



Estudio de la interacción entre cultivar, densidad y fertilización nitrogenada según fecha de siembra maíz. Campaña 2019/20

*Gustavo N. Ferraris, **Marcelo Lopez,
Santiago Barberis, *Eduardo Mancuso
***Juan Cuirolo
Julio 2020

Introducción

El presente experimento aborda un aspecto relevante del manejo agronómico del maíz, como es la interacción entre genética, densidad, y fertilización nitrogenada. Existe fuerte evidencia que la respuesta a densidad y fertilización es sitio específica, y que diferentes genotipos expresan un comportamiento diferencial en estos factores. La dificultad de este enfoque reside en que, mientras los ambientes son relativamente estables en el corto plazo, el permanente recambio varietal dificulta ajustar el comportamiento de los cultivares, exigiendo un gran esfuerzo de investigación a corto plazo.

Por otra parte, la fecha de siembra temprana es la más sensible a cambios en la oferta de recursos. El nivel más bajo de nitrógeno (N) en suelo y el balance hídrico ajustado generan una singular sensibilidad del cultivo al manejo. En siembra tardía, la mayor abundancia de agua inicial, N inicial y la menor demanda ambiental durante el período crítico estabilizan los rendimientos, permitiendo rangos más amplios donde los cultivos se encuentran en el óptimo.

El objetivo de este trabajo de investigación es describir el comportamiento agronómico de diferentes materiales comerciales frente a cambios en la densidad de siembra y la fertilización nitrogenada. Hipotetizamos que diferentes genotipos muestran una respuesta particular a fertilización y densidad, y optimizan su productividad a una combinación de dichos factores que origina la necesidad de recomendaciones específicas por cultivar.

Palabras clave: Maíz, sistemas de producción, interacciones de manejo, nitrógeno

Materiales y Métodos

Se implantó un experimento de campo en la EEA INTA Pergamino, sobre un suelo Serie Pergamino, Argiudol típico, (USDA- Soil Taxonomy V. 2006), capacidad de uso: I-2. El experimento se sembró el día 11 de Octubre. Fue espaciado a 0,7 m entre hileras. Se fertilizó con 100 kg⁻¹ SPT y 100 kg ha⁻¹ de sulfato de calcio, para que estos elementos no limitaran la expresión de los factores bajo estudio. Por su parte, la segunda fecha se implantó el día 7 de Diciembre, bajo las mismas condiciones de manejo y diseño estadístico.

En cada fecha, el diseño de los ensayos correspondió a bloques completos al azar con 2 repeticiones, con arreglo factorial completo de los tratamientos. Se estudió la interacción entre los factores genotipo, densidad y fertilización nitrogenada. Los niveles de estos factores se presentan en la Tabla 1. El objetivo de N se logró mediante la aplicación de urea granulada al momento de la siembra.

Tabla 1: Tratamientos nutricionales y fisiológicos aplicados en los experimentos de fecha de siembra temprana y tardía. Campaña 2019/20.

Factor 1: Genotipo	Factor 2: Densidad	Factor 3: (N suelo + fertilizante)
Syngenta NK 979 Vip3	60000 pl ha ⁻¹	140 kgN ha ⁻¹
Syngenta NK 875 Vip3	75000 pl ha ⁻¹	180 kgN ha ⁻¹
Syngenta NK 897 Vip3	90000 pl ha ⁻¹	220 kgN ha ⁻¹

Tabla 2: Análisis de suelo efectuado al momento de la siembra

Prof	Materia Orgánica	N total	Fósforo extractable	N-Nitratos suelo 0-60 (septiembre)	N-Nitratos suelo 0-60 (diciembre)	S-Sulfatos suelo	pH
	%	%	mg kg ⁻¹	ppm	kg ha ⁻¹	mg kg ⁻¹	agua 1:2,5
0-20 cm	2,52	0,126	10,3	57,7	70,8	8,6	5,8
	bajo	bajo	bajo	medio	medio	bajo	lig. ácido
Prof	Potasio	Calcio	Magnesio	Zinc	Boro	Agua en suelo	Agua en suelo
				mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	150 cm - siembra	150 cm - siembra
0-20 cm	336	1499	167	0,70	0,50	120 mm	155 mm
	alto	alto	medio	bajo	medio	mod. seco	normal

En la floración se estimó el contenido de N por Spad. A cosecha se determinó el número de plantas, y los componentes y sub componentes del rendimiento, número de espigas m⁻² (NE), Índice de prolificidad, granos espiga⁻¹ (GE), número granos m⁻² (NG) y peso (PGx1000) de los granos. La cosecha se realizó en forma manual, con trilla estacionaria de las muestras. Para el estudio de los resultados se realizaron análisis de la varianza y comparaciones de medias.

Resultados

Descripción climática de la campaña

En la Figura 1 se presentan las precipitaciones del sitio para la siembra temprana (a) y tardía (b), y en la Figura 2 las temperaturas, horas de luz y el coeficiente fototermal (Q), con datos de la EEA Pergamino. Se consideró la etapa entre el 10 de diciembre y el 15 de febrero, la cual abarca el período crítico de floración y llenado de granos en todos los materiales. Por su parte, en la Figura 3 se comparan las temperaturas máximas de este ciclo con los anteriores.

La campaña fue muy difícil en un comienzo, producto de una salida de invierno y comienzo de primavera secos y con bajas temperaturas. Sin embargo, las precipitaciones regresaron en diciembre, siendo la segunda década el momento es que ocurrió la primera lluvia significativa de la campaña de maíz (Figura 1). En particular, en la EEA INTA Pergamino ocurrió una lluvia de proporciones a finales de diciembre que, sostenidas durante enero, aseguraron un pasar favorable durante el período crítico.

Las temperaturas medias fueron bajas durante la etapa vegetativa y el período crítico, y muy elevadas en el llenado de granos (Figura 3). El cociente fototermal (Q) (11 dic-10 ene) fue de **1,60**, similar a la campaña 2018/19 (**1,59**), y en el medio de los ciclos fríos (2017/18: **1,65**; 2015/16:

1,72; 2014/15: 1,70) pero sin embargo superior al de ciclos cálidos (2013/14: 1,35; 2016/17: 1,58) (Figura 2).

La siembra tardía recibió una lluvia de gran magnitud e intensidad a finales de diciembre (Figura 1.b). A partir de las reservas constituidas, el cultivo pudo atravesar el período con escasas precipitaciones y altas temperaturas de finales de febrero e inicios de marzo, llegando a rendimientos aceptables.

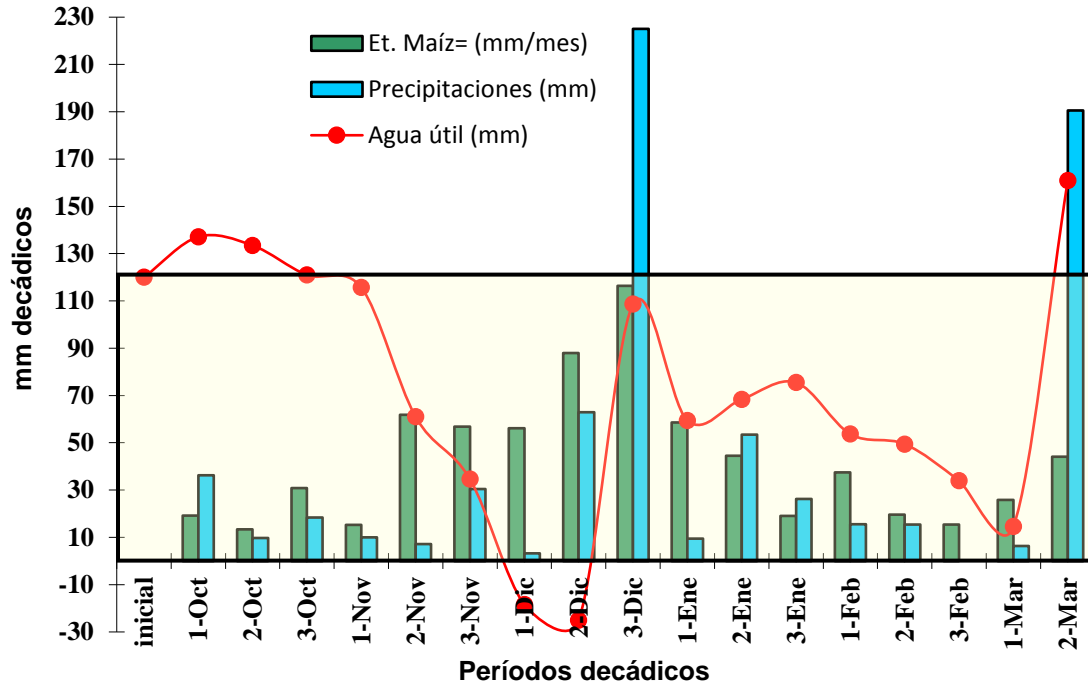


Figura 1.a

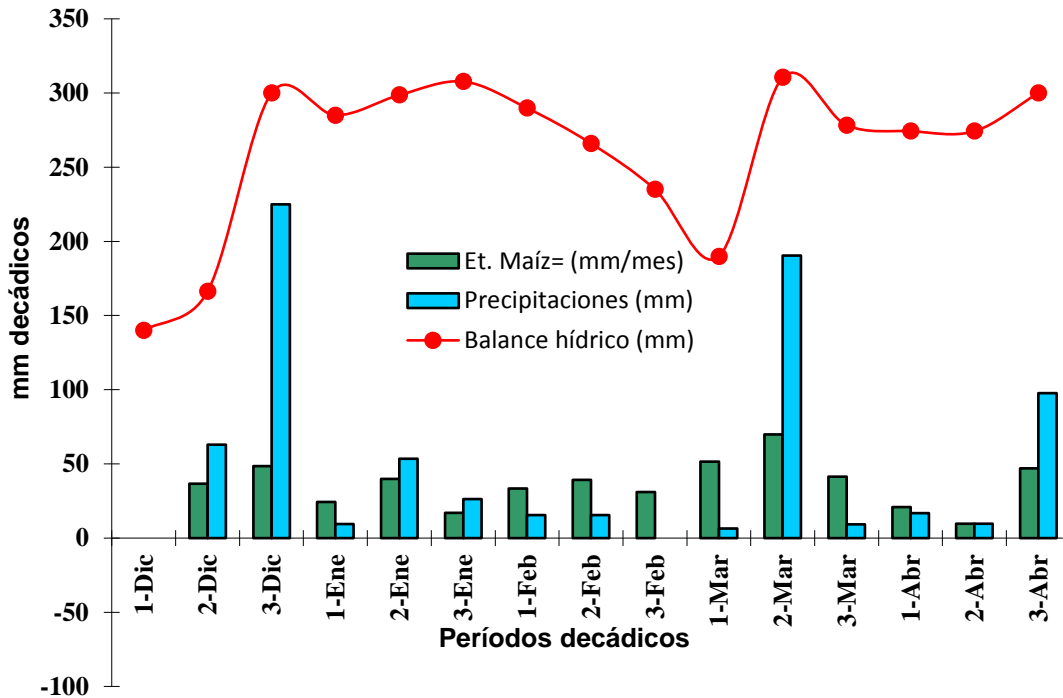


Figura 1.b

Figura 1: Precipitaciones, evapotranspiración y nivel de almacenaje (valores positivos) o déficit (negativo) acumulados (mm) en el sitio experimental. Colón, Bs As, campaña 2019/20. a) *siembra temprana*. Agua disponible inicial en el suelo (150 cm) 120 mm. Precipitaciones totales en el ciclo 720 mm, especialmente agrupadas en dos precipitaciones muy importantes. Déficit de evapotraspiración 43 mm. b) *siembra tardía*. Agua disponible a la siembra 140 mm. Precipitaciones en el ciclo 738 mm. Déficit 0 mm. El cuadro marca el nivel hídrico debajo del cual el uso consuntivo podría estar debajo del óptimo.

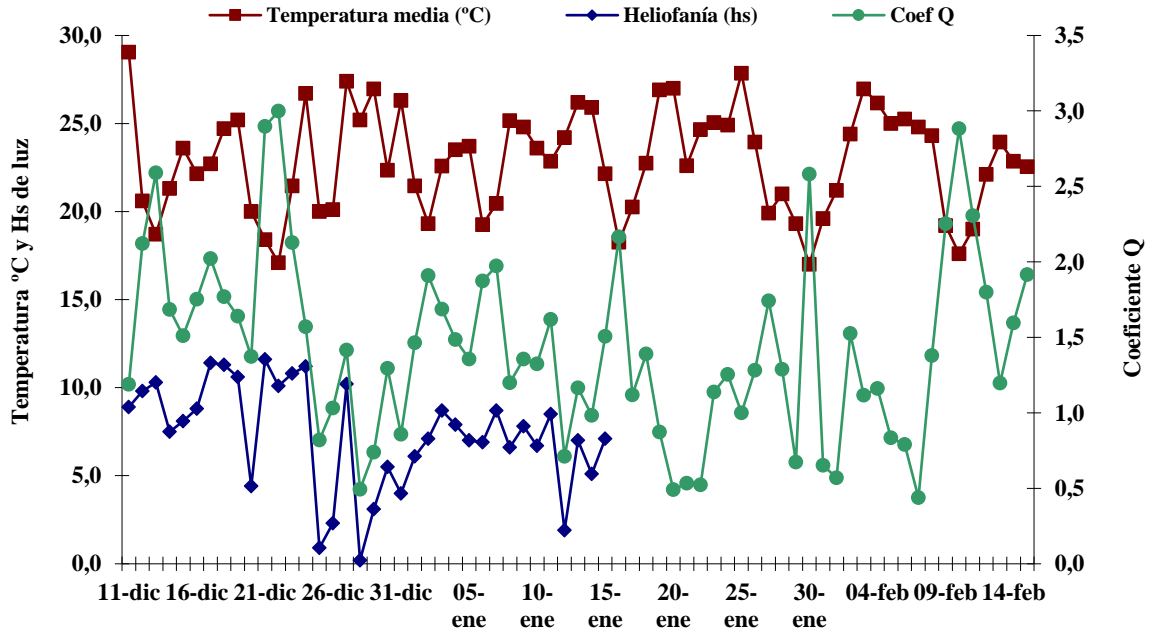


Figura 2: Insolación (en hs y décimas de hora) y temperatura media (°C) diaria para el período 10 de diciembre - 14 de febrero, en el transcurso del cual se ubicó la etapa crítica de la floración, e inicios de llenado de los granos. Datos tomados de la estación meteorológica de la EEA INTA Pergamino, (Bs As), campaña 2019/20.

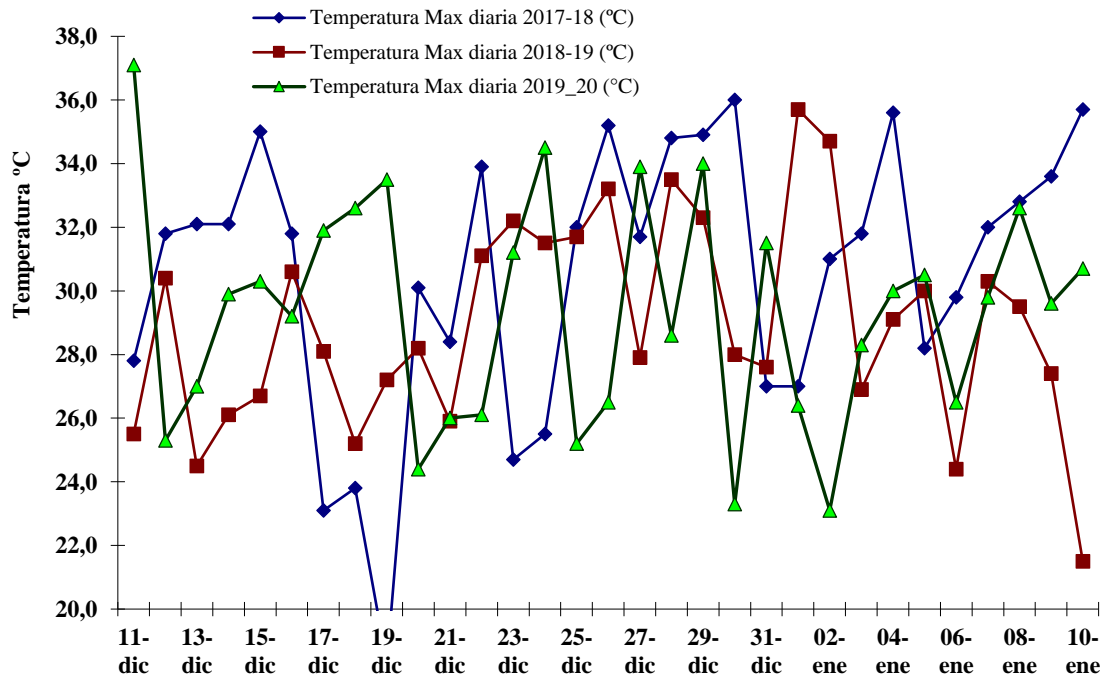


Figura 3: Temperaturas máximas diarias durante las campañas 2017/18, 2018/19 y 2019/20. Datos tomados de la estación meteorológica de la EEA INTA Pergamino, (Bs As).

B) Resultados del experimento.

b.1 Siembra temprana.

En la Tabla 3 se describe el ANOVA para rendimiento. En la Tabla 4 se presentan los parámetros morfológicos, fisiológicos y nutricionales de cultivo así como los componentes del rendimiento, mientras que en la Figura 4 se presentan los rendimientos y su significancia estadística.

Tabla 3: ANOVA para rendimiento, analizando los efectos de híbrido, densidad, dosis de N (kg ha^{-1}) y sus interacciones, en un arreglo factorial completo. **Fecha de siembra temprana.** Pergamino, campaña 2019/20.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7,6E+07	27	3E+06	2,16	0,0267
Bloque	213068	1	213068	0,16	0,6897
Cultivar	7410919	2	4E+06	2,84	0,0769
Densidad	1,9E+07	2	1E+07	7,29	0,0031
Nitrógeno	3,1E+07	2	2E+07	12	0,0002
Cultivar*Densidad	9447233	4	2E+06	1,81	0,1577
Cultivar*Nitrógeno	2025096	4	506274	0,39	0,8157
Densidad*Nitrógeno	2822340	4	705585	0,54	0,7078
Cultivar*Densidad*Nitrógeno	3860821	8	482603	0,37	0,9273
Error	3,4E+07	26	1E+06		
Total	1,1E+08	53			

Tabla 4: Altura de plantas, cobertura a floración, contenido de N estimado por Spad, Rendimiento, componentes numéricos y su correlación (r^2) con el rendimiento. Estudio de la interacción entre genética, densidad y nivel de nitrógeno como fertilizante en maíz. **Fecha de siembra temprana.** INTA Pergamino, campaña 2019/20.

Cultivar	Dens (PI ha^{-1})	N inicial (kg ha^{-1})	Rendim (kg/ha)	Altura plantas	N x Spad	Intercepci ón (%)	Índice prolificid	Espigas ha^{-1}	Granos espiga $^{-1}$	NG m^{-2}	PG x 1000
NK979 V	60 mil	N 140	10024	230	47,5	93,1	0,95	57143	640,2	3658	274
NK979 V	60 mil	N 180	11476	232	50,1	94,2	1,07	64286	653,9	4204	273
NK979 V	60 mil	N 220	12119	235	54,2	95	1,19	71429	614,7	4391	276
NK979 V	75 mil	N 140	11761	235	47,1	94,1	1,08	80952	532,1	4308	273
NK979 V	75 mil	N 180	12345	236	50,3	94,4	1,21	90476	472,1	4272	289
NK979 V	75 mil	N 220	12464	238	53,2	95,8	1,05	78571	564,5	4436	281
NK979 V	90 mil	N 140	9762	235	47	95,5	0,98	88095	405,9	3576	273
NK979 V	90 mil	N 180	11643	240	50,1	96,1	1,01	90476	464,6	4203	277
NK979 V	90 mil	N 220	13167	242	53,4	96,7	1,03	92857	523,2	4859	271
NK875 V	60 mil	N 140	10024	190	48,1	88,3	1,31	78571	522,8	4108	244
NK875 V	60 mil	N 180	11250	192	50,3	89	1,19	71429	630,0	4500	250
NK875 V	60 mil	N 220	11893	193	53,2	93,2	1,19	71429	660,7	4719	252
NK875 V	75 mil	N 140	11179	192	47,5	90,1	0,98	73810	628,4	4638	241
NK875 V	75 mil	N 180	11607	195	49,5	93,5	1,11	83333	550,5	4588	253
NK875 V	75 mil	N 220	12107	195	53,1	92,2	1,14	85714	571,8	4901	247

NK875 V	90 mil	N 140	8927	195	47,5	90,5	1,03	92857	381,5	3542	252
NK875 V	90 mil	N 180	10369	197	49,9	93,5	0,95	85714	467,1	4003	259
NK875 V	90 mil	N 220	10286	198	53,9	95	0,90	80952	508,2	4114	250
NK897 V	60 mil	N 140	8572	201	47,6	92,5	1,27	76190	441,2	3361	255
NK897 V	60 mil	N 180	10000	205	50,2	93,4	1,19	71429	542,6	3876	258
NK897 V	60 mil	N 220	10726	208	54,1	94,1	1,23	73810	561,1	4141	259
NK897 V	75 mil	N 140	11345	205	48,3	92,6	0,98	73810	591,2	4363	260
NK897 V	75 mil	N 180	11176	208	50	93,8	0,70	52381	811,3	4249	263
NK897 V	75 mil	N 220	13619	210	53,9	93,1	1,02	76190	682,2	5198	262
NK897 V	90 mil	N 140	9762	205	45,5	95,8	0,85	76190	506,4	3858	253
NK897 V	90 mil	N 180	10799	210	48,3	95,6	0,79	71429	604,7	4320	250
NK897 V	90 mil	N 220	11738	210	52,1	96,3	0,89	80000	573,1	4585	256
R ² vs rendimiento			1,00	0,14	0,39	0,09	0,00	0,01	0,21	0,81	0,13

Tabla 5: Comparación de medias (LSD $\alpha=0,05$) para los efectos simples de Cultivar, Densidad y Nitrógeno. Fecha de siembra temprana. Pergamino, campaña 2019/20.

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=649,9			
Error: 1306869,6595 gl: 26			
Cultivar	Medias	n	E.E.
NK 979 Vip3	11640,1	18	269,45 A
NK 897 Vip3	10859,6	18	269,45 B
NK 875 Vip3	10848,9	18	269,45 B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)			
Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=783,28276			
Error: 1306869,6595 gl: 26			
Densidad	Medias	n	E.E.
75000	11955,7	18	269,45 A
90000	10716,9	18	269,45 B
60000	10675,9	18	269,45 B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)			
Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=783,28276			
Error: 1306869,6595 gl: 26			
Nitrógeno	Medias	n	E.E.
220	12013,2	18	269,45 A
180	11185	18	269,45 B
140	10150,4	18	269,45 C
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)			

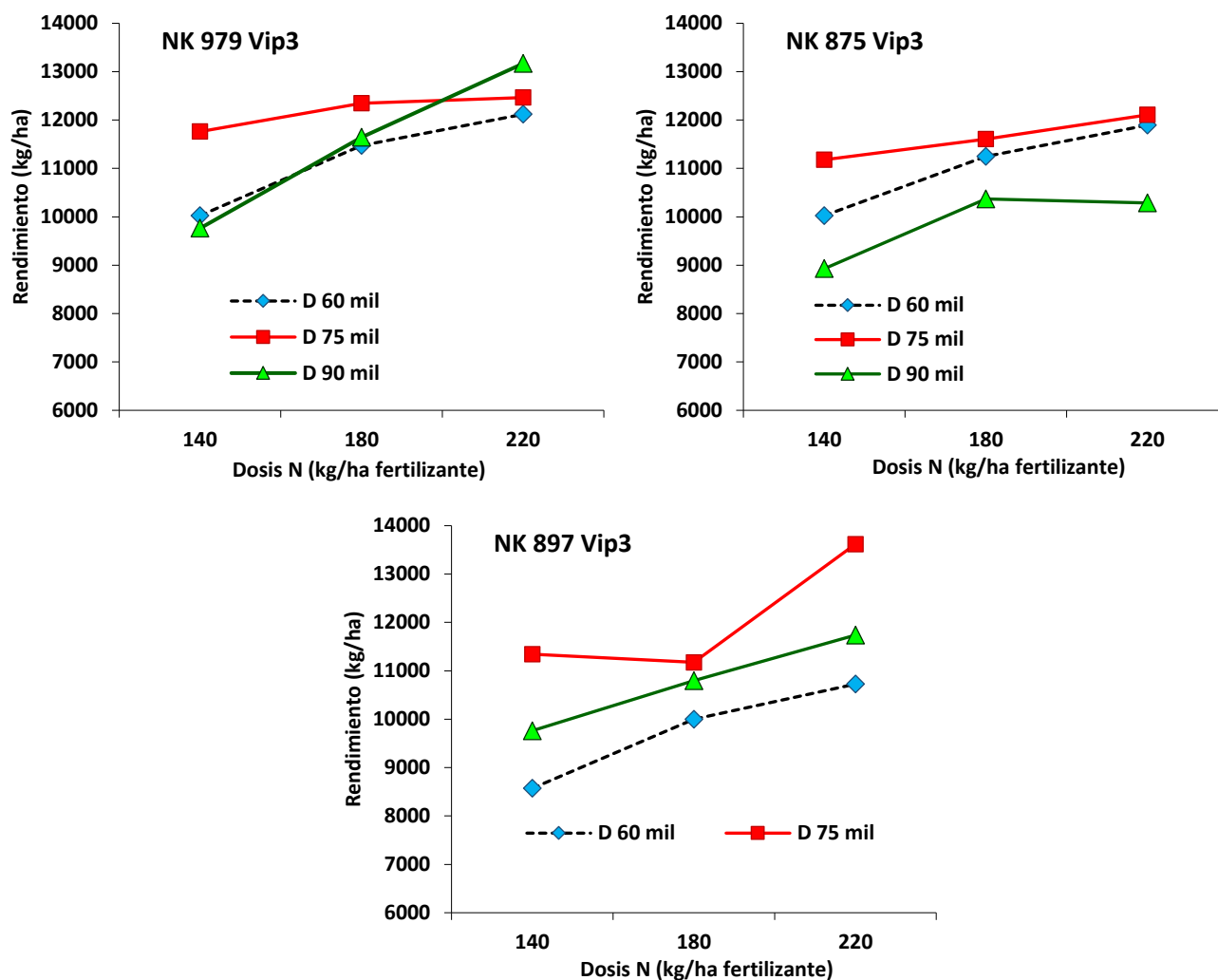


Figura 4: Producción media (kg ha^{-1}) según tratamientos de densidad y fertilización nitrogenada en tres cultivares de maíz. INTA Pergamino, maíz de siembra temprana, ciclo 2019/20.

b.1 Siembra tardía.

En la Tabla 6 se describe el ANOVA para rendimiento. En la Tabla 7 se presentan los parámetros morfológicos, fisiológicos y nutricionales de cultivo así como los componentes del rendimiento, mientras que en la Figura 5 se presentan los rendimientos y su significancia estadística.

Tabla 6: ANOVA para rendimiento, analizando los efectos de híbrido, densidad, dosis de N (kg ha^{-1}) y sus interacciones, en un arreglo factorial completo. **Fecha de siembra tardía.** Pergamino, campaña 2019/20.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8,1E+07	27	3E+06	10,69	<0,0001
Bloque	235039	1	235039	0,84	0,3671
Cultivar	2,2E+07	2	1E+07	39,39	<0,0001
Densidad	1369144	2	684572	2,45	0,1056
Nitrógeno	3,4E+07	2	2E+07	61,63	<0,0001
Cultivar*Densidad	1,3E+07	4	3E+06	11,87	<0,0001
Cultivar*Nitrógeno	1064713	4	266178	0,95	0,449
Densidad*Nitrógeno	3219850	4	804962	2,89	0,0421
Cultivar*Densidad*Nitrógeno	5014036	8	626755	2,25	0,0568
Error	7253501	26	278981		
Total	8,8E+07	53			

Tabla 7: Altura de plantas, cobertura a floración, contenido de N estimado por Spad, Rendimiento, componentes numéricos y su correlación (r^2) con el rendimiento. Estudio de la interacción entre genética, densidad y nivel de nitrógeno como fertilizante en maíz. *Fecha de siembra tardía. INTA Pergamino, campaña 2019/20.*

Cultivar	Dens (PI ha ⁻¹)	N inicial (kg ha ⁻¹)	Rendim (kg/ha)	Altura plantas	N x Spad	Intercepción (%)	Índice prolificidad	Espigas ha ⁻¹	Granos espiga ⁻¹	NG m ⁻²	PG x 1000
NK979 V	60 mil	N 140	10786	270	49,9	94,1	1,03	57143	644,2	3681	293
NK979 V	60 mil	N 180	11833	273	50,2	95,2	1,07	64286	630,4	4053	292
NK979 V	60 mil	N 220	12500	275	50,9	95	1,03	71429	597,3	4266	293
NK979 V	75 mil	N 140	10155	280	48,5	95,1	0,89	80952	426,7	3454	294
NK979 V	75 mil	N 180	12071	284	50,5	95,3	1,08	90476	464,9	4206	287
NK979 V	75 mil	N 220	13821	284	52,2	96,2	0,89	78571	604,5	4750	291
NK979 V	90 mil	N 140	10452	280	48,8	95	0,71	88095	406,3	3580	292
NK979 V	90 mil	N 180	11523	283	49,7	95,5	0,77	90476	448,5	4058	284
NK979 V	90 mil	N 220	12024	293	51,2	95,8	0,69	92857	443,4	4118	292
NK875 V	60 mil	N 140	8643	235	50,1	91,2	1,03	78571	415,1	3261	265
NK875 V	60 mil	N 180	10798	241	50,2	92	1,03	71429	553,7	3955	273
NK875 V	60 mil	N 220	10310	240	52,9	91,4	0,92	71429	526,8	3763	274
NK875 V	75 mil	N 140	8952	232	49,9	92,8	0,86	73810	450,9	3328	269
NK875 V	75 mil	N 180	9226	235	51,4	93,5	0,79	83333	419,4	3495	264
NK875 V	75 mil	N 220	9774	240	51,8	93,8	0,76	85714	430,3	3688	265
NK875 V	90 mil	N 140	10357	235	48,2	88,7	0,77	92857	413,1	3836	270
NK875 V	90 mil	N 180	10940	238	49,1	95,1	0,74	85714	469,3	4022	272
NK875 V	90 mil	N 220	12333	235	49	94,1	0,82	80952	568,5	4602	268
NK897 V	60 mil	N 140	9583	233	48,5	90,2	1,03	76190	459,1	3498	274
NK897 V	60 mil	N 180	10833	239	48,4	94,2	0,99	71429	555,6	3968	273
NK897 V	60 mil	N 220	10560	240	50,6	91,6	0,99	73810	510,9	3771	280
NK897 V	75 mil	N 140	9667	235	47,5	91,1	0,86	73810	483,3	3567	271
NK897 V	75 mil	N 180	11202	240	48,3	95	0,76	52381	783,4	4103	273
NK897 V	75 mil	N 220	12488	241	49,9	96,2	0,83	76190	583,3	4444	281
NK897 V	90 mil	N 140	9536	240	47,1	90,8	0,71	76190	456,8	3480	274
NK897 V	90 mil	N 180	10417	239	48,9	91,7	0,69	71429	540,1	3858	270
NK897 V	90 mil	N 220	11762	242	50	94,3	0,74	80000	534,6	4277	275
R ² vs rendimiento			1,00	0,31	0,08	0,46	0,00	0,00	0,28	0,91	0,33

Tabla 8: Comparación de medias (LSD $\alpha=0,05$) para los efectos simples de Cultivar, Densidad y Nitrógeno. Fecha de siembra tardía. Pergamino, campaña 2019/20.

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=361,90083						
Error: 278980,7905 gl: 26						
Cultivar	Medias	n	E.E.			
NK 979	11685,1	18	124,49	A		
NK 897	10672	18	124,49		B	
NK 875	10148,2	18	124,49		C	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)						
Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=361,90083						
Error: 278980,7905 gl: 26						
Densidad	Medias	n	E.E.			
90000	11038,3	18	124,49	A		
75000	10817,5	18	124,49	A	B	
60000	10649,5	18	124,49		B	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)						
Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=361,90083						
Error: 278980,7905 gl: 26						
Nitrógeno	Medias	n	E.E.			
220	11730,2	18	124,49	A		
180	10982,8	18	124,49		B	
140	9792,34	18	124,49		C	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)						
Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=626,83062						
Error: 278980,7905 gl: 26						
Cultivar	Densidad	Medias	n	E.E.		
NK 979	75000	12016	6	215,63	A	
NK 979	60000	11706	6	215,63	A	B
NK 979	90000	11333	6	215,63		B
NK 875	90000	11210	6	215,63		B
NK 897	75000	11119	6	215,63	B	C
NK 897	90000	10571	6	215,63		C
NK 897	60000	10325	6	215,63		D
NK 875	60000	9916,7	6	215,63		E
NK 875	75000	9317,5	6	215,63		F

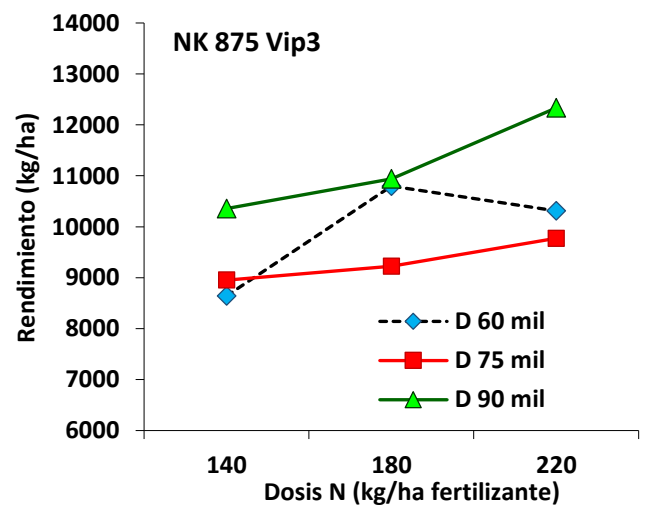
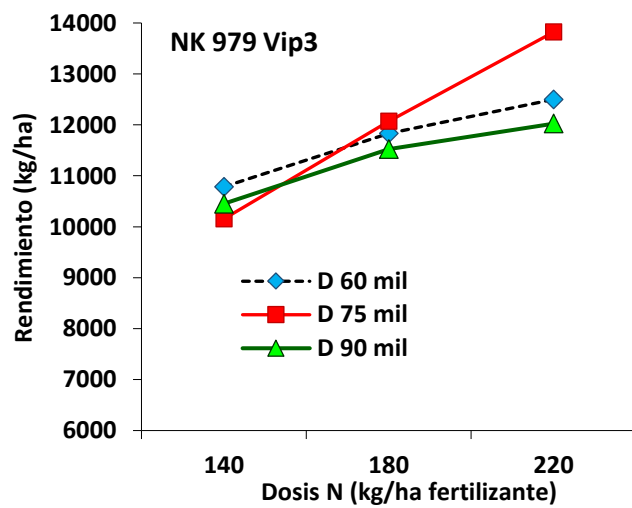
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=626,83062

Error: 278980,7905 gl: 26

Densidad	Nitrógeno	Medias	n	E.E.	
90000	220	12040	6	215,63	A
75000	220	12028	6	215,63	A
60000	180	11155	6	215,63	B
60000	220	11123	6	215,63	B
90000	180	10960	6	215,63	B
75000	180	10833	6	215,63	B
90000	140	10115	6	215,63	C
60000	140	9670,7	6	215,63	C
75000	140	9591,3	6	215,63	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)



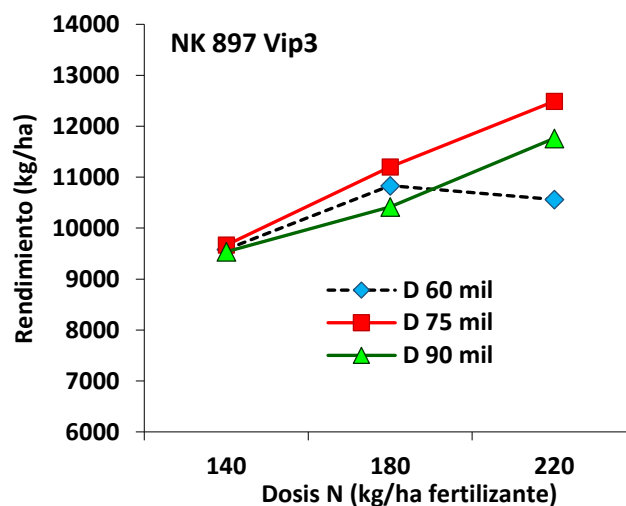
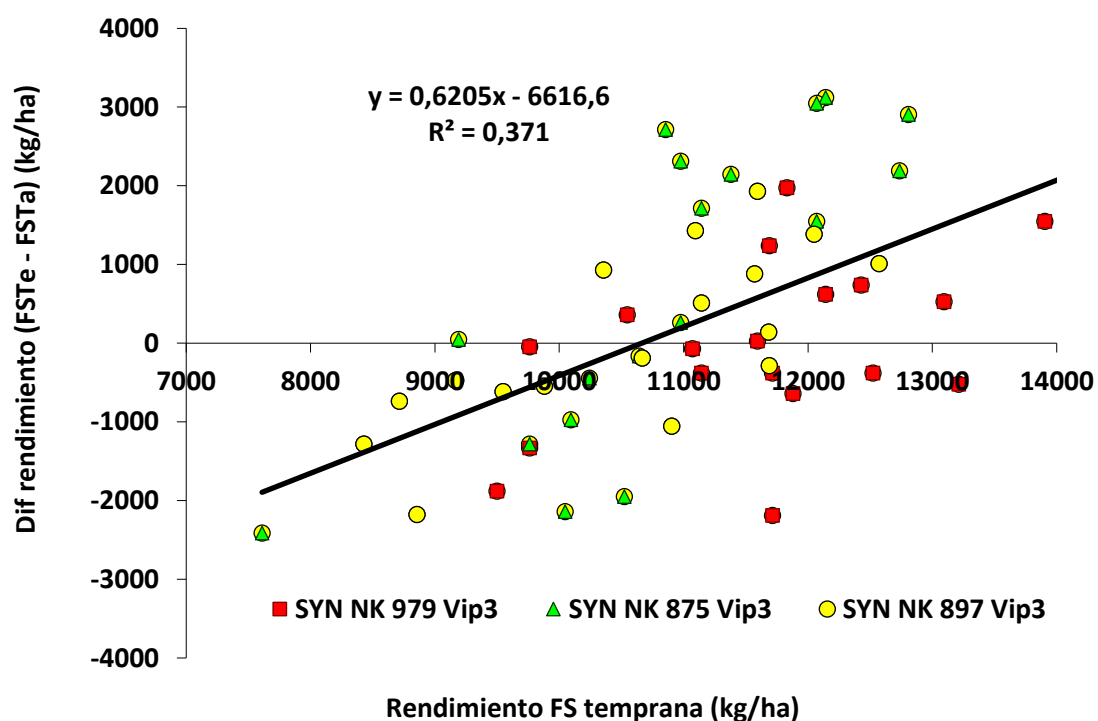


Figura 5: Producción media (kg ha^{-1}) según tratamientos de densidad y fertilización nitrogenada en tres cultivares de maíz. INTA Pergamino, maíz de siembra tardía, ciclo 2019/20.



Discusión y Conclusiones

Los rendimientos de **siembra temprana** alcanzaron una media de 11116 kg ha^{-1} . Los mismos podrían considerarse favorables teniendo en cuenta la fuerte restricción hídrica inicial. Las condiciones ambientales mejoraron hacia diciembre, acompañando al cultivo durante su período crítico.

Se determinaron diferencias significativas por efecto de densidad ($P=0,003$) y N ($P=0,0002$) y cultivar ($P=0,07$), aunque no interacciones entre factores ($P>0,10$) (Tabla 3). Entre los cultivares,

Syngenta NK 979 Vip3 fue el de mayor rendimiento ($P < 0,10$), superando a NK 897 Vip3 y NK 875 Vip3, estos últimos sin diferencias entre sí (Tabla 5).

Con relación a densidad, en promedio 75 mil pl/ha fue la de mejor comportamiento, con mucha diferencia respecto de 60 mil y 90 mil (Tabla 5). Este efecto de densidad fue más notorio en NK 897 Vip3, y se presentó más atenuado en NK 979 Vip3 (Figura 4). Respecto de los extremos, en NK 897 Vip3 la densidad de 90 mil plantas fue superior a 60 mil, mientras que en NK 875 Vip3 se verificó el comportamiento opuesto. La densidad no presentó interacción con N a excepción de NK 979 Vip3, donde a N máximo la densidad de 90 mil pl/ha fue la de mayor productividad.

Finalmente, en todos los cultivares y densidades se verificó respuesta al ajuste de N, en todo el rango de dosis explorado. El cultivar con mayor pendiente fue el de mayor rendimiento, NK 979 Vip3, especialmente en alta densidad. Por el contrario, NK 875 Vip3 presentó la menor pendiente, con un mínimo en 90 mil/ha. Esta densidad resultó un manejo poco favorable para el cultivar.

Si bien la interacción (GxDxN) no alcanzó la significancia estadística, el efecto conjunto de cultivar, densidad y N se puede apreciar en NK 979 Vip3, donde el genotipo de mayor rendimiento, a densidad y dosis máxima de N representó el tratamiento de mayor productividad del experimento.

En cuanto a las variables intermedias, abarcan un amplio rango cuyo valor es influenciado en modo variable por alguno de los tres factores estudiados en el experimento, cultivar, densidad o N. La altura de planta es un parámetro con regulación genética, y tendencia a aumentar con la densidad y N. El contenido foliar de N guardó relación con la fertilización. La intercepción de radiación en floración depende de densidad, N y en menor medida, del cultivar sembrado. La prolificidad fue fuertemente afectada por densidad y N. En este sentido, NK 979 Vip3 parece el cultivar con mayor proporción de plantas con más de una espiga, mientras que NK 897 Vip3 el que más cambió la prolificidad en función de la densidad. No obstante, ninguno de los genotipos pareciera acudir a este mecanismo como medio principal para compensar bajas densidades.

Los rendimientos de **siembra tardía** alcanzaron una media de 10835 kg ha^{-1} , similares a los de fecha temprana. Se constituyeron a partir de un cultivo de diferente estructura, con mayor altura, porte y vigor. Es posible que la falta de precipitaciones de final de febrero, y sobre todo las elevadas temperaturas registradas, hayan condicionado un rendimiento superior.

Se determinó interacción significativa cultivar x densidad ($P < 0,0001$) y densidad x nitrógeno ($P = 0,04$). Entre los efectos simples se identificaron diferencias significativas por efecto de cultivar ($P < 0,0001$) y N ($P < 0,0001$), mientras que el factor densidad estuvo en el límite de la significancia estadística ($P = 0,10$) (Tabla 6).

Como sucediera en fechas tempranas, Syngenta NK 979 Vip3 fue el de mayor rendimiento ($P < 0,05$), secundado por NK 897 Vip3 y luego NK 875 Vip3. En las densidades, se observó una tenue respuesta positiva al incrementarla, sin diferencias estadísticas. En cambio, la fertilización nitrogenada incrementó los rendimientos en todo el rango de dosis explorado (Tabla 8). Estos resultados muestran que subestimar el potencial de las siembras tardías asumiendo medidas defensivas como bajar excesivamente la densidad o limitar la fertilización podría constituir un error, condicionando de este modo la expresión de rendimiento.

Respecto de las interacciones, NK 897 y NK 979 parecieran adaptarse a densidades medias, mientras que NK 875 se comportaría en mejor medida en niveles altos (Tabla 8 y Figura 5). Este último es el cultivar de menor porte y tamaño de planta, entre los evaluados en esta experiencia. Una alta densidad acentuó la competencia entre plantas, incrementando la respuesta a la fertilización nitrogenada. En las densidades de 75000 y 90000 plantas, la respuesta a N fue lineal

en todo el rango de dosis evaluado, mientras que en 60000 plantas se alcanzó un máximo con 180 kgN ha⁻¹ (Tabla 8 y Figura 5). La combinación de mayor rendimiento de la experiencia fue Syngenta NK979 Vip3, a 75000 plantas y ajustado a 220 kgNha⁻¹, alcanzando un rendimiento sobresaliente para siembras tardías (Figura 5).

La mayor correlación con rendimiento es siembras tardías se obtuvo con NG, intercepción de radiación y altura de plantas, las cuales explicaron y anticiparon en forma ajustada los rendimientos finales (Tabla 7).

Con los datos del presente experimento es posible obtener la relación entre los rendimientos en FS tradicional y tardía en un mismo sitio (Figura 6). La competitividad en FS temprana aumentó en la medida que mejoró la productividad del tratamiento. La siembra temprana superó a la tardía cuando sus rendimientos fueron superiores a 10500 kg/ha⁻¹, evidenciando mayor potencial. Lo contrario sucedió en combinaciones más restrictivas. Los tres materiales presentaron una tendencia similar. NK 897 fue el cultivar que presentó mayor número de puntos debajo de cero, mostrando buena adaptación a siembras tardías. NK979 presentó una gran cantidad de puntos alrededor de la diferencia cero, evidenciando amplia adaptación (Figura 6).

Los resultados obtenidos permiten aceptar la hipótesis propuesta, sugiriendo la existencia de combinaciones óptimas específicas de densidad y N para cada cultivar, pero una tendencia positiva a aumentar los rendimientos en densidades medias (75 mil pl/ha), y conforme se incrementa el nivel de fertilización. En el sitio se expresó una buena respuesta a la intensificación y eficiente uso de recursos, dadas las condiciones ambientales propias de la campaña. Por otra parte, es posible obtener muy altos rendimientos en ambas fechas de siembra, ajustando convenientemente la combinación de cultivar, densidad y fertilización.

Bibliografía citada

- Ashworth, A. J., Allen, F. L., Saxton, A. M., & Tyler, D. D. (2016). Long-term corn yield impacted by cropping rotations and bio-covers under no-tillage. *Agronomy Journal*, 108(4), 1495-1502.
- Balboa, G. R., & Ciampitti, I. A. (2016). Breaking Corn Yield Barriers: A Cropping Systems Approach. *Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports*, 2(5), 13.
- Biasutti, C. A., & Balzarini, M. B. (2017). Predicción del rendimiento de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) en ambientes de siembra tardía. *BAG. Journal of basic and applied genetics*, 28(1), 19-26.
- Boxler, M., F. O. García, A. Correndo, S. Gallo, R. Pozzi, M. Uranga, F. Bauschen, H. Rivero, N. Reussi Calvo y A. Berardo 2013. Red de Ensayos en Nutrición de Cultivos. Región CREA Sur de Santa Fe. Resultados de la campaña 2012/13: Maíz, 25 pp. Disponible on-line www.ipni.net/lacs
- De Paepe, J. L., & Álvarez, R. (2016). Wheat yield gap in the pampas: modeling the impact of environmental factors. *Agronomy Journal*, 108(4), 1367-1378.
- Ferraris, G., L. Arias Usandivaras, M. Lopez y MC. Mazzini. Estudio de la interacción entre cultivar, densidad y fertilización en maíz de siembra temprana. Inta EEA Pergamino. Campaña 2016/17. Informe de resultados. 18 pp.
- Ferraris, G. y R. Rotondaro. 2017. Estrategias de manejo de fósforo y zinc en maíz. Caracterización de su comportamiento agronómico. En: RTA Revista de Tecnología Agropecuaria (RTA), INTA EEA Pergamino. ISSN digital 2469-164X Vol. 10 N° 31, Agosto 2016 Buenos Aires, Argentina
- Ferraris, G., F. Missart y F. Prats. 2016. a. Fertilización con zinc bajo diferentes escenarios de fertilidad nitrogenada en maíz de siembra temprana. En: XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. "Ordenamiento Territorial, Un desafío para la Ciencia del Suelo". Comisión III: Fertilidad y Nutrición Vegetal. Río Cuarto, 27 de Junio al 1 de Julio de 2016.
- Ferraris, G., F. Mousegne y J. Urrutia. 2016. B. Respuesta aditiva a nitrógeno, azufre y zinc en trigo. Relación con indicadores de diagnóstico. Pp 34-38. En: Revista de Tecnología Agropecuaria (RTA). INTA EEA Pergamino. ISSN digital 2469-164X Vol. 10 N° 30, Abril 2016 Buenos Aires, Argentina

- Ferraris, G., M. Toribio, R. Falconi y F. Moriones. 2015. Efectos de diferentes estrategias de fertilización sobre los rendimientos, el balance de nutrientes y su disponibilidad en los suelos en el largo plazo. Actas CD Simposio Fertilidad 2015. pp 137-142. "Nutriendo los suelos para las generaciones del futuro". Rosario, 19-20 Mayo 2015. IPNI Cono Sur – Fertilizar AC.
- Ferraris, G.; L. Couretot; L. García, y M. Navarro. 2014. a. La nutrición como herramienta para alcanzar los rendimientos potenciales en soja. Comisión III. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. II Reunión Nacional "Materia Orgánica y Sustancias Húmicas" Producción sustentable en ambientes frágiles. Bahía Blanca, 5 al 9 de mayo de 2014.
- Ferraris, GN; L. Couretot, L. y M. Díaz Zorita. 2014. b. Análisis de los factores que determinan las brechas existentes entre los rendimientos actuales y los máximos alcanzables en Soja. En: Soja. Revista Técnica en SD. AAPRESID. ISSN 1850-0633. Año 21. Septiembre 2014.
- Grassini, P., Cassman, K. G., & Ittersum, M. V. (2017). Exploring maize intensification with the Global Yield Gap Atlas. *Better Crops with Plant Food*, 101(2), 7-9.
- Guilpart, N., Grassini, P., Sadras, V. O., Timsina, J., & Cassman, K. G. (2017). Estimating yield gaps at the cropping system level. *Field crops research*, 206, 21-32.
- Hisse, I. R., D'Andrea, K. E., & Otegui, M. E. (2019). Source-sink relations and kernel weight in maize inbred lines and hybrids: Responses to contrasting nitrogen supply levels. *Field Crops Research*, 230, 151-159.
- Hunt, E., Connor, T., & Pfeiffer, K. (2018). Yield Trends and Shifts in the US Corn Belt.
- Liu, B., Chen, X., Meng, Q., Yang, H., & van Wart, J. (2017). Estimating maize yield potential and yield gap with agro-climatic zones in China—Distinguish irrigated and rainfed conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 239, 108-117.
- Lobell, D. B., Roberts, M. J., Schlenker, W., Braun, N., Little, B. B., Rejesus, R. M., & Hammer, G. L. (2014). Greater sensitivity to drought accompanies maize yield increase in the US Midwest. *Science*, 344(6183), 516-519.
- Mastrodomenico, A. T., Haegele, J. W., Seebauer, J. R., & Below, F. E. (2018). Yield Stability Differs in Commercial Maize Hybrids in Response to Changes in Plant Density, Nitrogen Fertility, and Environment. *CROP SCIENCE*, 58, 230-241.
- Monzón, J.P. 2015. Atlas Mundial de Brechas de Rendimiento: Trigo, soja y maíz en Argentina. pp 55-59. En: Actas Simposio Fertilidad 2015 "Nutriendo los suelos para las generaciones del futuro". IPNI Cono Sur – AC Fertilizar. Rosario, 19 y 20 de Mayo de 2015. 252 pp.
- Morell, F. J., Yang, H. S., Cassman, K. G., Van Wart, J., Elmore, R. W., Licht, M., ... & Thomison, P. (2016). Can crop simulation models be used to predict local to regional maize yields and total production in the US Corn Belt?. *Field Crops Research*, 192, 1-12.
- Mueller, S. M., & Vyn, T. J. (2018). Can Late-Split Nitrogen Application Increase Ear Nitrogen Accumulation Rate During the Critical Period in Maize?. *Crop Science*.
- Mullet, J. E. (2017). High-Biomass C 4 Grasses Filling the Yield Gap. *Plant Science*.
- Peng, W. A. N. G., WANG, Z. K., SUN, X. C., MU, X. H., Huan, C. H. E. N., CHEN, F. J., ... & MI, G. H. (2019). Interaction effect of nitrogen form and planting density on plant growth and nutrient uptake in maize seedlings. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(5), 1120-1129.
- Rabbinge, R. 1993. The Ecological Background in Food Production. En *Crop Protection and Sustainable Agriculture*, D. J. Chadwick y J. Marsh (Eds.). John Wiley and Sons.
- Rizzo, G., Edreira, J. I. R., Archontoulis, S. V., Yang, H. S., & Grassini, P. (2018). Do shallow water tables contribute to high and stable maize yields in the US Corn Belt?. *Global Food Security*, 18, 27-34.
- Rossi, R. 2013. La contribución del mejoramiento genético para la obtención de altos rendimientos en soja pp 38-43. En: García y Correndo (eds) Simposio Fertilidad 2013. Nutrición de cultivos para la intensificación productiva sustentable. - 1a ed. 314 pp. IPNI Cono Sur, Rosario, Santa Fe, 2013. Pen Drive.
- Rotundo, J. y L. Borrás. 2013 ¿Cómo podemos aumentar los rendimientos de soja? La visión ecofisiológica. pp36 – 37. Simposio Fertilidad 2013 "Nutrición de Cultivos para la Intensificación Productiva Sustentable" Rosario, 22 y 23 de Mayo de 2013.
- Ruffo, M. L., Gentry, L. F., Henninger, A. S., Seebauer, J. R., & Below, F. E. (2015). Evaluating management factor contributions to reduce corn yield gaps. *Agronomy Journal*, 107(2), 495-505.

- Sainz Rozas, H., Eyherabide, M., Echeverría, H., Barbieri, P., Angelini, H., Larrea, G., Ferraris, G.N. y Barraco, M. 2013 ¿Cuál es el estado de la fertilidad de los suelos argentinos? 62-72. En: García y Correndo (eds) Simposio Fertilidad 2013. Nutrición de cultivos para la intensificación productiva sustentable. - 1a ed. 314 pp. IPNI Cono Sur,
- Salvagiotti, F., Prystupa, P., Ferraris, G., Magnano, L., Dignani, D., & BGutiérrez-Boemoem, F. H. G. (2017). N: P: S stoichiometry in grains and physiological attributes associated with grain yield in maize as affected by phosphorus and sulfur nutrition. *Field Crops Research*, 203, 128-138.
- Scharf, P. C., Brouder, S. M., & Hoelt, R. G. (2006). Chlorophyll meter readings can predict nitrogen need and yield response of corn in the north-central USA. *Agronomy Journal*, 98(3), 655-665.
- Scharf, P. C., & Lory, J. A. (2009). Calibrating reflectance measurements to predict optimal sidedress nitrogen rate for corn. *Agronomy Journal*, 101(3), 615-625.
- Schlegel, A. J., & Havlin, J. L. (2017). Corn Yield and Grain Nutrient Uptake from 50 Years of Nitrogen and Phosphorus Fertilization. *Agronomy Journal*, 109(1), 335-342.
- Shrestha, J., Yadav, D. N., Amgain, L. P., & Sharma, J. P. (2018). Effects of nitrogen and plant density on maize (*Zea mays* L.) phenology and grain yield. *Current Agriculture Research Journal*, 6(2), 175-182.
- Steward, P. R., Dougill, A. J., Thierfelder, C., Pittelkow, C. M., Stringer, L. C., Kudzala, M., & Shackelford, G. E. (2018). The adaptive capacity of maize-based conservation agriculture systems to climate stress in tropical and subtropical environments: A meta-regression of yields. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 251, 194-202.
- SIIA, Sistema integrado de información agropecuaria. 2014. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. <http://www.siiia.gov.ar>, consultado el 17/02/14.
- Torres, L. G., Rodrigues, M. C., Lima, N. L., Trindade, T. F. H., e Silva, F. F., Azevedo, C. F., & DeLima, R. O. (2018). Multi-trait multi-environment Bayesian model reveals G x E interaction for nitrogen use efficiency components in tropical maize. *PloS one*, 13(6), e0199492.
- Van Oort, P. A. J., Saito, K., Dieng, I., Grassini, P., Cassman, K. G., & Van Ittersum, M. K. (2017). Can yield gap analysis be used to inform R&D prioritisation?. *Global Food Security*, 12, 109-118.
- Wang, M., Wang, L., Cui, Z., Chen, X., Xie, J., & Hou, Y. (2017). Closing the yield gap and achieving high N use efficiency and low apparent N losses. *Field Crops Research*, 209, 39-46.
- Wang, Y., Zhang, X., Chen, J., Chen, A., Wang, L., Guo, X., ... & Gao, Q. (2019). Reducing basal nitrogen rate to improve maize seedling growth, water and nitrogen use efficiencies under drought stress by optimizing root morphology and distribution. *Agricultural water management*, 212, 328-337.
- Wei, S., Wang, X., Li, G., Qin, Y., Jiang, D., & Dong, S. (2019). Plant density and nitrogen supply affect the grain-filling parameters of maize kernels located in different ear positions. *Frontiers in plant science*, 10.
- Zipper, S. C., Qiu, J., & Kucharik, C. J. (2016). Drought effects on US maize and soybean production: spatiotemporal patterns and historical changes. *Environmental Research Letters*, 11(9), 094021.