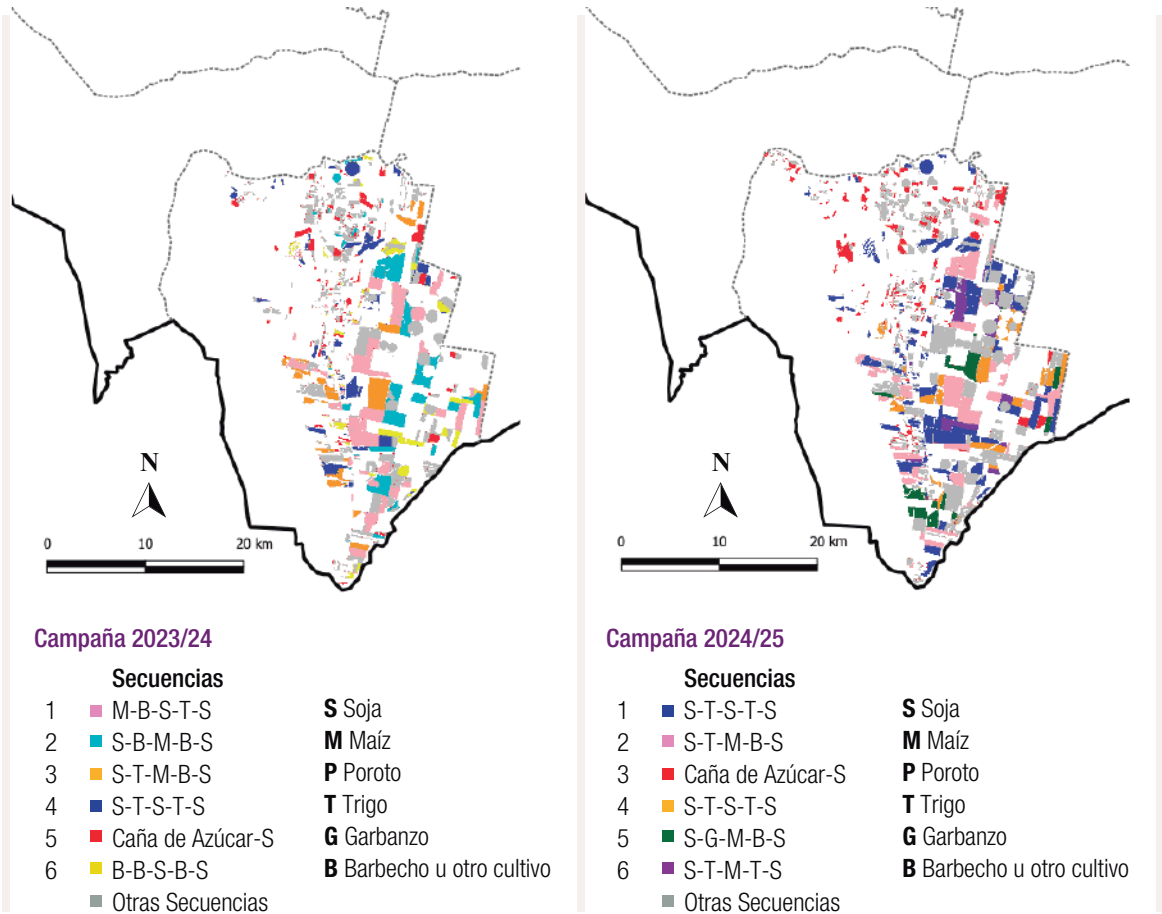


Figura 8. Distribución espacial de las principales secuencias de cultivos antecesores de la soja campaña 2024/2025. Departamento La Cocha.

Graneros

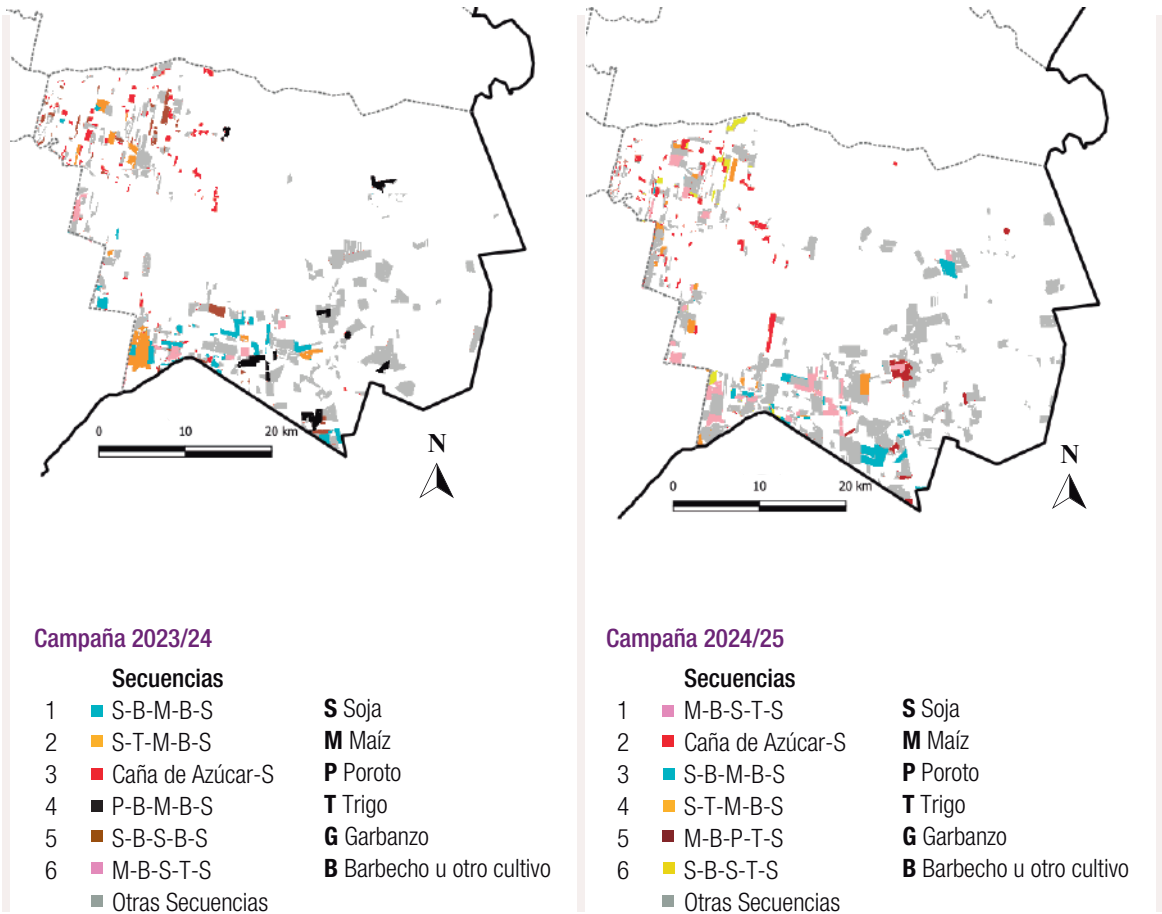
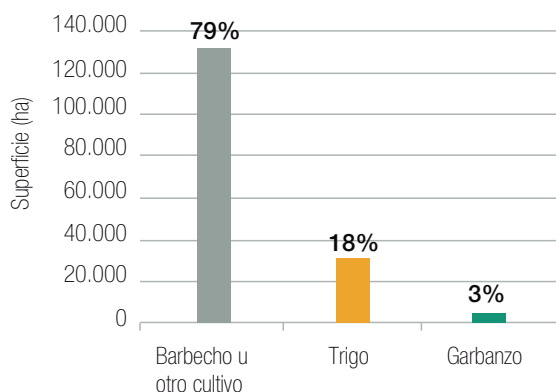


Figura 9. Distribución espacial de las principales secuencias de cultivos antecesores de la soja campaña 2024/2025. Departamento Graneros.

Antecesoros inmediatos de invierno

La Figura 10 muestra los antecesoros inmediatos de invierno para la soja sembrada en las dos campañas analizadas. Al analizar la variación entre ambos ciclos, resalta la disminución en el porcentaje de antecesor barbecho u otro cultivo (79% a 68%) y el aumento porcentual del antecesor trigo (18% a 28%).

Campaña 2023/2024



Campaña 2024/2025

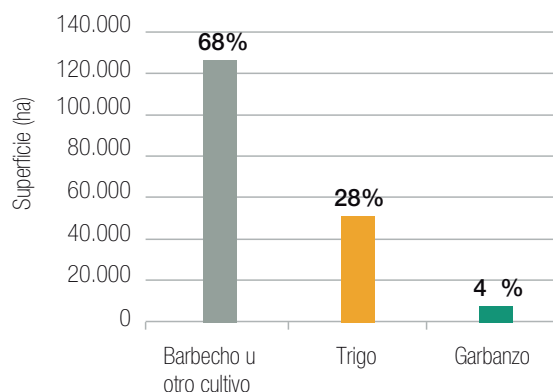
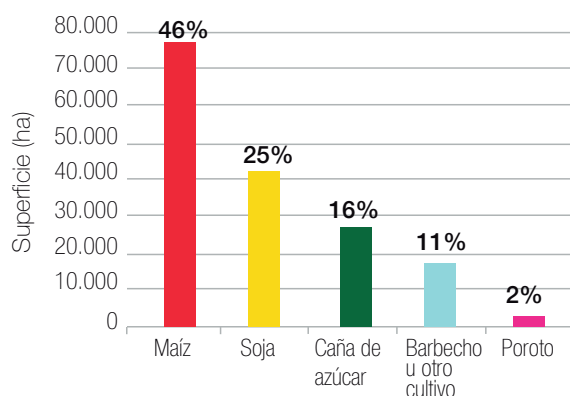


Figura 10. Superficie con cultivos antecesoros inmediatos de invierno para la soja implantada en las campañas 2023/2024 y 2024/2025. Tucumán.

Antecesoros inmediatos de verano

Los antecesoros inmediatos de verano para la soja en los dos ciclos estudiados se exhiben en la Figura 11. Se destaca la disminución del antecesor maíz (46% a 37%) y el aumento del antecesor soja (25% a 37%), es decir del monocultivo de soja.

Campaña 2023/2024



Campaña 2024/2025

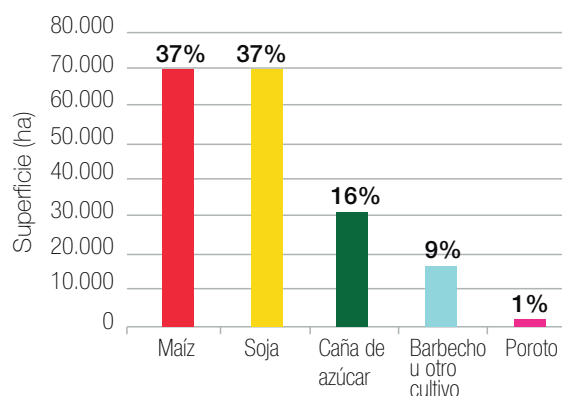


Figura 11. Superficie con cultivos antecesores inmediatos de verano para la soja implantada en las campañas 2023/2024 y 2024/2025. Tucumán.

Cultivos antecesores de verano de la soja considerando dos campañas previas

La Tabla 3 detalla las secuencias de cultivos de verano que precedieron a la soja durante dos campañas previas, incluyendo únicamente aquellas con una superficie superior a 11.000 hectáreas. Si bien el orden de las secuencias se mantuvo constante entre campañas, se observaron variaciones significativas en sus porcentajes de participación. La secuencia principal, Soja-Maíz-Soja, mostró una disminución del 39% al 32%. La secuencia Caña de azúcar-Soja mantuvo su segunda posición en importancia, con valores cercanos al 21% en ambas campañas. Notablemente, la secuencia Maíz-Soja-Soja, que ocupó el tercer lugar, experimentó un crecimiento del 9% al 18%, duplicándose la superficie con esta secuencia. Asimismo, la cuarta secuencia, el monocultivo de soja (Soja-Soja-Soja), incrementó su participación del 8% al 13%.

Tabla 3. Secuencias de cultivos antecesores de verano de la soja considerando dos campañas previas.**Campaña 2023/24**

Ver 2021/22	Ver 2022/23	Ver 2023/24	Sup. (Ha)	Sup. %
Soja	Maíz	Soja	65.290	39,1
Caña de azúcar	Caña de azúcar	Soja	35.910	21,5
Maíz	Soja	Soja	15.140	9,1
Soja	Soja	Soja	12.840	7,7
Otras (menos de 11.000 ha).			37.700	22,6
Total			166.880	100,0

Campaña 2024/25

Ver 2022/23	Ver 2023/24	Ver 2024/25	Sup. (Ha)	Sup. %
Soja	Maíz	Soja	59.610	32,0
Caña de azúcar	Caña de azúcar	Soja	38.860	20,9
Maíz	Soja	Soja	33.590	18,1
Soja	Soja	Soja	25.000	13,4
Otras (menos de 11.000 ha).			28.970	15,6
Total			186.030	100,0

Consideraciones finales

La rotación e intensificación de cultivos son prácticas esenciales para la sustentabilidad agrícola. En este sentido, el maíz es un cultivo estratégico del sistema de granos en el NOA. Sin embargo, la incertidumbre generada en el sector productivo por la severa problemática de *Dalbulus maidis* en la campaña 2023/2024, que afectó significativamente los rendimientos del maíz, planteó interrogantes sobre la siembra de este cultivo y de otros granos estivales.

Esta situación se reflejó en la campaña 2024/2025, donde se constató un aumento en la superficie cultivada con soja, poroto y caña de azúcar, y una notable disminución en la superficie destinada al maíz.

Al analizar las principales secuencias de cultivos antecesores en ambas campañas a nivel provincial, se destacó el incremento en los porcentajes de las secuencias Maíz - Barbecho - Soja - Trigo - Soja y Soja - Trigo - Soja - Trigo - Soja, y la disminución en la secuencia Soja - Barbecho - Maíz - Barbecho - Soja. Este patrón sugiere una pérdida de diversidad en el período estival. Por otro lado, se determinó un leve incremento en los porcentajes de secuencias que incluyeron trigo y garbanzo.

En cuanto a los antecesores inmediatos de verano, se registró un aumento del antecesor soja y una disminución del antecesor maíz. Para los antecesores inmediatos de invierno, sobresalió el aumento del antecesor trigo y la disminución del barbecho u otro cultivo.

El análisis detallado de las secuencias de cultivos a nivel departamental durante la campaña 2024/2025 reveló una clara distinción geográfica. En los departamentos del norte y este de Tucumán, la secuencia granera predominante culminó en Maíz - Barbecho - Soja. Por el contrario, en los departamentos del sur provincial, la principal secuencia fue Soja - Trigo - Soja.

El escenario de un incremento significativo en el monocultivo de soja entre campañas debería activar una alerta frente a potenciales complicaciones sistémicas derivadas de la siembra ininterrumpida de este cultivo, desde la acumulación de inóculo de patógenos y la proliferación descontrolada de plagas hasta el desarrollo de poblaciones de malezas problemáticas, entre otros.

Bibliografía

Fandos, C.; P. Scandaliaris; J. I. Carreras Baldrés y F. J. Soria. 2024a. Análisis espacial y temporal del rendimiento del cultivo de maíz en la campaña 2023/2024 mediante técnicas de geoprocesamiento en Tucumán. [En línea]. Boletín electrónico (328). Disponible: <https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=analisis-espacial-y-temporal-del-rendimiento-del-cultivo-de-maiz-en-la-campana-2023-2024-mediante-tecnicas-de-geoprocesamiento-en-tucuman> (consultado 18 junio 2025)

Fandos, C.; P. Scandaliaris; J. I. Carreras Baldrés y F. J. Soria. 2024b. Zafra 2024: Diferenciación de edades en cañaverales tucumanos con cultivo antecesor soja. [En línea]. Boletín electrónico (325). Disponible <https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=zafra-2024-diferenciacion-de-edades-en-canaverales-tucumanos-con-cultivo-antecesor-soja> (consultado 18 junio 2025)

Ploper, L. D. 2012. Editorial. En: Gamboa, D. E.; D. A. L. Medina; F. Goizueta y M. R. Devani (eds). Publicación especial (44) El maíz en el NOA, campaña 2010-2011. EEAOC. Tucumán. 8-9 pp.

Valdez Naval, G.; A. I. Godoy; A. L. Zelarayan, M. G. Socias; M. E. De Simone y J. Peiretti. 2018. Cultivo de maíz en el NOA. Diagnóstico de Salta. [En línea] Disponible en <https://inta.gob.ar/documentos/cultivo-de-maiz-en-el-noa-diagnostico-para-salta>. (consultado 26 octubre 2020). Ediciones INTA. Salta.



Análisis espacial por SRySIG Rotaciones y secuencias Caña/soja al frente, más soja menos maíz.

 Ver en **Youtube**

<https://youtu.be/TaXDVcPPy9w?si=VvCTxb6VKWBDIsno>



La superficie de soja en Tucumán creció un **9% en 2024/25**, alcanzando **186.000 ha**, mientras que el maíz cayó un **44%** (50.000 ha).

Se incrementó el monocultivo de soja, lo que enciende alertas por riesgos de plagas, enfermedades y malezas.

El análisis geoespacial permitió ver diferencias entre departamentos:

Norte y Este

Predominó la secuencia Maíz-Barbecho-Soja.

Sur

Prevaleció Soja-Trigo-Soja.