

La hectárea SRL
Dolores Soriano Uruguay
+589 543 3584
lahectarea@adinet.com.uy

Los monitores de rendimiento son sin duda una potente herramienta para la identificación de la variabilidad en los cultivos agrícolas. El cosechar con máquinas equipadas con monitor de rendimiento no es sinónimo de mapear el rendimiento. Para que los datos generados por los quipos sirvan para elaborar mapas de rendimiento confiables deben tenerse algunas consideraciones prácticas que son precisamente el objetivo de este trabajo

³ Ing. Agr., Consultora La Hectárea Asociados

⁴ Ing. Agr., Consultora La Hectárea Asociados

Introducción

Durante el proceso de cultivo no se ponen insumos y dinero para producir granos sino que también se generan datos. Estos datos una vez procesados, son un muy valioso producto en la medida que se use para la toma de decisiones adecuadas que aporten a mejorar el negocio agrícola. Las nuevas tecnologías como el los sistemas de posicionamiento Global y los ordenadores portátiles posibilitan generar datos que están asociados a puntos geográficos precisos y en un momento dado.

El rendimiento de los cultivos al igual que otros datos, no solo puede manejarse como un valor promedio de varias hectáreas si no como miles de valores de rendimiento de puntos vecinos.

Los monitores de rendimiento generan mapas que expresan la variación de rendimiento dentro del potrero. Esta sin duda es una herramienta fundamental para detectar los diferentes ambientes, es de destacar que un solo mapa no es suficiente y por lo general necesitamos por lo menos 4 mapas para que la información tenga confiabilidad. El estudio posterior de estos diferentes ambientes, permitirá en los, casos que se justifique, el manejo diferencial de los mismos.

En estos últimos años se están incorporado tecnologías de ultima generación para el manejo de la variabilidad de los cultivos y la agricultura de precisión, Ejemplo de esto son; monitores de rendimientos, banderilleros satelitales, corte automático de barras, pilotos automáticos para fumigación y siembra, y se esta en vías de proceso la incorporación de fumigación variable y siembra variable de semilla y fertilizante.

En respuesta a estas necesidades del mercado, La Hectárea SRL esta ejecutando un proyecto de generación y adaptación de las tecnologías de agricultura de precisión.

El proyecto de *"Aplicación de herramientas de Agricultura de Precisión y desarrollo de un sistema de información para mejorar la gestión de empresas agropecuarias"*, es una sociedad de La Hectárea SRL con una empresa de desarrollo de sistemas de Información Geográfica, y con cuatro productores de la zona. El proyecto se esta ejecutando con la participación activa del INIA. (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria.)

Desde el años 2000 se llevan cosechadas con monitores de rendimiento 45.000 ha de cultivos en secano y riego en la zona del Soriano. El área que se cosecha con monitores de rendimiento va aumentando año a año alcanzando las 13.000 Ha en la zafra 2007.

El cosechar con máquinas equipadas monitor de rendimiento no es sinónimo de mapear el rendimiento. Para que los datos generados por los quipos sirvan hay que elaborar mapas de rendimiento confiables se deben tenerse algunas consideraciones prácticas que son precisamente el objetivo de este trabajo

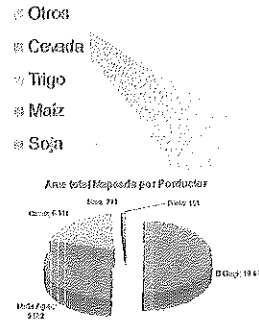
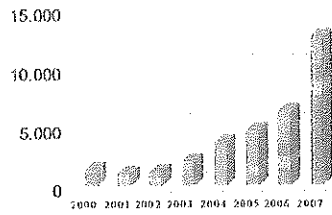
Los monitores utilizados son Case IH AFS, Ag Leader y GreenStar. En general dan buenos resultados, si bien se presentan algunos desafíos a mejora en cuanto a la calibración de los monitores y a los dispositivos de medición de Humedad de grano.

Se instalaron antenas tipo Garmin 18 y 36 sin señal correctora en equipos ya instalados y se logro un buen resultado.

Los problemas mas importantes fueron logística de cosecha, perdida de información por problemas de software, manejo de tarjetas, perdidas por desconexiones de sensores en plataforma, perdida de corriente en antena y sensores de humedad.

Mapas de rendimiento

Evolución del área Mapeada



Se Mapearon 45.000 Ha

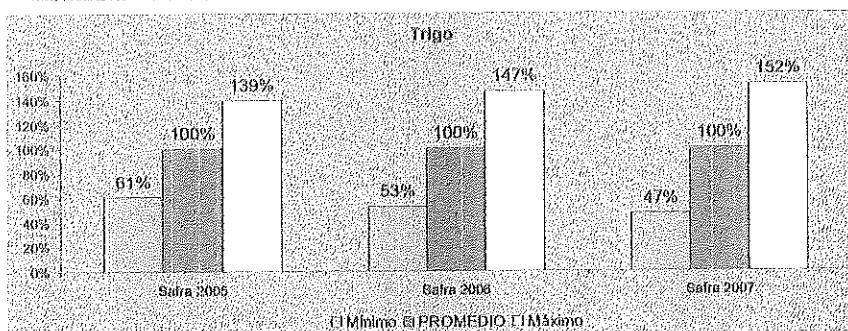
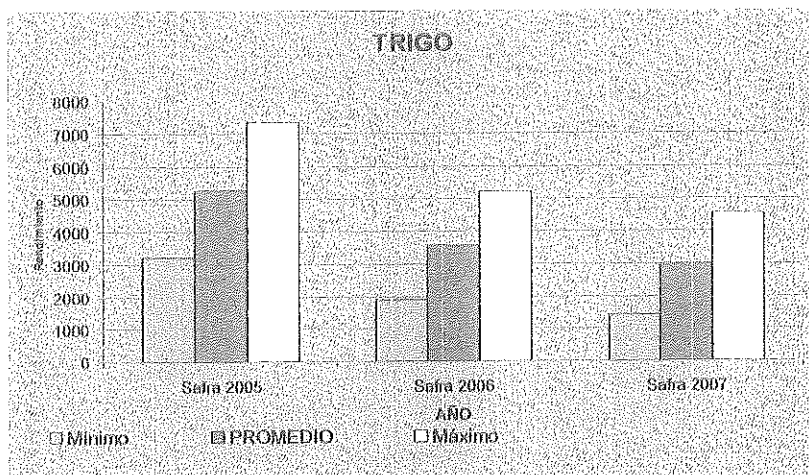
Se estan procesando con el GIS

Se analizaron los Mapas de rendimiento de 90 chacras Se mapearon 4126Ha (1678 Ha de invierno y 2447 Ha de verano).

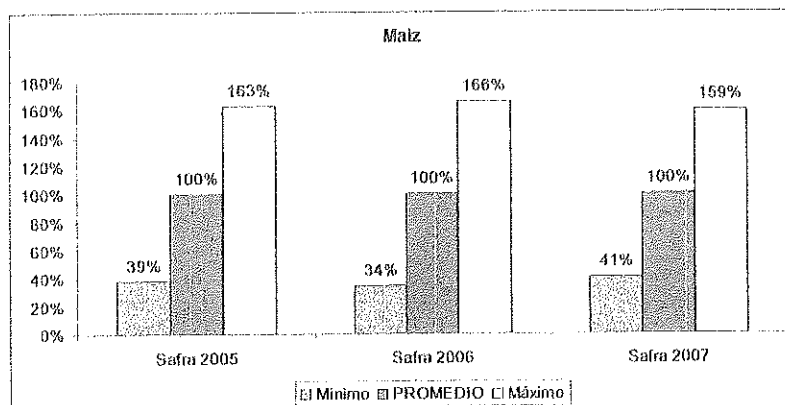
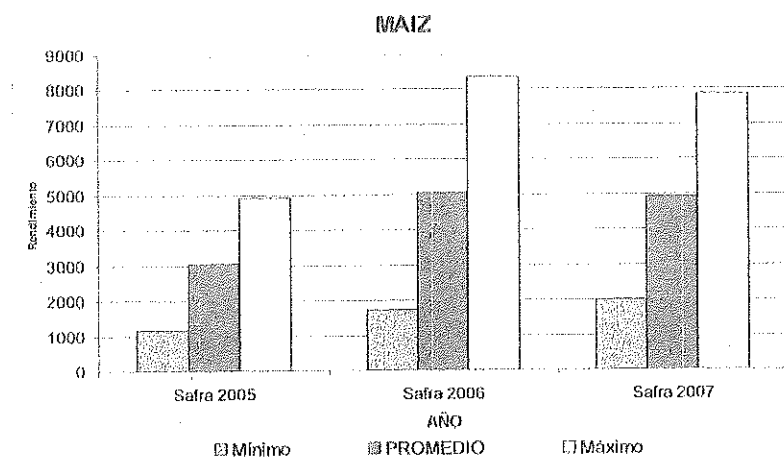
Año/safrá	Datos	Maiz	Soja	Trigo	Cevada	Avena
Ver_0506	Promedio de Min	1168	1477			
	Promedio de PROMEDIO	3030	2840			
	Promedio de Max	4932	4158			
Ver_0607	Promedio de Min	1743	1083			
	Promedio de PROMEDIO	5053	2866			
	Promedio de Max	8363	4783			
Ver_0708	Promedio de Min	2011	829			
	Promedio de PROMEDIO	4929	2392			
	Promedio de Max	7857	4018			
Inv_05	Promedio de Min			3215		
	Promedio de PROMEDIO			5285		
	Promedio de Max			7355		
Inv_06	Promedio de Min			1890	3120	220
	Promedio de PROMEDIO			3574	4940	1020
	Promedio de Max			5242	6760	1820
Inv_07	Promedio de Min			1419		
	Promedio de PROMEDIO			3005		
	Promedio de Max			4572		

Se observaron áreas importantes de las chacras con rendimientos de un 60% tanto por debajo como por encima del promedio del lote

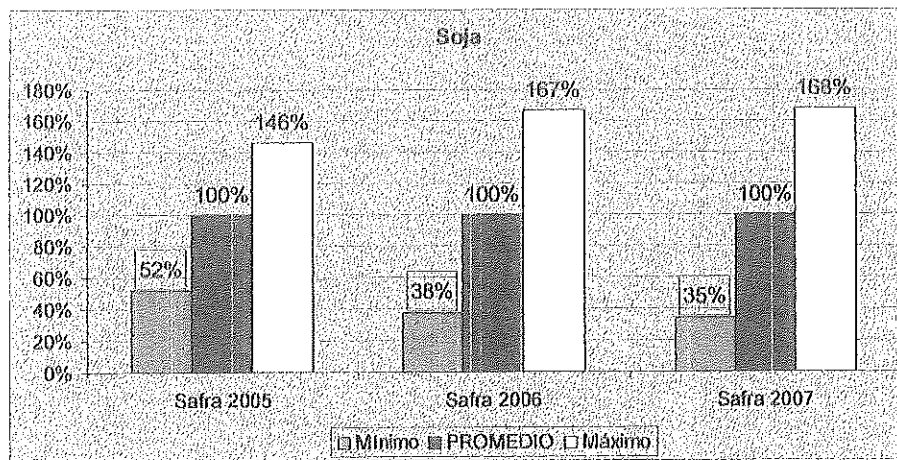
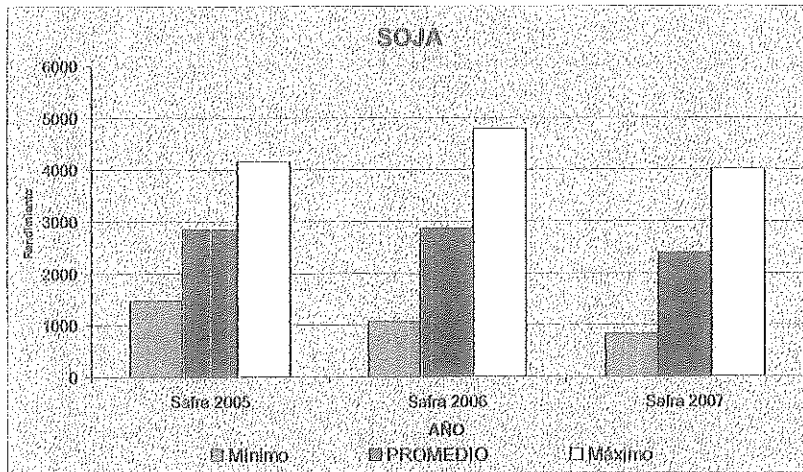
Variaciones observadas en rendimiento de Trigo



Variaciones observadas en rendimiento de Maiz



Variaciones observadas en rendimiento de Soja

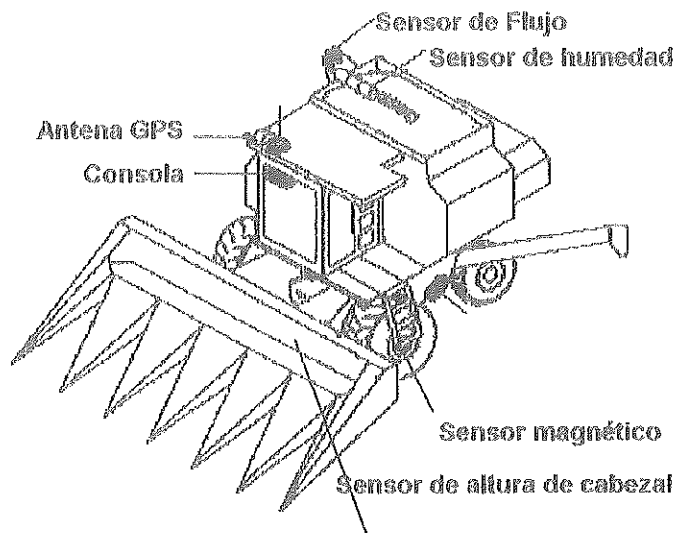


Funcionamiento y componentes de los monitores

Los monitores de rendimiento son una serie de dispositivos anexas a las cosechadoras con que determinan el rendimiento instantáneo puntual de los cultivos

Los monitores miden y graban los datos necesarios para el cálculo del rendimiento.

Dato necesario	Fuente del dato
Flujo de grano por unidad de tiempo.	Sensor de flujo de grano
Velocidad de avance de la cosechadora.	Sensor de velocidad de avance
Humedad del grano por unidad de tiempo	Sensor de humedad del grano
Ancho de corte del cabezal.	Dato cargado
Posición de trabajo del cabezal	Switch de posición del cabezal
Posición geográfica	Receptor GPS.



Estos de datos son recolectados y procesados y almacenados en tiempo real por un ordenador o consola del monitor de rendimiento. Elabora entonces un mapa que permite evaluar la variabilidad de rendimiento existente en el cultivo dentro el potrero

Los datos básicos de un mapa de rendimiento son

- Posición (coordenadas de latitud Longitud y altitud)
- Fecha y Hora
- Velocidad (Km/hora)
- Flujo de grano (Ton/hora)
- Humedad del Grano (%)
- Rendimiento en ese punto (Ton/Ha)

A partir de estos datos básicos también calculan otros parámetros como la productividad dirección de avance, estadísticas de rendimiento etc.

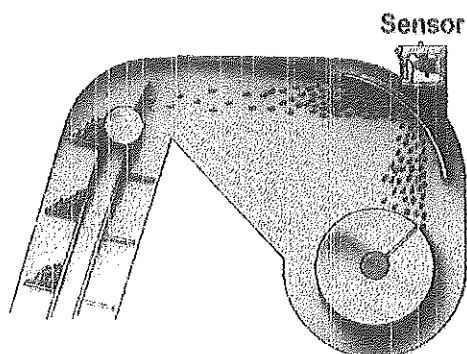
Sensores de masa o flujo de grano

Sensor de fuerza de impacto, AgLeader

Mide el flujo a través de una placa de impacto y una celda de carga que transforma la carga o fuerza en una señal eléctrica

Sensor de desplazamiento de placa, John Deere

Mide el flujo a través de una placa de impacto y un potenciómetro que transforma la carga o fuerza en resistencia variable de corriente eléctrica



Flow Control™ (Massey Ferguson)

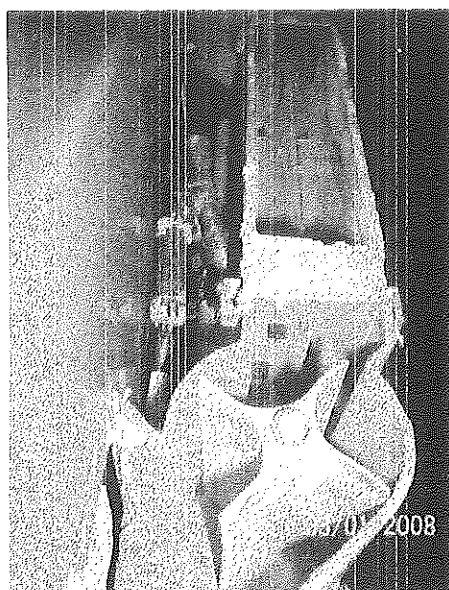
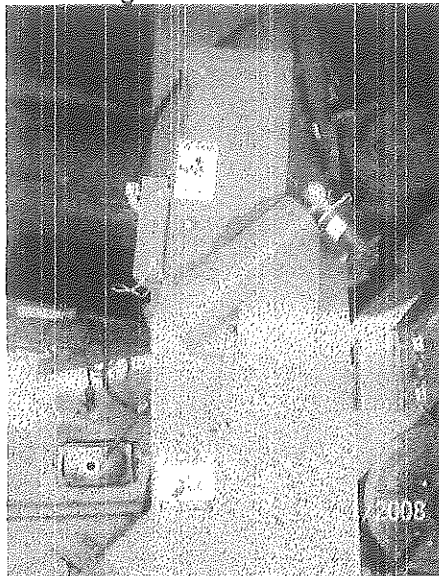
Mide el flujo de grano a través rayos Gamma, utiliza una fuente de radiación y una detector ubicado debajo de la cabeza de la noria

Micro- Traktr

Mide el flujo a través de la fuerza que aplica el grano al pasar a través de una horquilla (celda de carga sellada) instalada en la zona de descarga de la noria antes del sin fin de la tolva

Humedimetro

La humedad de l grano se estima por un sensor de capacitancia que mide las propiedades dieléctricas del grano que fluye o este estático (según el tipo de monitor) entre dos 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. Sobre este tema se han tenido problemas en el humedimetro con el sistema de descarga mostrado en la fotografía arriba y a la izquierda, lo cual con algunas modificaciones se han mejorado.



Velocímetro

La velocidad se mide a través sensores magnéticos que miden las vueltas de las ruedas delanteras de la cosechadora. Son exactos cuando existen condiciones de buen piso y la rueda no se entierra ni patina. Para contemplar estos efectos, se debe calibrar este sensor en condiciones similares a las de cosecha. También existe otro tipo de sensores de velocidad por radar de micro ondas.

GPS Antena

El GPS (Global Positioning System) es un sistema que permiten determinar las coordenadas geográficas de un punto dado como resultado de la recepción de señales provenientes de constelaciones de satélites artificiales de la Tierra

Un sistema de navegación basado en estaciones satelitales, puede proporcionar a los usuarios información sobre la posición y la hora en cualquier parte del mundo, las 24 horas del día y en todas las condiciones climatológicas.

La mayoría de las cosechadoras están equipadas con GPS cuya precisión varía horizontalmente entre 5 y 20 metros.

A un costo algo mayor es perfectamente factible usar GPSs con más precisión y errores menores a un metro, incluso cm.

Sensor de corte de plataforma

En parte móvil de la plataforma y la cosechadora va instalado un una llave eléctrica que determina si la plataforma esta en posición de trabajo o si esta levantada.

Este dato indica a la consola que la maquina no esta teniendo ingreso de granos a trilla y por lo tanto no volara flujo en ese momento.

Monitor o consola

La consola es una "computadora" especial que en términos generales, cuenta con una pantalla y algún mecanismo tipo botonera que le permite al operario ver y cargar información. La consola está conectada a todos los sensores que suministran la información para calcular el rendimiento de grano en tiempo real. Los datos generados y parte de la información que necesita para fusionar, son almacenados en dispositivos de memoria tipo tarjeta.

Algunos datos que deben ser cargados por el operario son; 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, etc.

Se debe cargar antes de cada cosecha:

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

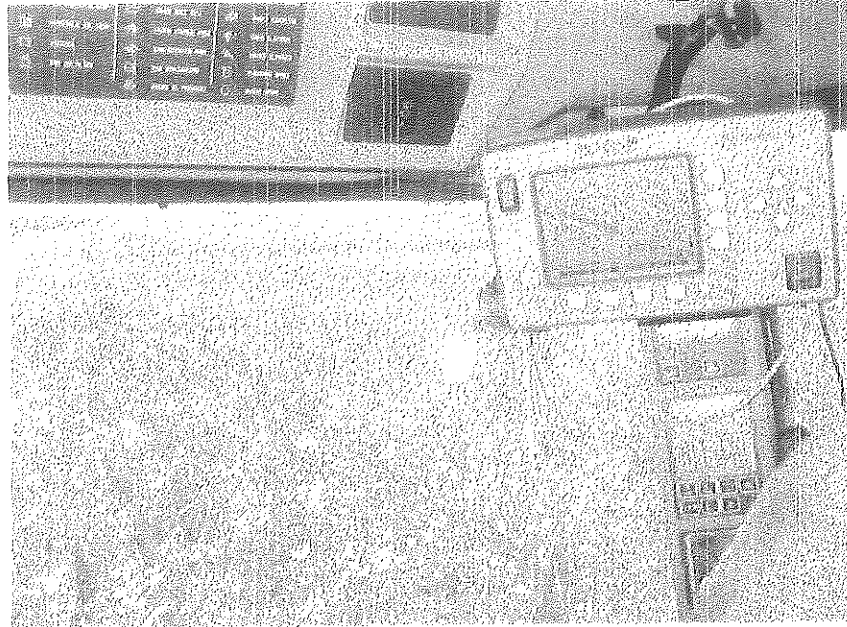
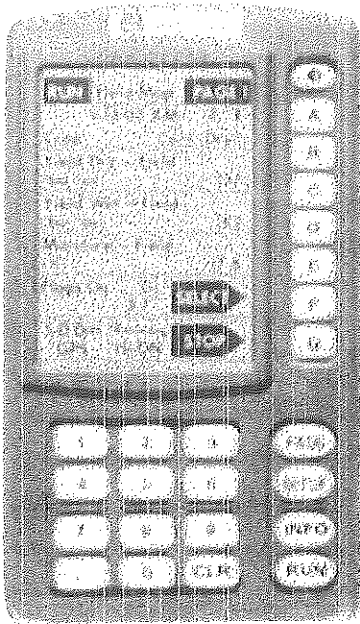
Información suministrada por el monitor:

En tiempo real se muestra en la pantalla:

- Rendimiento instantáneo (Ton/ha),
- Humedad de grano instantánea (%),
- Velocidad de avance (Km/h.),
- Flujo de grano (Ton/h.),
- Área cosechada y
- Calidad de recepción de la señal GPS.

Calcula y muestra en la pantalla y almacena: el rendimiento promedio y máximo, humedad promedio, superficie, distancia, toneladas de grano húmedo y seco, día y hora de cosecha para cada lote.

Si el monitor está recibiendo señal GPS a través de un receptor, se puede entonces confeccionar el mapa de rendimiento y humedad de grano. Y de todos los paramtros almacenados en la memoria



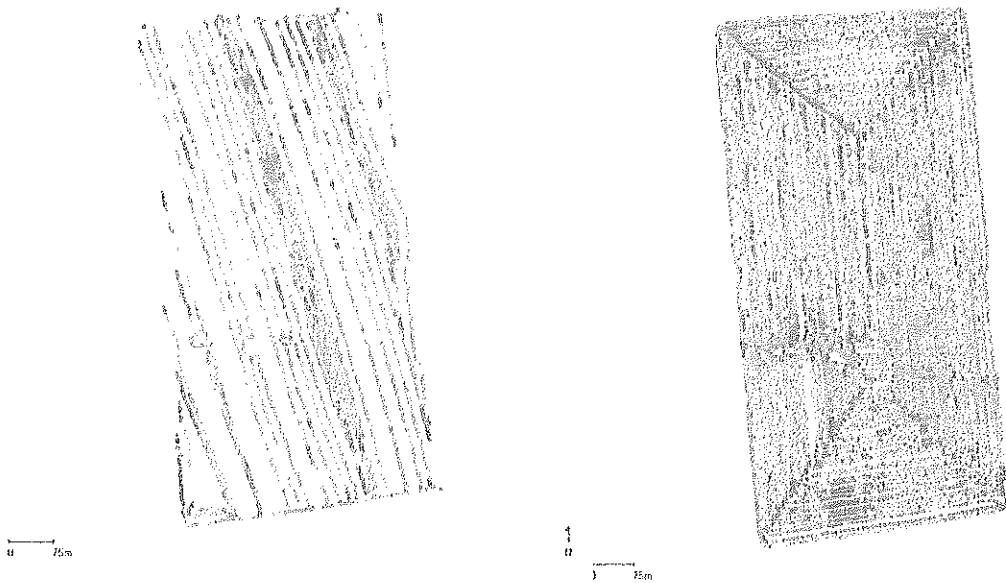
Consideraciones prácticas para la obtención de un buen mapa de rendimiento

Aspectos de Logística de cosecha

En términos generales y por las razones ya explicadas en cuanto al funcionamiento de los sensores del monitor, las condiciones ideales de trabajo del monito son aquellas que minimizan las variaciones del flujo de granos en la noria que no sean debidas a las variaciones naturales del cultivo cosechado.

La figura de la izquierda muestra el mapa de una cosecha de soja 2005-06. Fue realizada con dos maquinas, una de las cuales carecia de monitor de rendimientos. Si bien a primera vista parece deficiente, este mapa tiene pasos continuos con buena calidad de datos, los que la procesarse y luego interpolarse van a modelar bien la realidad la variación de rendimiento en el potrero.

El mapa de la derecha es el trigo 2006 del mismo potrero. A diferencias de la soja, este fue cosechado "en la vuelta", esto genera discontinuidades en la cosecha y maniobras con curvas cerradas que distorsionan las mediciones. Este tipo de mapas presentan distorsiones y requieren un mayor trabajo de limpieza y procesamiento previo a las interpolaciones.



El siguiente mapa es un ejemplo de una buena logística de cosecha, ida y vuelta, el operario también debe prestar atención cuando se desconecta algún sensor, tener mucha prolijidad en el ancho operativo, en el caso que le queden zonas donde no llega a completar el cabezal, apagar el mapeo o indicarle al monitor el cambio de ancho operativo. La otra recomendación práctica es no realizar cambios bruscos en la velocidad de cosecha. También el ser prolijo en cuidar las pérdidas de cosecha lo que me puede a ocasionar errores graves en el mapa.

Ejemplo potrero 1 Prieto.Zona de Dolores



Aspectos de funcionamiento del monitor y la cosechadora.

Calibraciones

Todos sensores que están involucrados en el monitor de rendimiento deben calibrarse adecuadamente. Una vez hecho este proceso al inicio de cada zafra o de cada grano cosechado, es conveniente hacer chequeos periódicos de recalibraciones.

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.

En general una maquina que esta fusionando adecuadamente, no genera demasiadas dificultades de manejo ni operación ya que con sus diferencias, los monitores están diseñados para ser muy fáciles de operar.

Calibración general previa a la cosecha

- Calibración de distancia y velocidad
- Calibración de temperatura
- Calibración por vibración de la cosechadora

Calibraciones durante la cosecha

- Calibración del sensor de altura del cabezal
- Calibración de humedad de grano
- Calibración del peso del grano

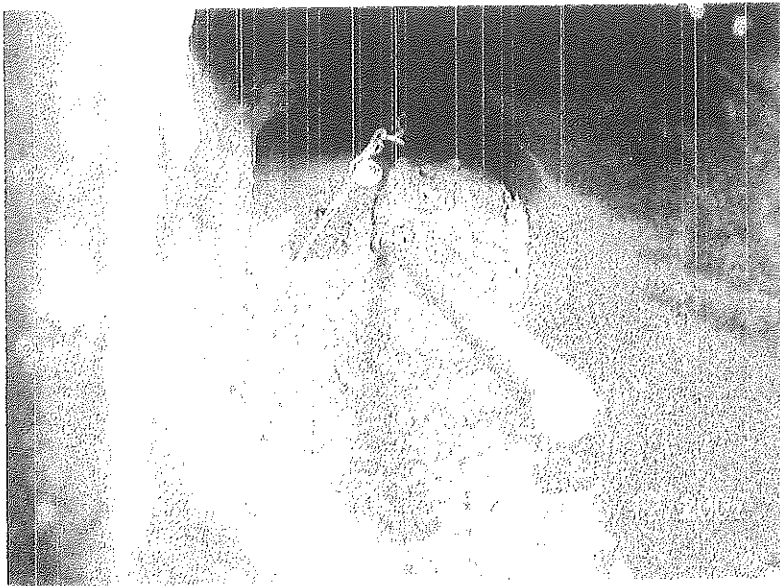
Plataforma llena

Durante la cosecha debe registrarse solo los pasos en que la cosechadora trabaja con todo su ancho operativo, Los monitores tiene un forma muy accesible al operador una llave que debe activarse cuando se agarran recorte s o situaciones en las que la maquina trabaja con la plataforma parcialmente ocupada.

Limpieza del sensor de Humedad y placas de impacto

Si buen el efecto de la acumulación de restos de grano e impurezas son contemplados al calibrar los sensores, estas pueden acumularse en cantidades que impidan el correcto funcionamiento.

En el caos de los sensores de humedad pueden incluso trancar el motor eléctrico de descarga generando que este se estropee o que queme un fusile eléctrico dispuesto en algunos monitores a tal fin. Y en definitiva no se recambia al amuestra de grano y la medición es defectuosa.



Control del correcto funcionamiento eléctrico y del control de la antena

La antena del GPS debe esta ubicad fuera de la cabina sonde no reciba interferencias de los componentes de la maquina, Debe colocarse los mas al centro de la maquina posible.

Esto implica que debe hacerse una conexión eléctrica para alimentar con corriente a la antena y que se traiga los cables de señal, generalmente son conexiones "Serial". Los cables y conexiones deben estar prolijamente instalados para evitar la perdida e señal de GPS, que es una causa frecuente de perdida de mapas de rendimiento

Procesamiento y depuración posterior de los Mapas.

Con los mapas de rendimiento se procura evaluar la variación generada en el rendimiento por factores mas o menos permanentes en del potrero como son, las variaciones naturales del suelo y topografía, o las inducidas por el manejo agrícola como la historia de la chacra, zonas compactadas, caminos etc. También un buen mapa de rendimiento es capas de mostrar variaciones inducidas por prácticas del manejo agrícola como son los defectos de siembra, de aplicación de fertilizantes o herbicidas,

Peor también hay otras fuentes de variación en los mapas de rendimiento. Estas son debidas ala funcionamiento en sí de los dispositivos de medición de los monitores, o de las cosechadoras.

El proceso de limpieza y depuración de los mapas procura asilar la variación generada por el propio funcionamiento del monitor o la cosechadora, por decirlo de algún modo la variación provocada por los aparatos de medición o errores.

La depuración de un mapa de rendimiento consiste le eliminar los puntos que se puedan identificar como. "errores" La forma de de identificar esto "out leyer" es filtrando los puntos que en que las mediciones que se generaron a velocidades de avance cambiantes, arranques y fin de pasada y situaciones donde la maquina tubo variaciones de flujo de grano.

Para esto hay varios criterios y algunos software que ayudan en la limpieza de mapas de rendimiento. Algunos de estas herramientas están en fase experimental y siempre requiere de un trabajo concienzudo de la persona que depura el mapa de rendimiento.

Criterios de depuración de Mapas de rendimientos.

1. Cabezal ascendente: Chequear en archivo original que exista una columna que indique si el cabezal está arriba o abajo. Es el da la columna "Cuenta de área", que indica activado-desactivado La bibliografía indica que en el caso de AgLeader es la columna 9, y se indican los valores con 1 correspondientes a cabezal bajo.**2.Velocidad cambia rápidamente:** Verificar si la velocidad cambia en una pasada y entre pasadas. La bibliografía indica que se compara el punto actual con el anterior y si varía más de un 15% se elimina el punto.

3. Comparación de velocidad de GPS y de rueda: Se sugiere que en tiradas de 100 m se comparen ambas magnitudes. **4. Descartar puntos cuando las velocidades son menores a 1,5 km/hora.** Este valor de velocidad debe poder ser cambiado por el usuario.**5. Descartar puntos cuando los flujos sean menores y/o mayores a unos valores límites** que deben poder ser establecidos por el usuario. **6. Se aplica el filtro de media +/- 3 desvíos estándar** y se eliminan los puntos fuera de ese rango. Se hace para todos los puntos del mapa a la vez y las variables sobre las que se aplica son: flujo de granos, humedad, velocidad. El usuario debe poder ingresar el número de desvíos estándar a considerar. En la bibliografía aparece la opción de dividir la chacra en celdas d 25 x25 m o de 50 x 50 y eliminar los puntos mayores y menores a los 3 Desvíos por bloque (esto se utiliza siempre en el análisis de ensayos).**7. Eliminar puntas de cabeceras**, que se indique por número de puntos (debe corresponder aprox. a 15 m)**8. Eliminar puntos superpuestos** (uno de ellos) y tiradas cortas de menos de 50 m.**9. Normalizar los datos** **10. Proratear los datos de rendimiento con dato de balanza para obtención de datos reales.**

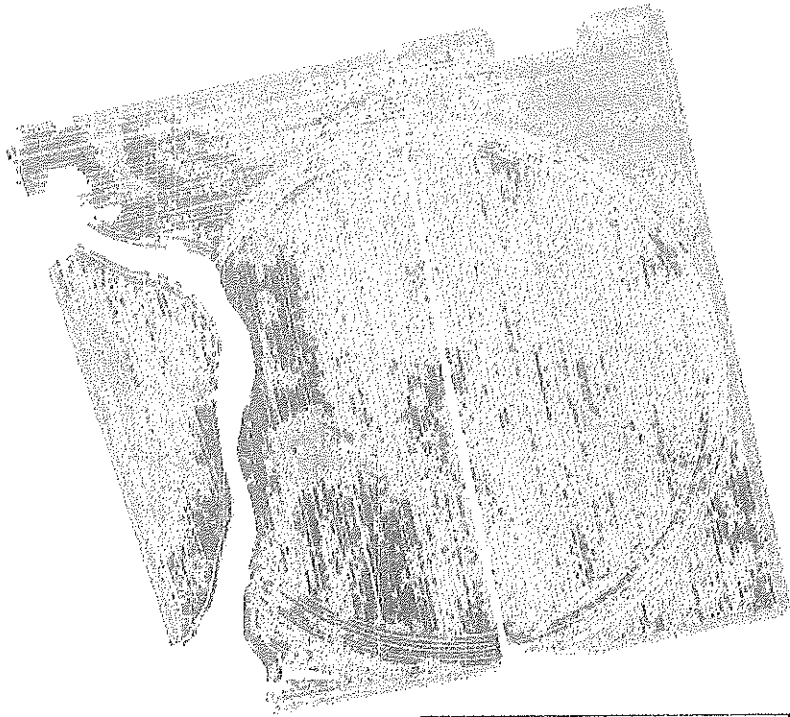
Utilidad práctica y uso de la información de los monitores de rendimiento.

Control de logística de cosecha.

Mediante los mapas de rendimiento se registra detalladamente algunos aspectos interesantes vinculados con el funcionamiento de la maquina y la producto cosechado. Los monitores arrojan directamente datos de: hora, Humedad, velocidad, productividad.

Procesando estos datos se puede estimar otra información como, pérdidas, cosechas a destiempo. Tiempos operativos etc.

Datos georeferenciados humedad de cosecha



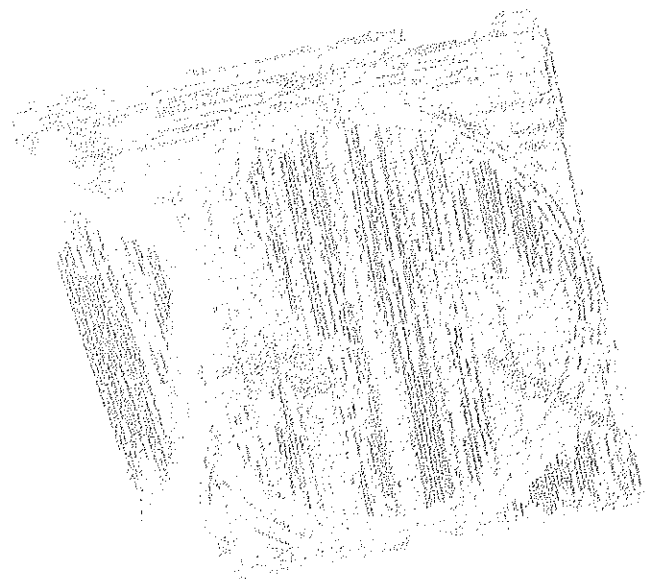
Humedad (%)	
16,10 - 20,00	(15,06 ha)
15,40 - 16,10	(23,38 ha)
14,70 - 15,40	(18,75 ha)
9,00 - 14,70	(9,02 ha)

Datos georeferenciados de fecha y hora de operación de la cosechadora



Fecha / Hora	
11/03/2008 - 12/03/2008	(9,52 ha)
10/03/2008 - 11/03/2008	(24,14 ha)
10/03/2009 - 10/03/2008	(32,54 ha)

Datos georeferenciados de productividad de la cosechadora



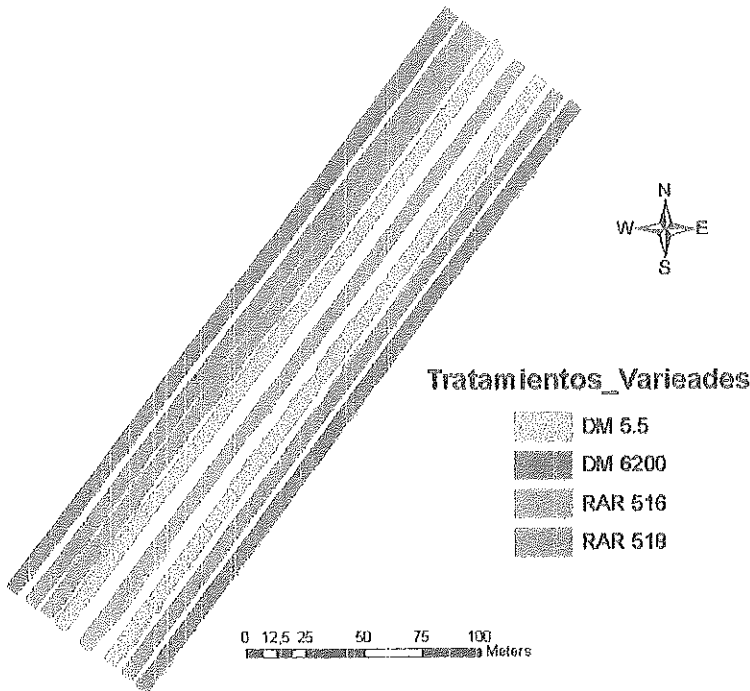
Productividad (ha/hr)	
4,56 - 5,85	(15,05 ha)
4,02 - 4,56	(19,18 ha)
3,49 - 4,02	(15,08 ha)
2,75 - 3,49	(11,60 ha)
0,03 - 2,75	(5,29 ha)

Realización de ensayos.

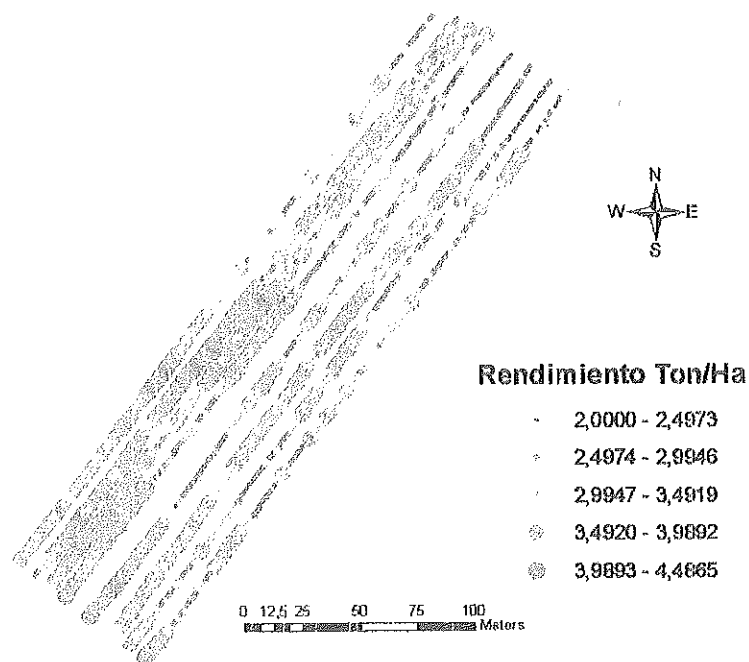
El poder medir la variación en le espacio del rendimiento de los cultivos posibilita el diseño de ensayos de en fajas obteniéndose un gran numero de observaciones.

A continuación se muestra un ejemplo en el que se sembraron cuatro variedades de Soja en dos repeticiones en franjas de 280 metros.

Mapas de Tratamientos



Mapas de rendimiento Procesado

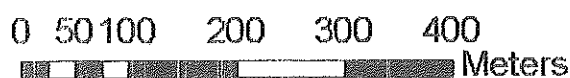
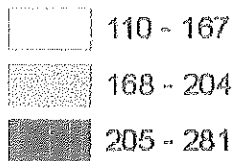


Recomendaciones practicas para la cosecha de ensayos, identificar cada carga por tratamiento, dejar uniforme la velocidad de cosecha a una velocidad baja, mantener el sentido de cosecha para todas las parcelas por lo menos una pasada por cada una, mantener en lo posible cabezal lleno, no cambiar ancho operativo, tener bien calibrado el equipo, pesar cada tratamiento para complementar información además debe cosecharse en rango de humedad razonables para el cultivo y en lo posible el mismo día.

Diagnostico para re fertilización. (Exportación de nutrientes).

Los sucesivos mapas de rendimiento de una rotación agrícola son la materia prima para el cálculo de la extracción de nutrientes. El siguiente ejemplo se presenta el mapa de extracción de Fósforo para una rotación Soja/Trigo/Soja/Trigo/Maíz/Soja para el potrero 1 de establecimiento Prieto, departamento de soriano. Este es un dato importante para decidir la aplicación variable de fertilizantes.

Extraccion de Fósforo (Kg/ha)



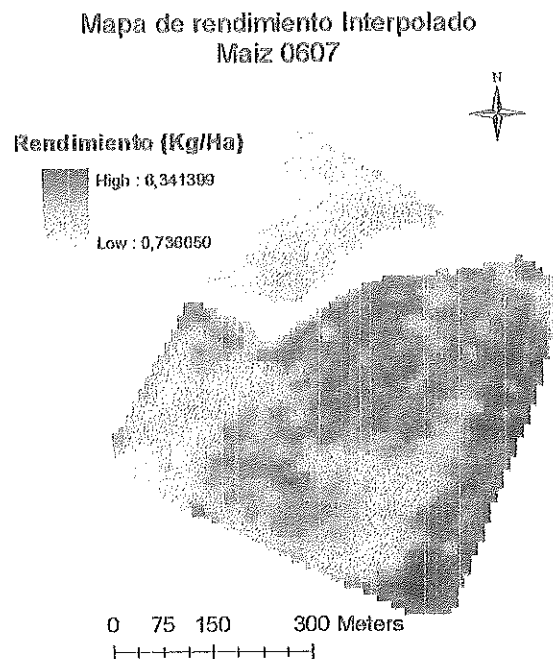
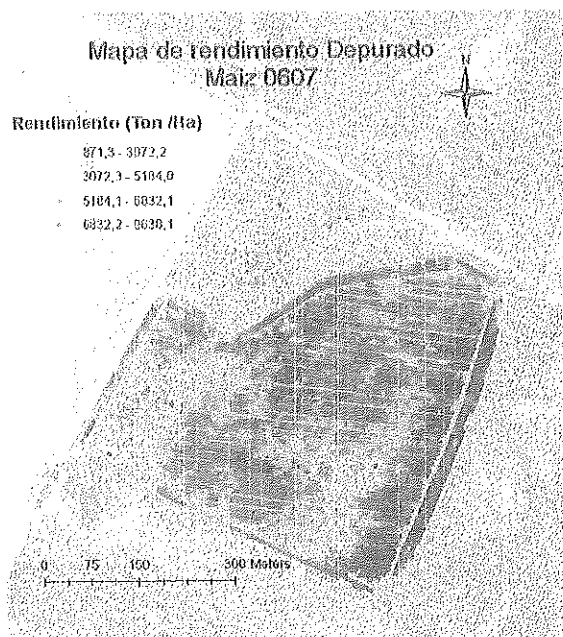
Determinación de Zonas de manejo.

La agricultura de precisión se basa en manejar diferencial mente lo ambientes que así lo ameriten. Estas zonas de manejo, varían todo el tiempo según la practica de manejo que estemos pensando o el cultivo e incluso las condiciones hidricas del suelo para ese año.

Como ya de dijo, los mapas de rendimiento son herramientas potentes para medir la variabilidad de los potreros, y son sin duda una herramienta muy potente para delimitar y clasificar las zonas de la chara según el comportamiento del rendimiento de los cultivos.

La cantidad y densidad de las mediciones es muy intensa y, a diferencia de otros análisis o muestreos, se obtiene una medición casi continua de toda el área.

Los mapas, no delimitan zonas de manejo en si mismo, sino que aportan elementos para identificarlas, Debe además estudiarse cada zona con otros métodos como de estudio de suelo topografía etc.



Consideraciones finales

- Los mapas de rendimientos son sin duda una herramienta de bajo costo para determinar la variabilidad de los ambientes de los cultivos. Proporcionan información medida directamente sobre los mismos con una altísima intensidad de muestreo.
- Hacer mapas de rendimiento no es solo equipar las cosechadoras con monitores sino que implica todo un manejo en si mismo, tanto antes , durante y después de las operaciones de cosecha
- Los mapas de rendimientos son buenas herramientas para el manejo variable en la medida que se acumulen mapas durante la rotación agrícola.
- Los mapas permiten gestionar una serie de información adicional mas haya del rendimiento, como son; tiempos operativos, velocidades, productividades de la maquina, humedad de grano y

una serie de datos útiles, para la gestión de la maquinaria, tanto para productores como para contratistas.

- A diferencia de otras herramientas de detección de la variabilidad de las chacras, los mapas de rendimiento están sujetos a los tiempos biológicos de los cultivos. Esto implica que para lograr una buena serie de datos lleva varias zafras, como mínimo un par de años cuatro cultivos. Es por esto que muchos productores adelantan camino y empezaron a mapear las cosechas logrado información contundente para el futuro análisis de la variabilidad espacial y temporal para posterior manejo diferencial.
- Es una herramienta de diagnostico de exportación de nutriente pudiéndoselo usar para refertilizaciones futuras.
- También ha demostrado ser una herramienta potente para la realización de ensayos macro parcelarios, pudiendo medir el efecto tratamiento en el total de la faja o analizarlos por ambientes diferentes dentro del mismo ensayo donde nos ha pasado que los promedios son iguales pero cuando se analizan por zona encuentra respuestas diferentes.

Bibliografía.

7º Curso de Agricultura de Precisión y Máquinas Precisas - INTA Manfredi 2007