

**Secretaría de Agricultura
Pesca y Alimentación, Instituto
Nacional de Tecnología
Agropecuaria
Estación Experimental
Agropecuaria Manfredi**



Manejo Sitio Específico de Cultivos

En la primera etapa de introducción a la Agricultura de Precisión en EEUU, allá por los años 1991-1993 se diseñó un esquema de utilización de las herramientas posicionadas por DGPS que terminaba indefectiblemente en una aplicación de insumos en forma variable (VRT) con DGPS como única alternativa que disponía el productor para recuperar la inversión.

En la actualidad se sabe un poco más acerca del aprovechamiento agronómico de los datos de rendimiento grabados espacialmente (mapas de rendimiento). Anteriormente se decía que el comienzo de la Agricultura de Precisión partía del análisis de los primeros mapas de rendimiento logrados, luego de años de trabajo, evolución y experiencia se sabe que la variabilidad expresada en el rendimiento de un cultivo en forma espacial depende de una diversidad de factores y que su análisis e interpretación es una tarea compleja, resultando muy difícil extraer conclusiones directas para un manejo sitio específico de insumos. (Site specific crop management, SSCM).

Actualmente se sigue avanzando en los conocimientos agronómicos, en la puesta a punto de las herramientas de cosecha de datos georreferenciados, en el diseño de los ensayos, en el desarrollo de nuevas herramientas como los sensores remotos de tiempo real, la percepción remota que aportará importantes adelantos tecnológicos en cuanto a imágenes digitalizadas georreferenciadas, también y por otro camino paralelo se están mejorando la precisión, facilidad de utilización y bajando los costos de todo el equipamiento necesario para ya en el campo y con el mapa de prescripción de aplicación de insumos realizado, equipar un tractor ya sea con una fertilizadora, sembradora o pulverizadora para realizar en forma eficiente la aplicación de insumos variable de acuerdo a la real necesidad de cada sitio del lote.

La idea es relativamente simple: maximizar la producción y minimizar los costos.

Argentina presenta características particulares de sistemas de producción que nos diferencian de otros países con mayores antecedentes de agricultura como lo son EEUU y muchos países europeos. En estos países y debido a los fuertes subsidios recibidos durante muchos años poseen un esquema productivo de maximización de rendimientos físicos de los cultivos sin una relación insumo/producto lógica, por ello el productor y asesor opta por una aplicación de semillas, fertilizantes, herbicidas y pesticidas que le asegure el máximo rendimiento en kg/ha para las condiciones ideales. Utilizando ese criterio se desperdician insumos en determinadas áreas del lote que no pueden alcanzar el objetivo o que las características físicas/químicas del suelo lo impiden o por cualquier otro motivo como el relieve, infestación de malezas o enfermedades, historia del lote, etc.

La idea fundamental en que se basa la Agricultura de Precisión es que se debe aplicar los insumos en cantidades que se puedan aprovechar en su totalidad, y que cada área del lote exprese el máximo potencial

económicamente posible. **Según esto, ahorraríamos insumos en las áreas de bajo rendimiento potencial sin disminuir el rendimiento (que era bajo), para trasladarlo a las áreas con mayor potencialidad, que si pueden aumentar la producción aprovechando los insumos correctamente.**

En otras situaciones de variabilidad, la dosis de fertilizante promedio puede ser insuficiente para un área degradada químicamente y resulta conveniente aplicar más en ese sitio de mayor respuesta.

En resumen sería cambiar la metodología de aplicación de insumos bajo la suposición que los lotes presentan potenciales de rendimiento homogéneos en todo el área, por otra de mayor exactitud de aprovechamiento de los insumos basada en el conocimiento de la variabilidad de respuesta dentro de el lote, que permita maximizar la respuesta económica en cada sitio del lote.

La herramientas tecnológicas que aporta la Agricultura de Precisión a la cosecha de datos, facilita la cuantificación de la variabilidad natural de un lote, además mediante ensayos debidamente programados en el gran cultivo nos aporta datos de respuesta variable a la aplicación de insumos. Si esos datos son debidamente interpretados y apoyados por un muestreo de suelo por sitios homogéneos guiado y debidamente posicionados, aportarán claridad en la toma de decisiones a la aplicación variable de insumos.

Como en toda nueva tecnología es conveniente quemar etapas para avanzar con mayor solidez. No todos los campos argentinos poseen la misma posibilidad de éxito frente a la tecnología de aplicación de insumos variable. Algunos campos con grandes posibilidades de obtener respuesta económica a la utilización de la tecnología VRT son aquellos que, debido a una nueva sistematización de los lotes, engloban sitios de diferentes potencialidades de rendimiento por una historia de agricultura totalmente distinta que dejó la impronta por muchos años. Este es el caso de muchos círculos de riego que por un mejor aprovechamiento logístico, los equipos de riego abarcan antiguos potreros que anteriormente estaban delimitados por alambrados y tenían distintos usos agronómicos, lo que aumenta la variabilidad natural de fertilidad dentro del círculo.

Otro ejemplo de alta diferenciación de insumos se puede presentar en lotes donde se tome la decisión de sembrar en forma total el lote cuadrado o irregular y el 25% sea una condición de secano, donde para el caso de trigo o maíz la necesidad de semilla y fertilizante será muy diferente en riego y secano.

Franjas con diferentes tratamientos de fertilización y densidad de siembra cruzando 4 ambientes de un círculo de riego

Lugar del ensayo: “El Paraíso”, Barrilli – Borletto SH

Siembra círculo 1 bajo riego

Fecha de siembra: 4 al 8/9/2000

Objetivo general

Poner en práctica con fines exploratorios una metodología de manejo integral utilizando herramientas de obtención de datos georreferenciados de rendimiento (mapas anteriores de trigo y maíz del lote), muestreos de suelo dirigidos, análisis y siembra de maíz con densidad y fertilización variable de acuerdo a prescripciones georreferenciadas.

A priori se posee información sobre la baja probabilidad de respuesta económica cuando la variabilidad no es significativa y los sitios representan un área reducida, de todos modos lo que se pretende con este trabajo es poner a punto la integración de diferentes herramientas como el mapa de rendimiento y su potencial información, el muestreo de suelo dirigido, la prescripción de ensayos exploratorios, el funcionamiento de la sembradora variable, el nuevo mapa con franjas divididas, la utilización de nuevos software de análisis y lo más importante la integración interdisciplinaria como factor decisivo de futuro crecimiento de la Agricultura de Precisión en nuestro país.

Objetivo específico

Determinar a través de las respuestas en rendimiento sitio específico del maíz, la incidencia de factores como densidad de planta, dosis y tipo de fertilizante a la siembra en forma fija y variable a través de una metodología innovadora como es la utilización de sembradoras inteligentes, capaces de copiar en el lote una prescripción de dosis de fertilizante y semilla en forma variable para ser evaluada en franjas apareadas versus la misma dosis, densidad promedio y fija mediante mapas de rendimiento y programa Ag Browser de diferencias.

Metodología utilizada

1. Identificación de zonas de rendimientos diferentes dentro del lote a través de mapas anteriores, maíz y trigo.
2. Realización de un muestreo representativo de cada una de las 4 zonas, con 3 muestras compuestas georreferenciadas con 3 submuestras de cada uno de los 11 lugares seleccionados (porque se descartó uno).
3. Análisis de la correlación rendimiento/característica química de suelo.
4. Priorización de los datos de rendimiento de los mapas anteriores, como dato de peso en la estimación de rendimiento sitio específico del maíz del presente año.
5. Definición de 4 ambientes de rendimiento en maíz (- de 90 qq/ha), (90 a 105), (105 – 120) y (+ de 120), como dato para el cálculo de fertilización. Teniendo como criterio que donde más rindió en los mapas anteriores se estima que se expresará con un mayor potencial de rendimiento y por ende serán necesario mayor necesidad de nutrientes.

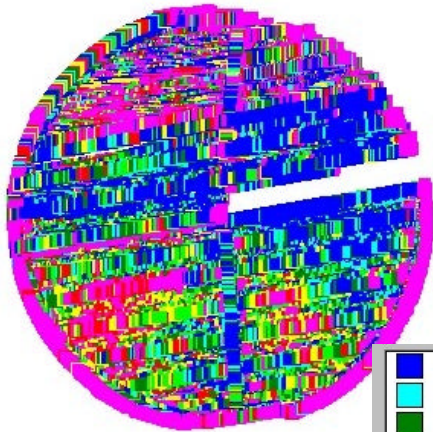


Fig.2: mapa maíz campaña 98/99

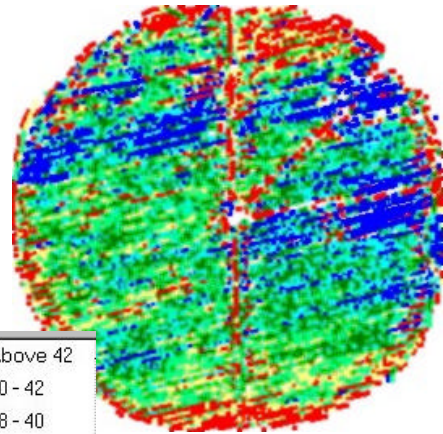
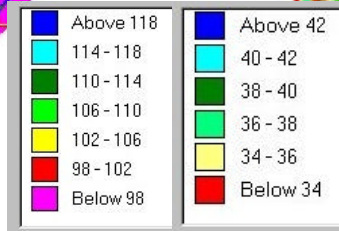
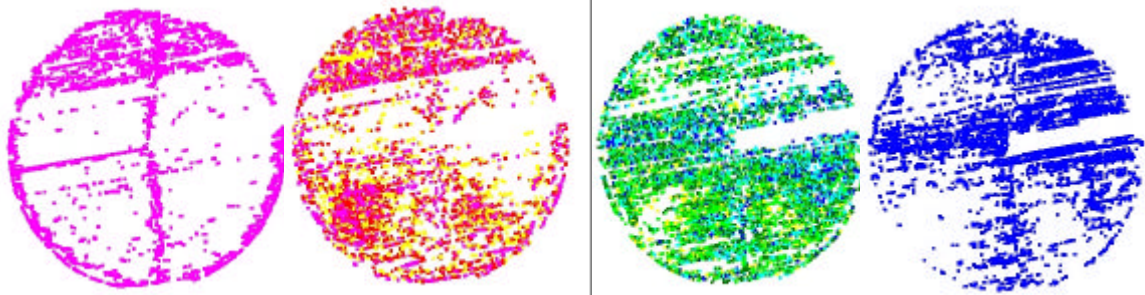


Fig.3: mapa trigo año 1999



Figuras 4, 5, 6 y 7: indican sitios de diferentes rendimientos los cuales se determinaron con el programa Farm Works; 3 (rendimientos menores a 90 qq/ha de maíz), 4 (90 a 105 qq/ha), 5 (105 a 120) y la 6 (rendimientos mayores a 120).

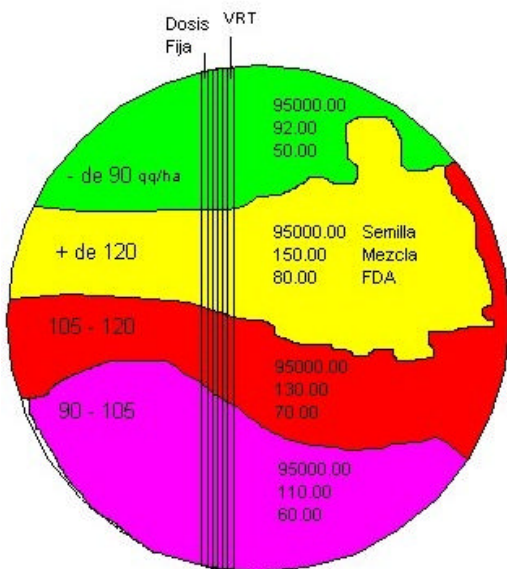


Figura 8: mapa de aplicación variable de insumos con recomendación de fertilización realizado por el Ing. F. García.

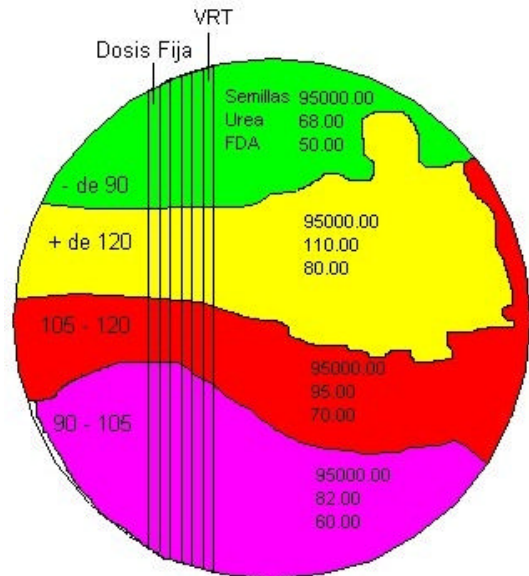


Figura 9: mapa de aplicación variable de insumos con recomendación de fertilización realizado por el Ing. Pedro Salas.

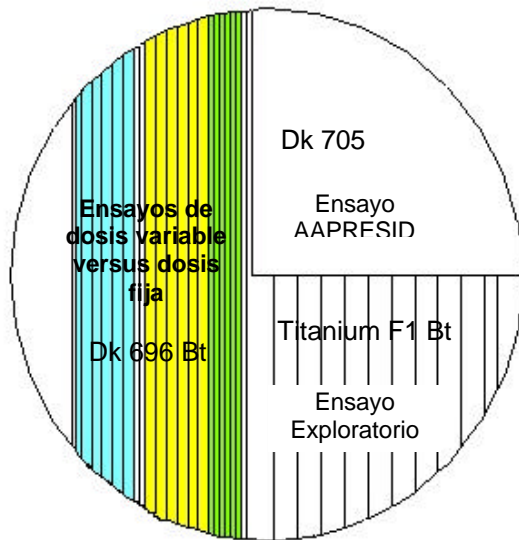


Fig. 10: mapa de todos los ensayos realizados en el lote.

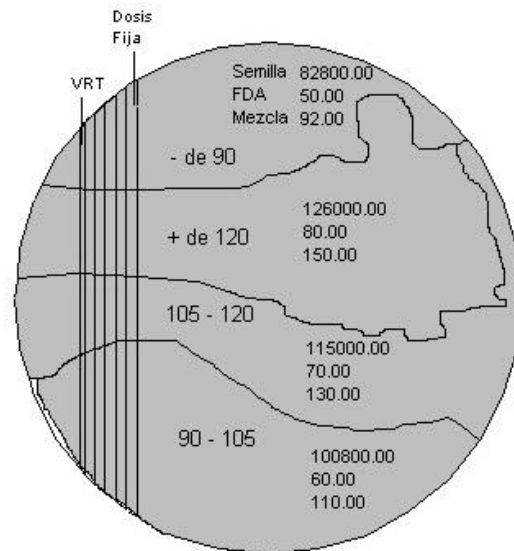


Figura 11: mapa de aplicación variable de insumos con recomendación variable de semilla y fertilizante realizado por el Ing. Bragachini, von Martini y Méndez..



Figura 12: sembradora Agrometal MEGA inteligente utilizada en el ensayo.



Figura 13: monitores para siembra y fertilización variable, Accu Rate, GPS y monitor de siembra.

6. Siembra con máquina inteligente de doble fertilización variable con densidad de siembra variable. Se realizaron 4 ensayos, en 1 se realizó densidad de siembra y dosis de fertilizante variable versus fija, en 2 se varió la dosis de fertilizante y se mantuvo constante la densidad de siembra y el ensayo restante fue exploratorio (o sea un tratamiento en dosis máxima de semilla y fertilizante y el otro tratamiento apareado en dosis mínima). Los tratamientos variable responden a 4 prescripciones sitio específico. Ensayos se describen con mayor detalle en las páginas siguientes.
7. Aplicación del nitrógeno adicional como UAN en forma de fertirriego a la dosis de necesidad según estimación del rendimiento potencial.
8. Cosecha respetando las franjas de 18 hileras con dosis variable con 3 repeticiones versus las 3 franjas de dosis fija comparándolas a lo largo de la tirada y sitio específico.
9. Análisis de respuestas variables de cada dosis de fertilizante en cada ambiente para luego realizar un análisis económico para determinar la conveniencia o no del uso de este tipo de tecnología de siembra variable con sembradora inteligente donde los ambientes lo justifiquen.
10. Análisis del ensayo donde se suman dos factores sitio específico que se variaron simultáneamente pero en forma independiente pudiendo observar el sinergismo de dos factores y su respuesta sitio específico.
11. Este tipo de ensayos prueba una metodología en el gran cultivo, donde se cruzan factores, con diferentes ambientes y se analizan los datos de toda la población evaluada en forma georreferenciada, de esta forma ganamos experiencia y disponemos de datos agronómicos que permitan adelantar las prácticas de Agricultura de Precisión mejorando los ensayos futuros.

Se determinaron por medio del programa Farm Works y con la información de mapas de rendimiento de años anteriores 4 zonas de rendimiento homogéneas (sitios). (figura 2, 3, 4, 5, 6 y 7).

Habiendo identificado esas zonas de rendimiento se pudieron determinar lugares precisos de donde se extrajeron 3 muestras de suelo de cada sitio (fig. 1), dichas muestras se realizaron mediante la guía de un GPS y una computadora con los cuales se navegaba en el círculo de riego en tiempo real y se llegaba a los lugares previamente identificados en el mapa de rendimiento.

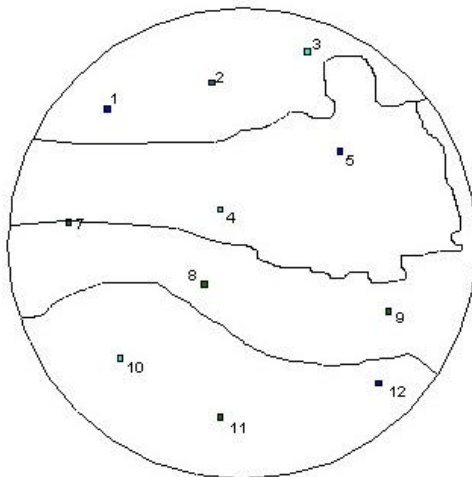


Figura 1: mapa con puntos de donde se extrajeron las muestras de suelo.

Las muestras fueron realizadas el 7/8/2000. Se determinó de esas muestras: materia orgánica, nitrógeno total, fósforo, nitratos, pH, conductividad eléctrica, azufre de sulfatos y potasio.

Con el resultado de las muestras de suelo, se llevaron a cabo ensayos de densidad de siembra y dosis de fertilización variable con testigo apareado, ensayos exploratorios y prueba de distintos fertilizantes.

Los ensayos fueron diseñados por Dr. Fernando García INPOFOS, Ing. Agr. Pedro Salas INTA Manfredi, Ing. José María Borleto AAPRESID y por el Proyecto Agricultura de Precisión de INTA Manfredi en forma exploratoria priorizando el rendimiento variable de los cultivos anteriores sobre el dato de análisis químico de suelo que si bien se lo considera variable no presentó una correlación directa que explicaría tal variabilidad. Figuras 4, 5, 6 y 7, página central.

Ensayo de fertilización sitio específico diseñado por Dr. Fernando García:

La recomendación fue una mezcla (N, S y Boro) localizada al costado de la semilla 2x2 pulgadas más P en la línea; teniendo en cuenta el potencial de rendimiento de cada zona se aconsejaron 4 dosis distintas para cada una de ellas. Figura 8, página central.

Composición de la mezcla:

Urea	65 %
Sulfato de amonio	34,7 %
Boro	0,26 %

Metodología de ensayo: los insumos aplicados en promedio en ambos tratamientos (dosis variable y dosis fija) fueron similares solo que en dosis variable se dosificó variablemente el fertilizante dependiendo los sitios del lote, poniendo más fertilizante en los lugares con mayor potencial de rendimiento. Los ensayos cuentan con 3 repeticiones y siempre tienen un testigo apareado; el cual es en dosis fija y va cruzando la variabilidad de todo el lote.

Donde el potencial de rendimiento es mayor recomendó la dosis más alta y la más baja donde el potencial es menor, variando el 20% de la dosis base a medida que pasaba a una zona de mayor potencial.

Dosis base: 92 kg/ha de mezcla y 50 kg/ha de FDA para la zona donde el maíz del año anterior había rendido menos de 90 qq/ha.

Dosis del tratamiento testigo: 120 kg/ha de mezcla y 65 kg/ha de FDA.

Densidad de siembra: 95000 semillas/ha para todos los casos.

Ensayo de fertilización sitio específico con el diseño del Ing. Agr. Pedro Salas:

Idem a criterio de Fernando García pero la recomendación fue poner Urea y P únicamente.

Dosis base: 68 kg/ha de Urea y 50 de FDA para la zona de menor potencial de rendimiento.

Dosis del tratamiento testigo: 88 kg/ha de Urea y 65 kg/ha de FDA.

Densidad de siembra: idem Fernando García.

Figura 9, página central.

Ensayo de fertilización y siembra variable sitio específico con el diseño del Proyecto Agricultura de Precisión:

- **Ensayo Exploratorio**

Consiste en atravesar la variabilidad natural del lote con franjas de distintas dosis. En este caso fueron 2 las dosis de fertilizante y densidades de siembra probadas, una máxima y otra mínima y cada tratamiento contaba con 4 vueltas de sembradora cada uno.

Máxima: 110000 semillas/ha, 80 kg/ha de FDA y 145 kg/ha de Urea.

Mínima: 90000 semillas/ha, 60 kg/ha de FDA y 106 kg/ha de Urea.

Figura 10, página central.

Luego estos tratamientos serán comparados entre sí para analizar el comportamiento de ellos en los distintos sitios por los que atraviesan, con análisis de respuesta económica sitio específica.

- **Siembra y fertilización variable**

Idem metodología García y Salas en cuanto a la dosificación ya que la recomendación fue poner más donde hay mayor potencial de rendimiento. Pero la diferencia fue que se varió tanto la semilla como el fertilizante.

Fertilizante: Idem ensayo F. García.

Semilla varió de 82800 a 120000 semillas/ha.

Se usó testigo apareado en dosis fija para poder comparar los efectos de dosis variable versus dosis fija, por medio de un programa de diferencias AgBrowser.

Dosis fija: 95000 semillas/ha, 120 kg/ha de mezcla y 65 kg/ha de FDA.

Semilla utilizada

Dk 696 Bt

Titabium F1 Bt

Curasemilla

CRUISER

FORCE

Sembradora Inteligente (Prototipo)

Se deja explícito que el equipamiento evaluado puede ser adaptado a cualquier sembradora del mercado ya que todos los elementos utilizados son de venta libre.

Sembradora utilizada en la última versión: Agrometal TX Mega 9 /52.5 equipada con doble fertilización incorporada en la línea y al costado 2x2.

Distribuidor neumático de semilla por succión marca Sfoggia, con accionamiento de turbina en forma hidráulica por bomba en tandem acoplada a la TDP. Distribuidor de semilla/ tren cinemático, caja de cambio, motor hidráulico variable.

Fertilización doble: doble sistema de dosificación chevron/ tren cinemático comandado por caja de velocidad y motor hidráulico variable.

El resto de la sembradora es igual al resto de las Agrometal Mega convencionales.

Equipamiento instalado para densidad de semilla y dosis de fertilizante variable

- GPS Trimble 132.
- DGPS señal Beacon.
- 2 monitores PF 3000 (1 para VRT de semilla y otro para VRT de fertilizante).
- 2 tarjetas PCMCIA (1 para cada prescripción confeccionada con programa Farm Works).
- Consola Accu Rate (con 2 puertos para recibir la información de las prescripciones y enviar la señal a los motores en forma independiente).
- 2 Motores Rawson (1 para siembra y otro para fertilizante).
- Radar de velocidad real.
- Tanque de aceite independiente de 120 l. con filtro de succión.
- Bomba hidráulica doble para el accionamiento del motor de la turbina y la restante para los 2 motores variables (semilla y fertilizante).
- Intercambiador de calor de aceite ubicado a la salida de la turbina.

Funcionamiento

Se inicia confeccionando la prescripción de semilla y fertilizante variable dentro del lote a sembrar con sus correspondientes coordenadas de acuerdo a la información disponible y al conocimiento agronómico del asesor.

Para ello se utiliza el programa Farm Works, es guardada en 2 tarjetas PCMCIA, una con la prescripción de semilla/ VRT y la otra con la del fertilizante/ VRT, estas tarjetas ingresan la información a los 2 navegadores PF3000 que leen y procesan la información y al recibir el posicionamiento espacial de la sembradora dentro del lote por el GPS, ordenan los kg/ha de semilla y fertilizante al controlador de 2 canales Accu Rate que gobierna el número de vueltas relativo de ambos motores hidráulicos (de semilla y fertilizante) modificando la densidad de siembra y la dosis de fertilizante en tiempo real. Todo el equipo posee una calibración previa en forma estática, para cargar las constantes de relación de transmisión de ambos trenes cinemáticos, el radar de velocidad real también requiere calibración previa.

El equipo durante los meses de Septiembre a Diciembre de 2000 sembró 200 ha. de diferentes ensayos programados demostrando buena confiabilidad de funcionamiento y excelente respuesta en cuanto a la ejecución de las prescripciones. El error de respuesta es del orden de 2 m a una velocidad de siembra de 8 km/h.

Fueron utilizadas 2 tarjetas PCMCIA, 2 PF3000 y 2 motores Rawson debido a que se realizó siembra y fertilización variable; el equipamiento se reduciría a la mitad en el caso de variar 1 solo insumo.

También es conveniente aclarar que en el caso de contar con tractor con circuito hidráulico centro cerrado y un gran depósito de aceite, se eliminaría el depósito de aceite, como así también las bombas en tandem a la salida de la TDP, reduciendo las complicaciones y costo del sistema.

Ejemplo de una prescripción realizada en la presente campaña en un círculo de riego con información previa de 2 años de mapas de rendimiento y monitoreo de suelo.

El esquema muestra el ensayo con los 4 ambientes definidos de potencialidad de rendimiento de maíz bajo riego (menos de 90, 90 a 105, 105 a 120 y más de 120 qq/ha respectivamente), donde se realizaron las variaciones de semilla/ha, dosis de FDA y dosis de una mezcla de fertilizante kg/ha según el potencial de rendimiento de cada sitio. El criterio utilizado fue maximizar la utilización de los insumos: más semilla y más fertilizante en los sitios de mayor potencialidad de rendimiento del maíz. Estos tratamientos están comparados con franjas de dosis fijas (promedio) que al ser cosechados con monitor de rendimiento permitirán mediante un software analizar la respuesta agronómica y económica sitio específica como factor decisivo de la conveniencia de la adopción de la tecnología.

El trabajo a campo fue realizado por:

Ing. Agr. M.Sc. Mario Bragachini, Ings. Agrs. Axel von Martini, Andrés Méndez, José Monchamp y estudiantes de la UNC que se encuentran realizando una pasantía: Santiago Martin y Mario Tula. Proyecto Agricultura de Precisión de INTA Manfredi.

Sr. Ferreyra e hijos encargados del campo EL PARAÍSO de Barrilli – Borletto SH.

Recomendación de ensayos de fertilización:

Ing. Agr. Pedro Salas INTA Manfredi, Dr. Fernando García INPOFOS e Ing. Agr. José María Borletto AAPRESID.

Agradecimientos:

Agrometal, D&E, Tecnocampo, Barrilli – Borleto, Mainero.

Monitoreo de rendimiento

La Agricultura de Precisión es un conjunto de actividades que incluyen la recolección y análisis de datos, lo que permite tomar decisiones económicas y ambientales apropiadas para la producción de cultivos. La metodología de recolección de datos por excelencia es el monitoreo de rendimiento

El monitoreo de rendimiento incluye la medición de la porción cosechada de un cultivo en el espacio y el tiempo, y la síntesis de esas medidas en forma de mapa gráfico. El monitoreo de rendimiento abarca la adquisición, análisis y síntesis de datos de rendimiento de los cultivos y su ubicación dentro de los lotes, y ha sido posible gracias al advenimiento de sensores apropiados, sistemas de posicionamiento precisos, y avances en la tecnología de las computadoras

Para determinar el rendimiento instantáneo de los cultivos, se deben conocer tres cosas: el flujo de grano a través del sistema de grano limpio de la cosechadora, la velocidad de avance de la cosechadora, y el ancho de corte del cabezal. El flujo de grano es medido en la cosechadora cerca de la tolva de grano. El flujo es medido en unidades de volumen o masa por unidad de tiempo. La velocidad de avance puede ser medida en un número diferente de maneras, y tiene unidades de distancia por unidad de tiempo. El ancho de corte puede ser medido (en metros o número de surcos), pero es

frecuentemente manejado por el operario de la cosechadora. Si la velocidad de avance y el ancho de corte son conocidos, el área cosechada por unidad de tiempo puede ser calculada. Si el peso o el volumen de grano cosechado por unidad de tiempo y el área cosechada por unidad de tiempo son conocidos, luego el rendimiento puede ser determinado.

. El producto final es usualmente un mapa de rendimiento, que se define como la representación gráfica de una serie de datos geoposicionados de rendimiento y humedad de granos obtenidos mediante una cosechadora equipada con un monitor de rendimiento y un receptor DGPS.

Dentro de un lote se espera tener variación de rendimiento, pero hasta el reciente desarrollo del manejo de sitio específico, los productores aceptaban esta variabilidad en vez de manejarla. Con los mapas de rendimiento es posible identificar áreas dentro de un lote donde los rendimientos pueden ser mejorados o donde es necesario ajustar los insumos para optimizar la rentabilidad y minimizar la contaminación. Debido a que el rendimiento de los cultivos es la base para la recomendación de insumos y un determinante de la rentabilidad, el monitoreo de rendimiento es esencial para el éxito del manejo de sitio específico.

En el caso de tener algún **lote de escasa variabilidad**, demostrada por mapas de rendimiento anteriores, **se lo puede utilizar para comparar** distintos factores de manejo que inciden en el rendimiento, por ejemplo **fecha de siembra, espaciamento entre hileras, densidad de siembra, híbridos o variedades, dosis de fertilizantes, tipos, localización, momentos, etc.** Mediante el monitoreo de rendimiento se puede evaluar este tipo de ensayos en el gran cultivo, con la ventaja de tener resultados representativos ya que se obtienen en el mismo ambiente.

Existen metodologías sencillas y prácticas para planificar la siembra de ensayos en el gran cultivo con evaluación detallada a través del mapa de rendimiento, extrayendo conclusiones de respuesta sitio específica que permiten ajustar diagnósticos de futuras aplicaciones de insumos en forma fija o variable, de acuerdo a los resultados agronómicos y económicos.

Toda la información de los avances en el conocimiento sobre Agricultura de Precisión se pueden obtener visitando la página web www.agriculturadeprecision.org que también se puede acceder a través del portal www.elsitioagricola.com , donde existen 280 páginas de contenido desarrollado por el Proyecto Agricultura de Precisión de INTA con sede en Manfredi, agprecision@cotelnet.com.ar .