

Fertilización Nitrogenada, Fosforada y Azufrada en la secuencia Trigo/Soja 2°. Resultados de Ensayos Campañas 2007/08, 2008/09, 2009/10, 2010/11 y 2011/12

1) Introducción:

El doble cultivo trigo-soja forma parte de los planteos productivos en las empresas agropecuarias de la región, generando importantes beneficios agronómicos y económicos. Es una de las opciones de menor variabilidad interanual en rentabilidad y en la mayoría de los años es de las actividades más rentable y estables. El rendimiento del cultivo de segunda adquiere una importancia relevante dentro de este sistema para el resultado económico. Es por ello que, la sintonía fina de los componentes más importantes del sistema, deben ser analizados. En este proceso de ajuste tecnológico y de intensificación de los sistemas productivos resulta trascendental el análisis y evaluación de los componentes tecnológicos que forman parte del paquete productivo de dicho sistema. Uno de los pilares fundamentales del doble cultivo es el manejo de la fertilización. La nutrición nitrogenada y fosforada aparecen dentro de los planteos productivos del cultivo de trigo en la región Norte de la provincia como componentes tecnológicas claves en los esquemas de decisión y base para las herramientas de diagnóstico. Estos elementos resultan fundamentales modificando los rendimientos y reduciendo su variabilidad (Satorre 2007). Por su parte, el azufre aparece como otro elemento importante para la construcción de planteos productivos que apuntan a alcanzar la máxima productividad zonal y con mayor frecuencia comienzan a observarse respuestas significativas a este elemento dentro de la secuencia de dobles cultivo.

Las respuestas en rendimiento a nitrógeno y fósforo, han sido evaluadas y reportadas en numerosas campañas y, las decisiones de fertilización con estos nutrientes se apoyan en una base de información sólida que permite, en el caso de nitrógeno, predecir respuestas incorporando factores de variabilidad (ej climáticas y edáficas) con un alto grado de certeza (Triguero). En este sentido, la zona Norte de Bs As junto con la Cátedra de Cereales fue pionera en la generación de información y en el desarrollo de la herramienta Triguero conjugando el trabajo experimental con herramientas de simulación matemáticas. Además, se generó información útil para ampliar el universo de aplicación de la herramienta hacia factores modificadores de la respuesta a nitrógeno como son: fósforo, azufre y enfermedades foliares.

2) Nitrógeno:

Mucha fue la información generada y aportada respecto de este nutriente para la validación y ajuste de los modelos de simulación. Respuestas a dosis creciente de nitrógeno, sin limitaciones de otro factor en las distintas sub zonas del Crea Norte de Bs. As utilizando genética diferencial, fueron evaluadas a campo y los informes zonales, analizaron y reportaron esta información (Satorre E., et al 2001). Luego, la experimentación a campo estuvo dirigida a la generación de los factores de corrección a la respuesta general a nitrógeno. Fueron analizados fósforo y azufre como factores claves que modifican dicha respuesta y esto permitió conformar herramientas integradas de decisión que

incorporen los componentes más relevantes del cultivo de trigo al sistema de apoyo a la toma de decisiones (Satorre E., G. Tinghitella 2008)
 En las últimas campañas, la zona continuó esta línea de trabajo incorporando al análisis las respuestas diferenciales generadas en ambientes productivamente distintos a estos componentes tecnológicos claves para la producción de trigo. Fueron planteados ensayos cruzando ambientes tales como Loma y Bajo en las distintas sub zonas del Crea Norte de Bs As. Estos ambientes se diferencian por la profundidad del horizonte A y la profundidad hasta el horizonte B, Textura, MO, Infiltración, etc. Estos factores transitorios o permanentes determinan productividades y respuestas distintas a las tecnologías de fertilización.
 Se presentan a continuación, resultados a modo de ejemplos de esta línea de trabajo

2.1) Análisis de la respuesta a nitrógeno por ambientes incorporando efecto de campañas:

A) La Teresita (Doyle):

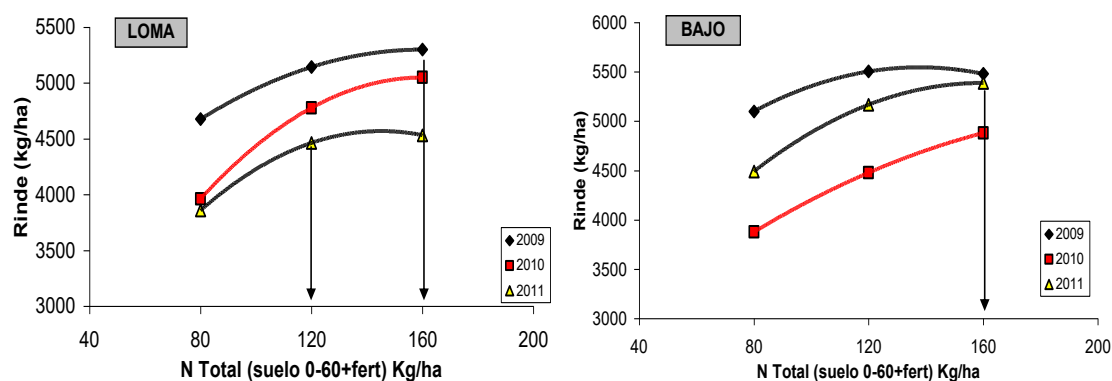


Figura 4: Respuesta en la localidad de Doyle a ofertas crecientes de nitrógeno, diferenciadas entre ambientes: izq Loma; der Bajo durante tres campañas: 2009, 2010 y 2011

Análisis de varianza:

SOURCE	DF	SS	%SCT	MS	F	P
N (A)	2	1983400	41.3	991700	107.42	0.0003
AMBIENTE (B)	1	374978	7.8	374978	40.62	0.0031
CAMPA (C)	2	1617834	33.7	808917	87.62	0.0005
A*B	2	3571	0.1	1785.5	0.19	0.8314
A*C	4	151295	3.2	37823.6	4.1	0.1004
B*C	2	629862	13.1	314931	34.11	0.0031
A*B*C	4	36929.7	0.8	9232.42		
TOTAL	17	4797870	100			

Cuadro 5: análisis de varianza para las variables Nivel de nitrógeno total, ambiente y campañas y sus interacciones.

Se observan diferencias significativas entre niveles de nitrógeno, ambientes y campañas. Se observa interacciones significativas entre nitrógeno y campaña y entre campañas y ambientes (Cuadro 5). No se observa interacción entre nitrógeno y ambientes; sin embargo, la campaña menos productiva de las evaluadas mostró respuestas diferenciales a los niveles de nitrógeno ofertados. En el Bajo las respuestas se observaron hasta los 160 kg/ha de N total,

mientras que en la Loma, las respuestas se saturaron en 120 kg/ha. En las otras campañas evaluadas, de mayor productividad (arranque con perfil cargado de agua y excelentes lluvias durante el período crítico del cultivo) el ambiente de Loma mostró respuestas hasta los 160 kg/ha de N total al igual que el Bajo (Figura 4).

B) San Felipe (Bragado):

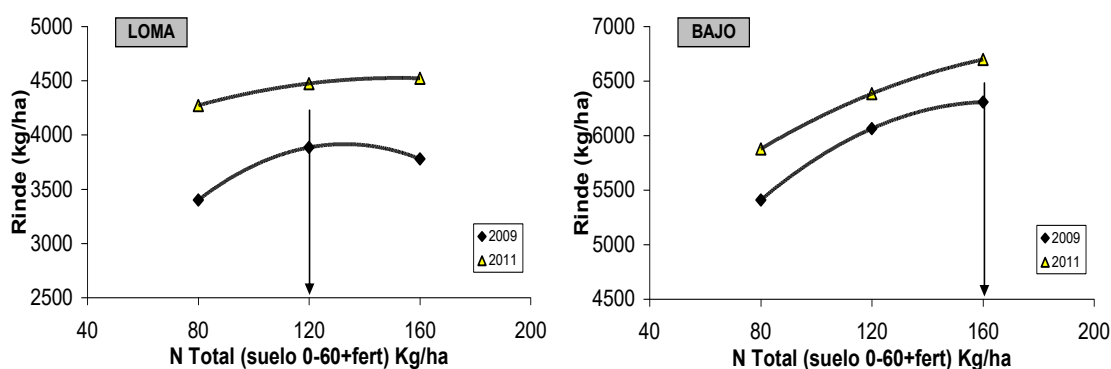


Figura 5: Respuesta en la localidad de Bragado a ofertas crecientes de nitrógeno, diferenciadas entre ambientes: izq Loma; der Bajo durante tres campañas: 2009-10 y 2011-12

Análisis de varianza:

SOURCE	DF	SS	%SCT	MS	F	P
N (A)	2	764376	5.2	382188	334.2	0.003
AMBIENTE (B)	1	1.28E+07	86.6	1.28E+07	11209.97	0.0001
CAMPA (C)	1	954852	6.5	954852	834.97	0.0012
A*B	2	148501	1.0	74250.6	64.93	0.0152
A*C	2	23336.2	0.2	11668.1	10.2	0.0893
B*C	1	87894.1	0.6	87894.1	76.86	0.0128
A*B*C	2	2287.17	0.0	1143.58		
TOTAL	11	1.48E+07	100			

Cuadro 6: análisis de varianza para las variables Nivel de nitrógeno total, ambiente y campañas y sus interacciones.

A diferencia de los ensayos conducidos en La Teresita, la variable ambiente explicó mayor proporción de la variabilidad total de los rendimientos demostrando diferencias más marcadas en productividad entre ambientes de Loma y Bajo. Se observaron diferencias significativas entre niveles de nitrógeno, ambientes y campañas. Se cuantificaron interacciones significativas entre nitrógeno y ambientes, nitrógeno y campañas y entre campañas y ambientes (Cuadro 6). Se observaron respuestas diferenciales a los niveles de nitrógeno ofertados entre ambientes ($P=0.01$). En ninguna de las dos campañas evaluadas en el ambiente de Loma se lograron aumentos de rendimiento más allá de los 120 kg/ha de nitrógeno total con máximos de rendimiento entre 4000 y 4400 kg/ha marcando un posible techo de productividad de la loma arenosa. Por su lado, el Bajo presentó en ambas campañas evaluadas incrementos de rendimiento hasta los 160 kg/ha.

2.2) Evaluación de la herramienta “Triguero” en la Zona Norte de Bs. As.

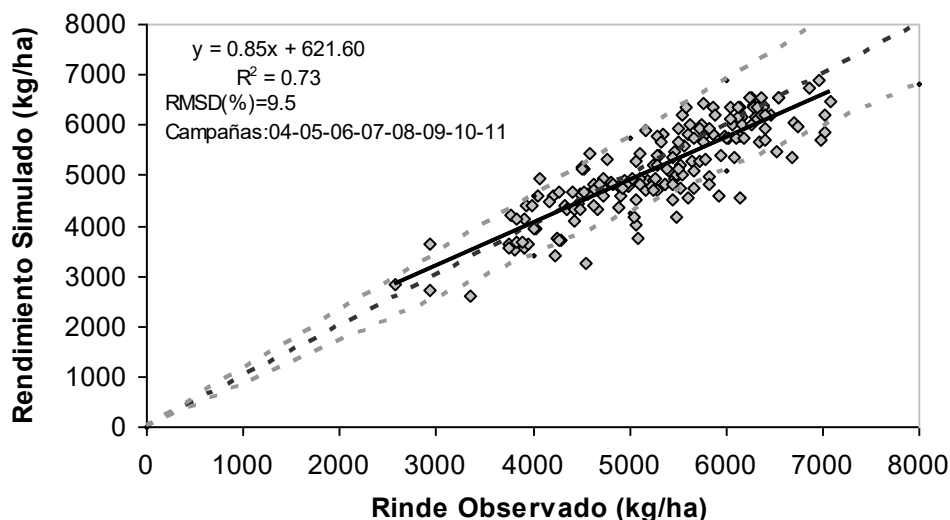


Figura 6: performance de la herramienta Triguero en la región Norte de Bs. As. Datos de ensayos durante las campañas 2004, 2005 (con Triguero V1), 2006, 2007, 2008, 2009, 2010 y 2011 (con Triguero V2). Línea llena: lineal de ajuste; línea punteada negra: 1 a 1; líneas punteadas grises: $\pm 15\%$.

Tomando los rendimientos observados y simulados, la diferencia de rendimiento promedio, es decir, el error del programa estuvo en 160 kg/ha de sub estimación, representando un 3% del rendimiento observado. Mientras que el desvío promedio de la herramienta alcanzó los 507 kg/ha, representando un 9.5 % del rendimiento observado (RMSD) (Figura 6). En este sentido, Triguero se presenta como un modelo empírico simple con excelente precisión para el diagnóstico y manejo de decisiones en fertilización nitrogenada y de otros componentes como fósforo y azufre, clave en los sistemas de producción de trigo en la región norte de Bs As.

3) Respuestas del cultivo de trigo a la fertilización fosforada. Datos de últimas 7 campañas:

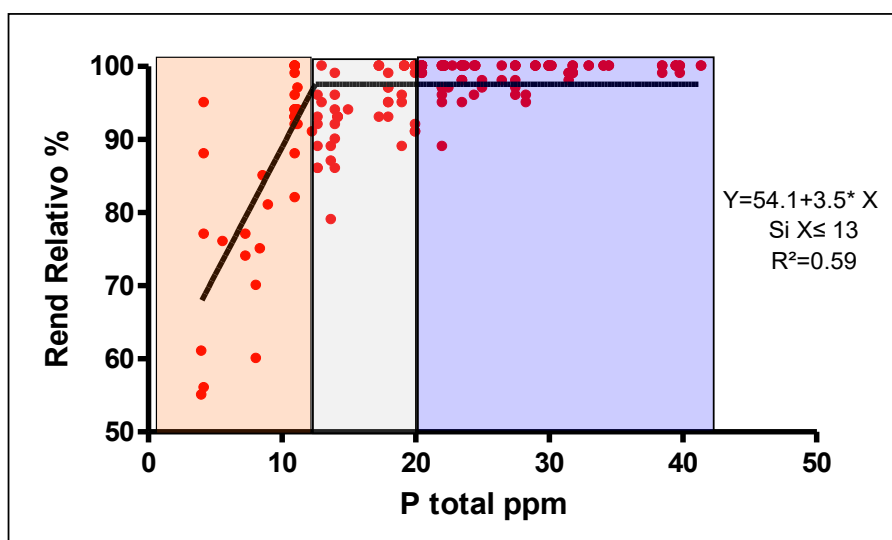


Figura 7: rendimiento relativo de trigo en ensayos conducidos en la zona norte de Bs. As. durante las campañas 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010 y 2011 donde sólo se modificó la oferta total de fósforo medido como: fósforo inicial 0-20 (Bray1) + fósforo de fertilizante ajustado con un factor de corrección (Fr); suelos argiudoles vérticos Fr=0.5; Argiudoles típicos Fr=0.6 y Hapludoles típicos Fr=0.7.

Los rendimientos relativos en su relación al fósforo total disponible pueden separarse en tres zonas diferenciadas. La Primer zona de aumentos de rendimientos relativos en forma lineal (3.5% por aumento de 1 ppm) hasta las 13 ppm; luego una zona de aumento de rendimiento en forma no lineal (decreciente) que queda delimitada entre las 13 y las 20 ppm y una tercer zona por sobre las 20 ppm donde el rendimiento relativo oscila alrededor del 99% (Figura 7).

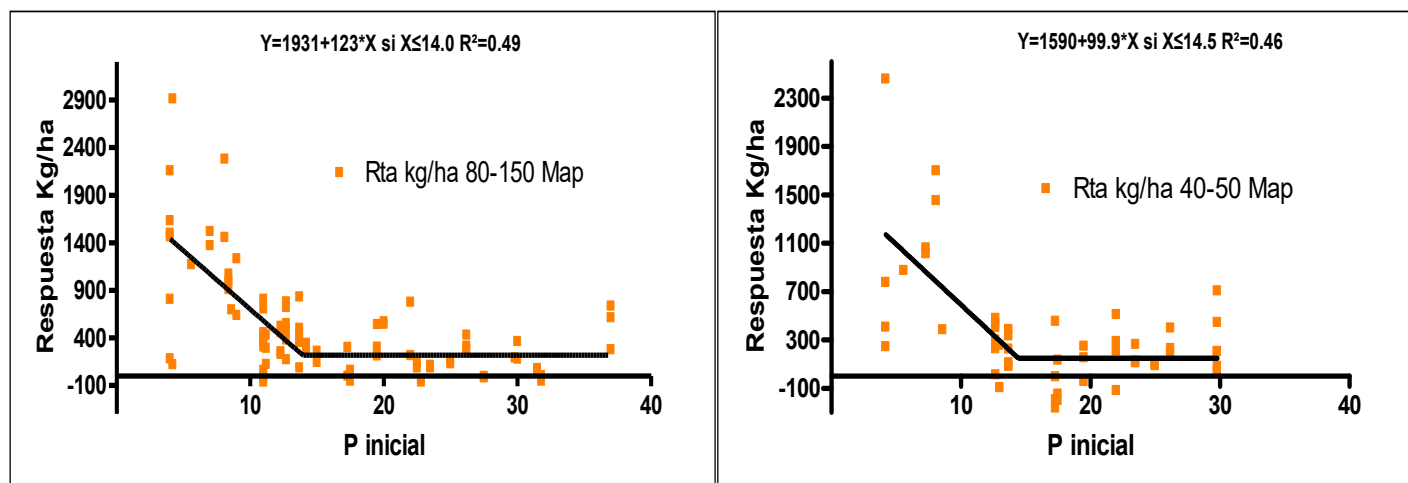


Figura 8: respuesta en rendimiento a la fertilización fosforada a partir del fósforo inicial en ppm 0-20 cm. (Bray1) diferenciado en dos grupos de datos: fertilizados con 50 MAP y 80-150 MAP durante las campañas 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010 y 2011.

La función bilineal de ajuste sobre el set de datos con fertilizaciones entre 80 y 150 kg/ha de Map presentó una mayor ordenada al origen y una mayor pendiente respecto al grupo de datos fertilizados con 50 Map (123 vs 100 kg/ha por cada ppm de fósforo). Ambos grupos de datos presentan un quiebre de la respuesta lineal en las 14 – 14.5 ppm de fósforo disponible (Figura 8).

3.1) Respuestas a fertilizaciones fosforadas en la secuencia Trigo/Soja según niveles de fósforo inicial

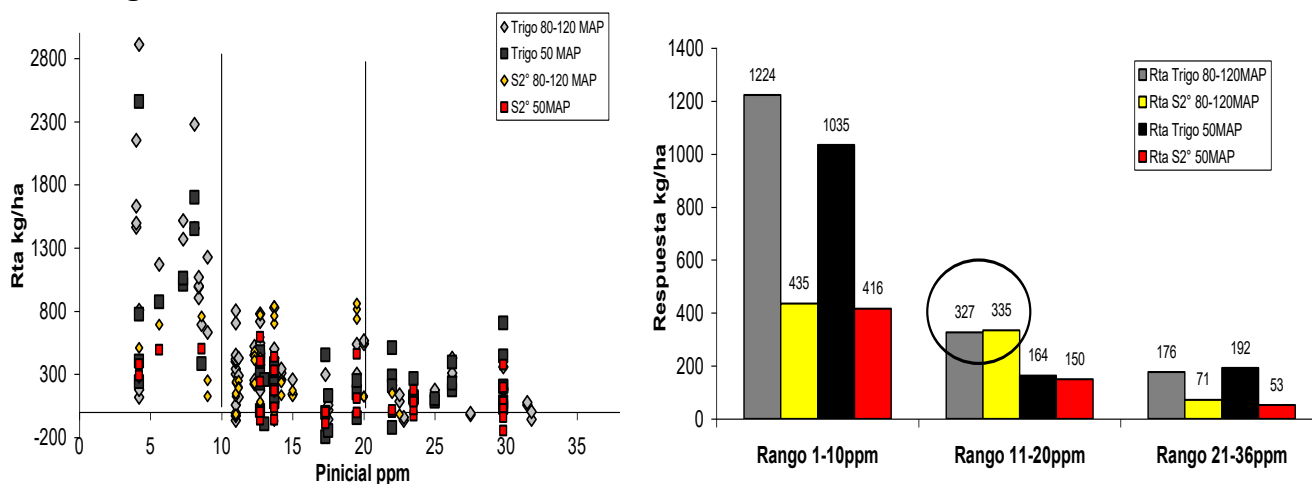


Figura 9: respuesta en kg/ha logradas en ensayos de fertilización fosforada de la secuencia trigo/soja2ª conducidos en grandes franjas a campo durante las campañas 2005/06, 2006/07, 2007/08, 2008/09, 2009/10, 2010/11 y 2011-12 en el Crea Norte Bs As diferenciado entre dos grupos de fertilización: 80-120 kg/ha Map o 50 kg/ha Map agregados a la siembra del cultivo de trigo. Figura izq: toda la variabilidad; Figura Der: respuesta promedio diferenciada en tres categorías de fósforo inicial (Bray1)

Como promedio de toda la variabilidad observada en la figura 9 izq., quedan determinadas respuestas promedios muy importantes en trigo y en la soja de segunda tanto a la dosis alta como baja de Map si partimos de un suelo con fósforo inicial dentro del rango de 1 a 10 ppm. Las respuestas alcanzan los 1225 kg/ha de trigo y 435 kg/ha soja^{2°} para fertilizaciones con 80-120 kg/ha de Map y de 1035 kg/ha de trigo y 416 kg/ha de soja^{2°} para fertilizaciones con 50 Map. La respuesta promedio de los ensayos evaluados dentro del rango de 11 a 20 ppm de fósforo disponible, alcanzan los 340 kg/ha en trigo y los 350 kg/ha en la soja de segunda para el agregado de 80-120 kg/ha de Map, y de 165 kg/ha trigo y 150 kg/ha de soja de segunda para fertilizaciones con 50 kg/ha de Map (Figura 10). Las respuestas observadas dentro del rango de fósforo disponible entre 21 y 36 ppm para ambas dosis de fertilización disminuyen marcadamente en los dos componentes del planteo (Figura 9).

3.2) Probabilidad acumulada de las respuestas a fertilización fosforada observadas en la secuencia Trigo/Soja

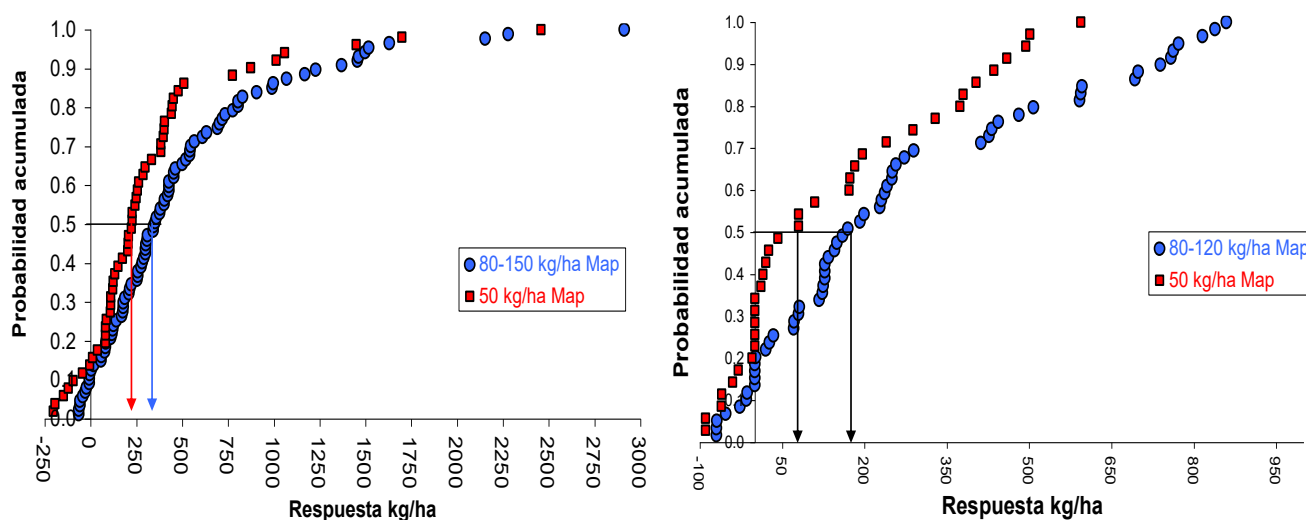


Figura 10: Probabilidad acumulada de las respuestas en Trigo (Izq) y Soja de 2° (Der) diferenciadas por los dos niveles de fertilización fosforada evaluados en grandes franjas a campo durante las campañas 2005/06, 2006/07, 2007/08, 2008/09, 2009/10, 2010/11 y 2011/12

Observando las curvas de probabilidad acumulada de respuestas en el cultivo de trigo (figura 10 izq), el 50% de probabilidad acumulada define una respuesta de 352 kg/ha para el agregado de 80-120 kg/ha de Map y de 225 kg/ha de respuesta por el agregado de 50 kg/ha de Map. En el 20% de probabilidad acumulada se observan respuestas de 110 y 80 kg/ha para el caso de 80-120 y 50 kg/ha de Map, respectivamente. Sobre el valor de 80% de probabilidad acumulada se observan respuestas de 805 y 444 kg/ha para el caso de 80-120 y 50 kg/ha de Map, respectivamente

Observando las curvas de probabilidad acumulada de respuestas en el cultivo de soja 2° (figura 10 der), el 50% de probabilidad acumulada define una respuesta de 170 kg/ha para el agregado de 80-120 kg/ha de Map y de 80 kg/ha de respuesta por el agregado de 50 kg/ha de Map. En el 20% de probabilidad acumulada no se observan respuestas importantes a ninguno de los niveles de fertilización evaluados. Sobre el valor de 80% de probabilidad acumulada se observan respuestas de 590 y 375 kg/ha para el caso de 80-120 y 50 kg/ha de Map, respectivamente.

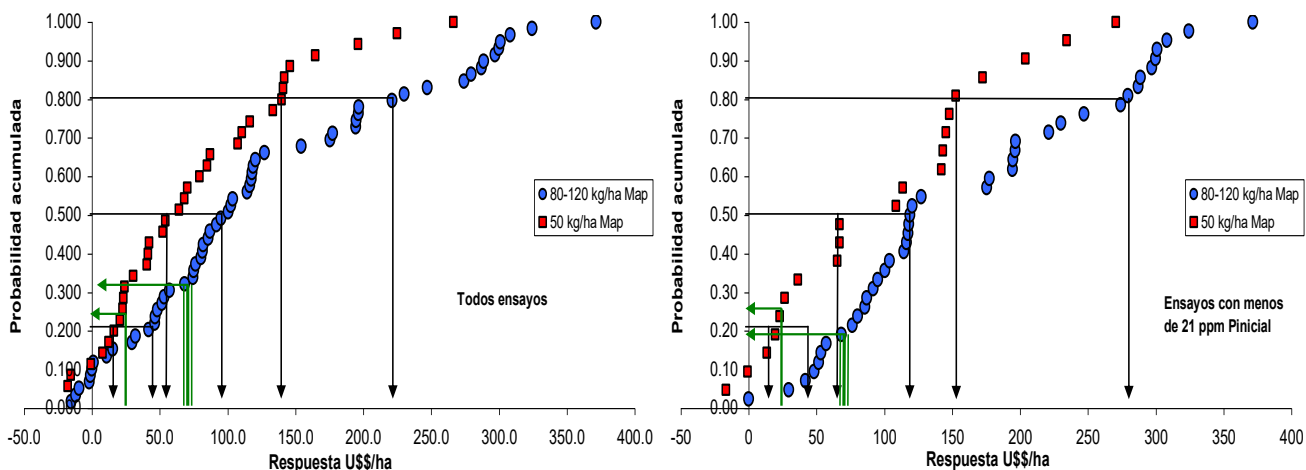


Figura 11: probabilidad acumulada de la diferencia en U\$\$/Ha logradas respecto al testigo sin fertilizar en ensayos de fertilización fosforada en la secuencia trigo/soja^{2a} conducidos en grandes franjas a campo durante las campañas 2005/06, 2006/07, 2007/08, 2008/09, 2009/10, 2010/1 y 2011/12. En verde costo del fertilizante (Map 750U\$\$/tn)

Observando las curvas de probabilidad acumulada de respuesta económica en el doble cultivo trigo/soja con todos los ensayos (figura 11 izq), el 50% de probabilidad acumulada define una respuesta de 55 y 100 U\$\$/ha para fertilizaciones de 50 o 80-120 kg/ha de Map, respectivamente. En el 20% de probabilidad acumulada se observan respuestas económicas de 16 y 42 U\$\$/ha y en el 80%, respuestas de 140 y 225 U\$\$/ha para fertilizaciones de 50 o 80-120 kg/ha de Map, respectivamente. Un 8% de los casos presentó diferencias negativas. Teniendo en cuenta el costo del fertilizante fosforado, se observó un 25 y un 33% de casos con respuestas económicas negativas. Estos casos están asociados a ensayos con niveles iniciales de fósforo disponible alto y a ensayos con estrés hídrico de baja respuesta. Quitando las situaciones con niveles iniciales de fósforo disponible alto (más de 20 ppm) las situaciones con respuesta económica negativa disminuyen al 18% de probabilidad (Figura 11 der) y quedan acotadas a situaciones de no respuesta a la fertilización fosforada generalmente por situaciones de baja productividad.

4) Respuestas de la secuencia Trigo/Soja a la fertilización con Azufre:

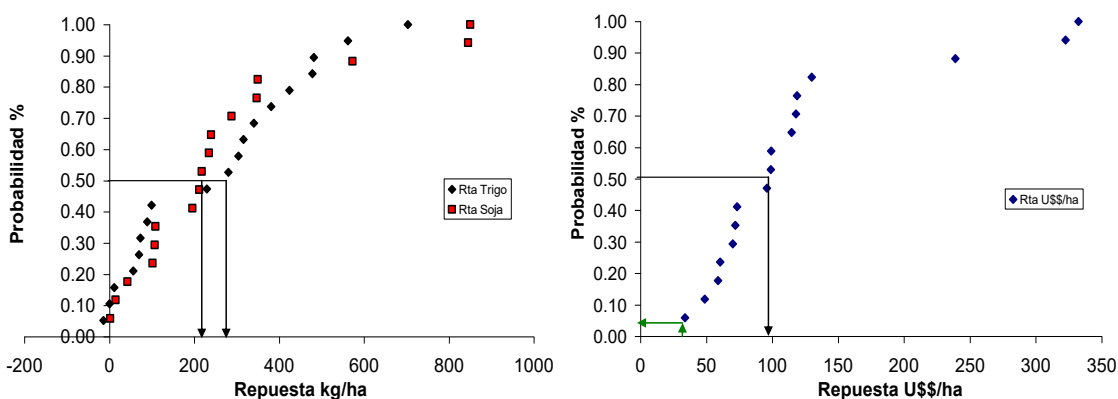


Figura 12: probabilidad acumulada de respuestas (Izq) en kg/ha; der) en U\$\$/ha a la fertilización con 100 kg/ha de SulfatoCa (Azufertil) a la siembra del cultivo de trigo respecto al testigo sin fertilizar en la secuencia trigo/soja^{2a} conducidos en grandes franjas a campo durante las campañas 2007/08, 2009/10 y 2011-12. En verde costo del fertilizante (Azufertil 320U\$\$/tn)

Sobre el 50% de probabilidad se observan respuestas de 250 kg/ha en trigo y 220 kg/ha en soja 2° con un diferencial respecto al testigo sin fertilizar de 100 U\$\$/ha. Teniendo en cuenta el costo del fertilizante, sólo 1 ensayo de 17 no presentó respuestas económicas.

Bibliografía:

- Ermacora M., Lucas Ratto, Juan P. Cobutta: Informes ensayos Zonales Crea Norte de Bs.As. Campañas 2007/08, 2008/09, 2009/10, 2010/11 y 2011/12
- Satorre, E.H., R. Ruiz, D. Miralles, D. Calderini y G. Maddonni. 2001. Bases de decisión para la fertilización nitrogenada en las zonas Norte de Buenos Aires, Sur de Sante Fe y Centro de AACREA. pp. 30-38. En: Cuaderno de Actualización N°63 – TRIGO, AACREA, Buenos Aires, Argentina.
- Satorre E., Belligoi J., Tinghitella G. 2007. Informe final Convenio AACREA-Profertil. Criterios para el diagnóstico y manejo de componentes clave de decisión del cultivo de Trigo en Argentina.
- Satorre E.H. y G.A. Tinghitella. 2008. Programa TRIGUERO. Una herramienta de apoyo para manejar la fertilización nitrogenada del cultivo de trigo. Revista Fertilizar. Año IV. N°9.