



¿Fertilización por nutriente o balanceada?

Presentamos el resumen de trabajos en campos de productores llevado a cabo por cinco años, donde se pone a prueba distintas propuestas de nutrición de cultivos de fina en el área de influencia de EEA INTA Balcarce.

Marcelo J. López de Sabando¹
Juan María Erreguerena²
Ignacio Besteiro³
Luis Lanzavecchia²
Kevin Leaden⁴

¹ INTA, Agencia de Extensión Rural Tandil
² INTA, Agencia de Extensión Rural Necochea
³ INTA, Agencia de Extensión Rural Lobería
⁴ INTA, Agencia de Extensión Rural Laprida

Introducción

El trigo, la cebada y la avena son los cultivos de cereales de invierno con mayor superficie en la región. Para los tres cultivos, el nitrógeno y el fósforo son los macronutrientes que limitan con mayor frecuencia sus rendimientos de grano. En los últimos años se han determinado deficiencias de azufre para la producción de trigo y de cebada, sin embargo, estas deficiencias no son generalizadas. Otro nutriente, el cinc, también ha mostrado deficiencias y respuestas en trigo bajo condiciones específicas de suelos y de manejos.

El equipo de extensión de INTA Balcarce entre sus acciones realiza sitios demostrativos para intercambio con técnicos y productores, y además con objetivo de cuantificar los efectos de diferentes factores sobre la producción y validar modelos de apoyo de decisiones. En nutrición de cultivos los experimentos tuvieron como objetivos (i) Cuantificar los efectos sobre la producción de la fertilización con nitrógeno, con fósforo, con azufre y con cinc, (ii) evaluar los efectos de interacción entre nutrientes y (iii) validar modelos de diagnóstico utilizados en la región.

Sitios evaluados y experimentos

Ubicación y descripción general

Los experimentos de fertilización se realizaron en los cultivos de trigo, de cebada y de avena durante las campañas 2017 a 2021 en 5 localidades (Laprida, Tandil, San Manuel, Lobería y Necochea) de región (Figura 1). Los sitios seleccionados corresponden a suelos Argiudoles con variabilidad de profundidad de los horizontes petrocálcicos (Tabla 1). En

cada sitio se realizaron experimentos de fertilización con fósforo, con nitrógeno, con azufre y con cinc.

Resultados principales

Rango de rendimientos explorados

Para las condiciones evaluadas se observaron rendimientos de trigo en rango de 2375 a 8775 kg ha⁻¹, rendimientos de cebada de 2349 a 8650 kg ha⁻¹ y rendimientos de avena de 2407 a 5510 kg ha⁻¹. Los rangos de

Figura 1 | Ubicación de los sitios con experimentos de fertilización aditiva con puntos llenos color negro e identificación con número de sitio. Distribución de suelos con predominio de Argiudoles en provincia de Buenos Aires en tonalidad de gris. Cultivos de trigo cebada y avena. Campañas 2017, 2018, 2019, 2020 y 2021.

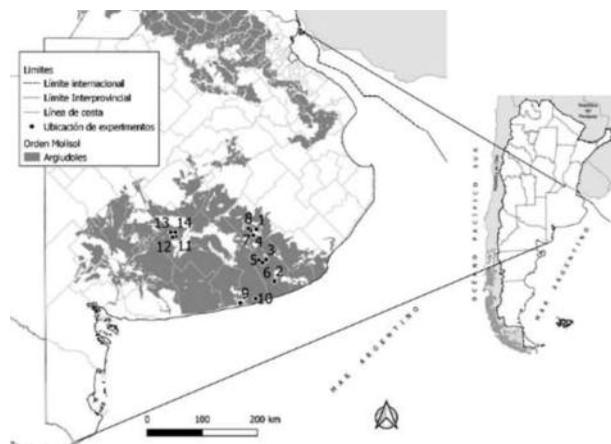


Tabla 1 | Detalle de sitios de experimentos de fertilización aditiva. Número de experimento, localidad y año de realización, tipo de suelos, profundidad de horizonte petrocálcico y propiedades superficiales de suelo.

Experimento	Localidad y año	Tipo de suelo	Profundidad de suelo	Materia orgánica %	Textura primeros 20 cm de suelos	pH	S de Sulfatos 0-20 ppm	S de Sulfatos 0-60 cm kg ha ⁻¹	Fósforo extractable ppm	N-NO ₃ 0-20 ppm	N-NO ₃ 0-60 kg ha ⁻¹	N anaeróbico ppm	Zn ppm
1	Tandil 2017	Argiudol Tipico	+ 100 cm	4,2	Franco arcilloso	6,3	7,0	38,2	8,0	7,2	42,1	42,6	1,1
2	Loberia 2018	Argiudol Tipico	+ 100 cm	4,2	Franco arcilloso	5,9	5,3	35,4	10,0	10,9	49,1	47,0	1,0
3	San Manuel 2018	Argiudol	45 cm	5,7	Franco	6,5	10,0	33,6	9,5	13,9	65,3	87,9	1,2
4	Tandil 2019	Argiudol Tipico	+ 100 cm	4,9	Franco arcilloso	6,3	7,1	28,8	9,0	10,5	55,0	72,0	1,2
5	San Manuel 2019	Argiudol	57 cm	4,2	Franco	6,7	7,0	34,2	12,2	10,5	51,0	45,0	1,0
6	San Manuel 2020	Argiudol	65 cm	4,3	Franco	6,8	5,8	34,7	11,0	8,5	41,5	50,0	0,8
7	Tandil 2020	Argiudol Tipico	+ 100 cm	5,5	Franco arcilloso	5,8	5,3	28,9	13,0	9,1	50,5	61,1	0,9
8	Tandil 2021	Argiudol Tipico	+ 100 cm	5,1	Franco arcilloso	5,9	5,1	47,9	20,0	7,8	43,3	60,5	1,0
9	Necochea 2019 a	Argiudol Tipico	+ 100 cm	6,4	Franco	5,8	6,0	32,8	15,7	11,8	80,3	72,8	1,0
10	Necochea 2019 b	Argiudol Tipico	+ 100 cm	5,0	Franco	5,9	5,9	30,2	17,0	11,8	80,3	46,2	0,9
11	Laprida 2020 a	Argiudol Tipico	+ 100 cm	5,1	Franco	6,5	6,0	32,9	14,9	18,3	112,6	83,4	1,0
12	Laprida 2020 b	Argiudol	40 cm	4,5	Franco	7,2	6,4	33,0	5,4	9,0	44,8	89,3	0,2
13	Laprida 2021 a	Argiudol Tipico	+ 100 cm	5,3	Franco	6,4	3,3	26,5	20,2	8,8	63,2	78,8	1,1
14	Laprida 2021 b	Argiudol Tipico	+ 100 cm	4,3	Franco	6,5	4,4	41,3	25,9	10,7	46,3	65,2	1,8

rendimientos explorados corresponden a condiciones de altos y de bajos niveles de rendimientos para los tres cultivos.

Fósforo

La respuesta a la fertilización con fósforo mostro diferencias según cultivo y sitio de evaluación (Tabla 2). Los resultados observados son coincidentes con lo reportado por Berardo et al.

1994 para suelos con niveles de carbono orgánico mayores a 3% y por Correndo y García (2016) que integraron datos de 103 ensayos de fertilización fosfatada en la región pampeana de distintos autores.

En los tres cultivos evaluados, los incrementos de rendimientos por la fertilización con fósforo mostraron asociación con los niveles de fosforo extractable en los primeros 0,2 m de

suelos y, en general, no mostraron asociación con los rendimientos logrados (Figura 2). Al comparar las respuestas observadas con los resultados de Correndo y García (2016) se observó adecuada asociación de la respuesta con disponibilidad de nitrógeno y respuestas inferiores en los tratamientos sin nitrógeno.

La eficiencia de respuesta, cuantificada como el incremento de produc-

Tabla 2 | Resumen de análisis de fertilización con fósforo nitrógeno azufre y cinc según cultivo, sitio y año. Para cada nutriente y sitio respuestas a la fertilización, desvió estándar y p valor.

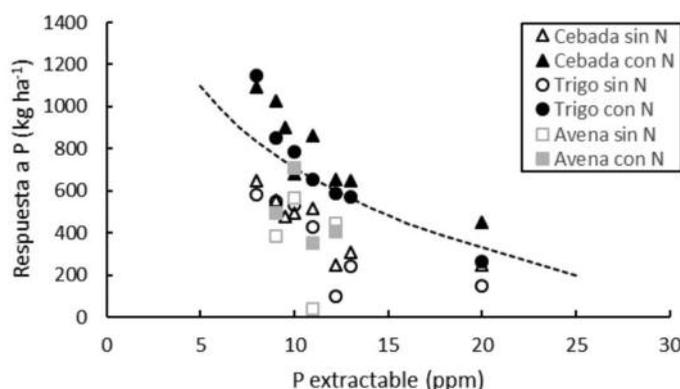
Sitio y año	Fósforo			Nitrógeno			Azufre			Cinc		
	Respuesta promedio kg.ha ⁻¹	Desvío estándar	p value	Respuesta promedio kg.ha ⁻¹	Desvío estándar	p value	Respuesta promedio kg.ha ⁻¹	Desvío estándar	p value	Respuesta promedio kg.ha ⁻¹	Desvío estándar	p value
Avena												
Loberia 2018	567	226	0,049	910	63	0,002	222	382	0,421			
San Manuel 2019	443	323	0,141	575	171	0,028	-7	444	0,981			
San Manuel 2020	36	308	0,859	795	570	0,137	-87	356	0,713			
Tandil 2019	386	66	0,077	838	22	0,012	725	149	0,092			
Cebada												
Loberia 2018	497	61	0,005	578	31	0,001	132	719	0,781	-54	199	0,687
San Manuel 2018	478	97	0,014	777	105	0,006	239	441	0,446	-137	281	0,487
San Manuel 2019	244	158	0,116	765	106	0,006	114	854	0,839	640	632	0,222
San Manuel 2020	515	350	0,126	764	285	0,043	790	597	0,149	235	141	0,102
Tandil 2017	650	789	0,290	1017	243	0,019	192	1411	0,836	242	1999	0,854
Tandil 2019	556	181	0,144	430	607	0,500	517	1004	0,599	-333	508	0,524
Tandil 2020	307	174	0,093	1377	208	0,008	280	147	0,081	85	115	0,330
Tandil 2021	247	126	0,077	2231	124	0,001	71	282	0,706	-80	260	0,649
Trigo												
Loberia 2018	532	67	0,005	1345	33	0,000	-61	284	0,746	-49	322	0,818
San Manuel 2019	100	69	0,130	1461	349	0,019	-175	349	0,477	329	1219	0,686
San Manuel 2020	427	72	0,009	431	45	0,004	415	215	0,079	133	266	0,477
Tandil 2017	583	115	0,013	867	888	0,233	33	1913	0,979	-325	753	0,533
Tandil 2019	551	210	0,168	722	69	0,043	-25	492	0,954	-295	230	0,320
Tandil 2020	243	41	0,009	1494	278	0,011	254	207	0,167	270	129	0,069
Tandil 2021	150	103	0,128	1900	57	0,000	-148	347	0,538	148	166	0,263

ción de grano en relación a la cantidad de fósforo aplicado, en condiciones de adecuada oferta de nitrógeno es coincidente con los observado por Correndo y García (2016) y por Álvarez (2005) analizando los resultados según diferentes modelos de respuesta para la región Pampeana. Para niveles de fósforo extractable de 10 ppm en los tres cultivos se observa eficiencia de respuesta de 40 kg de grano kg⁻¹ P aplicado. La eficiencia es menor con 20 ppm de fósforo extractable en los suelos, siendo en el orden de 20 kg de grano kg⁻¹ P aplicado. En condiciones sin fertilización con nitrógeno, la eficiencia de respuesta es menor. Para niveles de fósforo extractable de 10 ppm en los tres cultivos se observa eficiencia de respuesta de 25 kg de grano kg⁻¹ P aplicado y con 20 ppm de fósforo extractable en los suelos en el orden de 10 kg de grano kg⁻¹ P aplicado.

Nitrógeno

De los nutrientes evaluados, el nitrógeno permitió mayores incrementos de rendimientos por sitio además de mayor cantidad de sitios con respuestas significativas (Tabla 2). Los

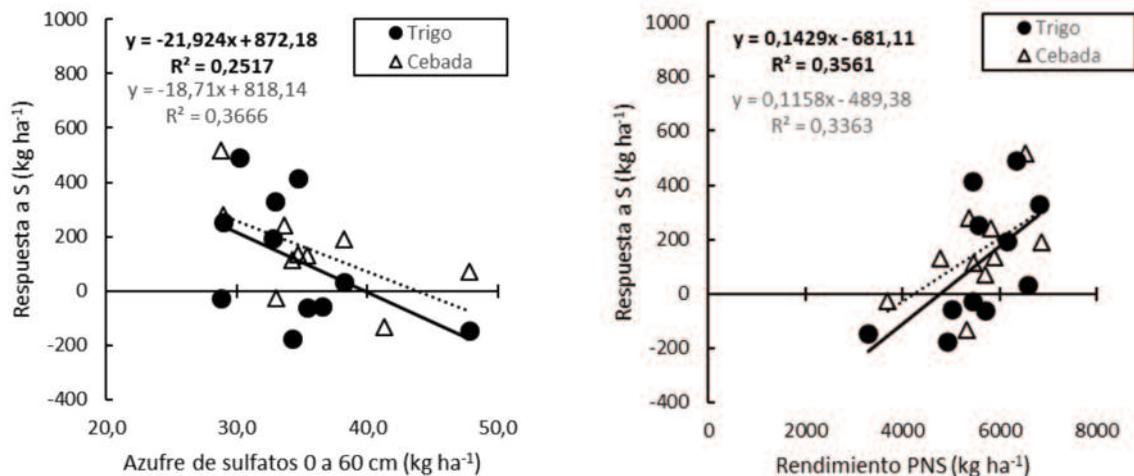
Figura 2 | Respuesta de incremento de rendimiento a la fertilización con 20 kg de fósforo ha⁻¹ según la disponibilidad de fosforo extractable en primeros 0,2 m de suelos para trigo cebada y avena con y sin fertilización con nitrógeno. Línea continua punteada corresponde a adaptación de Correndo y García (2016) para trigo integrando resultados de distintos autores de 103 ensayos de fertilización con fósforo en la región Pampeana (1998-2014).



niveles de respuestas en trigo y cebada son coincidentes con los reportados por Barbieri et al. (2009) y por Prystupa et al. (2012) y mostraron asociación principalmente con los niveles de rendimientos logrados y en menor medida con la disponibilidad de nitrógeno en los suelos. Los rangos de

respuesta a la fertilización con nitrógeno fueron de 722 a 1900 kg ha⁻¹ en trigo y de 578 a 2231 kg ha⁻¹ en cebada. Las respuestas a la fertilización con nitrógeno en avena tuvieron en el rango de 575 a 910 kg ha⁻¹, fueron mayores a las reportadas por Cardenau y González Montaner

Figura 3 | Respuesta a la fertilización con 15 kg de azufre ha⁻¹ en trigo y en cebada según disponibilidad de azufre en los primeros 0,6 m de suelos (*izquierda*) y rendimientos de tratamientos con PNS (*derecha*). Las observaciones de círculos corresponden a trigo y las observaciones de triángulos corresponden a cebada.



(1994) y por Wehrhahne (2006) en sudeste de región Pampeana. Los rendimientos de avena observado en este experimento son mayores a los reportados por estos autores.

Azufre y cinc

Para las condiciones evaluadas se observó 1 sitio en cada cultivo con incremento significativo a fertilización con azufre y con cinc (Tabla 2). El agregado de azufre permitió incrementos de rendimientos de 280 a 725 kg h⁻¹, mientras que las respuestas al agregado a cinc se evaluaron en trigo y en cebada y mostraron incrementos de 140 kg ha⁻¹. Los resultados son coincidentes con lo observado por Reussi Calvo et al. (2011), Carciochi et al. (2015), Prystupa et al. (2007) y por Martínez Cuesta et al. (2021) en la región de estudio.

La respuesta al agregado de azufre mostró asociación con la disponi-

bilidad de azufre en los suelos y con los rendimientos logrados. Similares resultados fueron observados por Correndo y García (2016), quienes determinaron umbrales de 7,1 ppm (entre 6,2 y 8,0 ppm) de disponibilidad de azufre en los primeros 0,2 m de suelos para condiciones de respuesta al nutriente. Otras investigaciones han demostrado la utilidad de la relación N:S en planta y la concentración de azufre en grano como indicadores de diagnóstico en misma

región de estudio (Carciochi et al. 2015). Estas determinaciones no fueron realizadas en la red de evaluación.

Efectos de fertilización balanceada

La fertilización balanceada incorporando fósforo, nitrógeno, azufre y cinc mostro rendimientos mayores que los efectos individuales de estos nutrientes en trigo (p=0,001) y en cebada (p=0,020). Los aumentos de las respuestas promedio fueron de 333 kg ha⁻¹ en trigo y de 262 kg ha⁻¹



FIGURA 4 | Respuesta a la fertilización con cinc en trigo y en cebada según disponibilidad de cinc en los primeros 0,2 m de suelos (*izquierda*) y rendimientos de tratamientos con PNSZn (*derecha*). Las observaciones de círculos corresponden a trigo y las observaciones de triángulos corresponden a cebada.

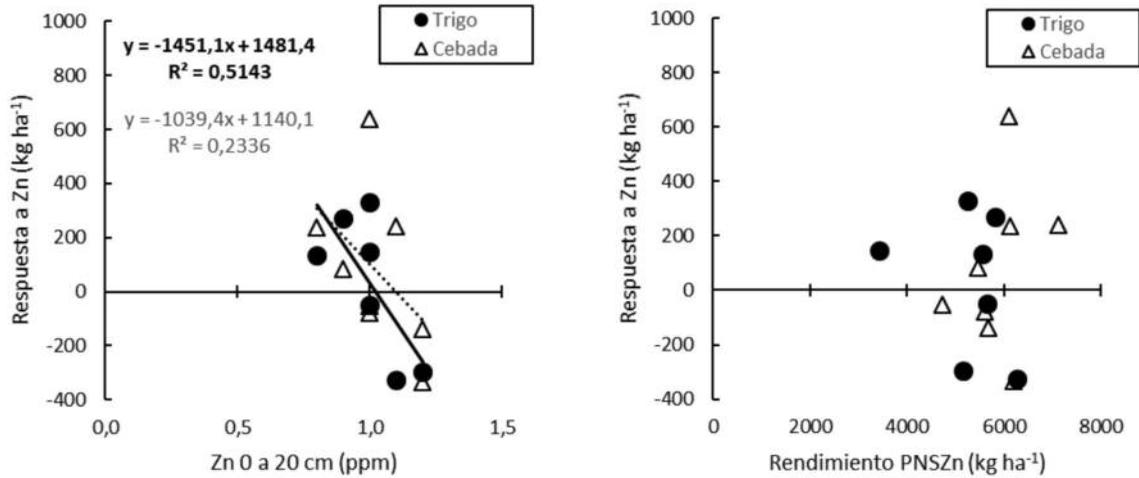
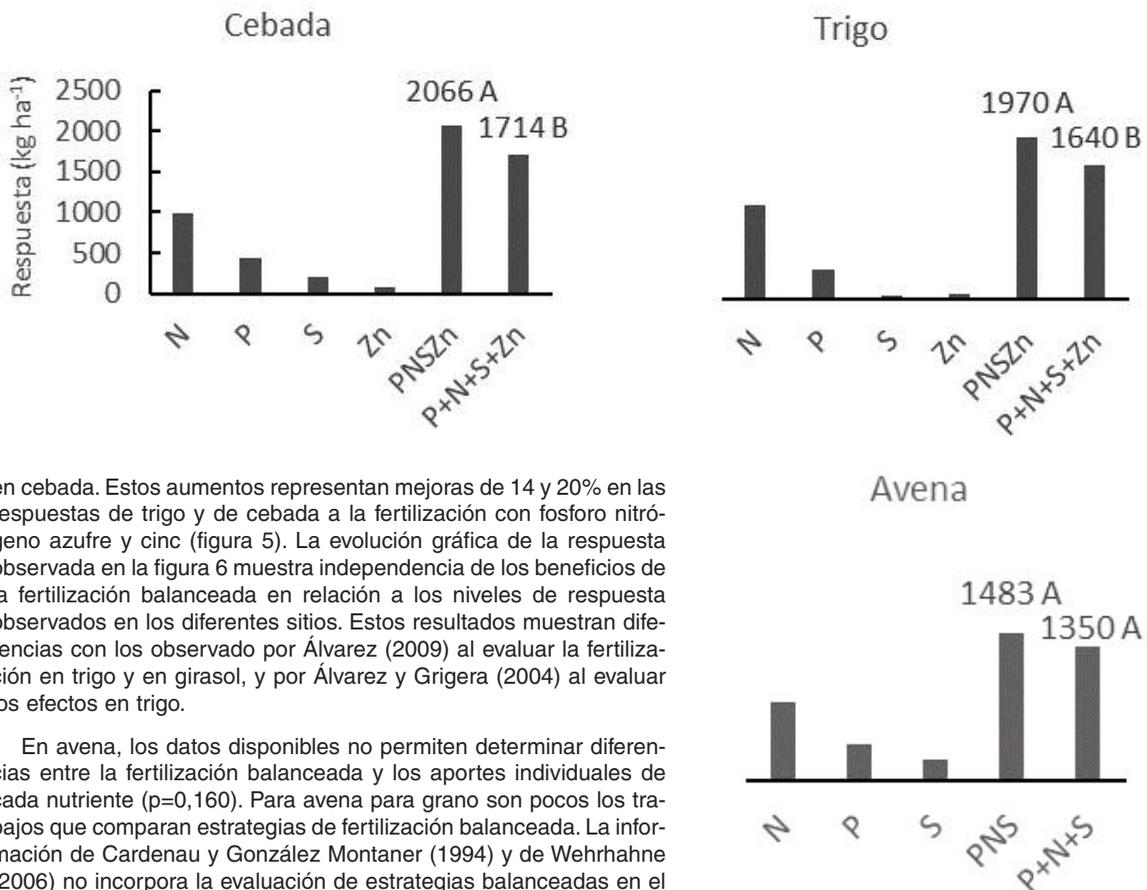


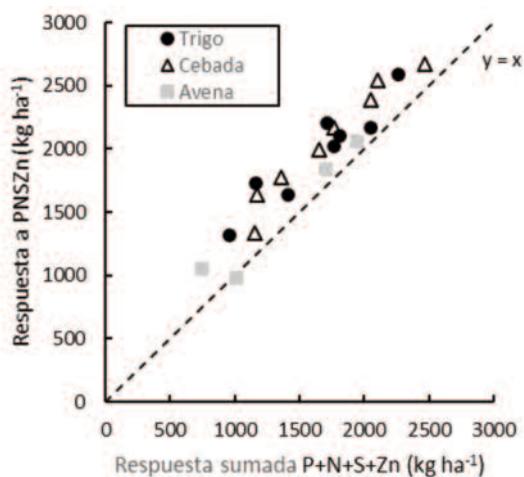
FIGURA 5 | Respuesta promedio de toda la red de experimentos a la fertilización con nitrógeno, con fósforo, con azufre y con cinc, y respuesta a la fertilización combinada con todos los nutrientes (PNSZn o PNS) y a la suma de los aportes individuales de los nutrientes (P+N+S+Zn o P+N+S) según cultivos de cebada trigo y avena. Datos promedio de red de 14 experimentos realizados en Necochea, Lobería, Tandil y Laprida durante las campañas 2017 a 2021. Letras diferentes indican diferencias entre la suma de aportes individuales de los nutrientes (P+N+S+Zn en trigo y cebada y P+N+S en avena) y la fertilización combinada (PNSZn en trigo y cebada y PNS en avena) según Tukey ($p=0,05$).



en cebada. Estos aumentos representan mejoras de 14 y 20% en las respuestas de trigo y de cebada a la fertilización con fósforo nitrógeno azufre y cinc (figura 5). La evolución gráfica de la respuesta observada en la figura 6 muestra independencia de los beneficios de la fertilización balanceada en relación a los niveles de respuesta observados en los diferentes sitios. Estos resultados muestran diferencias con los observado por Álvarez (2009) al evaluar la fertilización en trigo y en girasol, y por Álvarez y Grigera (2004) al evaluar los efectos en trigo.

En avena, los datos disponibles no permiten determinar diferencias entre la fertilización balanceada y los aportes individuales de cada nutriente ($p=0,160$). Para avena para grano son pocos los trabajos que comparan estrategias de fertilización balanceada. La información de Cardenau y González Montaner (1994) y de Wehrhahne (2006) no incorpora la evaluación de estrategias balanceadas en el análisis de resultados, pero muestra similares rangos de respuestas a la fertilización con nitrógeno que se observó en este trabajo.

FIGURA 6 | Relación entre la respuesta de trigo (círculos), cebada (triángulos) y avena (cuadrados) en sudeste de región Pampeana a la fertilización con fósforo, nitrógeno, azufre y cinc combinados (PNSZn) (en avena corresponde a fertilización con fósforo, nitrógeno y azufre) y la suma de las respuestas a la fertilización individual con fósforo, nitrógeno, azufre y cinc (P+N+S+Zn) (en avena P+N+S). La línea discontinua corresponde a la relación 1:1.
Datos promedio de red de 14 experimentos realizados en Necochea, Lobería, Tandil y Laprida durante las campañas 2017 a 2021.



CONCLUSIONES

Al considerar la nutrición de trigo, de cebada y de avena en región sudeste Pampeana resulta necesario diagnosticar los estados de nitrógeno, de fósforo, de azufre y de cinc. La correcta disponibilidad de estos nutrientes permite mejoras de la producción asociada a los efectos aditivos de cada nutriente y además permite incrementos de producción asociados a efectos de interacción correspondientes a fertilizaciones balanceadas.

Se destaca la disponibilidad de modelos de diagnóstico y recomendación para los 4 nutrientes evaluados que han sido validados positivamente en la región de trabajo.

