

F

Análisis espacial por sensores remotos y SIG

El
cultivo
de la
SOJA
en el
noroeste
argentino

1. Secuencias de cultivos
antecesores de la soja y
del maíz sembrados en la
campaña 2018/2019 en
Tucumán

Secuencias de cultivos antecesores de la soja y del maíz sembrados en la campaña 2018/2019 en Tucumán

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

*Ing. Agr., **Lic. Geogr. Sección Sensores Remotos y S.I.G.; ***Ing. Agr. Sección Granos. EEAOC. E-mail: carminaf@eeaoc.org.ar

Introducción

Entre los factores que favorecen la sustentabilidad de los sistemas productivos se destaca el mantenimiento de la diversidad genética dentro de la especie en cultivo, así como la diversidad de especies en el lote de producción, lo cual permitirá garantizar los ciclos de nutrientes (Altieri, 1999). En este sentido, el conocimiento de las sucesiones de cultivos es un parámetro fundamental al momento de analizar agroecosistemas.

La fragilidad edafo-climática de la zona productora de granos de Tucumán requiere la implementación de buenas prácticas de manejo como la sistematización de lotes y la rotación de cultivos. Se recomienda además la siembra directa en un esquema de rotación anual soja/trigo o garbanzo/maíz o al menos un cultivo de maíz cada dos años de soja (Sanzano, 2018).

Las tecnologías relacionadas con el uso de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica (SIG) presentan un

gran potencial para la obtención de información de secuencias y rotaciones de cultivos. Los sensores remotos, al permitir una rápida detección y cuantificación de los cambios en la cobertura terrestre, proporcionan una valiosa información del uso de la tierra. Por otra parte, la información generada por ellos constituye el insumo para análisis multitemporales mediante la utilización de análisis de SIG.

El objetivo del presente estudio fue identificar y cuantificar los cultivos antecesores de los lotes sembrados con soja y con maíz en la campaña 2018/2019 en la provincia de Tucumán.

Se realizó un estudio multitemporal de imágenes categorizadas (Chuvieco, 2000) utilizando metodologías de SIG. Las imágenes categorizadas son coberturas temáticas digitales en formato Raster, generadas a partir de clasificaciones de imágenes adquiridas por sensores remotos. Las coberturas temáticas utilizadas como base fueron las clasificaciones de soja, maíz, trigo y garbanzo obtenidas por la Estación Experimental

Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) para los años que van desde 2016 a 2019. Dichas capas temáticas fueron obtenidas a partir de clasificaciones multispectrales de imágenes satelitales Landsat 8 OLI, Resourcesat 2 LISS 3 y Sentinel 2A y 2B MSI, obtenidas de los sitios <https://catalogos.conae.gov.ar/landsat8/>; <http://www.dgi.inpe.br/catalogo/> y <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>, respectivamente.

Superficie con soja, maíz, trigo y garbanzo entre las campañas 2015/2016 a 2018/2019

En la Figura 1 se exponen los valores de superficie con soja, maíz, trigo y garbanzo estimados para las campañas 2015/2016 a 2018/2019 por la EEAOC.

Con respecto a la soja, en el ciclo 2016/2017 se detecta un incremento respecto al ciclo precedente; sin embargo luego la tendencia se vuelve negativa con importantes decrecimientos de superficie en los dos últimos ciclos, presentando la campaña 2018/2019 el mínimo de la serie.

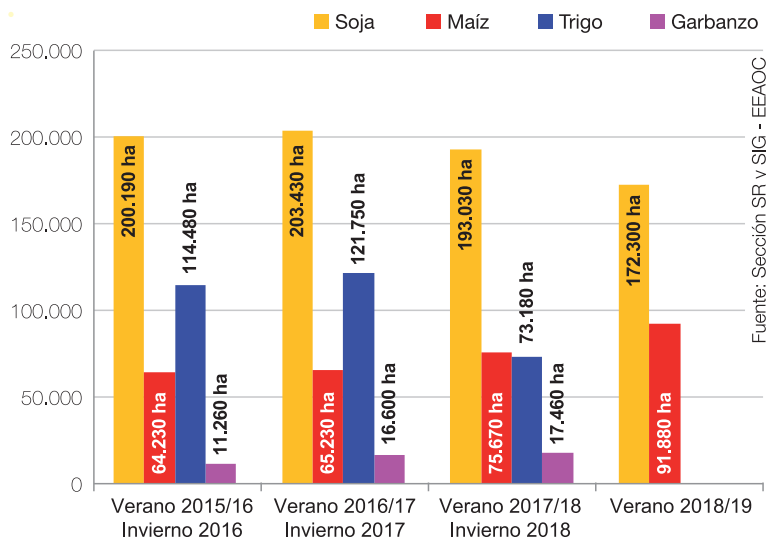


Figura 1. Superficie neta con soja y maíz en las campañas 2015/2016 a 2018/2019, y de trigo y garbanzo 2016-2018. Tucumán.

En lo relativo al maíz, en los cuatro ciclos la tendencia fue positiva con sucesivos incrementos, registrándose en la campaña 2018/2019 el mayor valor del período en análisis.

El detalle de la Tabla 1 muestra que la secuencia 1 concentró la mayor superficie, con alrededor del 16% del total provincial. Esta

corresponde a lotes con soja en 2018/2019 y antecesores de barbecho u otro cultivo, pero no soja, maíz, trigo ni garbanzo. Una práctica agronómica frecuente en la zona cañera tucumana es la rotación de los cañaverales con soja (Fandos *et al.*, 2017). Para indagar si los lotes de soja que no fueron rotados con otros cultivos de granos correspondían a lotes en rotación soja/caña de azúcar, se elaboró la Figura 2, que muestra la disposición espacial de la secuencia 1 y el área cañera tucumana. Se aprecia que la mayor proporción de lotes con la secuencia 1 se localizó dentro del área cañera, lo que permite inferir que corresponden mayormente a lotes con sistema de rotación soja/caña de azúcar.

Al considerar el trigo se aprecia en 2017 un aumento de la superficie implantada respecto al año anterior. En 2018 se observa una marcada reducción de la superficie, constatándose el mínimo de la serie.

En cuanto al garbanzo, se aprecia en general una tendencia ascendente, con el máximo del período en 2018.

Secuencias de cultivos antecesores de la soja 2018/2019

La superposición de las coberturas de soja, maíz, trigo y garbanzo en el período analizado permitió identificar los antecesores de la soja 2018/2019. Se detectaron 159 diferentes secuencias o sucesiones (Tablas 1 y 2). Los espacios en blanco indican lotes en barbecho o con otros cultivos.

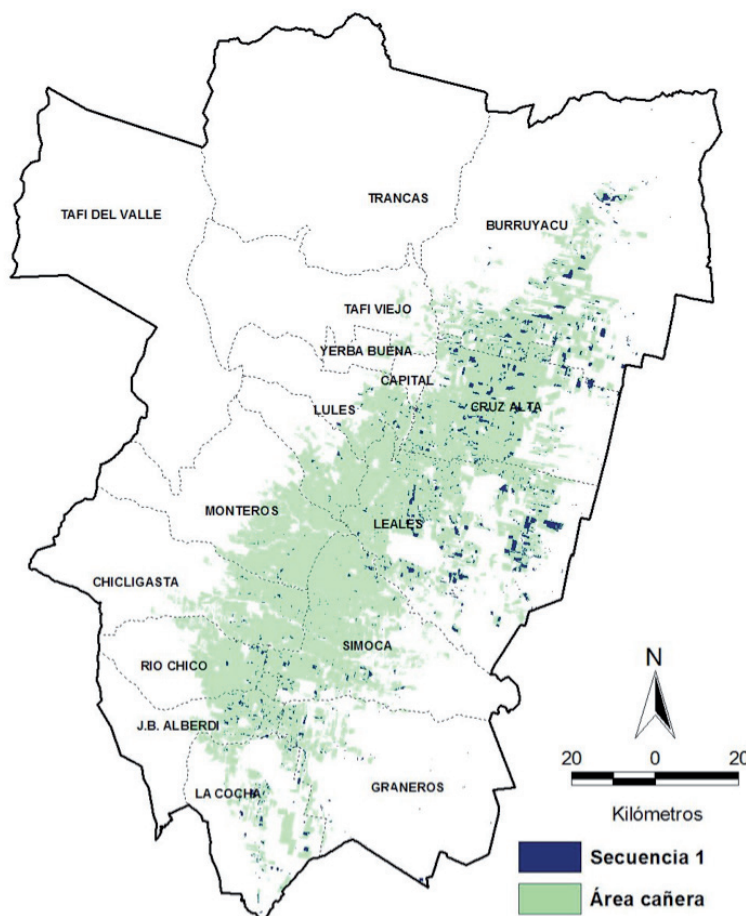


Figura 2. Distribución espacial de la secuencia 1 y del área cañera, para las campañas 2016-2019, en Tucumán.

Tabla 1. Detalle de secuencias de cultivos antecesores de la soja sembrada en la campaña 2018/19. Secuencias 1 a 80. Tucumán.

Secuencias	Verano 2015/16	Invierno 2016	Verano 2016/17	Invierno 2017	Verano 2017/18	Invierno 2018	Verano 2018/19	Sup. (ha)	Sup. (%)
1							Soja	27.590	16,01
2	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Maiz		Soja	17.380	10,09
3	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja	11.170	6,48
4	Maiz		Soja	Trigo	Maiz		Soja	10.470	6,08
5	Soja	Trigo	Maiz		Soja	Trigo	Soja	8.220	4,77
6	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja		Soja	5.320	3,09
7	Soja		Soja		Maiz		Soja	4.220	2,45
8	Soja		Soja		Soja		Soja	3.990	2,32
9	Soja		Soja	Trigo	Maiz		Soja	3.900	2,26
10					Soja		Soja	3.770	2,19
11	Maiz		Soja	Garbanzo	Maiz		Soja	3.530	2,05
12	Soja		Soja	Trigo	Soja		Soja	3.300	1,92
13	Maiz		Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja	3.220	1,87
14	Soja	Trigo	Soja	Garbanzo	Maiz		Soja	3.140	1,82
15	Soja		Maiz		Soja	Trigo	Soja	2.990	1,74
16	Maiz		Soja		Maiz		Soja	2.460	1,43
17	Soja		Maiz		Soja		Soja	2.430	1,41
18			Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja	2.250	1,31
19			Soja				Soja	2.230	1,29
20			Soja		Soja		Soja	2.050	1,19
21	Soja	Trigo	Maiz		Soja		Soja	1.610	0,93
22	Maiz		Soja	Trigo	Soja		Soja	1.460	0,85
23	Soja					Trigo	Soja	1.380	0,80
24			Soja	Trigo	Soja		Soja	1.350	0,78
25					Soja	Trigo	Soja	1.340	0,78
26	Soja				Maiz		Soja	1.360	0,79
27	Soja				Soja		Soja	1.330	0,77
28	Soja		Soja				Soja	1.310	0,76
29	Soja	Garbanzo	Maiz		Soja	Garbanzo	Soja	1.280	0,74
30	Soja	Trigo	Soja		Maiz		Soja	1.140	0,66
31	Soja	Garbanzo	Maiz		Soja	Trigo	Soja	1.100	0,64
32	Soja	Trigo	Maiz		Soja	Garbanzo	Soja	1.090	0,63
33	Soja	Trigo	Maiz		Maiz		Soja	1.000	0,58
34	Soja	Trigo	Soja		Soja		Soja	960	0,56
35					Maiz		Soja	930	0,54
36	Soja	Trigo	Soja	Trigo			Soja	860	0,50
37			Soja	Trigo	Maiz		Soja	860	0,50
38			Soja		Maiz		Soja	810	0,47
39	Soja	Trigo	Soja		Soja	Trigo	Soja	740	0,43
40	Maiz				Maiz		Soja	730	0,42
41			Soja		Soja	Trigo	Soja	660	0,38
42	Soja	Trigo		Trigo	Soja		Soja	650	0,38
43	Soja				Soja	Trigo	Soja	650	0,38
44		Trigo	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja	640	0,37
45	Maiz		Soja	Trigo			Soja	640	0,37
46			Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja	620	0,36
47	Soja	Trigo	Soja	Garbanzo	Soja		Soja	620	0,36
48	Soja		Soja	Garbanzo	Maiz		Soja	610	0,35
49	Maiz		Soja		Soja		Soja	600	0,35
50	Maiz		Maiz		Maiz		Soja	590	0,34
51	Soja		Maiz		Soja		Soja	510	0,30
52				Trigo	Soja	Trigo	Soja	500	0,29
53	Maiz						Soja	500	0,29
54	Soja	Trigo	Soja				Soja	490	0,28
55	Soja	Trigo	Soja	Garbanzo	Soja	Trigo	Soja	480	0,28
56			Soja		Soja	Trigo	Soja	480	0,28
57	Soja	Trigo		Trigo	Maiz		Soja	470	0,27
58	Soja	Trigo			Maiz		Soja	460	0,27
59		Trigo					Soja	420	0,24
60	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja	Garbanzo	Soja	410	0,24
61		Trigo	Maiz		Soja	Trigo	Soja	390	0,23
62			Maiz		Soja	Trigo	Soja	370	0,21
63	Soja		Soja	Trigo			Soja	360	0,21
64	Soja	Trigo			Soja		Soja	360	0,21
65	Maiz				Soja		Soja	350	0,20
66	Soja	Trigo		Trigo	Soja		Soja	350	0,20
67			Maiz				Soja	350	0,20
68				Trigo	Maiz		Soja	300	0,17
69				Trigo			Soja	290	0,17
70			Maiz		Maiz		Soja	290	0,17
71	Soja	Garbanzo		Garbanzo	Maiz		Soja	290	0,17
72	Soja	Trigo			Soja	Trigo	Soja	290	0,17
73	Soja	Garbanzo	Maiz		Soja		Soja	280	0,16
74			Soja	Trigo			Soja	270	0,16
75						Trigo	Soja	260	0,15
76	Soja	Trigo	Soja	Garbanzo	Soja	Garbanzo	Soja	250	0,15
77	Soja			Trigo	Soja	Trigo	Soja	240	0,14
78	Soja	Trigo		Garbanzo	Maiz		Soja	240	0,14
79	Maiz		Soja		Soja	Trigo	Soja	240	0,14
80	Maiz		Soja	Garbanzo	Soja	Trigo	Soja	230	0,13

F1

Tabla 2. Detalle de secuencias de cultivos antecesores de la soja sembrada en la campaña 2018/19. Secuencias 81 a 159. Tucumán.

Secuencias	Verano 2015/16	Invierno 2016	Verano 2016/17	Invierno 2017	Verano 2017/18	Invierno 2018	Verano 2018/19	Sup. (ha)	Sup. (%)
81	Maíz				Soja	Trigo	Soja	230	0,13
82	Maíz			Trigo	Soja	Trigo	Soja	230	0,13
83	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Maíz	Trigo	Soja	220	0,13
84	Maíz		Soja	Garbanzo	Soja		Soja	210	0,12
85			Maíz		Soja		Soja	200	0,12
86	Maíz		Maíz				Soja	200	0,12
87	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Maíz		Soja	200	0,12
88	Soja	Garbanzo	Soja	Garbanzo	Soja	Garbanzo	Soja	200	0,12
89				Trigo	Soja		Soja	190	0,11
90			Soja	Garbanzo	Maíz		Soja	190	0,11
91	Soja	Trigo			Soja		Soja	190	0,11
92		Trigo		Trigo	Soja	Trigo	Soja	190	0,11
93		Trigo	Soja	Trigo	Maíz		Soja	190	0,11
94					Soja	Garbanzo	Soja	190	0,11
95	Maíz		Soja				Soja	190	0,11
96	Soja		Maíz				Soja	180	0,10
97	Soja	Trigo	Soja	Trigo		Trigo	Soja	180	0,10
98	Maíz		Maíz		Soja	Trigo	Soja	170	0,10
99	Soja			Trigo	Soja		Soja	170	0,10
100	Soja			Trigo	Maíz		Soja	170	0,10
101	Soja	Trigo	Maíz	Trigo	Maíz		Soja	170	0,10
102	Soja	Garbanzo	Maíz	Garbanzo	Maíz		Soja	170	0,10
103		Trigo	Maíz		Maíz		Soja	160	0,09
104		Trigo	Soja			Garbanzo	Soja	160	0,09
105	Maíz			Trigo	Maíz		Soja	150	0,09
106	Maíz		Soja	Garbanzo	Soja	Garbanzo	Soja	140	0,08
107	Soja	Trigo		Trigo			Soja	140	0,08
108		Trigo	Soja	Trigo	Soja		Soja	140	0,08
109	Soja	Trigo	Maíz	Trigo			Soja	140	0,08
110	Maíz			Trigo			Soja	140	0,08
111	Soja		Soja	Garbanzo	Soja		Soja	140	0,08
112		Trigo		Trigo	Soja		Soja	120	0,07
113			Maíz		Soja	Garbanzo	Soja	120	0,07
114		Trigo	Soja	Trigo			Soja	110	0,06
115		Trigo	Soja		Soja		Soja	120	0,07
116	Maíz		Soja	Trigo		Trigo	Soja	120	0,07
117	Soja			Trigo			Soja	120	0,07
118	Soja	Trigo			Maíz		Soja	120	0,07
119	Soja	Garbanzo	Soja	Trigo	Maíz		Soja	110	0,06
120	Soja	Garbanzo	Soja	Garbanzo			Soja	110	0,06
121	Soja	Trigo	Soja			Garbanzo	Soja	100	0,06
122	Maíz			Garbanzo	Maíz		Soja	90	0,05
123	Maíz	Trigo	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja	90	0,05
124	Soja	Garbanzo	Soja	Garbanzo			Soja	90	0,05
125	Soja		Soja	Trigo	Soja	Garbanzo	Soja	80	0,05
126	Soja	Garbanzo		Garbanzo	Soja	Trigo	Soja	80	0,05
127	Soja	Garbanzo	Soja	Trigo	Soja	Garbanzo	Soja	80	0,05
128			Soja		Soja	Garbanzo	Soja	70	0,04
129		Trigo	Soja	Garbanzo	Soja	Garbanzo	Soja	70	0,04
130	Maíz		Soja	Trigo	Soja	Garbanzo	Soja	70	0,04
131	Maíz		Maíz		Soja		Soja	70	0,04
132	Soja		Maíz		Soja	Garbanzo	Soja	70	0,04
133	Soja	Trigo		Garbanzo	Soja		Soja	70	0,04
134	Soja	Garbanzo	Soja	Trigo	Soja		Soja	70	0,04
135	Soja	Trigo	Maíz			Trigo	Soja	70	0,04
136	Soja		Soja	Garbanzo			Soja	70	0,04
137	Soja	Garbanzo	Soja	Garbanzo	Maíz		Soja	70	0,04
138		Trigo			Soja		Soja	60	0,03
139		Trigo	Soja				Soja	60	0,03
140		Trigo	Soja		Soja	Trigo	Soja	60	0,03
141	Soja	Trigo	Soja	Garbanzo			Soja	60	0,03
142	Soja		Soja	Trigo		Trigo	Soja	60	0,03
143				Trigo		Trigo	Soja	50	0,03
144			Soja			Trigo	Soja	50	0,03
145	Soja						Soja	50	0,03
146			Soja	Trigo	Soja	Garbanzo	Soja	50	0,03
147		Trigo			Soja	Trigo	Soja	50	0,03
148		Trigo	Soja		Soja	Garbanzo	Soja	50	0,03
149		Trigo	Soja		Maíz		Soja	50	0,03
150	Maíz		Soja	Garbanzo			Soja	50	0,03
151	Maíz		Maíz			Trigo	Soja	50	0,03
152	Maíz	Trigo	Soja	Trigo	Soja		Soja	50	0,03
153	Soja		Soja	Garbanzo	Soja	Trigo	Soja	50	0,03
154	Soja	Trigo	Soja		Soja	Garbanzo	Soja	50	0,03
155	Soja	Trigo	Maíz	Trigo	Soja		Soja	50	0,03
156	Soja	Garbanzo	Maíz	Garbanzo	Maíz		Soja	50	0,03
157	Soja	Garbanzo	Soja	Garbanzo		Trigo	Soja	50	0,03
158	Soja	Garbanzo	Maíz		Maíz		Soja	40	0,02
159			Soja	Trigo		Trigo	Soja	40	0,02
TOTAL								172.300	100,00

En base a lo expuesto en el párrafo anterior se optó por separar la secuencia 1 y concentrar el análisis en las secuencias restantes que corresponden exclusivamente al agroecosistema granero, las cuales totalizan 144.710 ha. Sin embargo cabe remarcar que la secuencia 1 es una alternativa beneficiosa a los fines de un manejo sustentable del agroecosistema cañero, ya que incorpora diversidad al sistema.

Para una mejor apreciación de la magnitud alcanzada por las principales secuencias se elaboró la Figura 3, que muestra las secuencias con superficies mayores a 4000 ha.

Las secuencias 3 y 6 corresponden a lotes donde los cultivos de soja y trigo se intercalaron, sucesión poco beneficiosa desde el punto de vista de la diversidad del sistema, al contrario de las secuencias 2, 4, 5 y 7 que incluyen una campaña con maíz, lo que aporta mayor diversidad.

El análisis SIG permite una rápida visualización de la información en el espacio. En la Figura 4 se muestra la disposición espacial de las seis principales secuencias de cultivos antecesores de la soja cultivada en la campaña 2018/2019 en Tucumán.

El análisis de las secuencias 2 a 159 permitió identificar y cuantificar los cultivos antecesores inmediatos. Se verificó que alrededor del 28% de la superficie con soja en 2018/2019 tuvo como antecesor inmediato de invierno el cultivo de trigo, el 3%, cultivos de garbanzo y el 69% restante corresponde mayormente a lotes que permanecieron en barbecho o con otros cultivos.

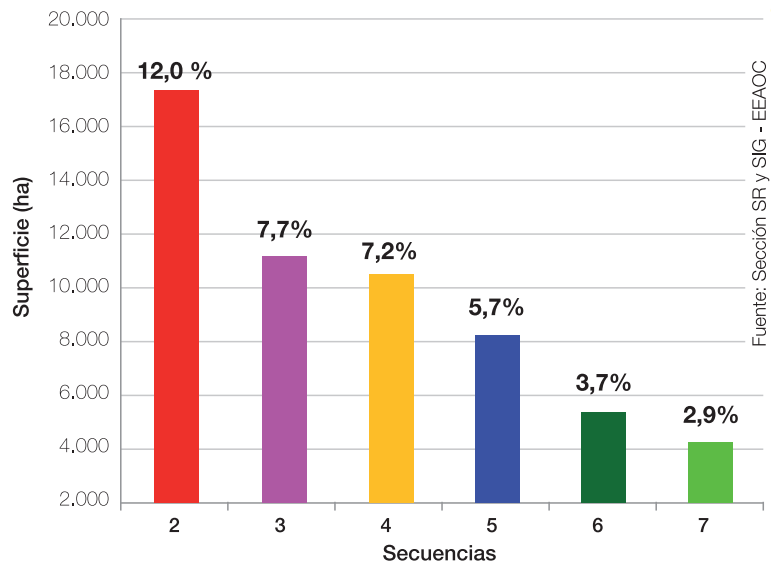
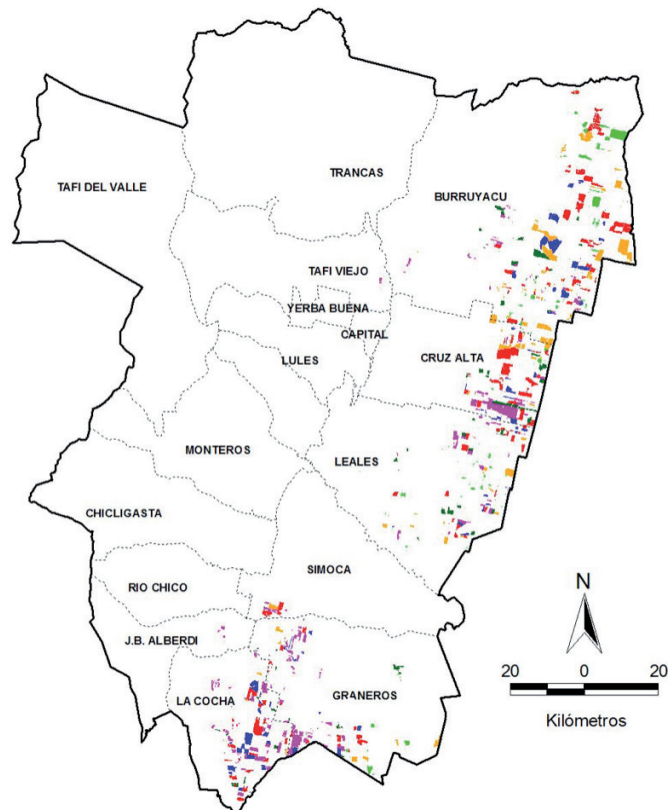


Figura 3. Superficie ocupada por las principales secuencias de antecesores de la soja 2018/2019, dentro del agroecosistema granero de Tucumán.



Principales secuencias

- 2: Soja 15/16-Trigo 16-Soja 16/17-Trigo 17-Maíz 17/18-Barb. 18-Soja 18/19
- 3: Soja 15/16-Trigo 16-Soja 16/17-Trigo 17-Soja 17/18-Trigo 18-Soja 18/19
- 4: Maíz 15/16-Barb.16-Soja 16/17-Trigo 17-Maíz 17/18-Barb. 18-Soja 18/19
- 5: Soja 15/16-Trigo 16-Maíz 16/17-Barb. 17-Soja 17/18-Trigo 18-Soja 18/19
- 6: Soja 15/16-Trigo 16-Soja 16/17-Trigo 17-Soja 17/18-Barb. 18-Soja 18/19
- 7: Soja 15/16-Barb. 16-Soja 16/17-Barb. 17-Maíz 17/18-Barb. 18-Soja 18/19

Figura 4. Distribución espacial de las seis principales secuencias de antecesores de la soja 2018/2019. (Barb.: barbecho u otro cultivo), dentro del agroecosistema granero de Tucumán.

F1

Si solo se considera el antecesor inmediato de verano (campaña 2017/2018), surge que el 52% de la superficie se cultivó sobre lotes con antecesor soja, 40% sobre antecesor maíz y 8% sobre lotes en barbecho o con otros cultivos, esto último en escasa proporción. Por las características agrológicas de las zonas donde se cultivan granos, para la sustentabilidad del sistema agroproductivo es recomendable rotar con maíz entre un 20% y un 50% del área cultivada con soja (Pérez *et al.*, 2004). El 40% de lotes sobre antecesor maíz permite inferir una mejora en la sustentabilidad de los sistemas si se tiene en cuenta el ciclo 2017/2018, en el cual el 31% de la soja se realizó sobre antecesor maíz (Fandos *et al.*, 2018).

Secuencias de cultivos antecesores del maíz 2018/2019

El análisis SIG permitió identificar 131 diferentes secuencias de cultivos antecesores del maíz sembrado en la campaña 2018/2019 (Tablas 3 y 4). Los espacios en blanco indican lotes en barbecho o con otros cultivos.

Con la finalidad de lograr una mejor apreciación de la magnitud alcanzada por las principales secuencias se elaboró la Figura 5, que muestra aquellas con superficies mayores a 4000 ha.

Se destaca la secuencia 1 que corresponde a lotes donde se repitió la sucesión soja, trigo, maíz. Le siguen las secuencias 2 a 5, en las que se alternan cultivos de soja y trigo, con maíz en dos campañas en las secuencias 3 y 5, y una campaña de maíz en las secuencias 2 y 4.

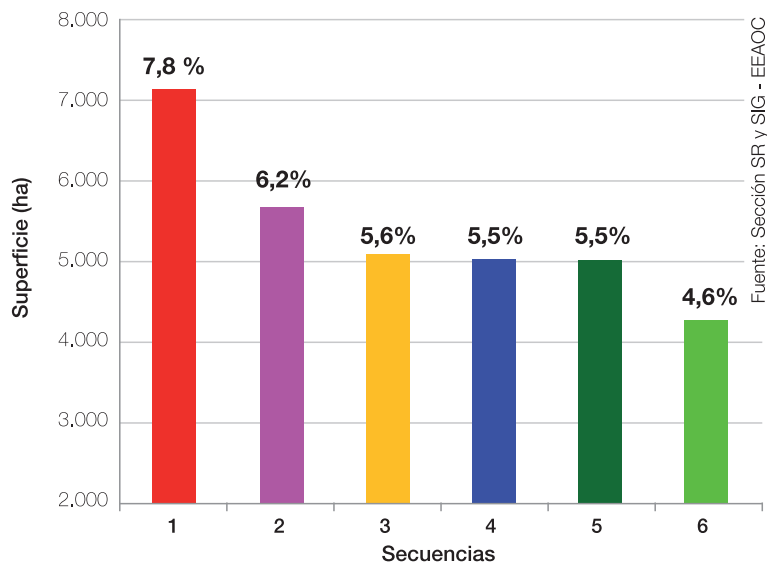
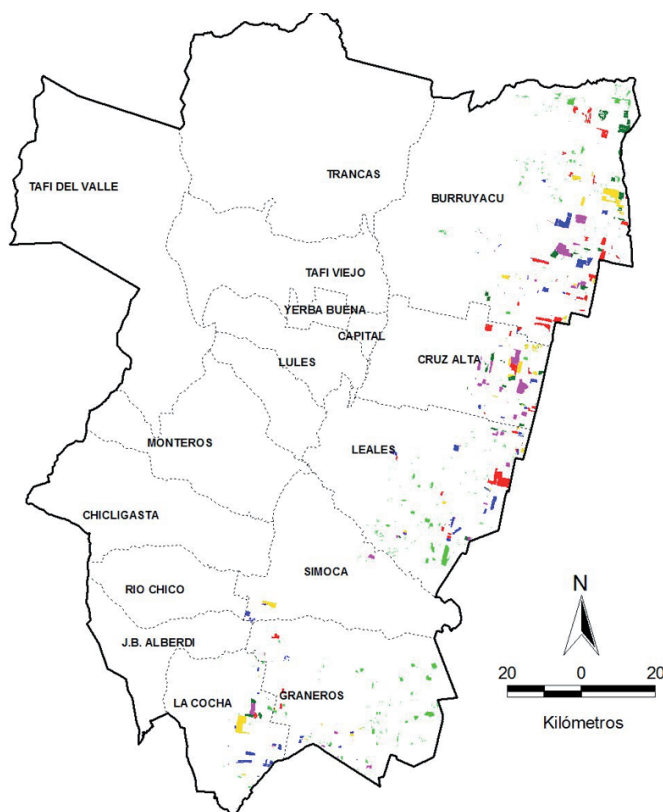


Figura 5. Superficie ocupada por las principales secuencias de antecesores del maíz 2018/2019 (superficie mayor a 4000 ha). Tucumán.



Principales secuencias

- 1: Soja 15/16-Trigo 16-Maíz 16/17-Barb.17-Soja 17/18-Trigo 18-Maíz 18/19
- 2: Soja 15/16-Trigo 16-Soja 16/17-Trigo 17-Soja 17/18-Barb. 18-Maíz 18/19
- 3: Maíz 15/16-Barb.16-Soja 16/17-Trigo 17-Soja 17/18-Trigo 18-Maíz 18/19
- 4: Soja 15/16-Trigo 16-Soja 16/17-Trigo 17-Soja 17/18-Trigo 18-Maíz 18/19
- 5: Maíz 15/16-Barb.16-Soja 16/17-Trigo 17-Soja 17/18-Barb. 18-Maíz 18/19
- 6: Barbechos u otros cultivos 15/16-16-16/17-17/18-18-Maíz 18/19

Figura 6. Distribución espacial de las seis principales secuencias de antecesores del maíz 2018/2019 (Barb.: barbecho u otro cultivo).Tucumán.

En la Figura 6 se muestra la disposición espacial de las seis principales secuencias de cultivos antecesores del maíz cultivado en la campaña 2018/2019 en Tucumán.

Al analizar los antecesores inmediatos se verificó que alrededor del 30% de la superficie con maíz en 2018/2019 tuvo como antecesor inmediato de invierno el

cultivo de trigo, el 13% le sucedió a cultivo de garbanzo y el 57% restante correspondió mayormente a lotes que permanecieron en barbecho o con otros cultivos.

Tabla 3. Detalle de secuencias de cultivos antecesores del maíz sembrado en la campaña 2018/2019. Secuencias 1 a 70. Tucumán.

Secuencias	Verano 2015/16	Invierno 2016	Verano 2016/17	Invierno 2017	Verano 2017/18	Invierno 2018	Verano 2018/19	Sup. (ha)	Sup. (%)
1	Soja	Trigo	Maíz		Soja	Trigo	Maíz	7.150	7,8
2	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja		Maíz	5.690	6,2
3	Maíz		Soja	Trigo	Soja	Trigo	Maíz	5.100	5,6
4	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Maíz	5.040	5,5
5	Maíz		Soja	Trigo	Soja		Maíz	5.010	5,5
6							Maíz	4.270	4,6
7	Soja		Maíz		Soja		Maíz	3.960	4,3
8	Soja	Trigo	Maíz		Soja		Maíz	3.200	3,5
9	Soja		Maíz		Soja	Trigo	Maíz	3.050	3,3
10	Maíz		Soja	Trigo	Soja	Garbanzo	Maíz	2.740	3,0
11	Soja	Garbanzo	Maíz		Soja	Garbanzo	Maíz	2.380	2,6
12	Soja	Trigo	Maíz		Soja	Garbanzo	Maíz	2.050	2,2
13	Maíz		Soja	Trigo	Maíz		Maíz	1.970	2,1
14	Soja		Soja		Soja		Maíz	1.670	1,8
15	Maíz						Maíz	1.530	1,7
16	Maíz		Soja		Soja		Maíz	1.530	1,7
17					Maíz		Maíz	1.500	1,6
18	Soja		Soja	Trigo	Soja		Maíz	1.390	1,5
19					Soja		Maíz	1.390	1,5
20			Maíz				Maíz	1.070	1,2
21	Soja						Maíz	1.010	1,1
22	Soja				Soja		Maíz	960	1,0
23	Soja		Maíz				Maíz	930	1,0
24	Soja		Soja	Trigo	Soja	Trigo	Maíz	870	0,9
25	Soja		Maíz		Soja	Garbanzo	Maíz	820	0,9
26			Soja	Trigo	Soja		Maíz	800	0,9
27	Soja	Trigo	Soja		Soja		Maíz	690	0,8
28	Maíz		Maíz		Soja		Maíz	660	0,7
29	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja	Garbanzo	Maíz	650	0,7
30	Soja	Trigo	Soja		Soja	Trigo	Maíz	600	0,7
31	Maíz		Soja	Garbanzo	Soja		Maíz	590	0,6
32			Maíz		Soja		Maíz	580	0,6
33	Maíz		Soja	Trigo			Maíz	580	0,6
34			Soja				Maíz	570	0,6
35	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Maíz		Maíz	550	0,6
36	Soja		Soja				Maíz	530	0,6
37			Soja		Soja		Maíz	530	0,6
38	Maíz		Soja		Soja	Trigo	Maíz	520	0,6
39	Maíz		Soja		Maíz		Maíz	520	0,6
40	Maíz		Maíz		Soja	Trigo	Maíz	510	0,6
41	Soja	Trigo			Soja		Maíz	500	0,5
42	Maíz				Soja		Maíz	500	0,5
43	Soja		Soja		Soja	Trigo	Maíz	500	0,5
44	Maíz		Maíz				Maíz	470	0,5
45	Maíz		Soja				Maíz	440	0,5
46	Soja	Trigo			Soja	Trigo	Maíz	430	0,5
47			Maíz		Soja	Trigo	Maíz	420	0,5
48	Soja	Garbanzo	Maíz		Soja	Trigo	Maíz	400	0,4
49	Maíz		Maíz		Maíz		Maíz	460	0,5
50	Soja				Maíz		Maíz	400	0,4
51	Soja	Trigo	Maíz		Maíz		Maíz	380	0,4
52	Soja	Garbanzo	Soja	Garbanzo	Soja	Garbanzo	Maíz	370	0,4
53		Trigo	Maíz		Soja	Trigo	Maíz	350	0,4
54	Soja		Maíz		Maíz		Maíz	350	0,4
55	Soja	Trigo	Soja	Garbanzo	Soja	Garbanzo	Maíz	300	0,3
56	Maíz		Soja	Trigo		Trigo	Maíz	290	0,3
57	Soja	Garbanzo	Soja		Soja	Garbanzo	Maíz	290	0,3
58			Soja	Trigo			Maíz	280	0,3
59	Maíz		Soja	Garbanzo	Maíz		Maíz	280	0,3
60		Trigo	Maíz		Soja		Maíz	260	0,3
61	Soja	Trigo	Soja	Garbanzo	Soja		Maíz	260	0,3
62	Maíz				Maíz		Maíz	250	0,3
63					Soja	Trigo	Maíz	250	0,3
64	Soja	Garbanzo	Soja	Trigo	Soja		Maíz	250	0,3
65	Soja	Trigo		Trigo	Soja	Trigo	Maíz	250	0,3
66	Soja				Soja	Trigo	Maíz	240	0,3
67			Soja	Trigo	Soja	Trigo	Maíz	240	0,3
68	Soja		Soja	Trigo			Maíz	230	0,3
69	Soja		Soja			Garbanzo	Maíz	220	0,2
70			Soja		Maíz		Maíz	210	0,2

F1

Tabla 4. Detalle de secuencias de cultivos antecesores del maíz sembrado en la campaña 2018/2019. Secuencias 71 a 131. Tucumán.

Secuencias	Verano 2015/16	Invierno 2016	Verano 2016/17	Invierno 2017	Verano 2017/18	Invierno 2018	Verano 2018/19	Sup. (ha)	Sup. (%)
71			Maíz		Maíz		Maíz	210	0,2
72	Soja		Soja	Trigo	Maíz		Maíz	210	0,2
73	Soja		Maíz			Garbanzo	Maíz	200	0,2
74	Soja	Trigo	Soja	Trigo			Maíz	200	0,2
75	Maíz				Soja	Trigo	Maíz	190	0,2
76	Maíz	Garbanzo	Soja	Garbanzo	Soja	Garbanzo	Maíz	190	0,2
77	Soja		Soja		Maíz		Maíz	190	0,2
78	Maíz					Garbanzo	Maíz	180	0,2
79	Soja	Trigo	Soja				Maíz	180	0,2
80	Soja	Trigo	Soja		Maíz		Maíz	170	0,2
81	Soja	Garbanzo	Maíz		Soja		Maíz	160	0,2
82	Soja	Trigo					Maíz	150	0,2
83	Soja	Garbanzo	Soja	Trigo	Soja	Garbanzo	Maíz	150	0,2
84	Soja		Soja		Soja	Garbanzo	Maíz	140	0,2
85					Soja	Garbanzo	Maíz	140	0,2
86	Soja	Trigo		Trigo	Soja		Maíz	140	0,2
87	Maíz			Trigo			Maíz	140	0,2
88	Maíz			Trigo	Soja		Maíz	140	0,2
89	Soja	Trigo	Soja	Trigo		Garbanzo	Maíz	140	0,2
90				Trigo			Maíz	130	0,1
91	Soja	Trigo	Soja				Maíz	130	0,1
92			Soja	Trigo	Maíz		Maíz	130	0,1
93		Trigo	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Maíz	130	0,1
94			Soja		Soja	Trigo	Maíz	120	0,1
95			Soja	Trigo	Soja	Garbanzo	Maíz	120	0,1
96			Maíz		Soja	Garbanzo	Maíz	120	0,1
97	Soja	Garbanzo	Soja	Garbanzo	Soja		Maíz	120	0,1
98	Soja	Trigo	Soja		Soja	Garbanzo	Maíz	110	0,1
99	Soja	Garbanzo	Soja				Maíz	110	0,1
100	Soja	Trigo			Soja	Garbanzo	Maíz	100	0,1
101	Maíz		Maíz	Trigo	Soja	Trigo	Maíz	100	0,1
102	Maíz			Garbanzo	Maíz		Maíz	90	0,1
103						Trigo	Maíz	90	0,1
104				Garbanzo			Maíz	90	0,1
105	Soja	Trigo	Soja	Garbanzo	Maíz		Maíz	80	0,1
106			Soja	Garbanzo	Soja	Trigo	Maíz	80	0,1
107		Trigo	Maíz				Maíz	80	0,1
108	Soja	Trigo		Garbanzo			Maíz	80	0,1
109	Maíz	Trigo	Maíz		Maíz		Maíz	80	0,1
110	Maíz		Maíz	Trigo	Soja	Trigo	Maíz	70	0,1
111	Maíz			Trigo	Maíz		Maíz	70	0,1
112	Maíz			Garbanzo		Garbanzo	Maíz	70	0,1
113	Maíz		Soja	Garbanzo	Soja	Garbanzo	Maíz	70	0,1
114				Trigo	Soja		Maíz	70	0,1
115		Trigo	Maíz		Maíz		Maíz	70	0,1
116	Soja		Maíz	Trigo	Soja		Maíz	70	0,1
117	Soja	Trigo	Soja	Garbanzo	Soja	Trigo	Maíz	70	0,1
118	Soja				Soja	Garbanzo	Maíz	70	0,1
119				Garbanzo	Soja	Garbanzo	Maíz	70	0,1
120	Maíz	Trigo	Maíz		Soja	Trigo	Maíz	70	0,1
121			Soja		Soja	Garbanzo	Maíz	60	0,1
122	Maíz		Soja		Soja	Garbanzo	Maíz	60	0,1
123				Trigo	Soja	Trigo	Maíz	50	0,1
124				Trigo	Maíz		Maíz	50	0,1
125				Garbanzo		Garbanzo	Maíz	50	0,1
126		Trigo	Soja	Trigo	Soja		Maíz	50	0,1
127	Soja	Trigo		Trigo	Maíz		Maíz	50	0,1
128	Soja	Trigo	Maíz	Trigo	Soja	Trigo	Maíz	50	0,1
129	Soja	Garbanzo			Soja	Garbanzo	Maíz	50	0,1
130	Maíz		Soja	Garbanzo	Soja	Trigo	Maíz	50	0,1
131	Maíz	Trigo	Soja	Trigo	Maíz		Maíz	50	0,1
TOTAL								91.880	100,0

Si solo se considera el antecesor inmediato de verano (campaña 2017/2018), surge que el 75% de la superficie se cultivó sobre lotes con antecesor soja, 9% sobre antecesor maíz y 16% sobre lotes en barbecho o con otros cultivos, esto último en escasa proporción.

Análisis en conjunto de los antecesores de la soja y el maíz sembrados en la campaña 2018/2019

Los sistemas de producción de granos con rotación de soja y maíz son

en términos generales más sustentables que el monocultivo de soja, ya que mantienen mayores niveles de cobertura de suelo, presentan balance de carbono positivo, son más productivos y manifiestan mayor estabilidad en los rendimientos

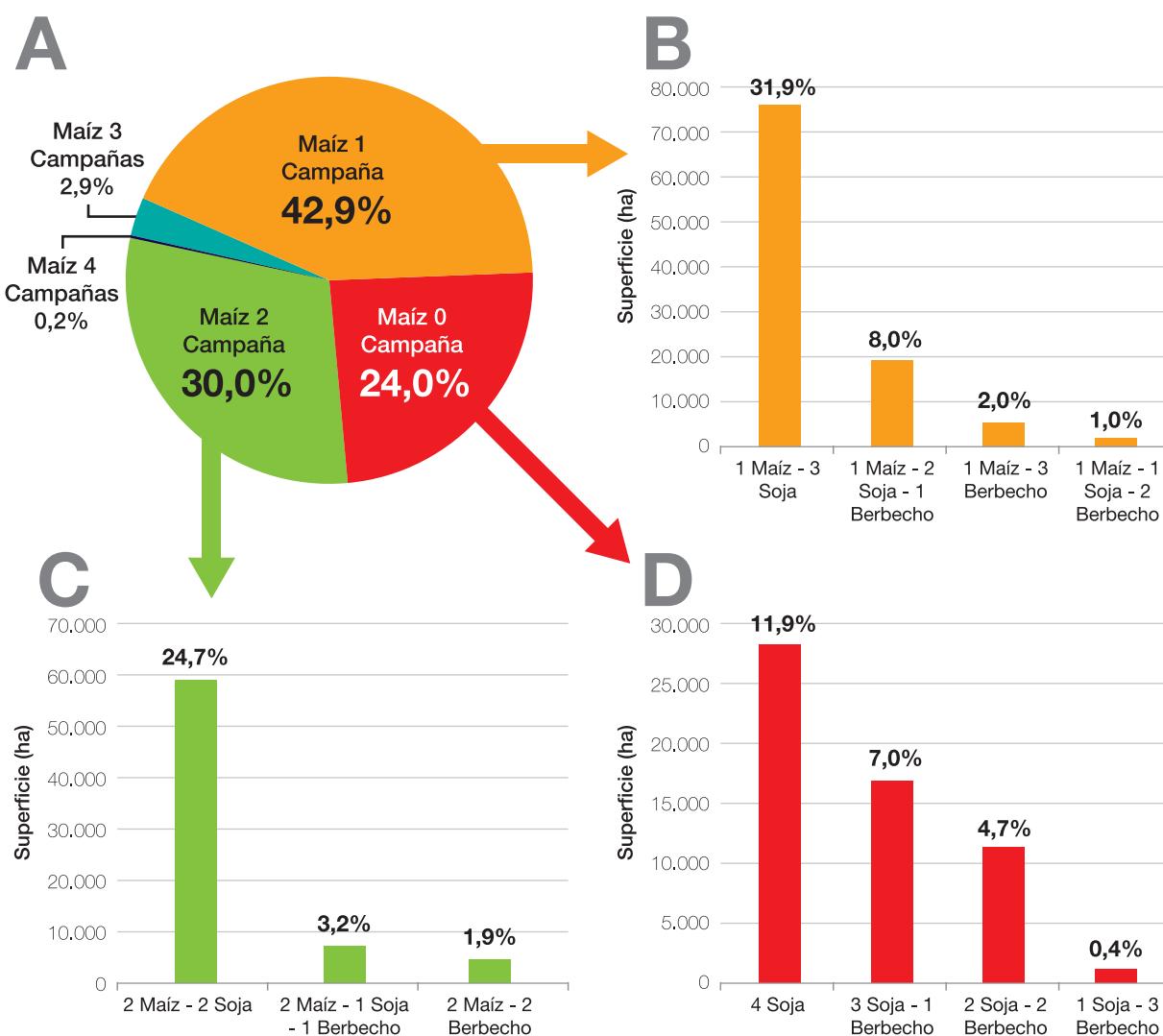
(Morandini *et al.*, 2009). Además favorecen la reducción de la población del picudo negro (*Rhissomatus subtilis*) y permiten otras estrategias en el control de malezas mediante el uso de herbicidas de menor costo y la rotación de los mismos con otros activos (Pérez *et al.*, 2017).

Con el propósito de indagar sobre la práctica de rotación maíz/soja se consideraron en conjunto las cuatro campañas estivales analizadas y se obtuvo que el 76% de la superficie del agroecosistema soja/maíz

2018/2019 fue sembrada al menos una vez con maíz y el 24% restante ninguna vez. En la Figura 7A se expone la distribución porcentual de las distintas repeticiones con maíz. Se constata que alrededor del 43% de la superficie fue sembrada solo en una campaña con maíz, el 30% en dos campañas y el 3% en tres campañas. La categoría de cuatro campañas prácticamente fue inexistente. Las Figuras 7B, 7C y 7D corresponden a la composición porcentual de las principales categorías de la Figura 7A. En la Figura 7B, de maíz solo

en una campaña, se constata que la categoría de una campaña de maíz y tres de soja fue la de mayor frecuencia. En la Figura 7C, correspondiente a dos campañas de maíz, la categoría de dos ciclos de maíz y dos de soja fue la predominante. Finalmente, la Figura 7D, de las clases de soja sin intercalar con maíz, se aprecia que la categoría de soja en cuatro campañas, es decir monocultivo de soja, fue la de mayor proporción.

Otro análisis que se realizó fue la repetición de cultivos con



Nota: porcentajes referidos a la superficie del agrosistema soja/maíz 2018/19

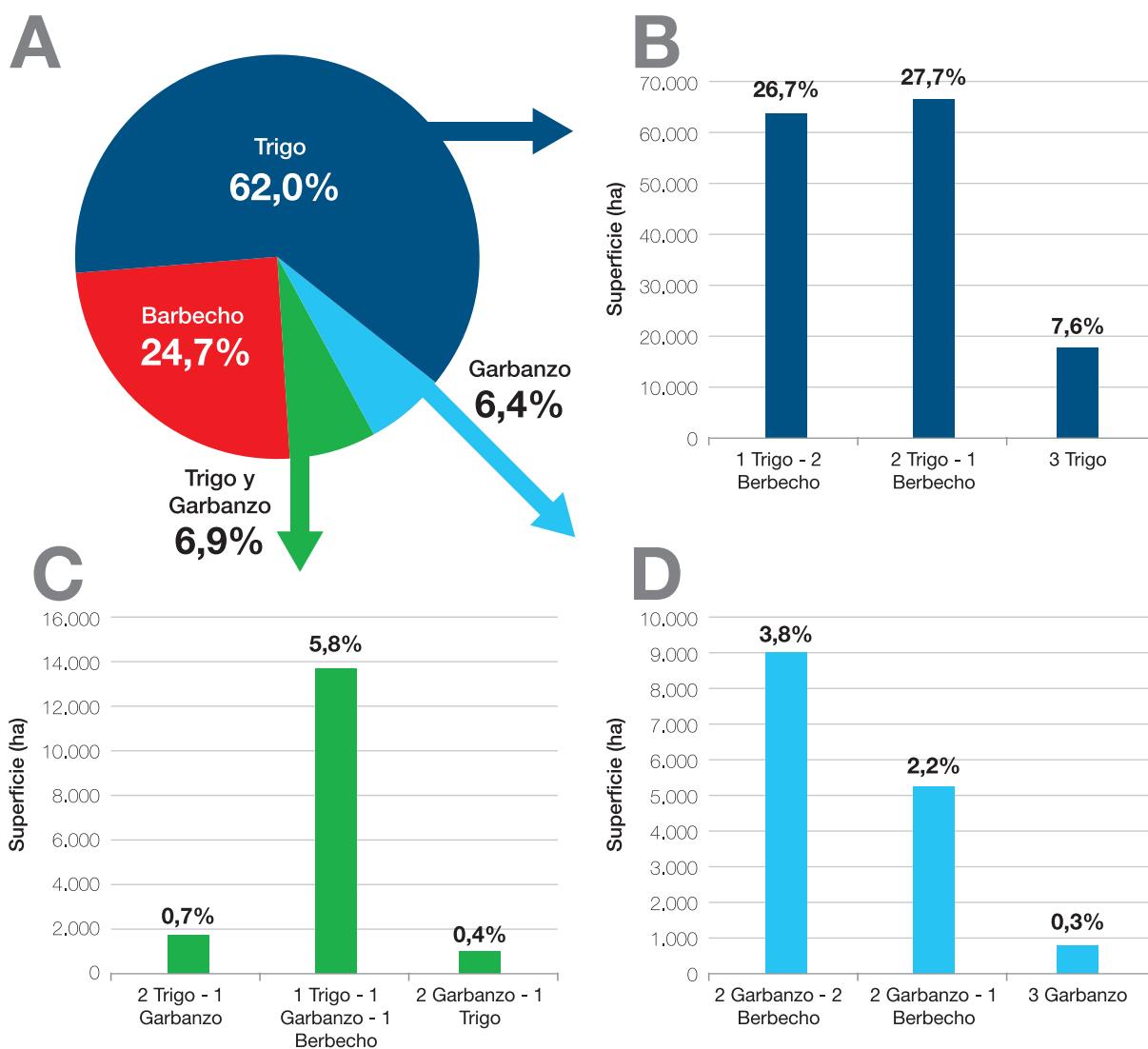
Figura 7. A: Categorías de 0 a 4 repeticiones con maíz entre las campañas 2015-2019. Tucumán. **B, C y D:** detalle de las principales categorías consideradas en A.

F1

trigo o garbanzo en el período analizado. En la Figura 8A se indica el porcentaje de las diferentes categorías con trigo, garbanzo y barbecho. Se constata que el 62% de la superficie fue sembrada con trigo o se alternó con barbecho, en el 6,9% se intercaló trigo y garbanzo, en el 6,4% se sembró sólo garbanzo o se alternó con barbecho, mientras que el 24,7% restante se conservó en barbecho. Las Figuras 8B, 8C y 8D corresponden a la composición porcentual de las principales categorías de la

Figura 8A. La Figura 8B, con solo trigo o barbecho, muestra que las categorías de dos campañas con trigo y una en barbecho o un ciclo con trigo y dos en barbecho fueron las predominantes. En la Figura 8C, correspondiente a trigo y garbanzo, la categoría de un ciclo de trigo, uno de garbanzo y uno en barbecho fue la de mayor frecuencia. Finalmente, en la Figura 8D, de garbanzo o barbecho, se aprecia que la categoría de un ciclo de garbanzo y dos en barbecho fue la de mayor proporción.

Como se mencionó previamente, la diversidad genética y de especies garantiza el funcionamiento de todos los ciclos de nutrientes, lo que contribuye a la sustentabilidad de los sistemas productivos. En ese sentido las secuencias de cultivos 12 y 48 del maíz 2018/2019 serían las más favorables desde el punto de vista de la biodiversidad, puesto que en las campañas estivales se alternan los cultivos de soja y maíz, y en las campañas invernales se intercalan los cultivos de trigo y garbanzo.



Nota: porcentajes referidos a la superficie del agrosistema soja/maíz 2018/19

Figura 8. A: Trigo y garbanzo entre los años 2016-2018. Tucumán. B, C y D: detalle de las principales categorías consideradas en A.

Consideraciones finales

El conocimiento de las secuencias de cultivos es una información de suma importancia al momento del manejo de los sistemas productivos.

Se identificaron 159 secuencias de cultivos antecesores de la soja 2018/2019. La secuencia de mayor frecuencia fue la 1, correspondiente a lotes con soja en 2018/2019 y antecesores de barbecho u otro cultivo pero no soja, maíz, trigo ni garbanzo. La mayor proporción de lotes con dicha secuencia se localizó dentro del área cañera, lo que permite inferir que corresponden mayormente a lotes con sistema de rotación soja/caña de azúcar.

Las secuencias 2 a 7 fueron las de mayor frecuencia en el agroecosistema granero. Las secuencias 3 y 6 corresponden a lotes donde los cultivos de soja y trigo se intercalaron, sucesión poco beneficiosa desde el punto de vista de la diversidad del sistema; al contrario de las secuencias 2, 4, 5 y 7 que incluyen maíz, lo que aporta mayor diversidad.

El 28% de la superficie con soja en

2018/2019 tuvo como antecesor inmediato de invierno el cultivo de trigo, el 3% cultivos de garbanzo y el 69% restante barbecho u otros cultivos. Si solo se considera el antecesor inmediato de verano (campaña 2017/2018), surge que el 52% de la superficie se cultivó sobre antecesor soja, 40% sobre lotes maíz y 8% sobre barbecho u otros cultivos. Cabe resaltar que el 40% de lotes sobre antecesor maíz es un buen valor de rotación pero no suficiente para las zonas marginales de la provincia de Tucumán, en las que se recomienda rotar con maíz el 50% del área cultivada con soja.

Con respecto al maíz 2018/2019, se identificaron 131 secuencias de cultivos. La sucesión 1, correspondiente a lotes donde se repitió la sucesión soja, trigo, maíz, fue la de mayor frecuencia. Le siguen las secuencias 2 a 5, en las que se alternaron cultivos de soja y trigo, con maíz en dos campañas en las secuencias 3 y 5, y solo una campaña de maíz en las secuencias 2 y 4.

El 30% de la superficie con maíz en 2018/2019 tuvo como antecesor inmediato de invierno el cultivo de trigo, el 13%, cultivos de garbanzo y el 57% restante barbecho u otros cultivos. Si

solo se considera el antecesor inmediato de verano (campaña 2017/2018), surge que el 75% de la superficie se cultivó sobre antecesor soja, 9% sobre lotes con maíz y 16% sobre barbecho u otros cultivos.

El análisis en conjunto de todas las secuencias reveló que el 76% de la superficie del agroecosistema soja/maíz 2018/2019 fue sembrada al menos una vez con maíz y el 24% restante ninguna vez, en la serie de campañas 2015/2016 a 2018/2019. Alrededor del 43% de la superficie fue sembrada solo en una campaña con maíz, el 30% en dos y el 3% en tres. Al considerar los cultivos de trigo y garbanzo se obtuvo que 62% de la superficie alternó trigo y barbecho, 7% presentó cultivos de trigo y garbanzo, 6% intercaló garbanzo y barbecho y el 25% restante solo presentó barbecho.

Finalmente cabe destacar que las secuencias de cultivos 12 y 48 del maíz 2018/2019 serían las más favorables desde el punto de vista de la biodiversidad, puesto que en las campañas estivales se alternaron los cultivos de soja y maíz, y en las campañas invernales se intercalaron los cultivos de trigo y garbanzo.

Bibliografía citada

Altieri, M. A. 1999. Agroecología, bases científicas para una agricultura sustentable. Editorial Nordan-Comunidad. Montevideo. Uruguay.

Chuvieco, E. 2000. Fundamentos de Teledetección Ambiental. Ediciones RIALP, SA, Madrid, España. 3° edición revisada.

Fandos, C.; J. I. Carreras Baldrés; P. Scandaliaris y F. J. Soria. 2017. Dinámica de la rotación soja/caña de azúcar en la provincia de Tucumán, análisis del período 2012/2017. Avance Agroind. 38 (4): 24-28.

Fandos, C.; J. I. Carreras Baldrés; P. Scandaliaris; F. J. Soria y M. R. Devani. 2018. Cultivos antecesores de la soja sembrada en la campaña

2017/2018 en Tucumán. En: Devani, R.; F. Ledesma y J. R. Sánchez (Eds.), El cultivo de la soja en el Noroeste Argentino: campaña 2017/2018. Publ. Espec. EEAOC (54): 139-147. [En línea] Disponible en <http://www.eeaoc.org.ar> (consultado 28 junio de 2019).

Morandini, M.; C. Hernández; D. Gamboa; F. Soria; D. R. Pérez; C. Fandos y A. Sanzano. 2009. La sustentabilidad del maíz en la rotación. En: Gamboa, D.; D. Medina y M. R. Devani (Eds.), El maíz en el NOA, campaña 2008/2009. Publ. Espec. EEAOC (39): 81-85.

Pérez, D. R.; C. Fandos; M. Devani, F. Soria; L. Mazzone y F. Ledesma. 2004. Soja y maíz en Tucumán – Campaña 2003/2004. En: Devani,

R.; F. Ledesma y J. M. Lenis (Eds.), El cultivo de la soja en el Noroeste Argentino: campaña 2003/2004. Publ. Espec. EEAOC (25): 79-84.

Pérez, D. R.; M. R. Devani; V. Paredes y G. Rodríguez. 2017. Crecimiento del gasto de producción del cultivo de soja y su relación con el modelo productivo. En: Devani, R.; F. Ledesma y J. R. Sánchez (Eds.), El cultivo de la soja en el Noroeste Argentino: campaña 2016/2017. Publ. Espec. EEAOC (53): 155-161. [En línea] Disponible en <http://www.eeaoc.org.ar> (consultado 5 junio de 2018).

Sanzano, A. 2018. Suelos productivos de Tucumán, buenas prácticas. Avance Agroind. 40 (1): 30-40.