



CREA Norte de Bs. As.

-Plan Zonal y Nacional AACREA. Campaña 2012-

Ensayos de fertilización con nitrógeno y azufre en Trigo: Respuesta a la fertilización evaluada por ambiente

Matías Ermacora –ZNBA-
Lucas Ratto-ZNBA-
Ezequiel Gandino-ZNBA-

1) Introducción:

La nutrición nitrogenada y fosforada aparecen dentro de los planteos productivos del cultivo de trigo en la región Norte de la provincia de Bs. As 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. 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 y consistentes a este elemento.

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. Sin embargo, y para un mismo “ambiente” manejado de manera uniforme pueden presentarse ambientes productivos muy distintos, determinados por factores que modifican su productividad ej: erosión, tasa de infiltración, profundidad de horizonte A, profundidad hasta el B textural, textura, etc.

Es por ello que, durante la campaña 2012 se establecieron 2 ensayos en grandes franjas a campo cruzando dos ambientes productivamente contrastantes determinados por el factor limitante característico de cada sub zona, definidos previamente en el Plan de Manejo por ambientes (MAPA).

1.1) Objetivos:

Además de generar información útil para Triguero como respuestas a nitrógeno y factor de corrección por fósforo y azufre, estos ensayos apuntan a generar información de base para la elaboración de reglas de decisión según ambientes productivos. Los tratamientos apuntan a:

- Analizar las respuestas al tratamiento de nitrógeno incorporando al análisis las respuestas a azufre

- Evaluar el efecto del ambiente sobre las respuestas a estas tecnologías de fertilización.
- Análisis de la respuesta a nitrógeno por ambientes incorporando efecto de campañas
- Evaluar la performance de Triguero en la Zona Norte de Bs.As.
- Evaluar relaciones funcionales a fósforo.
- Analizar respuestas a azufre

2) Metodología y Tratamientos:

| Ambiente con Limitación | Tabsofuto | T0 | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 |
|-------------------------|-----------|-----|----|-----|-----|-----|-----|
| Kg/ha N Total | suelo | 100 | 60 | 100 | 100 | 140 | 140 |
| kg/ha So4Ca | | | | | 100 | | 100 |

| Ambiente sin Limitación | Tabsofuto | T0 | T1 | T2 | T2 bis | T3 | T4 |
|-------------------------|-----------|-----|-----|-----|--------|-----|-----|
| Kg/ha N Total | suelo | 140 | 100 | 140 | 140 | 180 | 180 |
| kg/ha So4Ca | | | | | 100 | | 100 |

A los kilos de nitrógeno disponible a la siembra por análisis estratificado de nitratos (0-20+20-40+40-60) se le sumaron los aportados vía fertilizantes para alcanzar las ofertas totales de nitrógeno. La fertilización fosforada fue a dosis común para todas incorporando a la siembra 130 kg/ha de MAP, con excepción del tratamiento T0 y Tabsofuto que no se fertilizaron con fósforo. Con respecto a azufre, los tratamientos fueron definidos a partir de dosis fija de fertilizante a aplicar: 100 kg/ha de sulfato de calcio (Azufertil). Estos tratamientos permitieron evaluar las curvas de respuesta a nitrógeno en dos ambientes productivamente distintos de un mismo lote (ambiente con y sin limitación) dados por profundidad del horizonte A, profundidad hasta el horizonte Bt y textura (% arena). Además de las variables que se originan como consecuencia y que fueron medidas; ej: MO, PH, fósforo, capacidad de almacenaje de agua). Además pudo ser evaluado el efecto del azufre en el balance de nutrientes ofertados en dos puntos de la curva de respuesta.

La variedad utilizada fue Baguette P11, sembrada en la fecha ideal para esta variedad según zona. El largo y ancho de la franja determinó una superficie de 0.2 has por tratamiento y por ambiente.

Características de los ensayos:

| Campo | Posición | Serie suelo | Fsiembra (emerg) | Nsiembra | Psiembra | Ssiembra | MO | PH | Factor Diferencial |
|----------------------|----------|-------------|------------------|----------|----------|----------|------|-----|--------------------------|
| La Teresita (Doyle) | Loma | RioTala | 3/6 (18/6) | 55 | 10 | 2.5 | 3.1 | 6.1 | Prof HA; Prof Bt (40cm) |
| La Teresita (Doyle) | Bajo | RioTala | 3/6 (18/6) | 70 | 16 | 6.0 | 3.67 | 6.4 | Prof HA; Prof Bt (70cm) |
| San Felipe (Bragado) | Loma | Bolivar | 8/6 (26/6) | 23 | 32.7 | 2.0 | 1.40 | 5.8 | Textura (75%Arena) |
| San Felipe (Bragado) | Bajo | Bragado | 8/6 (26/6) | 40 | 15.8 | 2.8 | 2.30 | 6.0 | Textura (48 - 50%Arena) |

Cuadro 1: detalle de serie de suelo, fecha de siembra – emergencia y condiciones iniciales de contenido de materia orgánica en % (MO), contenido fósforo disponible en Ppm (Psiembra) y contenido de azufre en Ppm (Ssiembra) en la profundidad 0-20 cm. y contenido de nitrógeno total en kg/ha (Nsiembra) de 0-60 cm. y factor diferencial por ambiente.

| Hum Grav % | La Teresita | | San Felipe | |
|-------------------------|-------------|------------|-----------------------|------------|
| Prof | Loma | Bajo | Loma | Bajo |
| 0-20 | 29.0 | 30.9 | 16.0 | 22.0 |
| 20-40 | 29.6 | 33.2 | 16.8 | 21.4 |
| 40-60 | 27.4 | 32.9 | 15.2 | 21.4 |
| 60-80 | 26.7 | 31.5 | 18.5 | 22.9 |
| 80-100 | 27.2 | 28.9 | 12.4 | 22.0 |
| 100-150 | 26.0 | 28.0 | 13.0 | 20.0 |
| AU mm dispnibles | 205 | 260 | 185 (150 a CC) | 255 |

Cuadro 2: datos de Humedad gravimétrica medidos al momento de la siembra y milímetros disponibles como diferencia entre mm actuales y mm en punto marchites permanente.

3) Resultados:

3.1) Análisis de los resultados, rendimiento entre tratamientos por campos:

a) La Teresita (Doyle):

Se presentan los resultados de rendimiento cosechado con efecto importante de Fusarium de espiga y se presentan los datos de rendimiento estimado a partir del conteo de espigas/m² y espiguillas por espiga. Se fijó un valor de 2.2 granos/espiguilla y un peso de 1000 granos de 37 grs (supuestos).

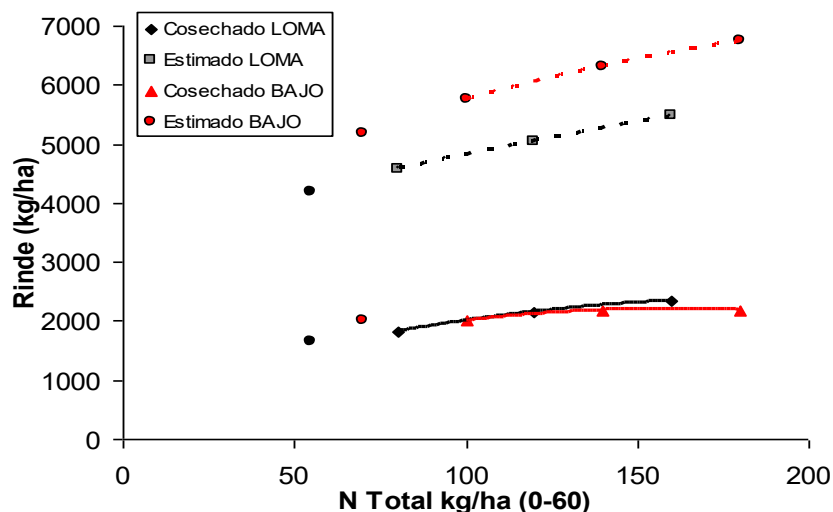


Figura 1: Respuesta en la localidad de Doyle a ofertas crecientes de nitrógeno, diferenciadas entre ambientes; línea negra entera: rendimiento cosechado Loma; línea negra punteada: rendimiento estimado Loma; línea roja entera: rendimiento cosechado Bajo y línea punteada roja: rendimiento estimado Bajo.

| Tratamiento | Rinde (kg/ha) LOMA | | | | BAJO | | | | |
|-------------|--------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------|
| | Cosechado | | Estimado | | Cosechado | | Estimado | | |
| | Sin Azufre | Con Azufre | Sin Azufre | Con Azufre | Sin Azufre | Con Azufre | Sin Azufre | Con Azufre | |
| 160 Ntotal | 2353 | 2446 | 5479 | 5600 | 180 Ntotal | 2190 | 2339 | 6746 | 6828 |
| 120 Ntotal | 2161 | 2183 | 5048 | 5056 | 140 Ntotal | 2190 | 2334 | 6318 | 6443 |
| 80 Ntotal | 1826 | | 4579 | | 100 Ntotal | 2013 | | 5754 | |

Cuadro 3: Rendimiento de los tratamientos evaluados por nutriente en los dos ambientes en la localidad de Doyle.

Los valores de rendimiento cosechado, se ven severamente afectados por fusariosis de la espiga impidiendo cualquier tipo de análisis. Comparando los rendimientos estimados a partir del componente n°granos/m² se observarían diferencias de productividad entre ambientes. Sin embargo, las respuestas a nitrógeno continuarían hasta la mayor oferta de nitrógeno tanto en el Bajo como en la Loma, lo que indicaría la buena productividad del ambiente de Loma cuando las precipitaciones acompañan a estos planteos productivos. Sin embargo el supuesto del peso de grano dificulta observar un quiebre de la respuesta. Las respuestas a azufre estarían entre 0 y 130 kg/ha. El azufre en la secuencia Trig/Soja es un nutriente que nos da una segunda posibilidad, evaluaremos por ello la soja de segunda.

b) San Felipe (Bragado):

Se presentan sólo los resultados de rendimiento cosechado ya que el daño de Fusarium de espiga fue bajo.

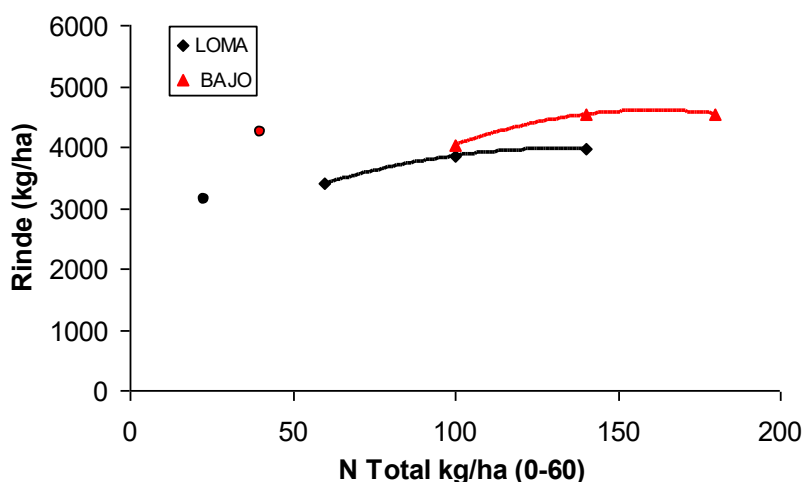


Figura 2: Respuesta en la localidad de Bragado a ofertas crecientes de nitrógeno, diferenciadas entre ambientes, línea roja: Bajo

| Tratamiento | Rinde (kg/ha) LOMA | | Tratamiento | Rinde (kg/ha) BAJO | |
|-------------|--------------------|------------|-------------|--------------------|------------|
| | Sin Azufre | Con Azufre | | Sin Azufre | Con Azufre |
| 140 Ntotal | 3964 | 4113 | 180 Ntotal | 4544 | 4837 |
| 100 Ntotal | 3852 | 3996 | 140 Ntotal | 4530 | 4856 |
| 60 Ntotal | 3396 | | 100 Ntotal | 4028 | |

Cuadro 4: Rendimiento de los tratamientos evaluados por nutriente en los dos ambientes en la localidad de Bragado.

Se observa la mayor productividad del ambiente Bajo (760 kg/ha). Las respuestas a ofertas crecientes de nitrógeno se observaron hasta las ofertas intermedias, tanto en Bajo como en Loma. Las características de la campaña pusieron limitaciones al aprovechamiento de los planteos de alta productividad. Las respuestas a azufre fueron más claras en el ambiente Bajo donde alcanzaron los 310 kg/ha (6.8%), mientras que en Loma alcanzó los 150 kg/ha (3.7%).

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

A) La Teresita (Doyle):

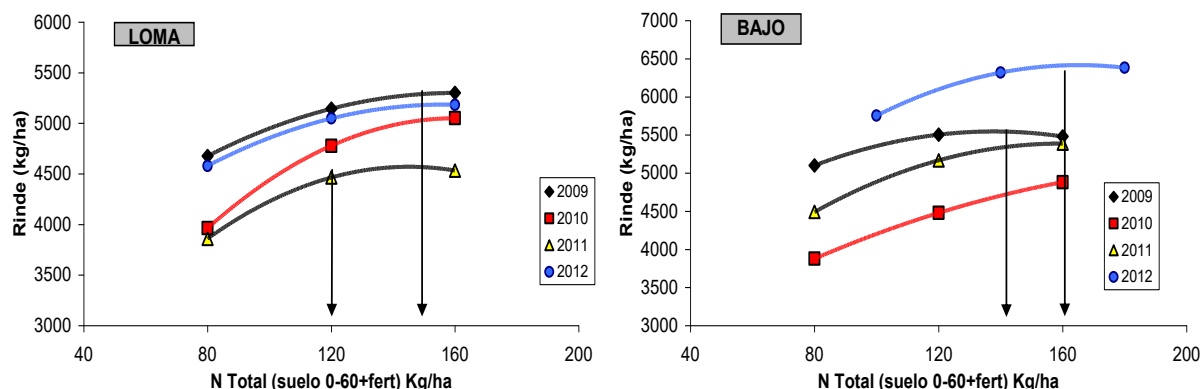


Figura 3: Respuesta en la localidad de Doyle a ofertas crecientes de nitrógeno, diferenciadas entre ambientes: izq) Loma; der) Bajo durante cuatro campañas: 2009, 2010, 2011 y 2012(estimado).

Análisis de varianza:

| SOURCE | DF | SS | %SCT | MS | F | P |
|--------------|----|----------|-------------|---------|--------|--------------|
| N (A) | 2 | 2833112 | 24.9 | 1416556 | 200.08 | 0.000 |
| AMBIENTE (B) | 1 | 1659004 | 14.6 | 1659004 | 234.33 | 0.000 |
| CAMPA (C) | 3 | 5015190 | 44.0 | 1671730 | 236.13 | 0.000 |
| A*B | 2 | 938.083 | 0.0 | 469.042 | 0.07 | 0.937 |
| A*C | 6 | 199022 | 1.7 | 33170.3 | 4.69 | 0.041 |
| B*C | 3 | 1642327 | 14.4 | 547442 | 77.32 | 0.000 |
| A*B*C | 6 | 42478.9 | 0.4 | 7079.82 | | |
| TOTAL | 23 | 11390000 | 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 3) demostrando su capacidad productiva cuando el agua no limita.

En el ambiente de Loma, las respuestas a ofertas crecientes de nitrógeno tienen una fuerte interacción con las condiciones puntuales de la campaña y el rango de respuesta a nitrógeno queda abierto al menos entre 120 y 160 kg/ha N total. En el Bajo, las respuestas tienden a ser consistentes hasta los 160 kg/ha demostrando mayor independencia de las condiciones puntuales de la campaña.

B) San Felipe (Bragado):

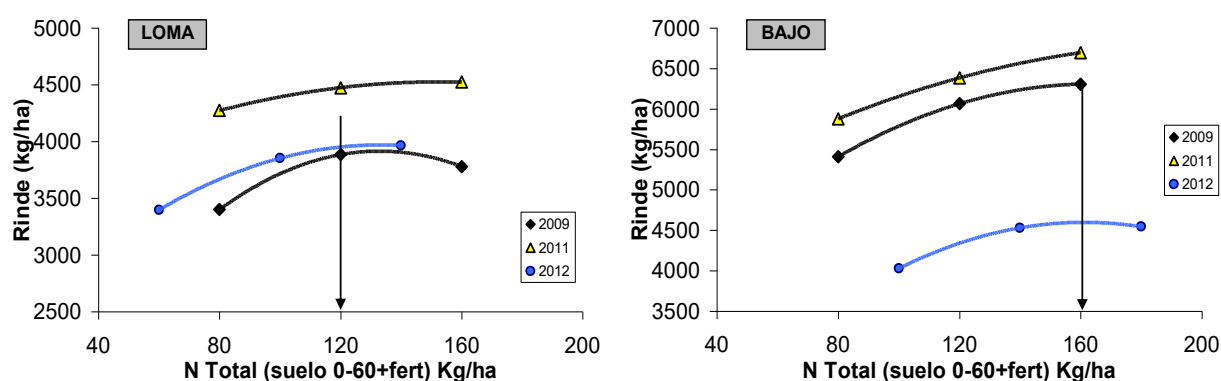


Figura 4: Respuesta en la localidad de Bragado a ofertas crecientes de nitrógeno, diferenciadas entre ambientes: izq Loma; der Bajo durante tres campañas: 2009, 2011 y 2012

Análisis de varianza:

| SOURCE | DF | SS | %SCT | MS | F | P |
|--------------|----|----------|-------------|----------|--------|---------------|
| N (A) | 2 | 1113112 | 5.6 | 556556 | 34.83 | 0.0029 |
| AMBIENTE (B) | 1 | 1.13E+07 | 56.6 | 1.13E+07 | 710.2 | 0.0000 |
| CAMPA (C) | 2 | 5250108 | 26.2 | 2625054 | 164.26 | 0.0001 |
| A*B | 2 | 89269.4 | 0.4 | 44634.7 | 2.79 | 0.1741 |
| A*C | 4 | 26049.3 | 0.1 | 6512.33 | 0.41 | 0.7971 |
| B*C | 2 | 2153342 | 10.7 | 1076671 | 67.37 | 0.0008 |
| A*B*C | 4 | 63922.9 | 0.3 | 15980.7 | | |
| TOTAL | 11 | 2.01E+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 y un menor impacto de la campaña sobre las respuestas a ofertas crecientes de nitrógeno (los resultados están más asociados con el ambiente). Se observaron diferencias significativas entre niveles de nitrógeno, ambientes y campañas. Se cuantificaron interacciones significativas entre nitrógeno y ambientes ($P=0.17$) y entre campañas y ambientes ($P=0.00$) (Cuadro 6). No se observó interacción entre nitrógeno y campaña ($P=0.80$).

En el ambiente de Loma, las características de la campaña tienen un impacto menor sobre el rango de productividades explorados con los distintos planteos de producción. Por encima de los 120 kg/ha de N total, las limitantes pasan por otro lado (agua disponible) y la productividad del cultivo de trigo no supera el rango de 4000 a 4400 kg/ha. En el ambiente Bajo, las respuestas a nitrógeno son consistentes hasta los 160 kg/ha N total (Figura 4).

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

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 5). En este sentido, Triguero se presenta como un modelo empírico simple con excelente precisión para el diagnóstico y manejo de decisiones a escala de lote 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.

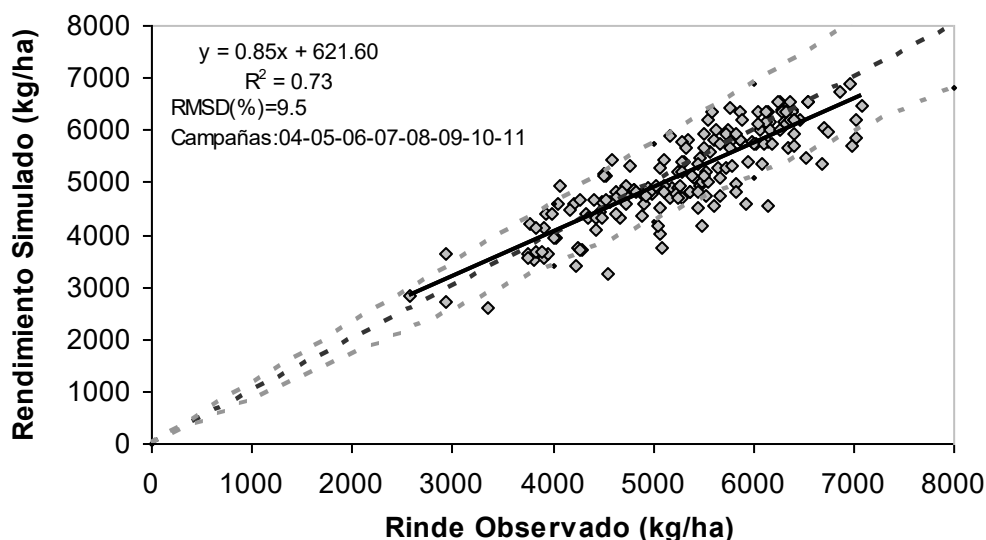


Figura 5: performance de la herramienta Triguero en la región Norte de Bs. As. Datos de ensayos durante las campañas 2004, 2005 (con Triguero V1), 2006, 2007, 2008, 2009, 2010 y 2011 (con Triguero V2). Línea llena: lineal de ajuste; línea punteada negra: 1 a 1; líneas punteadas grises: $\pm 15\%$.

3.4) Respuestas a fósforo disponible. Datos de últimas 8 campañas:

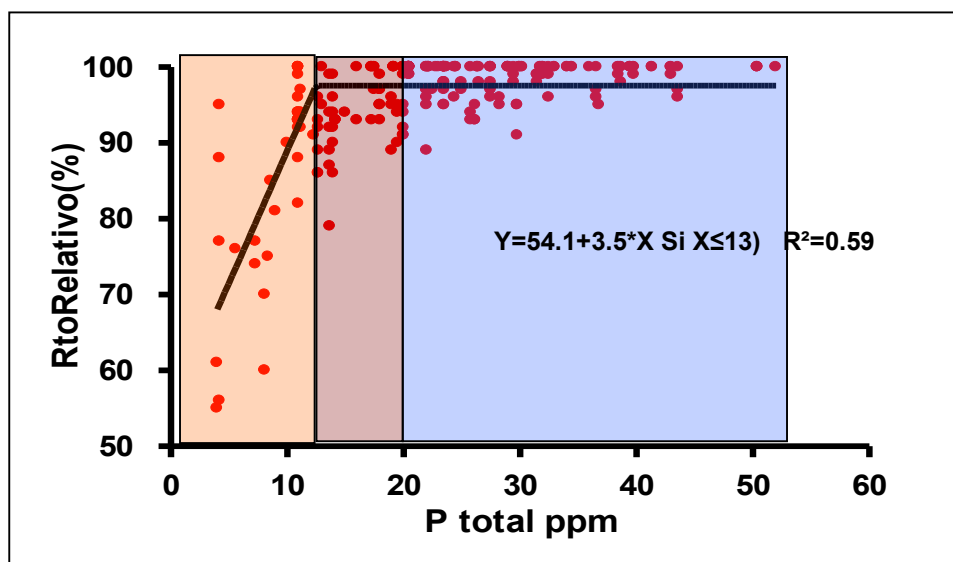


Figura 6: rendimiento relativo de trigo en ensayos conducidos en la zona norte de Bs. As. durante las campañas 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 y 2012 donde sólo se modificó la oferta total de fósforo medido como: fósforo inicial 0-20 (Bray1) + fósforo de fertilizante ajustado con un factor de 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 98% (Figura 6).

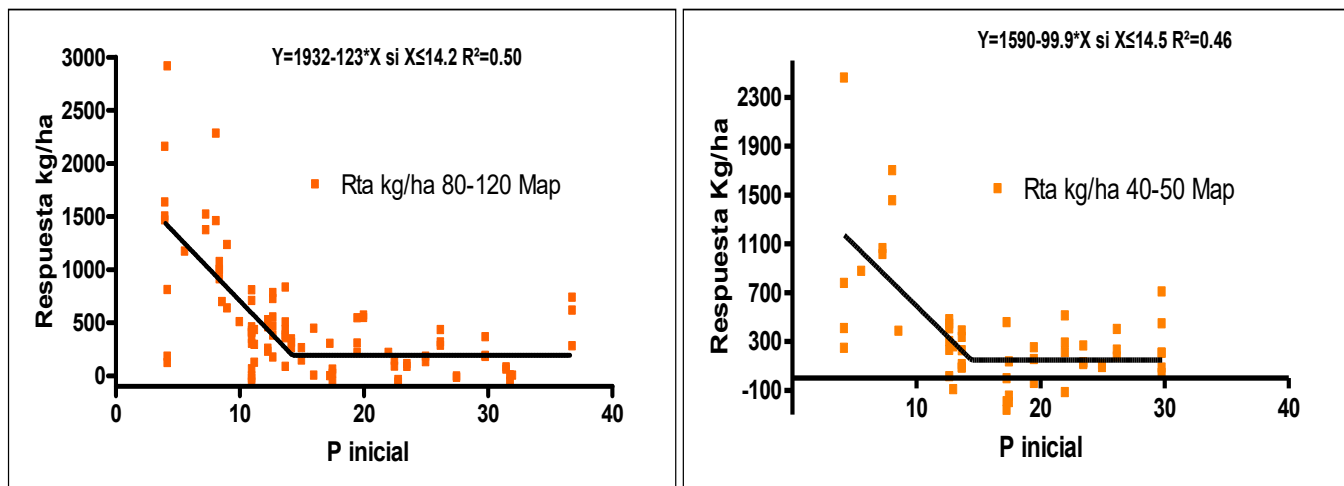


Figura 7: respuesta en rendimiento a la fertilización fosforada a partir del fósforo inicial en ppm 0-20 cm. (Bray1) diferenciado en dos grupos de datos: fertilizados con 50 MAP y 80-120 MAP durante las campañas 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 y 2012.

La función bilineal de ajuste sobre el set de datos con fertilizaciones entre 80 y 120 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 7).

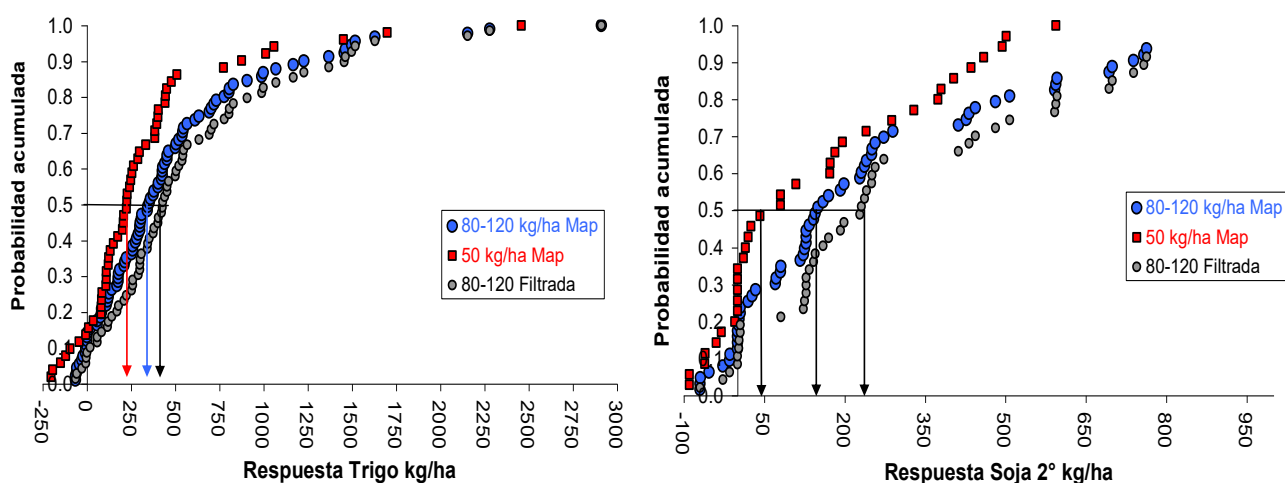


Figura 8: Probabilidad acumulada de las respuestas en kg/ha de: Izq) Trigo y Der) Soja 2ª logrados en ensayos de fertilización fosforada de la secuencia trigo/soja2ª conducidos en grandes franjas a campo durante las campañas 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 y 2012 diferenciada entre dos niveles de fertilización.

Utilizando todos los datos (puntos rojos y azules), las curvas de probabilidad de rendimientos en trigo (Figura 8 izq) definen un 12-14% de resultados sin respuestas en rendimiento. Estas situaciones están asociadas a ensayos de bajos rendimientos (campañas de seca, variable no manejable) y en menor

medida a ensayos con valores de fósforo inicial alto (variable manejable). Sobre el valor de 50% de probabilidad, se observan respuestas de 352 y 225 kg/ha para el set de datos con 80-120 y 50 kg/ha Map, respectivamente. El 20% de las mejores respuestas estuvo en 800 y 445 kg/ha para el set de datos con 80-120 y 50 kg/ha Map, respectivamente (Figura 8).

Observando las curvas de probabilidad acumulada de respuestas en el cultivo de soja 2° y utilizando la totalidad de los datos (puntos rojos y azules, Figura 8 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 60 kg/ha de respuesta por el agregado de 50 kg/ha de Map. Analizando estos datos, con fertilizaciones de 50 Map solamente alcanza para conseguir cubrir los requerimientos y de forma parcial del cultivo de trigo, sin fertilizar al cultivo de segunda.

Quitando del análisis las situaciones con valores iniciales altos de fósforo (Figura 8 puntos grises) que incorporan variabilidad en la respuesta a la fertilización fosforada permite analizar la decisión de fertilizar en ambientes con distinto grado de limitación por fósforo bajo la incertidumbre del clima. Se observan valores de respuestas de rendimiento más importantes en el percentil 20, 50 y 80%. No se observan cambios importantes en el porcentaje de casos sin respuestas en trigo pero si en el cultivo de segunda.

3.5) Respuestas al agregado de azufre en el planteo trigo/soja 2°. Datos de campañas 2007-08, 2009-10 y 2011-12:

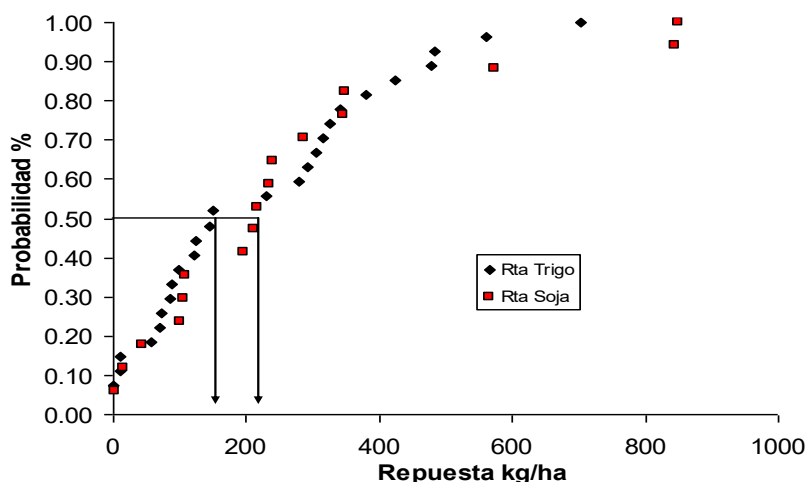


Figura 9: probabilidad acumulada de respuestas (kg/ha) a la fertilización con 100 kg/ha de SulfatoCa (Azufertil) a la siembra del cultivo de trigo respecto al testigo sin fertilizar en la secuencia trigo/soja2ª conducidos en grandes franjas a campo durante las campañas 2007/08, 2009/10 y 2011-12

Sobre el 50% de probabilidad se observan respuestas de 170 kg/ha en trigo y 225 kg/ha en soja 2°. La respuesta promedio alcanzó los 230 kg/ha en trigo, 4.2% (P=0.20) y 280 kg/ha en soja 2°, 10.5% (P=0.15) (Figura 9).