

Componentes de Agricultura de Precisión

*Autores: Ing Agr Mario Bragachini;
Ing Agr Axel von Martini;
Ing Agr Andrés Méndez;
Proyecto Agricultura de Precisión, INTA Manfredi*

Sistemas de posicionamiento

GPS (Sistema de Posicionamiento Global): Este sistema utiliza 24 satélites que transmiten constantemente información de posicionamiento mientras orbitan y están disponibles en cualquier parte del mundo las 24 hs. El sistema a través de una corrección de la distorsión de señal DGPS, alcanza a tener una precisión cercana a 1 m. en la localización de un objeto o maquinaria en movimiento (en latitud y longitud), o bien la posibilidad de navegar con precisión a un punto deseado.

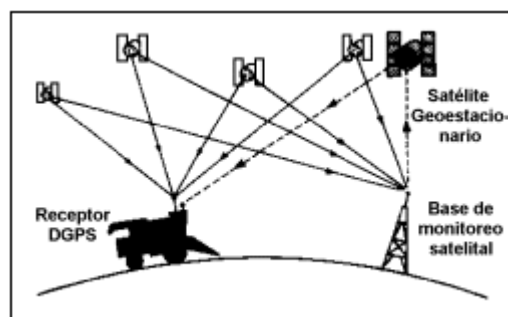
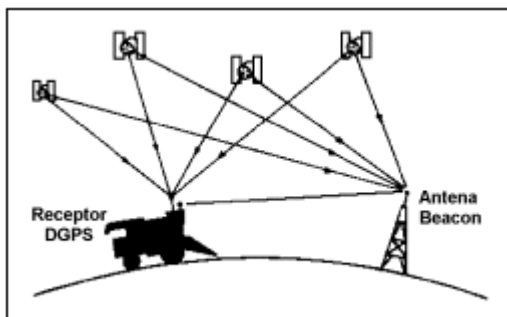
Utilidad en Agricultura de Precisión: Posicionar una máquina exactamente en tiempo real, (por ejemplo elaboración de mapas de rendimiento), y segundo, navegar por el lote ubicando los sitios, o sea que nos permite llegar a un punto con precisión (muestreo de suelo dirigido), o ubicar una máquina en movimiento variando la dosis al llegar a un determinado punto marcado a través de un mapa de aplicación.

Alternativas de señales DGPS en Argentina

BEACON/MSK: Son estaciones terrestres instaladas en Argentina por la firma D & E, con un alcance de 450km, con centro en San Carlos Sur (Santa Fe) y Bolívar (Bs. As.), trabajan a baja frecuencia 300kHz. Con el sistema MSK existen receptores de esta señal que se pueden activar mediante el pago de 600 \$/año y por equipo, o \$ 1.300 por tres años, existiendo en funcionamiento en la actualidad unos 100 equipos con esta señal DGPS en nuestro país, con una buena aceptación.

Fig. 1: Esquema de señal de Beacon

Fig. 2: Esquema de la señal satelital



SATELITE GEOESTACIONARIO: El sistema OMNISTAR estableció 5 bases de monitoreo satelital en Sudamérica, Punta Arenas (Chile), Valencia (Venezuela), Guayaquil (Ecuador), Recife y Río de Janeiro (Brasil).

Las 5 estaciones de monitoreo satelital, reciben y envían la señal corregida a una base central en Barcelona España, que verifica las correcciones y las retransmite al satélite geoestacionario que se encuentra a la altura de Brasil sobre el Atlántico, el cual envía a los demás la señal corregida. El usuario recibe conjuntamente las señales de GPS y DGPS y las utiliza en tiempo real.

Los usuarios pueden acceder a esta tecnología de señal DGPS a través de la adquisición del receptor OMNISTAR, que tiene un costo aproximado de \$ 4.000, más un derecho de recepción que rondará en los 2.000 \$/año/receptor.

Actualmente la firma CASE/AFS ya viene con el receptor de señal BEACON\OMNISTAR, o sea que podrá acceder a cualquiera de las dos señales descritas anteriormente. Ya existe otra señal similar disponible, llamada RACAL también con satélite geoestacionario con alcance a todo el cono sur, a la que se puede acceder mediante activaciones anuales, resultando una alternativa para los que posean receptor doble DGPS-BEACON/DGPS SATELITAL y tengan que salir del área de cobertura BEACON.

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. El producto final es usualmente un mapa con distintos colores o tonos que muestra rangos de rendimiento dentro de un lote.

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, espaciamiento 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. Esto es posible solamente si se cumplen algunas condiciones:

- La variabilidad del suelo es reducida o nula, lo que se podría deducir de mapas de rendimiento de varios años. De esta forma se tiene la seguridad de que los resultados obtenidos son atribuibles al factor comparado.
- Se debe realizar una cuidadosa planificación y seguimiento del cultivo para conocer exactamente los factores involucrados y las posibles fuentes de variación.
- Se debe uniformizar todos los factores menos el que se desee evaluar, para poder aislar la influencia de éste y obtener resultados confiables.

Hay una cantidad de formas de medición de rendimiento. La mayoría de los métodos desarrollados a través de los años han involucrado pesada del grano luego que ha sido trillado, separado y limpiado. El rendimiento en grano es expresado en términos de kilogramos o quintales por hectárea. Esto quiere decir que debe haber alguna manera de asociar las cantidades de grano medidas con áreas cosechadas en un lote. Por supuesto, el contenido de humedad del grano tiene un alto impacto en los rendimientos medidos. Contenidos diferentes de humedad harán que un mismo volumen de dos muestras de un mismo grano tengan distintos pesos, los rendimientos de granos son, por ende, establecidos en términos de peso por unidad de área a un contenido de humedad específico.

Componentes básicos del monitor de rendimiento

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.

Sensores

Monitor de rendimiento Instantáneo o de tiempo real

Estos monitores miden y graban los rendimientos sobre la marcha.

Los datos necesarios para que trabaje un monitor son los siguientes:

1. Flujo de grano por unidad de tiempo.
2. Humedad del grano por unidad de tiempo
3. Velocidad de avance de la cosechadora.
4. Ancho de corte del cabezal.

Componentes necesarios de un monitor de rendimiento.

1. Sensor de flujo de grano.
2. Sensor de humedad del grano.
3. Sensor de velocidad de avance.
4. Switch de posición del cabezal.
5. Consola del monitor.
6. Receptor DGPS.

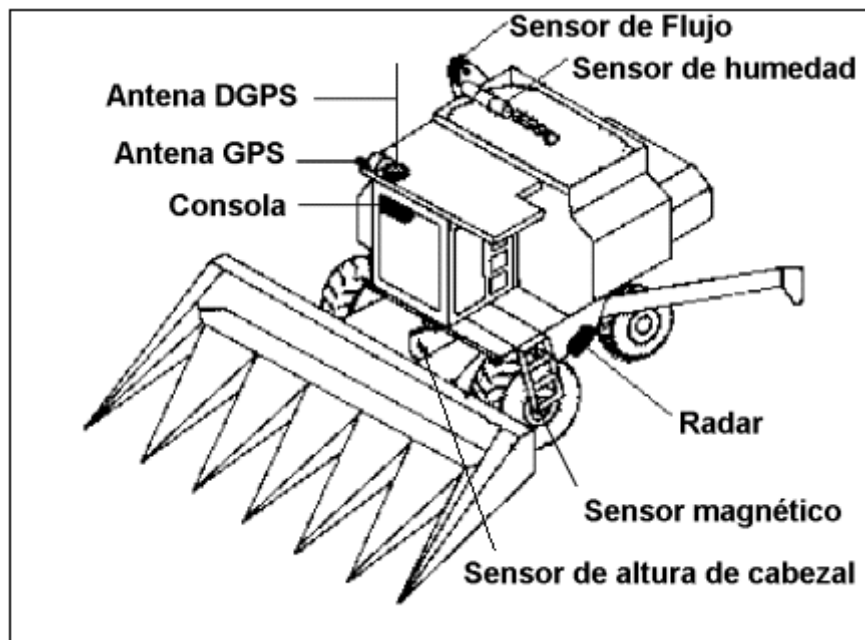


Fig. 3: Representación esquemática de los componentes de un monitor de rendimiento con posicionamiento satelital y su ubicación en la cosechadora.

Lat.	Long	Velocidad Km/h	Flujo de grano (ton/hs)	Ancho de corte (m)	Rend. Húmedo (kg/ha)	% de Humedad	Rend. Seco (kg/ha)
GPS		Sensor	Sensor	Dato ingresado	Calculado	Sensor	Calculado

El mapa de rendimiento permite cuantificar la variabilidad de rendimiento existente de un cultivo dentro de un lote, quedando grabado espacialmente.

Cuando estos componentes trabajan en equipo pueden medir el flujo de grano y los rangos de trabajo, calcular, mostrar y grabar los rendimientos del cultivo.

Sensor de flujo

Sensores Volumétricos

Sensores de detección de masa

1. Massey Ferguson (Flow Control™)

El sistema Flow Control utilizado por Massey Ferguson para medir rendimiento está completamente integrado al sistema electrónico de la cosechadora. Utiliza una fuente de rayos Gamma montada debajo de la cabeza de la noria, formando una ventana de rayos gamma a través de la cual fluye el grano. Montado en el lado opuesto de la noria se ubica la unidad detectora que mide el nivel de rayos gamma incidente. Cuando no fluye grano por la cosechadora el detector recibe el nivel máximo de rayos, y cuando se empieza a cosechar el grano que fluye bloquea parte de la radiación, y el nivel de rayos gamma incidente en el detector disminuye. Esta reducción es medida por el detector.

La radiación es absorbida de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$I_0 = I_i \exp^{-(\mu \rho x)}$$

Donde:

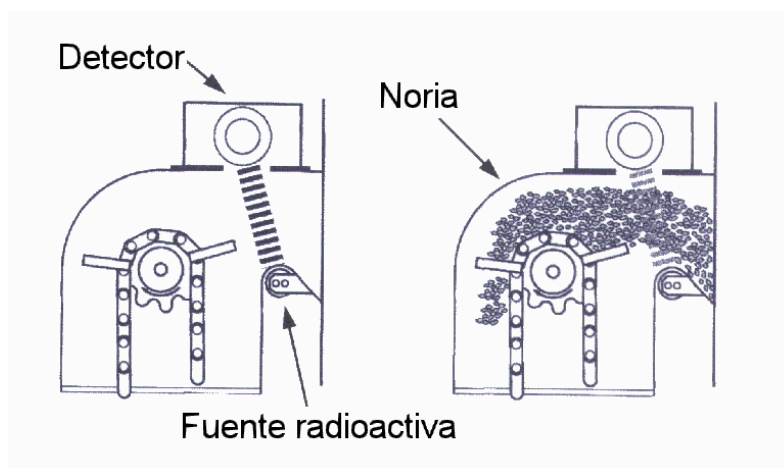
I_0 = radiación que llega al detector

I_i = radiación que sale de la fuente

μ = coeficiente de absorción de masa

ρ = densidad del material

x = distancia entre fuente y detector

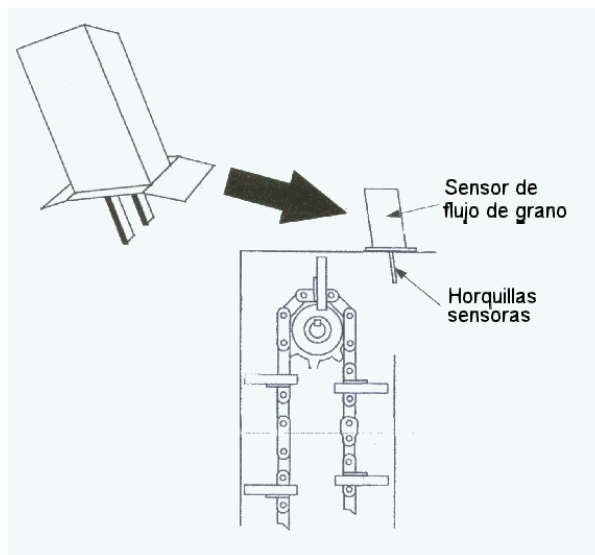


En situaciones de cosecha, el coeficiente de absorción de la masa y la distancia entre la fuente y el receptor se mantienen constantes, en consecuencia, la intensidad es función exclusiva de la densidad.

2. Micro- Trak™

El sensor de rendimiento Micro- Trak es un sistema que puede ser instalado en un gran número de modelos y marcas de cosechadoras. El sensor de rendimiento está instalado en la noria, graba el flujo de grano midiendo la fuerza aplicada a una celda de carga sellada. A medida que el grano pasa a través de la horquilla, desde la noria hacia el sinfín de la tolva, se aplica una fuerza al sensor.

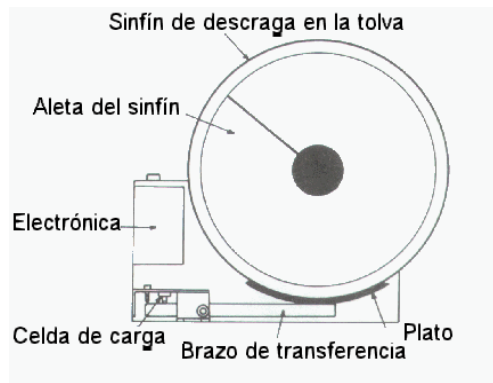
La cantidad de fuerza depende del flujo de grano, a mayor flujo mayor fuerza. Esto también depende de la velocidad de la noria, a mayor velocidad, mayor fuerza. A medida que se aplica la fuerza se genera una frecuencia que es enviada a un módulo electrónico, donde es comparada con los valores de calibración y convertida en rendimiento.



Como el sistema no es una parte integral de la cosechadora, es importante que la instalación y calibración sean correctas para lograr mediciones de rendimiento precisas. El fabricante también sugiere que se deben realizar calibraciones regulares a través de una campaña de cosecha, para mantener la precisión.

3. AgTech

Algunos sistemas de monitoreo de rendimiento pesan el grano cuando atraviesa el sinfín de descarga en la tolva. El tubo del sinfín descansa sobre un plato que unido a un brazo de transferencia actúa sobre una celda de carga.



4. Sensor de fuerza de impacto, AgLeader

El rendimiento puede medirse poniendo una placa de impacto en el camino del flujo de grano. La fuerza es medida por una celda de carga, que es un dispositivo que transforma una carga incidente en una señal eléctrica. Esta conversión es lograda a través de un "strain gage" adosado a la celda. Una muy pequeña deformación de la celda de carga ocasiona un cambio medible en la resistencia ofrecida por el "strain gage" al flujo de corriente eléctrica.

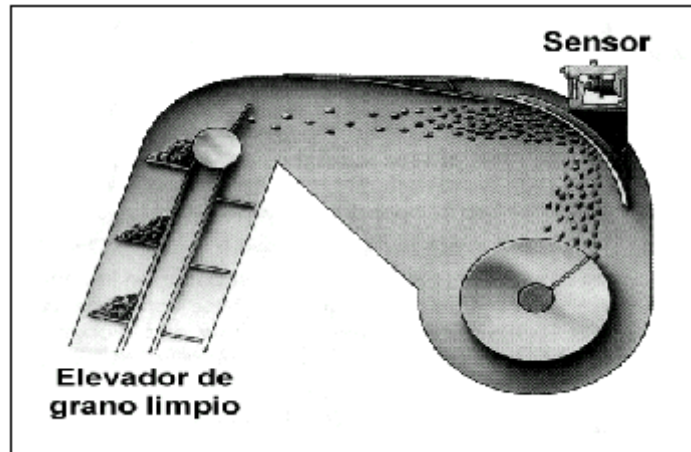
Este sistema presenta muy poco desgaste con el uso al no tener piezas móviles, lo que significa que no ocurrirán cambios en la calibración debido al desgaste de las piezas del sensor. Si pueden ocurrir cambios en la calibración, y de hecho ocurren y son de importancia, por desgaste de las piezas de la cosechadora, como por ejemplo de los baldes de la noria que modifica la luz entre estos y la pared de la noria, o de la tensión de la cadena de la noria.

5. Sensor de desplazamiento de placa, John Deere

Este sistema es similar al anterior, con la diferencia de que se utiliza un potenciómetro para medir el desplazamiento de la placa donde impacta el flujo de grano. Un potenciómetro es un dispositivo que produce una resistencia variable a un flujo de corriente eléctrica a medida que las posiciones relativas de sus componentes cambia. La distancia que se desplaza la placa de impacto es proporcional al flujo de grano, y es transformada en rendimiento comparándola con los valores de la curva de calibración.

Este sistema tiene partes móviles, lo que implica que puede existir desgaste con el uso y por ende cambios en la calibración necesaria para mantener la precisión de los datos estimados de rendimiento.

Fig. 4: Sensor de flujo de Grano



Sensor de humedad de grano

Los granos son una compleja mezcla de componentes que incluyen proteínas, almidón, agua y aceites. La calidad del grano, que está determinada por estos componentes, es de importancia creciente en el mercado. De cualquier modo, en tiempo de cosecha, el agricultor está más interesado en solo dos componentes del grano: materia seca y humedad. El contenido de humedad del grano afectará el momento de cosecha, afecta la cantidad de grano dañado que ocurrirá durante la cosecha y cómo el grano debe ser manipulado y almacenado luego de la misma. De gran importancia es su efecto en el peso y volumen de la misma.

El contenido de humedad de grano también afecta la habilidad del productor para comparar la performance del cultivo dentro y entre lotes. Los contenidos de humedad pueden variar mucho dentro de un lote y ciertamente variarán con el tiempo. Es necesario grabarlo en el momento de la cosecha para que todos los datos de rendimiento puedan ser convertidos a valores estándar. Para maíz, el contenido base de humedad es de 14.5 % (peso del agua dividido el peso del agua más la materia seca). La mayoría de los sistemas de monitoreo de rendimiento incluyen alguna manera de medición del contenido de humedad de grano automáticamente, sobre la marcha. Esto permite que cada dato de rendimiento tenga un valor de contenido de humedad asociado.

Sensor de humedad del tipo capacitancia

Estos sensores generalmente son ubicados en el sistema de grano limpio de la cosechadora cerca del sensor de flujo. Puede ubicarse en el elevador de grano limpio o en el sinfín de alimentación de la tolva.

El sensor de capacitancia mide las propiedades dieléctricas del grano que fluye entre las placas metálicas, mientras más alto es el contenido de humedad del grano, más alta es la constante dieléctrica, y ello indica la cantidad de humedad del grano.

Para la situación de cosecha Argentina, estos sistemas colocados en el sinfín de alimentación de la tolva, han presentado algunos problemas de pérdida de exactitud de medición por acumulación de tierra sobre el sensor, el cual por más que sea limpiado frecuentemente, para sojas verdes con malezas, con hormigueros, y trigos con malezas verdes, deja de ser confiable.

Afortunadamente, ya existe la solución al problema, y consiste en colocar el sensor en el elevador de grano con entrada en la zona de elevación y salida regulada por un motor eléctrico en el regreso de la noria. Este equipamiento no presenta problemas de pérdida de sensibilidad y es el equipo original de John Deere y AgLeader en la actualidad.

Fig. 5: Sensores de humedad de grano tipo John Deere (izquierda) y Ag Leader (derecha)



Como cualquier sensor de humedad de grano, para ser preciso, necesita de una calibración, por ello se debe tomar simultáneamente la humedad de grano indicada por el monitor y las muestras de humedad de la tolva, para cargar el dato real y también leer la humedad promedio para luego sacar muestras representativas de varios lugares del lote y compararla para ingresar el dato real, luego de calibrado y de no ocurrir un empastado del sensor, el mismo medirá con precisión.

Sensor de velocidad de avance

1. **Sensor magnético:** mide las vueltas del palier o de las ruedas delanteras de la cosechadora. Generalmente es el medidor original de la cosechadora, son exactos cuando existen condiciones de buen piso y el neumático no se entierra ni patina. Calibrando este sensor en las mismas condiciones que de la cosecha se independiza del patinamiento y de las diferencias de diámetro de la rueda por enterramiento de los tacos.
1. **Radar:** emite una señal de micro ondas que es dirigida al suelo y vuelve al sensor reflejado por el suelo. Por ello estos deben estar ubicados cerca del suelo y orientados con un ángulo de 30°. Estos sensores resultan más precisos que los magnéticos cuando la cosechadora trabaja en cultivos de arroz debido al patinaje de las ruedas de tracción en el barro.

Sensor de posición del cabezal

El sensor de posición del cabezal controla el cálculo de superficie realizada por la cosechadora.

Cuando se levanta el cabezal, el sensor suspende la medición de área, cuando el cabezal baja a una altura razonable y regulable el equipo comienza a contar distancia recorrida y área.

Los nuevos monitores de rendimiento tienen un software que le permite al operador estimar el **retraso de paso**, hasta que el grano llega desde el cabezal hasta el sensor de flujo. Otros ya incluyen un comienzo de retraso de paso para permitir que el flujo inicial de grano dentro de la cosechadora sea ignorado en los cálculos del monitor de rendimiento. Ese retraso de tiempo generalmente significa una cantidad de metros recorridos dependiendo de la velocidad de avance, ese es el error que puede leer el operario en el monitor, pero que luego en el mapa de rendimiento, será corregido por el software colocando el dato en el lugar lo más aproximado posible de donde fue tomado.

En la otra punta del lote cuando la máquina levanta el cabezal, también existe un final de retraso de paso que permite que el flujo de grano que ingresó en el cabezal cuando éste fue levantado pueda ser incluido en los cálculos del monitoreo de rendimiento y el proceso de conteo de superficie sea suspendido.

Consola del monitor

La consola está conectada a todos los sensores que suministran la información para calcular el rendimiento de grano en tiempo real.

Existen datos que deben ser incorporados por el operario, para lo cual no existen sensores instalados (lote, carga, número de hileras y distanciamiento, humedad base a la que se quiere corregir el rendimiento, cargas de calibración de peso real, calibración de humedad real, o cualquier referencia del lote).

Información suministrada por el operario:

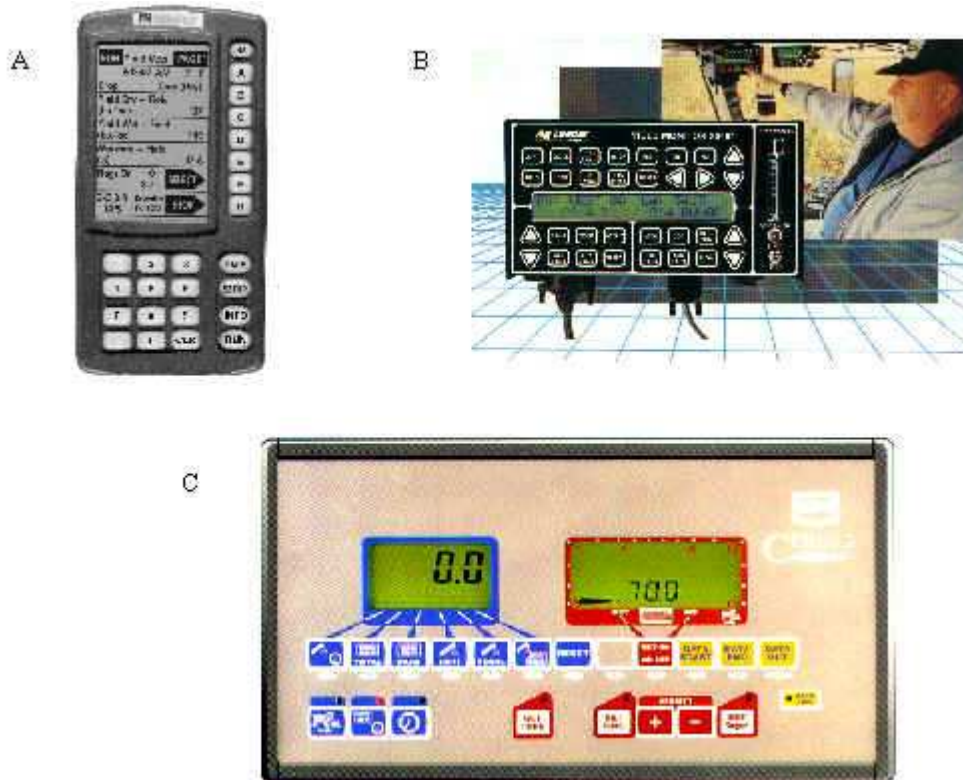
1. Nombre del lote.
1. Nombre o número de la carga.
1. Ancho de corte (número de hileras y distanciamiento).

Información suministrada por el monitor:

1. Mide y muestra en el display continuamente el rendimiento instantáneo (Tn/ha), humedad de grano instantánea (%), velocidad de avance (Km/h.), flujo de grano (Tn/h.), superficie cosechada y calidad de recepción de la señal DGPS.
2. Calcula, muestra en el display y graba rendimiento promedio y máximo, humedad promedio y máxima, superficie, distancia, toneladas de grano húmedo y seco, día y hora de cosecha para cada lote.
3. Si el monitor está recibiendo señal DGPS a través de un receptor, se pueden confeccionar mapas de rendimiento y humedad de grano.

Monitores disponibles en Argentina: AFS (CASE), AG LEADER (D&E), GREEN STAR (JOHN DEERE), FIELD STAR (AGCO) y RDS (METALTECNICA).

Fig. 6 Monitores de rendimiento:
(A) Green Star (John Deere), (B) AgLeader y (C) RDS



Todos los monitores de rendimiento que se venden en Argentina tienen su sistema en unidades métricas, es decir Km./h., ton/ha., distancia en m.

Existe otro opcional llamado marcador de campo, el mismo consiste en un control remoto conectado a la consola del monitor que permite marcar espacialmente en el lote diferentes situaciones.

Por ejemplo:

- 1- Maleza A
- 2- Maleza B
- 3- Mala implantación
- 4- Presencia de una enfermedad

Fig. 7: Monitor con marcador de campo CASE



Cada situación particular puede marcarse como un punto en el lote, o bien como un inicio y un fin de esa situación, o sea que se puede conocer el área. Si las situaciones a marcar son más de dos, es recomendable que este equipo sea utilizado por una segunda persona en la cabina para realizar un trabajo con mayor exactitud, evitando distraer exageradamente al operador de la cosechadora.

Si todas las calibraciones son realizadas con exactitud, es de esperar que los monitores de rendimiento entreguen los datos con una precisión menor al 5 % del rendimiento real del cultivo.

La información de rendimiento que registra el monitor puede ser almacenada en el mismo monitor o en una tarjeta PCMCIA, que tiene el tamaño de una tarjeta de crédito y una capacidad de almacenaje de información que va desde 1 MB hasta 5 MB; grabando datos con una frecuencia de 3 segundos, una tarjeta de 1 MB tiene la capacidad de almacenar información de 40 horas de cosecha. Para transferir la información desde la tarjeta, el operario debe grabar los datos en la misma desde el monitor. La tarjeta simplemente se coloca en la computadora, y ésta, a través de un software adecuado lee los datos registrados, y pueden ser impresas tablas de los datos de rendimiento. Si además la tarjeta tiene datos de posicionamiento, debido a que la cosechadora contaba con un receptor de DGPS, el usuario está en condiciones de realizar mapas de rendimiento con el mismo software.

Calibración

Los tipos de calibración que son requeridos por el sistema de monitoreo de rendimiento varían según el tipo de monitor. De cualquier modo, a pesar de los diferentes tipos de monitor, el rendimiento no es medido directamente. En lugar de eso, mediciones de fuerza, desplazamiento, o volumen, velocidad del flujo de material, contenido de humedad del grano, velocidad de cosecha y ancho de labor son combinados para producir una estimación de rendimiento de cultivo. El rendimiento del cultivo es un valor derivado o calculado. La calibración es ejecutada para asegurar que el dato del sensor y datos ingresados son usados apropiadamente por el monitor para producir el dato final en unidades de kilogramos por hectárea. Antes de comenzar a cosechar con el monitor, este debe calibrarse correctamente para que los datos entregados y grabados sean precisos y confiables.

La calibración comprende la selección de constantes y procedimientos para determinar coeficientes de calibración y convertir las señales eléctricas medidas en parámetros deseados.

Calibración de Distancia

Para llevar a cabo esta operación se debe medir una distancia en el terreno, (Ej: 100 m) y marcarla con estacas o banderas. Luego se ubica la cosechadora a la altura de la primera marca, tomando un punto de referencia en la máquina, se baja el cabezal hasta que el monitor indique que está contando superficie, luego se recorre la distancia que separa las dos marcas y se frena en la próxima marca utilizando el mismo punto de referencia. El monitor posee una tecla que muestra en el display la distancia recorrida. Si no coinciden las distancias marcada con la recorrida se debe corregir, y luego realizar la tirada de verificación.

Consejos útiles:

- Para obtener una calibración precisa se debe recorrer como mínimo 60 metros
- La superficie sobre donde se realice la calibración debe ser lo más similar a las condiciones de piso del lote, por que las diferencias de hundimiento de los tacos de la rueda de tracción puede afectar a la medición precisa de la distancia.
- Se debe relizar todo el proceso de calibración comenzando una carga nueva, que no exista ningún dato anterior.
- Es aconsejable repetir la operación para controlar la precisión de la calibración.

Calibración de temperatura

El sensor de humedad posee un sensor, que mide la temperatura del grano para corregir la humedad medida.

Para realizar esta calibración se toma la temperatura ambiente e ingresa como dato de calibración al monitor. La temperatura ambiente debe ser medida después de que se halla estabilizado por un par de horas. El sensor de temperatura mide la temperatura del grano que es muy similar a la ambiente a lo largo del día.

Calibración por vibración

El monitor de rendimiento debe ser calibrado para eliminar falsas lecturas de flujo de grano causadas por las fuerzas de vibración cuando la cosechadora está funcionando a régimen.

Para llevar a cabo esta operación se debe poner en funcionamiento la máquina en vacío con el cabezal embragado, a las revoluciones de régimen, y mover el valor de calibración hacia arriba o hacia abajo hasta que el monitor no produzca lecturas de rendimiento. Como las fuerzas de vibración no son constantes se puede no lograr una lectura de flujo 0 constante, en ese caso se debe ajustar el valor de calibración a un valor en el que se produzca una lectura de flujo mayor que cero en un período de 10 segundos.

Estas tres calibraciones son independientes del cultivo que se coseche, o sea que no se deben realizar para cada tipo de grano distinto. En cambio las calibraciones de humedad y flujo deben ser realizadas por cultivo independientemente.

Calibraciones durante la cosecha

Calibración del sensor de altura del cabezal

El sensor de altura del cabezal le indica al monitor cuando la máquina está cosechando y cuando no. Para cada cultivo hay una altura diferente de cosecha, y para un mismo cultivo puede haber diferencias en la altura de cosecha según las condiciones. Cada vez que se ingresa a un lote se debe regular la altura de corte

de este sensor, esto se hace poniendo el cabezal a la altura de trabajo y se mueve la constante hacia arriba o hacia abajo hasta que la luz indicadora de conteo de superficie este apagada. Luego se levanta el cabezal a la altura que generalmente lo hace el operario al llegar a los extremos del lote, en este caso la luz debe estar prendida indicando que no cuenta superficie.

Si al llegar a los extremos del lote no se levanta el cabezal lo suficiente como para que prenda la luz indicadora, el monitor interpretará que hay zonas de rendimiento cero, porque la máquina estaría cosechando pero no ingresa grano. Esto arruinaría los promedios al aumentar la superficie para una misma cantidad de grano, y figuraría en el mapa como zonas de puntos de rendimiento cero; estos ruidos en los mapas podrán ser limpiados a través de un operario con experiencia en el manejo del software.

Calibración de humedad de grano

Para calibrar la humedad se debe comparar la medida determinada por el monitor con una serie de determinaciones de algún otro medidor de humedad cuyas medidas hayan sido verificadas en su precisión. Para lograr una calibración precisa de humedad se aconseja iniciar una carga nueva en el monitor y cosechar una pequeña cantidad de grano para evitar variaciones en la muestra testigo. El hecho de llevar a cabo esta operación cosechando poco grano hace menos probable que la humedad varíe dentro de la carga, lo que resultará en una calibración más precisa.

En los sensores de humedad colocados en el sinfín de descarga dentro de la tolva puede ocurrir que la placa se empaste, especialmente en soja, por ende hay que tener la precaución de que cuando se realice la calibración esta esté limpia. En el caso de que debido al empaste del sensor las mediciones de humedad tienen un error muy grande se puede indicar al monitor que no trabaje con humedad automática sino que corrija en base a una humedad manual que le ingresamos como dato constante. Por eso se aconseja el uso de los nuevos sensores de humedad colocados en la noria, que solo sensan una muestra del grano, y no sufren la fricción del torbellino del total del grano que ingresa a la tolva, lo que causa el empaste del sensor especialmente en soja en siembra directa donde ingresa tierra de las cuevas de peludo y hormigueros, y el jugo de las malezas.

La calibración de humedad es retroactiva, lo que significa que corregirá todos los lotes y cargas anteriores a la calibración de ese cultivo.

Calibración del peso del grano

Antes de realizar esta operación se debe haber realizado la calibración de humedad. El monitor se calibra sobre la base de pesos actuales que se le ingresan, estos se obtienen pesando el grano cosechado en una carga, en una balanza precisa. La calibración del monitor puede ser muy precisa porque este genera un valor de calibración para cada nivel de flujo de grano o cantidad de grano que pasa por la cosechadora que el sensor está midiendo. El flujo de grano varía cuando se cambia la velocidad de avance o cambia el rendimiento del cultivo. Sin embrago, el monitor puede calibrarse solo para el rango de flujos de grano que pasaron por el sensor cuando se cosecharon las cargas de calibración. Por eso, para lograr una calibración precisa en todo el rango de flujo de granos, se debe cambiar en forma programada el flujo de grano, variando la velocidad de avance y/o el ancho del cabezal, de una carga de calibración a la otra. Para obtener resultados precisos de la calibración se deben cosechar por lo menos 6 cargas de calibración (con pesos actuales), y cada una de estas cargas debe ser

cosechada a un diferente flujo de grano variando la velocidad de avance y/o el ancho del cabezal, y contener por lo menos 2000 kg de grano recolectado dentro de la tolva en cada pasada.

	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 4	Carga 5	Carga 6
Velocidad Km/h	12	10	8	6	4	2
Ancho de cabezal	10	10	8	8	6	6

Ejemplo de Cargas de Calibración variando Velocidad y Número de hileras.

Para cosechar cada carga de calibración se debe comenzar a cosechar dentro de una carga nueva, y con la tolva de la cosechadora vacía. Una vez recolectada la cantidad de grano suficiente se descarga en una tolva, que luego es pesada. A continuación se ingresa el peso real en el monitor, y se comienza una nueva carga a un flujo de grano diferente. Una vez que se completaron las 6 cargas el monitor nos da la opción de realizar la calibración total, en la que promedia las cargas realizadas y genera la curva de calibración en la que van a estar representados todos los flujos de grano.

Se pueden agregar o quitar cargas de calibración y recalibrar el monitor en cualquier momento durante la cosecha. También se recomienda realizar chequeos permanentes a lo largo de la campaña de cosecha, pesando cargas y controlando con el peso deducido por el monitor. Si se descubre que el monitor perdió precisión se puede ingresar el peso actual o real de esa carga y recalibrar el monitor.

Si se ajusta la cadena de baldes de la noria durante la cosecha se debe hacer mediante el tensor inferior, ya que si se mueve la parte superior de la noria la calibración se volverá imprecisa y se requerirá una nueva calibración.

Si todos estos pasos son realizados correctamente estaremos en un nivel de precisión del rendimiento corregido por humedad menor al 5 %, lo que ubica a los datos obtenidos como muy útiles para ser utilizados en el diagnóstico del gran cultivo.

Receptor DGPS para monitores de rendimiento

La antena DGPS debe ir al centro de la máquina para que las sucesivas pasadas queden a la misma distancia unas de otras; además los cables, antenas y el motor no debe interferir con la señal de DGPS.

Como presentar los datos para la elaboración de un buen mapa de rendimiento

La selección de rangos de rendimientos y esquema de colores correctos tiene una gran influencia sobre el aspecto estético, calidad, facilidad de interpretación y utilidad de los mapas.

Los tres aspectos más críticos para una presentación adecuada de los datos de rendimiento son:

1. **Agrupamiento de los datos:** a) Números iguales, b) Intervalos iguales,
c) Desviación estándar, d) Intervalos naturales

2. **Números de rangos:** es el número apropiado de intervalos en el que se distribuyen los datos.

En general cuando se eligen pocos rangos de rendimiento se enmascara la variación real, mientras que la elección de demasiados rangos resulta en un mapa complicado para que un observador humano lo procese virtualmente. Los cartógrafos recomiendan entre 4 y 10 rangos, con un óptimo de 6.

3. **Esquema de colores:** son los colores que mejor distinguen los rangos de rendimiento. Se deben elegir los colores para poder distinguir con claridad los rangos sucesivos.

Esto se puede lograr usando un gradiente de tonos claros u oscuros en un color, o usando una secuencia lógica de colores del espectro visible.

Un ejemplo común es usar verde, amarillo, naranja y rojo de mayor a menor rendimiento.

-

Los mapas de rendimiento deben ser confiables, precisos, claros y fundamentalmente útiles en cuanto a la información brindada.

Precisos: gran parte de la precisión depende de la calidad y correcta calibración de los sensores de flujo de grano (pesada exacta en un amplio rango de flujo) y del grado de conocimiento y motivación del operador

El monitor de rendimiento reflejará con precisión la variación espacial del rendimiento del lote si funciona correctamente y se encuentran bien calibrados los siguientes componentes:

1. Sensor de flujo de grano, 2) Sensor de humedad de grano, 3) Sensor de velocidad de avance, 4) Sensor de posición del cabezal, 5) Consola del monitor, 6) Receptor de DGPS

-

El operador deberá cargar exactamente:

a. Nombre y número del lote
b. Nombre y número de carga (si necesita parcializar franjas o tratamientos)
c. Ancho de corte (número de hileras y distanciamiento)
d. Como opcional el operario puede disponer de un marcador de campo, el mismo consiste en un control remoto conectado a la consola del monitor que permite marcar espacialmente en el lote diferentes situaciones. Por ejemplo:

- Maleza A
- Maleza B

- Mala implantación
- Presencia de enfermedades

Es fundamental que el operario se capacite acerca del manejo correcto de toda la instrumentación, calibración y que además conozca la utilidad y necesidad que los datos cosechados y grabados tienen dado que a partir de ellos se diagnosticará la futura aplicación de insumos y que si no son precisos reflejarán una situación que no representa exactamente la realidad del lote.

Si todo lo anterior mencionado funciona correctamente y el procesamiento de los datos y elaboración del mapa se realizó con criterio obtendremos un mapa que refleja claramente la realidad.

La tarea siguiente es la más difícil y es la interpretación de la realidad y como aislar correctamente los factores separando las variaciones propias del lote de las inducidas por factores de manejo y es ahí donde el mapa será de utilidad para extraer conclusiones que puedan ayudar en la toma de decisiones de manejo. Por ejemplo: un rendimiento mayor en una parte del lote debido al cambio de híbrido de maíz, otra situación podría ser el notorio cambio de rendimiento fuera de un círculo de riego.

El mapa de rendimiento será de utilidad cuando refleja con precisión la variabilidad espacial del rendimiento y la persona que realizó el análisis puede aislar con datos reales todas las posibles influencias de manejo, a través de una planilla de cultivo que contenga los datos necesarios de cada zona del lote, como ayuda para comprender las variaciones de rendimiento.

Ejemplo: como se expuso en el inicio un mapa de rendimiento puede expresar variabilidad natural y variabilidad inducida por manejo, o bien la respuesta en el rendimiento de ensayos a campo correctamente programados.

-

Variabilidad natural: si el objetivo es utilizar el mapa de rendimiento de un cultivo para conocer los sitios de diferentes potenciales de rendimiento dentro de un lote que ya se supone presenta variabilidad topográfica, historia, estructuras anteriores o bien por la misma génesis del suelo. El mapa se debe programar la siembra y el manejo tratando de eliminar todos los factores componentes del rendimiento que el hombre puede alterar.

Ejemplo: sembrar igual cultivar, con la misma sembradora, igual profundidad, densidad, igual dosis de fertilizante, igual control de malezas, igual control de plagas y enfermedades e igual momento y cosechadora utilizada. Solo de esta manera podremos diferenciar sitios de rendimientos de potenciales diferentes, no más de 4 en un lote, para posteriormente, si las variaciones de rendimiento de un lote no menor a 60 has., resulta interesante continuar definiendo causas con análisis de suelo diferencial y luego proseguir si se justifica con un manejo por sitios o bien programando ensayos que clarifiquen la respuesta variable de uno o dos insumos prioritarios.

¿Cuándo se justificara proseguir con el manejo por sitio?

1- Cuando las diferencias de rendimiento son muy grandes, ejemplo cuando los sitios se diferencian más del 20% de la media del lote, cuando los sitios no más de

4 en el lote representan un área no menor a 10 ha. por lo que el lote a trabajar con VRT no es menor a 40 ha.

Si luego de realizar los análisis de suelo con muestras compuestas de los 4 sitios, indica que los pH o los nutrientes como el fósforo es la limitante, se podría paralelizar los sitios y cambiar el sentido de siembra siguiendo la paralelización aplicando los correctivos por franjas sin necesidad de utilizar instrumentos georreferenciados, planos digitalizados, manejadores y motores hidráulicos de paso variable en esta primera etapa, del manejo de insumos por sitio.

Variabilidad inducida por manejo: muchas veces al ver un mapa aparecen rayas de rendimiento inexplicables en forma longitudinal a la siembra y cosecha, en ese caso teniendo claro qué, cuándo y cómo se aplicaron los insumos, podemos encontrar la explicación y valorar un factor de manejo, como por ejemplo la mala elección de placa al haber cambiado de granulometría el mismo híbrido, o bien el cambio de calidad de operación de un control de malezas, el primer tanque de la pulverizadora con situación de alta humedad ambiente y sin viento y el segundo tanque con viento y baja humedad ambiente provocando un mal control de malezas y por ende una competencia del cultivo y caída del rendimiento, y así podríamos continuar con ejemplos que voluntaria o involuntariamente quedarán grabados para luego ser analizados y cuantificados, enriqueciendo los conocimientos de la incidencia de los factores de manejo sobre el rendimiento.

-

Ensayos a campo programados para ser evaluados con monitoreo de rendimiento satelital

En todo sistema de producción el productor y el técnico asesor poseen una serie de incógnitas sobre los factores de rendimiento que gravitan con mayor incidencia en el rendimiento; mediante una buena planificación podría utilizar la técnica del mapa de rendimiento para evaluar la respuesta agronómica y económica de la aplicación de los diferentes insumos.

Para encontrar respuestas útiles a la cuantificación de los factores de rendimiento se deben planificar al igual que un ensayo tradicional, modificando solo un factor por ensayo, tratando siempre de cruzar la variabilidad del suelo, topografía, o sea que todos los tratamientos tengan igual incidencia del bajo, media loma y loma y que el área cosechada de cada tratamiento supere los 2500 kg. de pesada por tratamiento durante la cosecha y en lo posible con no más de 2 entradas y salidas de cosechadora.

Si se busca mayor precisión, los tratamientos deberían tener 3 repeticiones.

Con el mapa de rendimientos podríamos no solo saber en promedio las diferencias entre tratamientos y las respuestas variables de ese factor en los sitios evaluados.

Luego de obtenido el mapa se podría evaluar cual variedad o híbrido, o la dosis de fertilizante, o el uso de sembradora neumática, o tratamiento de control de malezas, plagas o enfermedades, o el sistema de cosecha del cultivo anterior (cosechar con cabezal stripper en trigo), etc.

Con los datos físicos de incremento de rendimiento de cada factor evaluado en cada sitio, se podrá hacer un cálculo de ingreso neto, restando el incremento de

costo en los casos que exista, para luego extraer la mejor respuesta económica en cuanto a las diferencias económicas de cada tratamiento y para cada sitio.

Una metodología muy utilizada por los productores y empresas semilleras de EEUU para evaluar nuevos cultivos de soja o maíz consiste en utilizar una sembradora de 12 o 16 hileras para sembrar con dos cultivares dividiendo en dos mitades la sembradora, con ello se consiguen ensayos de franjas en una ida y vuelta de 12 o 16 hileras para luego cosecharlos con cabezales de 6 u 8 hileras respectivamente.

La mitad derecha con el cultivar A (*el mejor y más conocido en la zona*), y en la mitad izquierda el cultivar B (*uno nuevo y más promisorio de los ensayos de parcela para la zona*). Luego de cosechado con el mapa de rendimiento y utilizando un programa GIS se podrá confeccionar un mapa de diferencia de rendimiento por zonas del lote, extrayendo una gran cantidad de datos con mucha certeza en los resultados y mucha claridad de interpretación.

Esta metodología de dividir la sembradora en 2 tratamientos se puede realizar también con fertilizantes arrancadores y nitrógeno a la siembra y también para densidad de siembra de un mismo híbrido.

Retorno económico de la utilización de las herramientas de Agricultura de Precisión

Por ejemplo un productor que siembra 500 ha. anuales de maíz y desea conocer los 2 mejores híbridos para su campo, podría sembrar franjas con los 7 mejores híbridos de manera cruzada a la loma, media loma y bajo. Luego de evaluar el mapa elige los 2 mejores híbridos de comportamiento promedio, sembrando el 50% de su campo con el híbrido A y el 50% restante con el híbrido B, eligiendo el híbrido A de mejor comportamiento en el bajo para los mejores suelos y el híbrido B para los suelos de menor potencial. Ese solo aspecto de manejo le significa una mejora de 350 kg/ ha. de rendimiento que la alternativa tradicional de sembrar 500 ha. probando 7 híbridos.

$$500 \text{ ha} \times 3,5 \text{ qq/ha} = 1750 \text{ qq/ha}$$

$$1750 \text{ qq/ha} \times 6,6 \text{ \$/qq} = 11550 \text{ \$/ano}$$

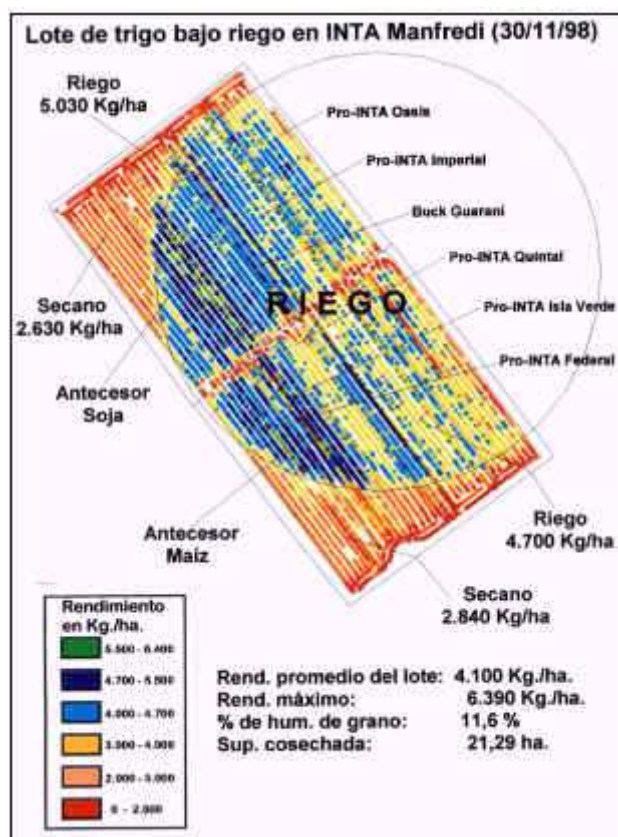
Valor que paga la inversión de un monitor GPS y programas para confeccionar mapas de rendimiento en solo un año.

COSECHANDO DATOS GEOPOSICIONADOS

Monitor de Rendimiento con DGPS

Mapa de rendimiento es la interpretación gráfica de una serie de datos geoposicionados de rendimiento y humedad de granos obtenidos mediante la utilización de una cosechadora equipada con monitores de rendimiento y un receptor DGPS.

Coinciden muchos investigadores de EEUU que la puerta de entrada a la Agricultura de Precisión es a través de los mapas de rendimiento. El mapa de rendimiento es la representación gráfica de datos geoposicionados de rendimiento y humedad de grano, obtenidos mediante una cosechadora equipada con un monitor de rendimiento y un receptor DGPS



Ejemplo de los datos obtenidos con el monitor de rendimiento donde se planificó la siembra

Cultivar de trigo	Antecesor Soja		Antecesor Maíz	
	Riego kg/ha	Secano Kg/ha	Riego Kg/ha	Secano Kg/ha
Pro- INTA Oasis	4.600	2.300	4.160	2.080
Pro- INTA Imperial	4.810	2.300	4.490	2.300
Buck Guaraní	4.810	2.080	5.030	2.300
Pro- INTA Quintal	5.030	2.190	4.600	2.730
Pro- INTA Isla Verde	6.240	2.520	5.470	2.950
Pro- INTA Federal	5.250	2.630	5.250	2.950
Promedio	5.030	2.530	4.700	2.840

Tipos de variabilidad reflejada por los mapas de rendimiento

Variabilidad Natural:

- Relieve/ Pendiente
- Climática
- Relación suelo-clima
- Propiedades físicas y químicas del suelo
- Infestación de malezas, insectos y enfermedades

Variabilidad Inducida:

1) Manejos anteriores:

- Apotrerramiento
- Rotaciones
- Prácticas anteriores

2) Manejo actual

- Cultivares
- Fechas de siembra
- Densidad
- Fertilización
- Herbicidas
- Labores
- Riesgos, etc.

El mapeo de rendimiento es realmente valorable cuando la información lograda permite que el productor tome mejores decisiones de manejo.

Para que los mapas de rendimiento puedan ser de utilidad concreta en el diagnóstico agronómico acertado, debe existir un profundo conocimiento de los alcances de la información georreferenciada y además de la cuantificación de la variabilidad del rendimiento de un cultivo que posee un lote, a partir de ello se pueden planificar ensayos en el gran cultivo que pueden ser analizados con alguna ventaja sobre los métodos tradicionales de evaluación:

- El mapa de rendimiento ofrece una vista en planta, similar a una imagen aérea.
- Permite la obtención de mayor cantidad de resultados (promedios totales, parciales, datos puntuales, etc.)
- Permite analizar factores de manejo con testigos apareados cruzando la variabilidad (relieve, fertilidad) con una cantidad de información desde 180 hasta 1500 datos por hectárea, de ambos tratamientos en forma cruzada con otros factores.
- Permite el análisis de factores de manejo no planteados, que se manifiesten espontáneamente al realizar el mapa y al retroceder en la información con la planilla del cultivo del lote, encontrar la posible causa de manejo y cuantificarla.
- Permite realizar seguimientos a través del tiempo.
- Posibilita realizar correlaciones con otras bases de datos georreferenciadas.