

Como experimentar en forma eficiente en el gran cultivo utilizando el monitor de rendimiento

*Autores: Ing. Agr. Mario Bragachini,
Ing. Agr. Axel von Martini,
Ing. Agr. Rodolfo Bongiovanni,
Ing. Agr. Andrés Méndez
Proyecto Agricultura de Precisión - INTA Manfredi*

Dentro del paquete que ofrece la Agricultura de Precisión uno de los usos más concretos de esta nueva tecnología es la evaluación de ensayos en el gran cultivo con mucha precisión y bajo costo.

Los adelantos tecnológicos surgidos en los últimos años en todos los cultivos a partir de la biotecnología pusieron en nuestros campos, sojas resistentes a herbicidas totales "soja RR" y próximamente soja con mayores transformaciones. En el caso del maíz ya se dispone de maíz Bt con resistencia al gusano barrenador del tallo (*Diatrea saccharalis*) y para la próxima campaña otros eventos que protegerán al maíz de otros lepidópteros dañinos; también ya se dispone de maíz RR de próxima aprobación y así se puede ampliar la lista de sucesivas apariciones de transformaciones biotecnológicas que están revolucionando el mercado de las semillas en los últimos meses del milenio.

En el caso del trigo recientemente hicieron su aparición los trigos de germoplasma anaranjado de origen francés que también prometen incrementos de rendimiento, sobre todo en áreas de riego o de ambientes con suelo de alta productividad.

En el tema fertilidad de suelo, ya se reconoce como un error el considerar a los suelos argentinos como de fertilidad infinita y hoy los niveles de nutrientes han llegado a valores críticos y en algunos casos preocupantes, debido al monocultivo de soja sobre todo, y a la pérdida de propiedades físicas de los suelos por efecto de la labranza continua de un 60% del área del país, y hoy no solo se aconseja un análisis de suelo, sino la conveniencia de probar niveles de respuestas ante diferentes fuentes de Nitrógeno, Fósforo, Azufre, Calcio, Magnesio, Potasio, etc. Uno de los elementos que está demostrando muy buena respuesta en soja, trigo y maíz es el Azufre. Como la metodología tradicional de análisis de suelo el azufre arroja poca correlación con el nivel de respuesta y los análisis confiables son costosos a niveles prohibitivos; los técnicos con mayor experiencia en el tema, aconsejan realizar ensayos exploratorios de respuesta al Azufre en trigo/soja, buscando no solo respuesta en el trigo, sino también en soja de 2º por efecto residual, y en esos casos se aconseja para una mejor visualización de la variabilidad a la respuesta, realizarlo con monitoreo de rendimiento. Seguramente y con similar metodología habrá que seguir evaluando todos los elementos que constituyen un suelo, su posible desbalance, ya sea carencia o exceso.

La Agricultura de Precisión dentro de este planteo de evaluar en forma eficiente ensayos a campo ofrece varias alternativas y a modo de ejemplo práctico definiremos algunas experiencias y consejos útiles para evitar errores, que impida amortizar rápidamente el dinero y el tiempo invertido en el tema.

Un productor de 1000 ha compra un monitor y un GPS por 9500 dólares, cosecha una campaña y los datos de rendimiento le permiten elegir los mejores híbridos de maíz y variedades de soja, elevando el rendimiento en promedio 200 kg/ha en

maíz y 100 kg/ha en soja $(1000 \times 7,2) + (500 \times 12,5) = 13.450$ dólares de incremento de ingresos que permite pagar el monitor, el GPS y el tiempo dedicado en el primer año, dejando el beneficio de seguir utilizando una tecnología ya amortizada en el primer año.

Para poder encontrar resultados en forma rápida se debe planificar muy bien los ensayos en el gran cultivo, siempre y cuando se cumplan las condiciones enunciadas. Los siguientes puntos son consejos útiles para poder llevar a cabo estos ensayos y que sus resultados sean confiables.

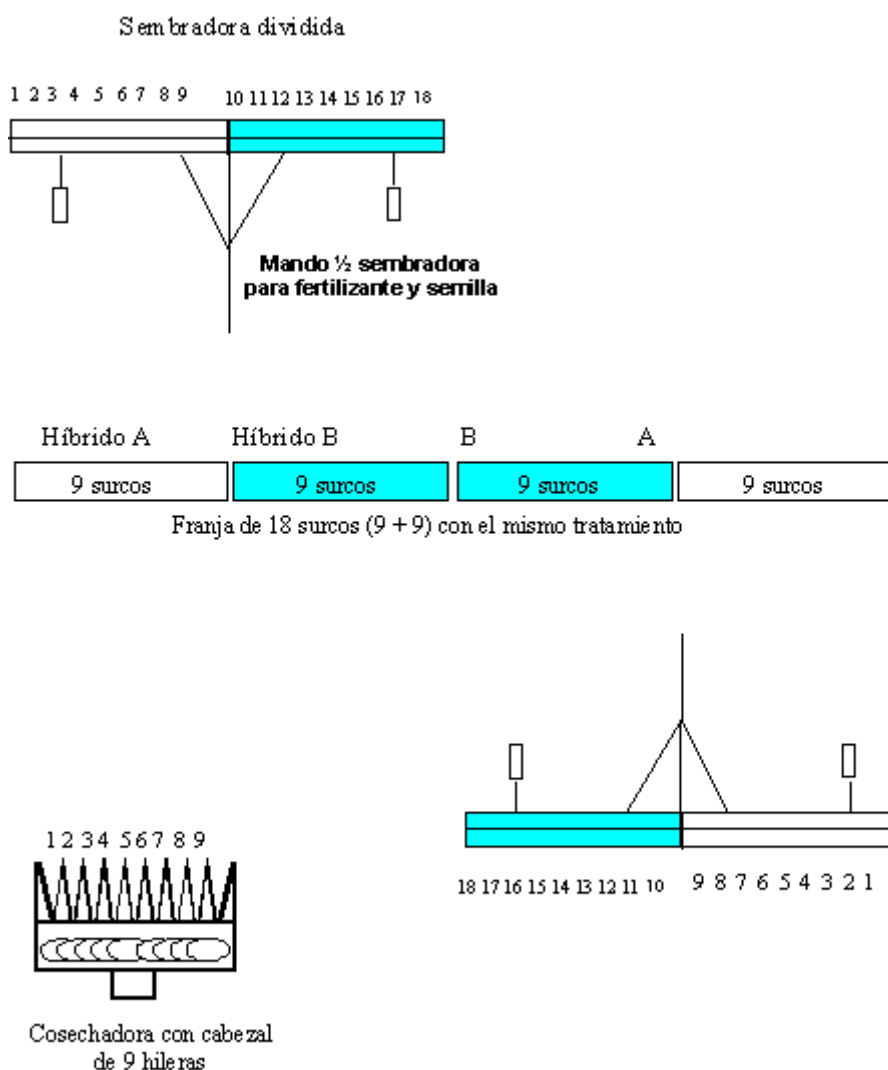
1. **Planificar el ensayo:** es importante para el éxito de los resultados en el campo y el posterior análisis de gabinete. Se debe tener en claro cuales son los objetivos, cuales son los tratamientos, cuales los datos que se deben tomar y quien los va a tomar.
2. **Determinar los objetivos:** el objetivo de un ensayo en el campo puede ser evaluar un nuevo producto o práctica. Lo lógico sería adoptar la técnica o producto que tuvo el mejor resultado, en la totalidad del campo o en la parte similar a donde se hizo el ensayo. Este tipo de ensayos puede dar confianza o no a la adopción de nuevas tecnologías.
3. **Elegir la ubicación:** se debe elegir un área del campo que sea representativa de la situación general del campo. El tipo de suelo, pendiente, fertilidad, etc. deben ser lo más uniforme posible (a menos que sean los factores a evaluar), para que la variabilidad observada se deba a la diferencia entre los tratamientos y no a otro factor.
4. **Seleccionar los tratamientos:** si se desea evaluar una nueva técnica o producto se debe comparar a este con el manejo tradicional como testigo. También se pueden comparar tratamientos como fechas de siembra, densidades, espaciamiento, fertilizantes, localización, momentos, etc.
5. **Número de tratamientos:** debido a que la regla debería ser mantener los ensayos lo más simple posible, se aconseja mantener el número de tratamientos lo más bajo posible. Cuanto mayor sea el número de tratamientos más difícil será el seguimiento y la interpretación de los resultados.
6. **Mantenerse imparcial:** se debería codificar con números o letras la ubicación de cada tratamiento para mantenerse imparcial al momento de tomar datos o mediciones y no sesgar la información por preferencias personales.
7. **Repetir:** se deben hacer por lo menos tres repeticiones contemporáneas del ensayo para poder analizar los datos estadísticamente y de esta forma disponer una mejor estimación del efecto de los tratamientos. Ver figura 1.
8. **Almacenar los datos:** se deben guardar reportes detallados de la ubicación de los ensayos, y de todos los eventos que ocurren durante la estación de crecimiento, como fechas de siembra y aplicaciones, condiciones climáticas, etc., porque estos pueden llegar a explicar los rendimientos grabados durante la cosecha.
9. **Analizar estadísticamente:** el propósito de analizar estadísticamente es determinar si los resultados del efecto del tratamiento son repetibles.

Figura 12: esquema de ensayos con y sin repeticiones.

híbridos nuevos pero siempre con el mismo testigo **obteniendo el rendimiento relativo con respecto al testigo, con una variación espacial de respuesta a los diferentes ambientes que cruce la franja como ser loma, media loma y bajo.**

De esta manera en la ida y vuelta de la sembradora quedaran franjas de 12, 16, 18 y 20 hileras de cada híbrido apareadas que podrán ser cosechados en una ida y vuelta de la cosechadora.

Fig. 13: Esquema de metodología de trabajo de franjas apareadas para la posterior confección de mapas de diferencias.



Precauciones para este tipo de ensayo

- **Comparar siempre híbridos o variedades de una madurez similar,** para maíz de no más de 5 días de diferencia de ciclo y no más de 2 % de diferencia de humedad a cosecha.
- **Ajustar los otros factores componentes de rendimiento tan uniforme como sea posible** dentro de la tirada (densidad, profundidad, PG de la

semilla, fertilizante arrancador y refertilización, control de malezas, insectos y enfermedades.

- **Seguir minuciosamente un registro del cultivo** que luego pueda explicar el comportamiento del híbrido, o cualquier factor que haya podido modificar su comportamiento.

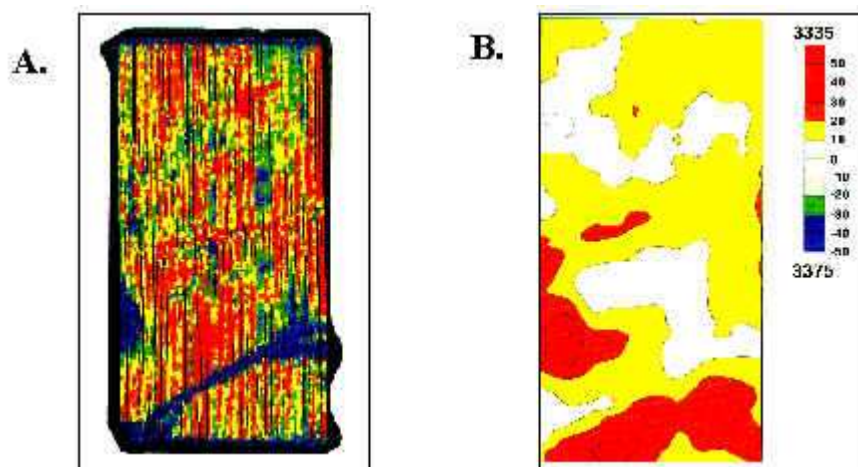
Esta metodología de sembrar con media máquina se puede utilizar también para comparar diferentes dosis de arrancadores y nitrógeno a la siembra, como así también el Azufre ahora tan de moda. Existen máquinas como por ejemplo las Agrometal MX 33/21 o MX 46/21 de fino-soja o las Agrometal TX3 18/70 o 22/52 que poseen dos mandos con cajas de semilla y fertilizante individuales para cada mitad de sembradora, por lo que se puede mantener la densidad de semilla y usar dos dosis de fertilizante distintas en cada mitad de la máquina y luego evaluar la respuesta en situaciones diferentes, o bien mantener la dosis de fertilizante y variar la densidad de semilla.

Muchos ensayos se pueden realizar para acumular datos confiables, la ventaja del monitor de rendimiento en la evaluación de franjas frente a la balanza tradicional consiste en la facilidad de recolección de datos, la grabación espacial con una cantidad de 180 a 1200 datos/ha que luego mediante un programa GIS como, por ejemplo el SStoolbox, poder confeccionar mapas de diferencias de rendimiento. (figura 14)

En las siguientes figuras se observa un mapa de rendimiento de soja (A) realizado sobre un lote donde se sembró con la mitad de la sembradora con la variedad 3335 y la otra mitad con la variedad 3375. Luego se confeccionó el mapa de diferencias de rendimiento (B).

Con estos datos uno puede llegar a la conclusión que solo en la parte rojo pálido la variedad 3335 tuvo un rendimiento superior de 1200 kg/ha con respecto al testigo y que una pequeña zona en rojo intenso la diferencia superó los 1800 kg/ha y en el resto de las zonas amarilla y blanca solo existió una diferencia inferior a los 700 kg/ha.

Figura 14: para pasar de Bushels por acre (Bu/ac) a qq/ha multiplicar por 0,6736.



En el próximo mapa de rendimiento (figura 15) realizado en un cultivo de maíz con dos híbridos diferentes se puede observar la diferencia de respuesta existente por tipo de suelo. En el tipo de suelo A, de menor fertilidad, no hay diferencias

significativas en sembrar cualquiera de los dos híbridos; sin embargo en el tipo de suelo B de mayor fertilidad, se alternan líneas de rendimiento verdes con líneas combinadas de amarillo y azul, lo que indica un comportamiento superior de uno de los híbridos. Algunos otros ejemplos de ensayos de respuesta al rendimiento de maíz pueden realizarse con **franjas apareadas como la densidad de siembra** alterando la caja de velocidad de la sembradora una vez por vuelta, o bien **variar la velocidad de siembra** para observar como afecta la dispersión en la línea de siembra, situación característica de las sembradoras mecánicas cuando se superan los 7 km/h, **la profundidad de siembra**, o también la **utilización de barredores de rastrojo en siembra directa** continua para fecha temprana de siembra de maíz, etc. Cada productor luego de un análisis con su técnico asesor podrá priorizar las evaluaciones de factores de rendimiento que crean pueden estar explicando los rendimientos en ese campo en particular.

Figura 15: Mapa de rendimiento de un ensayo de híbridos de maíz realizado dividiendo la sembradora en dos: 6+6= 12 hileras en una ida y vuelta. Cosechado con cabezal de 6 hileras.

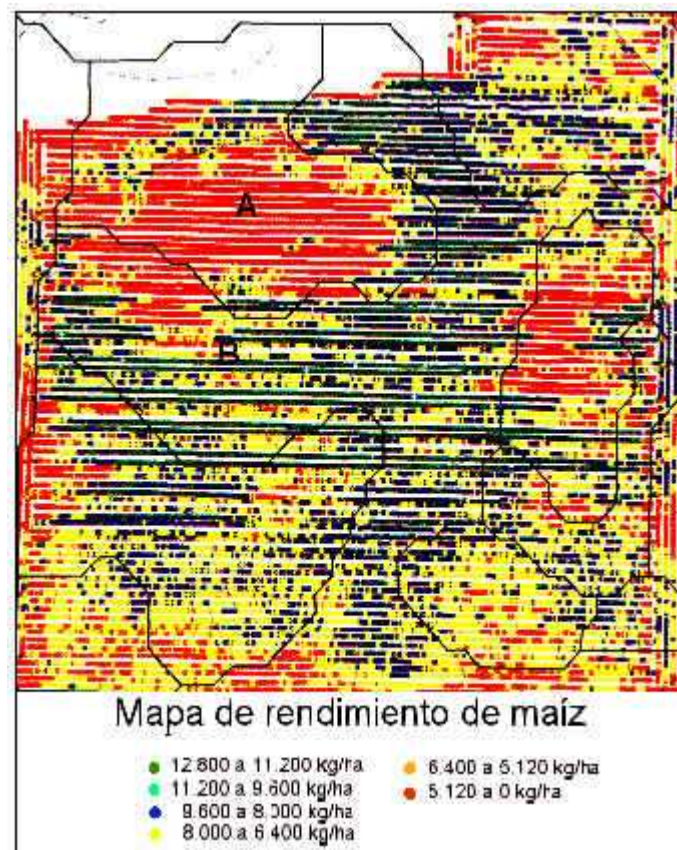
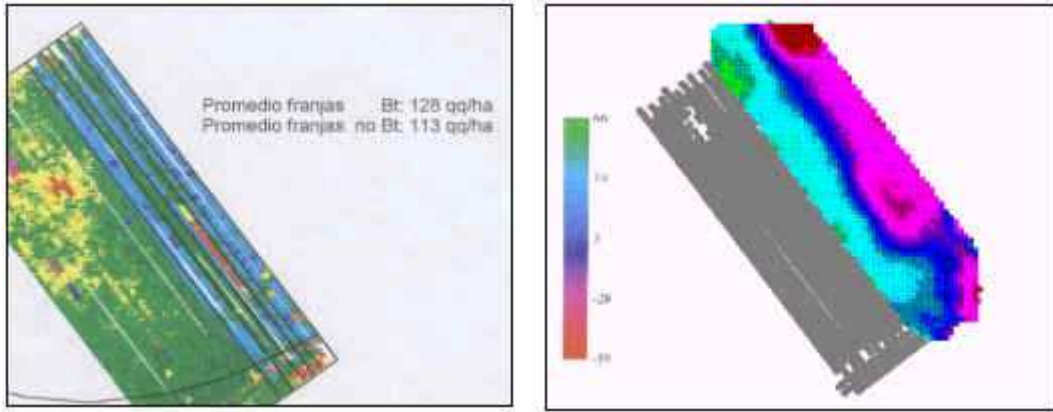


Fig. 16: Mapa de rendimiento y diferencias entre una isolínea de maíz Bt y otra tradicional, realizado en el INTA Manfredi.



-

Ejemplo de ensayo exploratorio en lotes de alta variabilidad de rendimiento

Cuando existen lotes de alta variabilidad de suelo a lo largo de la tirada de cosecha, se tenga o no el mapa de rendimiento, se pueden encarar trabajos exploratorios tratando de aportar datos que mejoren la información sobre las causas y luego atacar el problema con mayor posibilidad de éxito.

Si ya se cuenta con mapa de rendimiento, lo primero será delimitar 3 o 4 zonas de rendimientos homogéneos y muy distintos entre ellos. Luego, en lo posible, realizar un muestreo de suelo en los diferentes sitios, con una metodología que nos de una representatividad de las 3 o 4 zonas. (una muestra compuesta de varias submuestras extraídas lo más representativo posible de cada uno de los 3 o 4 sitios)

Luego con los resultados de laboratorio ajustar el diagnóstico. Suponiendo como ejemplo que el contenido de fósforo esté por debajo de los niveles de respuesta a la fertilización y antes de tomar una decisión costosa de aportar una gran cantidad de fósforo en fertilización de base se realiza un ensayo exploratorio que clarifique en cierta medida la respuesta en el rendimiento en los diferentes sitios, para ajustar la dosis y ver si económicamente conviene o no hacerla variable.

DISEÑO DEL ENSAYO EXPLORATORIO

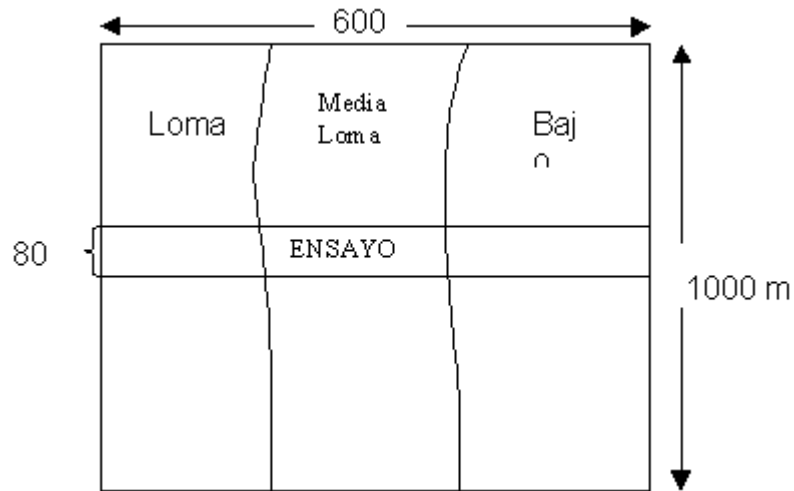
Ejemplo explicativo

Descripción del lote: 600 m de largo x 100 m de ancho, superficie 60 has.

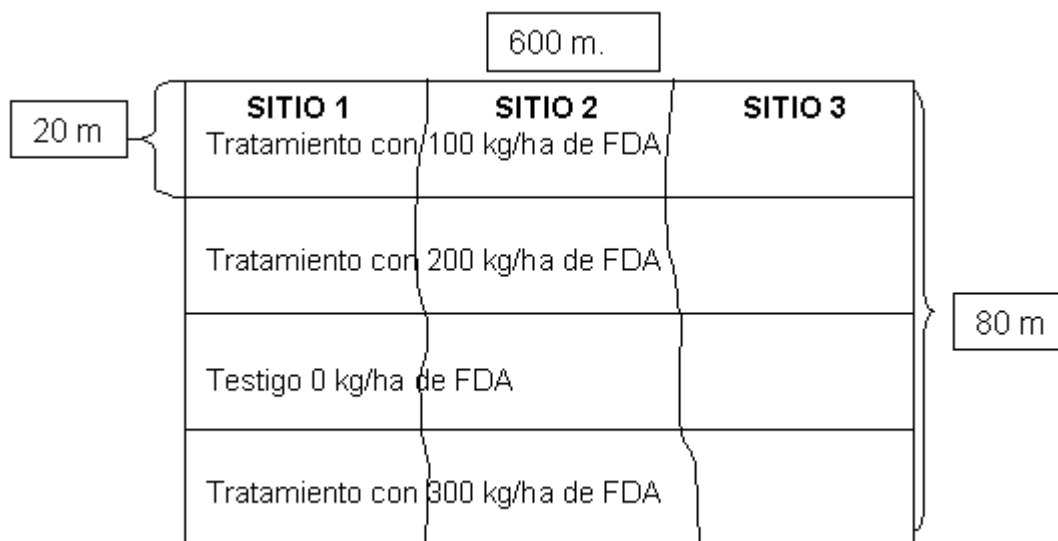
Existencia de rendimiento bien variable con 3 sitios bien definidos.

En ese ambiente se aconseja realizar un ensayo exploratorio para extraer conclusiones que mejoren la eficiencia de respuesta a la aplicación de fertilizante. Por lo tanto se realizan en el cultivo de maíz o trigo aplicaciones de fósforo al voleo previo a la siembra en forma centrífuga con ancho de 20 m real para considerar como válido durante la cosecha los 15 m centrales.

Localización del ensayo en el lote cruzando los 3 sitios definidos por Topografía



Detalle del ensayo



También se podría utilizar como fuente de fósforo "Superfosfato Triple" que en muchos casos resulta más barato que el FDA, no posee nitrógeno y contiene 13% de calcio.

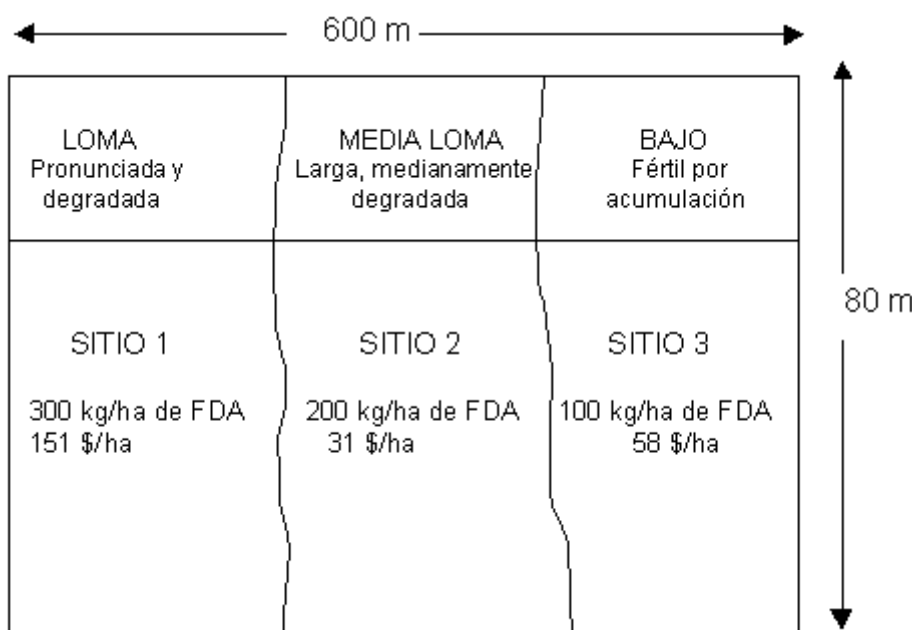
Se siembra con el arrancador convencional todo de la misma forma, la misma semilla, igual sembradora y el mismo día. Uniformando el control de malezas y plagas, eliminando todo factor extra que pueda enmascarar la respuesta al fósforo que es el objetivo. La fertilización adicional de nitrógeno se realizará en forma pareja en todo el lote.

Luego se cosecha con la misma cosechadora los 15 m. centrales para evitar el efecto traslape de la fertilizadora centrífuga al voleo.

Suponiendo que el cultivo testeado fue maíz y el mapa indica los siguientes rendimientos (estos resultados se extraen del mapa de rendimiento en forma muy rápida y sencilla):

Tratamiento	Rendimiento Promedio	Rendimiento Sitio 1	Rendimiento Sitio 2	Rendimiento Sitio 3
0 kg./ha FDA	60 qq/ha	45 qq/ha	65 qq/ha	75 qq/ha
100 kg./ha FDA	70 qq/ha	50 qq/ha	75 qq/ha	90 qq/ha
200 kg./ha FDA	80 qq/ha	67 qq/ha	82 qq/ha	95 qq/ha
300 kg./ha FDA	90 qq/ha	85 qq/ha	87 qq/ha	95 qq/ha

Con este ensayo exploratorio y si los resultados fuesen tan claros como los obtenidos en el ejemplo se podría estar definiendo la aplicación de fósforo previo a la siembra en franjas cruzadas paralelas con una fertilizadora convencional. Como información adicional al ejemplo, datos muy similares fueron extraídos en un ensayo exploratorio realizado la campaña 1998/99 en la zona de Río IV en lotes con alta variabilidad topográfica.



El análisis económico de los resultados a través de una planilla Excel (que se adjunta al final del trabajo) puede indicar con claridad que en el sitio 1 puede ser conveniente aplicar (300 kg/ha) de FDA, que en el sitio 2 (200 kg/ha) es lo ideal y que en el sitio 3 solo (100 kg/ha) serían suficiente. De esta manera se podrá realizar la aplicación diferencializada y paralelizada para una mejor respuesta a la solución del problema con una buena respuesta económica al dinero invertido en fertilizante, reduciendo la complicación mecánica/electrónica de la dosificación variable.

Como aclaración de este ejemplo teórico se puede indicar que un maíz de 8000 kg/ha extraería 32 unidades de fósforo y nosotros en el sitio 1 y 2 estaríamos aplicando ($250 \times 0,46 = 115$ unidades de fósforo), quedando el efecto residual por lo menos por 3 años, significando todas cuotas de ganancia por el incremento de rendimiento del fósforo residual.

Descripción de ensayo de respuesta a la fertilización con nitrógeno en maíz en la zona de Santa Elena, Córdoba

Con la presente descripción se pretende explicar la metodología aplicada para evaluar económicamente la factibilidad de realizar refertilización de maíz con dosis variable por sitios de respuesta variable, principalmente en ambientes de pronunciada pendiente del terreno.

Este ensayo fue repetido en 4 ambientes distintos en la campaña 1998/99 y formará parte de los datos de tesis de Doctorado del Ing. Rodolfo Bongiovanni técnico de INTA Manfredi, actualmente cursando sus estudios en la Universidad de Purdue, Indiana, EEUU. La metodología fue diseñada por el Dr. Lowenberg De Boer del Departamento de Economía Agrícola de Purdue y especialista en Agricultura de Precisión.

Ensayo exploratorio realizado en convenio entre la Universidad de Purdue – INTA Manfredi – Grupo de Productores de Río IV (Ing. Gabriel Tellería)

Objetivo: Determinar si la dosis variable de nitrógeno en maíz puede ser rentable en Argentina con la tecnología actual.

Hipótesis: La respuesta del nitrógeno en maíz varía por posición topográfica, por diferencia en la capacidad de captación y de retención de agua, materia orgánica y otros factores.

Descripción de los ensayos: Búsqueda de lotes con variabilidad topográfica evidente. Destacando tres sitios: loma, media loma y bajo; en cuatro ambientes:

- La Morocha – Elena.
- Las Rosas – Bengolea.
- El Piquete – Alejandro.
- Campo Richiardi – Justiniano Posse.

Diseño: Bloques al azar con cinco dosis de nitrógeno y tres repeticiones.

Fertilizante nitrogenado: UREA incorporada a seis hojas y en cinco dosis de: 0 – 25 – 50 – 75 – 100 – 125 kg/ha de nitrógeno.

Cosecha: Monitor de rendimiento Ag Leader, señal DGPS trimble y conexión Beacon.

Esquema de la distribución de las parcelas en el ensayo

N

63 kg/ha de Urea (29 kg/ha de N)	1 ^{ra} repetición
168 kg/ha de Urea (77 kg/ha de N)	
280 kg/ha de Urea (129 kg/ha de N)	
0 (testigo)	
222 kg/ha de Urea (102 kg/ha de N)	
113 kg/ha de Urea (52 kg/ha de N)	2 ^{da} repetición
280 kg/ha de Urea (129 kg/ha de N)	
63 kg/ha de Urea (29 kg/ha de N)	
0 (testigo)	
222 kg/ha de Urea (102 kg/ha de N)	
168 kg/ha de Urea (77 kg/ha de N)	3 ^{ra} repetición
113 kg/ha de Urea (52 kg/ha de N)	
280 kg/ha de Urea (129 kg/ha de N)	
113 kg/ha de Urea (52 kg/ha de N)	
63 kg/ha de Urea (29 kg/ha de N)	
222 kg/ha de Urea (102 kg/ha de N)	
0 (testigo)	
168 kg/ha de Urea (77 kg/ha de N)	

PESO PROMEDIO DE UNA PARCELA: 3.600 KG

N- NO3 en el suelo en el momento de la refertilización

SITIOS	PROFUNDIDAD					
	0 - 20	20 - 40	40 - 60	60 - 80	0 - 60	0 - 80
Loma	6.0 kg de N/ha	5.2	6.5	7.3	18	25
Media Loma	9.4 kg de N/ha	6.0	10.4	7.8	25,9	33,7
Bajo	10.4 kg de N/ha	15.9	12.5	7.8	39	47
Bajo W	6.0 kg de N/ha	9.4	15.9	7.8	31	39

Las muestras se tomaron al momento de la refertilización, haciendo una muestra compuesta por 10 submuestras, por cada unidad topográfica. Los análisis de NO₃ y de agua útil fueron realizados en el laboratorio de la EEA INTA Manfredi.

Agua útil en (mm) en el momento de la refertilización

PROFUNDIDAD (cm)	MEDIA LOMA	BAJO W	BAJO	LOMA
0 – 20	16.2	26.2	32.0	12.6
20 – 40	11.6	24.8	27.4	11.4
40 – 60	13.2	23.6	28.8	14.0
60 – 80	13.2	21.6	25.0	13.0
Agua útil (mm)	54.2	96.2	113.2	51.0

La pendiente de la curva indica el nivel de respuesta del maíz a la fertilización nitrogenada; y para este ensayo la respuesta fue máxima en la loma, siguiendo la media loma O, el bajo y la media loma E (mínima pendiente) con menor respuesta por falta de agua útil, para que el Nitrógeno se manifieste como kg/ha de maíz

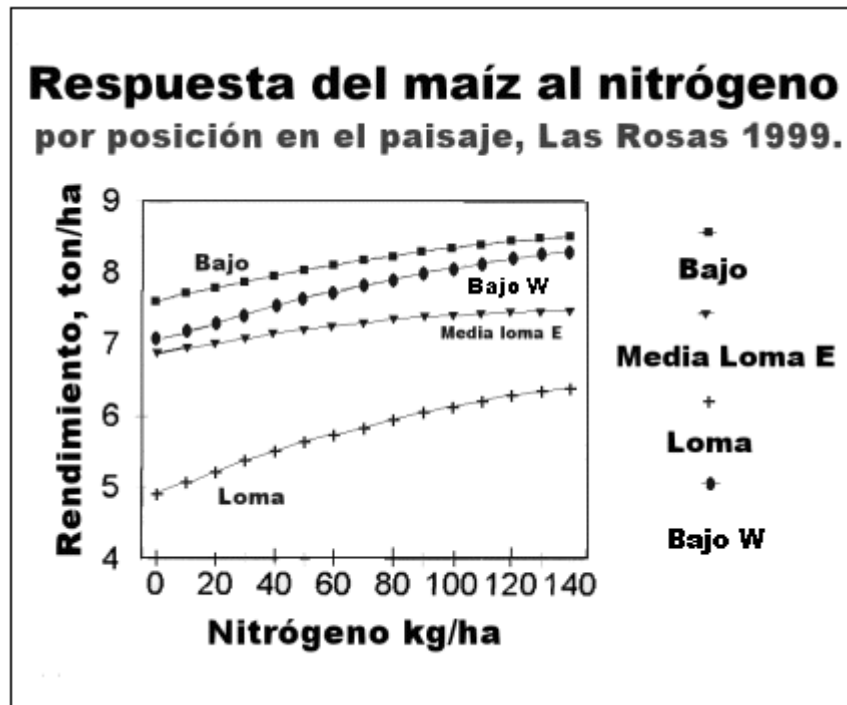
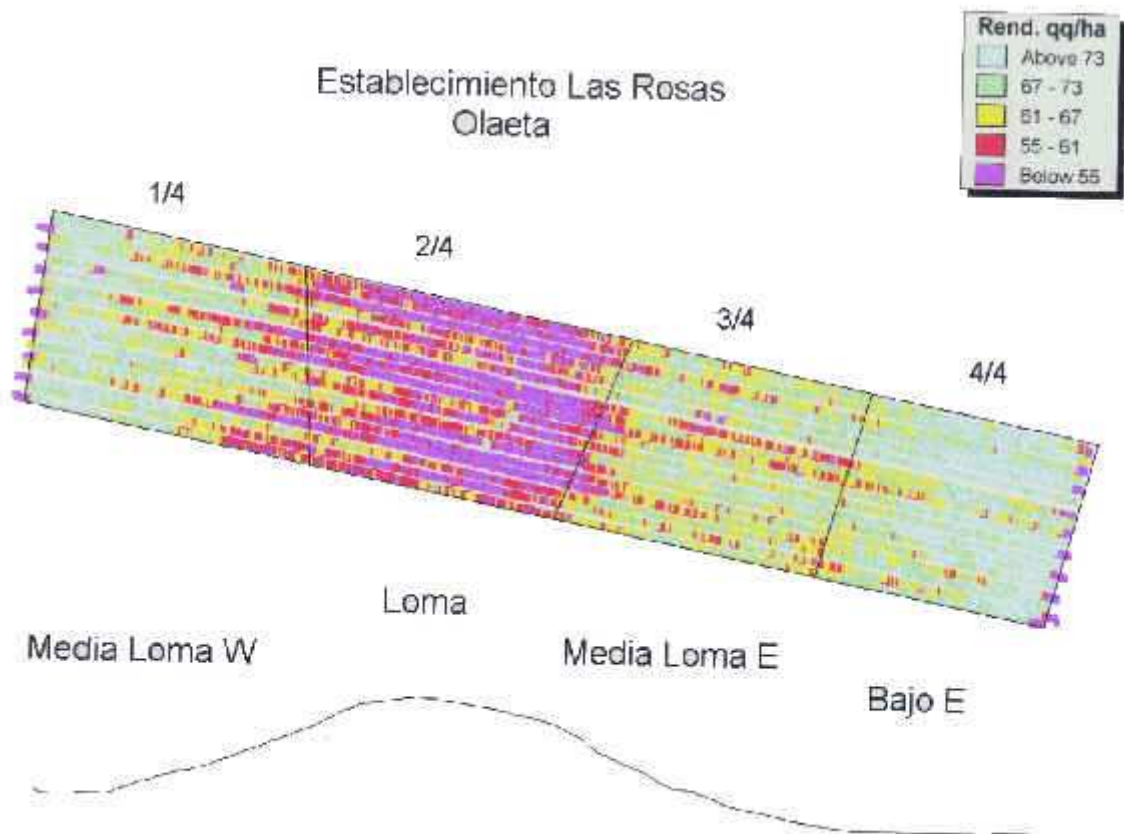


Figura 17: mapa de rendimiento del lote del ensayo mostrando la variabilidad de rendimiento por posición topográfica.



Tratamiento	Promedio de la pasada	Bajo Este	Loma	Media Loma Este	Bajo Oeste
Dosis de nitrógeno que maximiza el beneficio económico	86 kg N / ha	66	114	26	112
Rendimiento	76 qq/ha	82	62	71	82
Ingreso Bruto – Gasto de nitrógeno y aplicación	473 \$/ha	522	368	465	500
<hr/>					
Testigo nitrógeno "0"	0 kg N/ha	0	0	0	0
Rendimiento	67 qq/ha	76	49	69	70
Ingreso Bruto	462 \$/ha	520	336	470	483

Ingreso por aplicación de dosis de máximo beneficio	11 \$/ha	2	32	-5	17
--	----------	---	----	----	----

El análisis económico fue realizado teniendo en cuenta el precio del maíz a 96 \$ la tonelada con 26 \$/ton de gasto de comercialización, 12 \$/ha de gasto de aplicación lo que incluye la máquina más el tractor y operario cuando se hace dosis única, y 18 \$/ha para la aplicación de la dosis variable dando un incremento de 6 \$/ha al sistema convencional.

Tratamiento	Promedio de la pasada	Bajo Este	Loma	Media Loma Este	Bajo Oeste
Dosis de nitrógeno que maximiza el rendimiento	182kg N /ha	198	193	140	236
Rendimiento	79 qq/ha	86	65	74	86
Ingreso Bruto – Gasto de nitrógeno y aplicación – VRT.	451 \$/ha	491	350	439	471

CONCLUSIONES PRELIMINARES DE UNA SOLA SITUACIÓN ANALIZADA

Teniendo en cuenta un ambiente y un año determinado, tomando los precios del maíz y fertilizantes actuales, con un valor de VRT de 6 \$/ha se pudo obtener que:

- Utilizando los promedios de la pasada se enmascara la respuesta real de cada sitio.
- Comparando la dosis variable usando la dosis de máximo beneficio por sitio, versus la dosis aconsejada por Castillo (1998) de 36,8 kg/ha para todo el lote, existe un incremento de ganancia de 1,45 \$/ha. Y la dosis variable con respecto a la dosis de máximo beneficio para todo el lote arroja una pérdida de 3,09 \$/ha.

Comentarios: De estas primeras experiencias realizadas a campo de trabajo en convenio con la Universidad de Purdue queda que como beneficio la experiencia

ganada en el aprendizaje metodológico que permite avanzar con mayor rapidez dada la experiencia que luego el INTA podrá transmitir a los técnicos y productores como así también los resultados agronómicos.