

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA**

**Trabajo Final presentado para optar al Grado de Ingeniero
Agrónomo**

**Interpretación de mapas de rendimiento para la toma de
decisiones sobre uso y manejo de los suelos**

**César Mauricio Juan Ruzzi
DNI: 30.633.608**

**Director: Ing. Agr. MSc. Reynero, Miguel
Co-Director: Ing. Agr. Dr. Degioanni, Américo**

**Río Cuarto - Córdoba
Marzo / 2009**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA**

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final:

**Interpretación de mapas de rendimiento para la toma de
decisiones sobre uso y manejo de los suelos**

Autor: **Ruzzi, César Mauricio Juan.**

Director: **Ing. Agr. MSc. Reynero, Miguel**

Co-Director: **Ing. Agr. Dr. Degioanni, Américo**

**Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias de la Comisión
Evaluadora:**

Ing. Agr. Estela Brichi _____

Ing. Agr. Miguel Principi _____

Licenciado Jorge González _____

Fecha de Presentación: ____/____/____

Aprobado por la Secretaría Académica: ____/____/____

Secretario Académico

“La constancia obtiene las cosas más difíciles”

Benjamín Franklin

A la hermosa familia que Dios me regaló.
A la maravillosa persona que tengo a mi lado.

Gracias.

• **Índice**

Resumen	1
Summary	1
Introducción	2
Antecedentes	2
Objetivo general	4
Objetivos específicos	4
Materiales y Métodos	4
Área de estudio	4
Caracterización climática	5
Características fisiográficas	5
Mapas de rendimientos	5
Monitor de rendimiento	6
Sistematización de la información	7
Selección del lote	7
Descripción del lote de estudio	8
Fisiografía	8
Suelo	8
Evaluación de la confiabilidad de los mapas de rendimiento	10
Análisis de la confiabilidad del mapa de rendimiento	10
Exactitud de la ubicación geográfica de los datos de rendimiento	11
Precisión del rendimiento calculado por el monitor de rendimiento	12
Análisis de los mapas de rendimiento	12
Validación del mapa de similaridad	16
Resultados y discusión	18
Confiabilidad de los mapas de rendimiento	18
Precisión geográfica	19
Precisión del monitor de rendimiento en el cálculo del rendimiento y superficie del lote.	20
Correlación mapa de suelo – mapa de similaridad	20
Conclusión	22

Bibliografía	22
Anexos	25
Cuadro N° 1: Evaluación de confiabilidad del mapa de rendimiento.	25
Serie CANALS, Haplustol éntico, franca gruesa.	27
Serie Leguizamon, Haplustol údico, franca gruesa.	28
Serie Los Medanitos: Natralbol típico, franco grueso.	29
Serie Estancia Don Francisco: Argialbol típico; franca gruesa	30
Fotos Calicata Zona 1 — Unidad Cartográfica Cs	32
Fotos Calicata Zona 1 y 2 — Unidad Cartográfica Cs6	33
Fotos Calicata Zona 3 — Unidad Cartográfica Lmd4	33

Interpretación de mapas de rendimiento para la toma de decisiones sobre uso y manejo de los suelos.

- **Resumen**

En el presente estudio se buscó determinar la utilidad de los mapas de rendimiento como herramienta a la hora de diagnosticar las características de suelo que determinan variaciones en el rendimiento de los cultivos. Se trabajó con 126 mapas de rendimiento pertenecientes a 45 lotes del establecimiento Las Verbenas, que fueron analizados para determinar cuáles lotes contaban con mapas de rendimiento en condiciones de ser utilizados. Una vez seleccionado el lote de estudio, se confeccionó un mapa de similaridad utilizando un software específico, se delimitaron zonas homogéneas de rendimiento y se procedió a realizar el diagnóstico a campo, para cumplir con el objetivo planteado. Durante el análisis de los mapas se encontró el 80% con errores, que se descartaron. Los mapas de rendimiento del lote seleccionado, demostraron ser útiles para orientar el diagnóstico a campo. Por lo tanto, es necesario que durante la cosecha de datos, el monitor de rendimiento trabaje correctamente calibrado y sea bien operado por el usuario, para que los mapas de rendimiento constituyan una herramienta confiable.

Palabras Claves: Mapas de Rendimiento, Mapa de Similaridad, Monitor de Rendimiento.

Interpretation of yield maps for the taking of decisions on use and handling of the soil.

- **Summary**

In this study was attempted to determine the utility of the yield maps like tool when diagnosing the soil characteristics that determine variations in the yield of the crops. The work was carry out analyzing 126 yield maps belonging to 45 lots of the farm Las Verbenas, settling down which lots had yield maps under conditions of being used. Once selected the study lot, a similarity map was made using a specific software, homogeneous areas of yield were defined and then the diagnosis to field was carry out. During the analysis of the maps we found 80% with errors, that were rejected. The maps of yield of the selected lot, demonstrated to be useful to guide the diagnosis to field. Therefore, it is necessary that during the harvest of data, the yield monitor works correctly calibrated and well operated by the user, so that the yield maps constitute a reliable tool.

Key words: Maps of Yield, Map of Similarity, Monitor of Yield.

- **Introducción:**

La Agricultura de Precisión (AP) ha sido definida como la utilización de las nuevas tecnologías de la información y el conocimiento (TIC) para la toma de decisiones de manejo que resulten técnica, económica y ambientalmente adecuadas para la producción agrícola (Bragachini *et al.*, 2006). Con esta tecnología se retoman conceptos que datan desde los inicios de la agricultura, cuando el hombre con sus manos trabajaba pequeñas superficies de tierra de manera intensiva, conociendo específicamente cada área de su huerto y realizando entonces las labores necesarias localizadas, conformando así un manejo específico del sitio.

El Manejo de Sitio Específico (MSE) es la base teórica conceptual que determina una manera de cultivar la tierra. A través de los años, la ciencia ha generado nuevos conocimientos y los ha ido aplicando, lo que se conoce como tecnologías. En tal sentido, la Agricultura de Precisión es una técnica que retoma el concepto de MSE e incorpora los desarrollos logrados en informática, en maquinarias agrícolas y sistemas de posicionamiento global por satélite.

La tecnología de AP incluye la obtención de información a campo mediante la recolección de cosechas con equipos denominados monitores de rendimiento, preparados para generar mapas que contienen datos sobre la variabilidad espacial del rendimiento y que se llaman “mapas de rendimiento”.

En el presente estudio se trabaja sobre métodos para el ordenamiento, utilización e interpretación de los mapas de rendimiento, para que éstos sirvan como herramienta en la toma de decisiones de manejo.

Para su mejor interpretación, se describen los procesos relacionados a la función de los monitores de rendimiento, con mención somera de los aspectos mecánicos.

- **Antecedentes:**

El concepto de Agricultura de Precisión implica el uso de información acerca de la variabilidad de rendimiento presente en los lotes, a fin de delinear zonas y prácticas agronómicas adecuadas a las mismas. La base del sistema bajo este concepto reside en la caracterización temporal y espacial de los factores bióticos y abióticos relacionados con la productividad de los cultivos y la preservación de los recursos naturales (Roel y Plant, 2004).

De acuerdo con Plant (2001), existen tres criterios básicos que deben cumplirse para justificar la implementación de Agricultura de Precisión: A) la existencia de variabilidad espacial que influya la productividad de los cultivos; B) la identificación y cuantificación de las causas de la variabilidad de estos factores; y C) el conocimiento científico-agronómico que permita utilizar la información recolectada para el logro de un beneficio productivo, económico o ambiental.

Mulla y Schepers (1997) consideran que un sistema de Agricultura de Precisión exitoso es aquél en el que los factores limitantes para una óptima productividad y protección ambiental pueden ser identificados, caracterizados y manejados en las zonas y momentos apropiados.

De las citas anteriores se desprende que la idea central de la Agricultura de Precisión es identificar la variabilidad de los factores limitantes para luego diferenciar el manejo.

La variabilidad espacial de los suelos y cultivos en los lotes puede ser cuantificada o estimada a través de varias metodologías. Plant (2001) clasifica estos métodos de medición como: discretos (ej: muestreo de suelos y plantas en grillas), continuos (ej: monitores de rendimiento, sensores de conductividad eléctrica de suelos) y remotos (ej: imágenes satelitales).

Según algunos autores, los mapas de rendimientos son la mejor herramienta para la delimitación de zonas de manejo, ya que el rendimiento del cultivo sería el mejor indicador de productividad del suelo en las distintas áreas de un lote. Sin embargo, existen objeciones al uso exclusivo de esta información referida a la estabilidad temporal de las zonas de bajo y alto rendimiento, al tiempo necesario para generar un número de mapas que reduzcan la incertidumbre, y a la interacción que pueda existir con el tipo de cultivo o prácticas de manejo usadas por el productor. La persistencia temporal de los patrones de rendimiento en los lotes es fundamental para el establecimiento de zonas de manejo basadas en mapas de rendimientos. Independientemente de que los mapas de rendimiento se usen o no en la delimitación de las zonas de manejo, son la herramienta fundamental para chequear la bondad o eficiencia de las zonas de manejo creadas para detectar diferencias en productividad (Fraisie *et al.*, 2001).

La calidad de los mapas de rendimiento, medida como la confiabilidad o precisión de los datos en ellos representados, resulta muy importante para la implementación de estrategias efectivas y precisas de delimitación de zonas homogéneas de manejo (Hilbert *et al.*, 2002).

Argentina comenzó a introducir el concepto de AP a mediados del año 1995, a través del estudio de trabajos que comprendían el desarrollo de esta tecnología realizados en universidades de EE.UU. (Universidad de Iowa, Purdue y Nebraska), y por empresas proveedoras de insumos tecnológicos.

La tecnología de AP se introdujo en Argentina, al igual que en EE.UU., de la mano de los banderilleros satelitales y del monitoreo de rendimiento, particularmente a través de su producto más visible e impactante: los mapas de rendimiento. Estas dos tecnologías son las que responden a su aplicación mostrando beneficios económicos rápidamente (Bragachini y Martín., 2002).

Es de destacar la política del estado norteamericano que denota un gran interés por el desarrollo de esta tecnología, que se expresa en la promulgación de leyes que fomentan la investigación, el desarrollo y extensión en materia de Agricultura de Precisión (Ley Federal 105–85). También cuentan con políticas de financiamiento para productores que deseen adquirir esta tecnología (Morgan, M. y Ess, D., 1997).

- **Objetivo general:**

Evaluar la relación entre las variaciones en el rendimiento registradas en los mapas de rendimiento con las características de los suelos.

- **Objetivos específicos:**

A) Sistematizar la información provista por los mapas de rendimiento.

B) Validar la confiabilidad de los mapas de rendimiento.

C) Plantear las posibles causas de la variabilidad de rendimiento que muestran los mapas de rendimiento.

D) Obtener una metodología de análisis de mapas de rendimiento para ser utilizada rutinariamente.

- **Materiales y Métodos**

Área de Estudio.

El estudio se llevó a cabo en el establecimiento Las Verbenas ($33^{\circ}40'22.5''$ S; $63^{\circ}00'17.3''$ W), ubicado al sudoeste de la localidad de Canals, departamento Unión, provincia de Córdoba, distante 23 Km. al sur de la localidad de Canals, 9 Km. al oeste de Colonia Santa María y a 13 kilómetros al noreste de la localidad de Viamonte (Ver Figura N° 1).

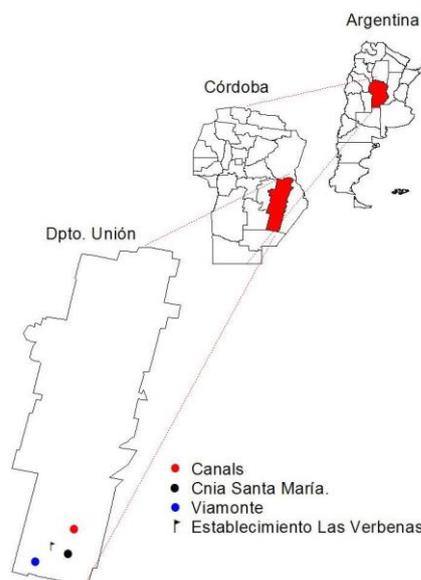


Figura N° 1: Ubicación geográfica del establecimiento.

El establecimiento cuenta con una superficie de 8.000 ha. Utilizando la información contenida en las Cartas de Suelos de la República Argentina, (Hoja 3363-28 Canals y Hoja 3363-33 Gral. Viamonte, INTA Plan mapa de suelos Córdoba, año 1986), describimos las condiciones climáticas, características fisiográficas y los suelos del establecimiento.

Caracterización climática.

El área bajo estudio posee clima templado pampeano sub-húmedo próximo a semi-árido. La lluvia presenta una distribución anual de régimen monzónico, al igual que en la mayoría de la provincia, concentrando 646mm desde el 21 de septiembre al 21 de marzo y 225mm desde el 21 de marzo al 21 de septiembre.

La distribución de las precipitaciones es una de las causas limitantes del potencial productivo de estos suelos, no así en cambio la cantidad, que presenta una media anual de 890mm. (Resch G. P., 2004).

Características Fisiográficas.

Las Verbenas se encuentra ubicada dentro de la región geomorfológica Pampa Arenosa Anegable (Zamora y Jarsum., 1984).

En esa región el relieve se presenta suavemente ondulado. Las características de los suelos tienen moderada retención de humedad y susceptibilidad a sufrir erosión eólica en las lomas, y afectación salina, alcalina e hidromorfismo asociado a los bajos.

El relieve del lote donde se desarrolla el estudio es altamente representativo de la región donde se encuentra, que se caracteriza por presentar lomadas suavemente onduladas y un porcentaje importante de lomas planas e intermedias con bajos asociados.

En el lote se presentan tres unidades de suelo, clasificados IIIsc y IVws, según la clasificación por capacidad de uso de los suelos del USDA (Departamento de Agricultura de Estados Unidos).

Para ubicar la zona de estudio y tener una visión global del establecimiento y su entorno, se utilizaron imágenes satelitales Landsat obtenidas del sitio público de CONAE. Las imágenes Landsat poseen una resolución de 30 x 30 metros por píxel, por lo que son adecuadas para realizar tareas exploratorias de este tipo.

Mapas de rendimiento

El establecimiento cuenta con un total de 126 mapas de rendimiento, los cuales fueron el material de estudio para realizar este trabajo. Fueron obtenidos en una o más campañas en 45 de los 58 lotes en que está dividida la superficie del campo.

Para leer los mapas de rendimiento se utilizó el software SMS™ (Software Mapping Solutions, Copyright© 2003 Ag Leader Technology), muy potente a la hora de ordenar

información y realizar consultas, ya que permite trabajar con todos los formatos de mapas de rendimiento existentes, editar y deshacer cambios, que son características muy importantes que no todos los programas tienen. Se eligió trabajar con este software porque actualmente es el más completo y sencillo de utilizar.

Monitor de rendimiento

A los efectos del presente estudio es necesaria una descripción de la composición y funcionamiento del monitor de rendimiento, uno de los elementos tecnológicos básicos que componen el concepto de Agricultura de Precisión. Esto permitirá comprender el proceso de recolección y síntesis de datos a partir de los cuales el sistema formula el producto geográfico que muestra la variabilidad del rendimiento en el lote.

El monitor de rendimiento (MR) es esencialmente una pequeña computadora montada sobre la cosechadora, que procesa y registra los datos de rendimiento a medida que avanza la tarea de recolección, almacenándolo en su memoria para su posterior análisis. Esta computadora está conectada a una serie de sensores, incorporados a la cosechadora, y a un receptor de sistema de posicionamiento global (GPS).

Los datos que procesa el MR para determinar el rendimiento son: 1) el flujo de granos por unidad de tiempo, 2) la humedad del grano, 3) la velocidad de avance de la cosechadora y 4) el ancho de trabajo. Con estos elementos el monitor calcula el rendimiento por unidad de área. A su vez, el MR ubica en el espacio el rendimiento calculado, adjudicando coordenadas geográficas a cada dato de rendimiento mediante la vinculación al receptor de GPS. La precisión o exactitud de estos datos le confieren calidad al mapa de rendimiento.

El flujo de grano es medido por un sensor ubicado en la noria de elevación a la tolva, constituido por una placa de impacto o por equipos de tecnología láser. La humedad del grano es determinada a través de un sensor ubicado también en el mismo lugar, cuya función es corregir por humedad y brindar el rendimiento en seco. La velocidad de avance de la cosechadora es medida mediante un sensor de avance ubicado en la rueda de la cosechadora y por último, el ancho de trabajo es el ancho del cabezal, expresado en metros (Bragachini *et al*, 2006).

Los principios de funcionamiento de estos componentes y el objetivo pretendido son comunes a todos los modelos de MR, aún cuando entre marcas y entre modelos de la misma marca pueden variar los sistemas de medición de flujo, de calibración o la forma y lugar de medir la humedad o la interfase con el operador de la consola.

En el mercado existen diferentes marcas y modelos de Monitores de Rendimiento: Ag Leader de CASE / New Holland, Green Star de John Deere, Field Star de AGCO Allis, entre otros. Recientemente, la empresa Ag Leader ha lanzado al mercado un nuevo monitor

(Ag Insight) que posee la característica de realizar el mapa en tiempo real, por lo que puede ser visto en la pantalla del monitor en la cabina de la máquina cosechadora, lo que permite al operador ir haciendo anotaciones de errores inducidos o correcciones sobre la marcha que luego facilitan el proceso de interpretación del mapa. (Bragachini *et al*, 2006).

Los mapas de rendimiento utilizados en este estudio fueron realizados con cosechadoras equipadas con monitores de rendimiento marca Ag Leader, modelo Yield Monitor 2000.

Para conocer en qué lugar del lote se ubica cada medición del rendimiento se emplea un receptor de GPS o Sistema de Posicionamiento Global, el cual brinda latitud, longitud y altura del sitio donde se encuentra. Consigue la precisión del dato geográfico mediante la corrección por señal diferencial de GPS (DGPS). El proceso DGPS permite corregir la señal de GPS para aumentar la precisión a +/- 30cm, la cual es suficiente para trabajar con el concepto de Agricultura de Precisión.

Los datos de posición se obtienen mediante un receptor de GPS instalado en la cosechadora, el que recibe datos del sistema de satélites que orbitan alrededor de la Tierra.

La señal de corrección proviene de una antena ubicada en tierra, la cual emite una frecuencia de radio con la posición exacta de la misma. Esta señal es receptada por el sistema a bordo de la cosechadora, el cual realiza la corrección de la ubicación geográfica en tiempo real.

Sistematización de la información

Al abrir los archivos que contienen los 126 mapas de rendimiento realizados por los monitores de rendimiento, se encontró que los mapas aparecían con varias limitaciones para utilizarlos como fuente de datos confiables. Entre estas limitaciones se encuentran estar incompletos, mal ubicados o mal referidos respecto al lote donde se cosechó, y en general desorganizados, por lo que fue necesario realizar una tarea previa de sistematización. El método utilizado para sistematizar la información fue el modelo de administración de datos que utiliza el software SMS. El método organiza los mapas de rendimiento en niveles, en una estructura de árbol con sus ramificaciones. Comienza a nivel de productor, continúa con el establecimiento, el lote, el año y llega por último al cultivo cosechado. El resultado es una base de datos ordenada muy simple de mantener y que permite un rápido acceso para realizar las consultas deseadas.

Selección del lote

La selección del lote a estudiar se basó en la calidad de los mapas de rendimiento disponibles, entendiéndose por calidad al grado de precisión con que el mapa de rendimiento representa los datos reales.

Los mapas de rendimiento son el material base y punto de partida del cual comienza el estudio del lote. Por tal motivo los mapas de rendimientos del lote que se estudie deben cumplir con dos requisitos básicos: deben ser precisos y confiables.

El lote finalmente seleccionado fue el Lote 33 Este (Ver ubicación en la Figura N°2). Este lote cuenta con 3 mapas de rendimiento con la suficiente calidad, necesaria para ser útiles a los objetivos de este trabajo.



Figura N° 2: Ubicación del lote en el plano del establecimiento

Descripción del lote en estudio

El lote 33E tiene 211 ha y se encuentra ubicado en el extremo sureste del establecimiento. Las prácticas de manejo de este lote están basadas en una rotación de maíz, soja, trigo-soja, soja, con uso de insumos aplicados en forma uniforme sobre toda la superficie del lote. Esto significa que no se realiza manejo variable de insumos, por lo que la variabilidad de rendimientos en el lote no puede ser atribuida a factores de manejo.

Fisiografía:

El lote presenta relieve con áreas suavemente cóncavas alternando con lomas de orientación predominante NNE–SSW, de pendientes cortas y con áreas suavemente deprimidas de drenaje moderado.

Suelos:

El lote presenta gran variabilidad edáfica, que se observa en la carta de suelos del INTA Colonia Santa María, 3363-34-1. En la Figura N° 3 se presenta una copia de la fotocarta correspondiente al sector bajo estudio. En este lote aparecen tres unidades cartográficas (UC) de suelos, conformadas por cuatro series distintas de suelos. Las UC

están identificadas en la fotocarta con los símbolos **Cs**, **Cs6** y **Lmd4**, y cuya descripción es la siguiente:

Cs –

Corresponde a una *serie pura*, que en este caso es la Serie CANALS. Ocupa las porciones más elevadas del terreno. El índice de productividad para esta serie es 43 y la clase por aptitud de uso es IIIsc.

Cs6 –

Corresponde al Complejo de series CANALS 60%; ESTANCIA DON FRANCISCO 20% y LEGUIZAMON 20%. Ocupa áreas intermedias con lomas suavemente onduladas. El índice de productividad para este complejo es 48 y la clase por aptitud de uso es IIIsc.

LMd4 –

Corresponde al Complejo de series LOS MEDANITOS 50%, ESTANCIA DON FRANCISCO 20%; CANALS 15% y LEGUIZAMON 15%. Ocupa áreas intermedias suavemente deprimidas. El índice de productividad para este complejo es 39 y la clase por aptitud de uso es IVwc.

Se observa que estas unidades cartográficas están conformadas por distintas proporciones de cuatro Series de suelos, definidas como unidades taxonómicas en función de propiedades específicas de cada una. La descripción de estas Series de suelos es la siguiente:

1) Serie CANALS: Haplustol éntico. Es un suelo que no presenta salinidad o alcalinidad, sin peligro de anegamiento, limitado sólo por su moderada retención de humedad. Datos analíticos en Anexo.

2) Serie LEGUIZAMON: Haplustol údico. Es un suelo más oscuro, mejor estructurado, menos profundo y con mejor retención hídrica que el anterior. Datos analíticos en Anexo.

3) Serie ESTANCIA DON FRANCISCO: Argialbol típico. Este suelo presenta algunas limitantes químicas, como sodicidad en profundidad. Datos analíticos en Anexo.

4) Serie LOS MEDANITOS: Natralbol típico. Este suelo presenta limitantes por fuerte alcalinidad sódica a partir de los 40 cm. No posee limitantes por anegamiento temporario. Presenta moteados. Datos analíticos en Anexo.

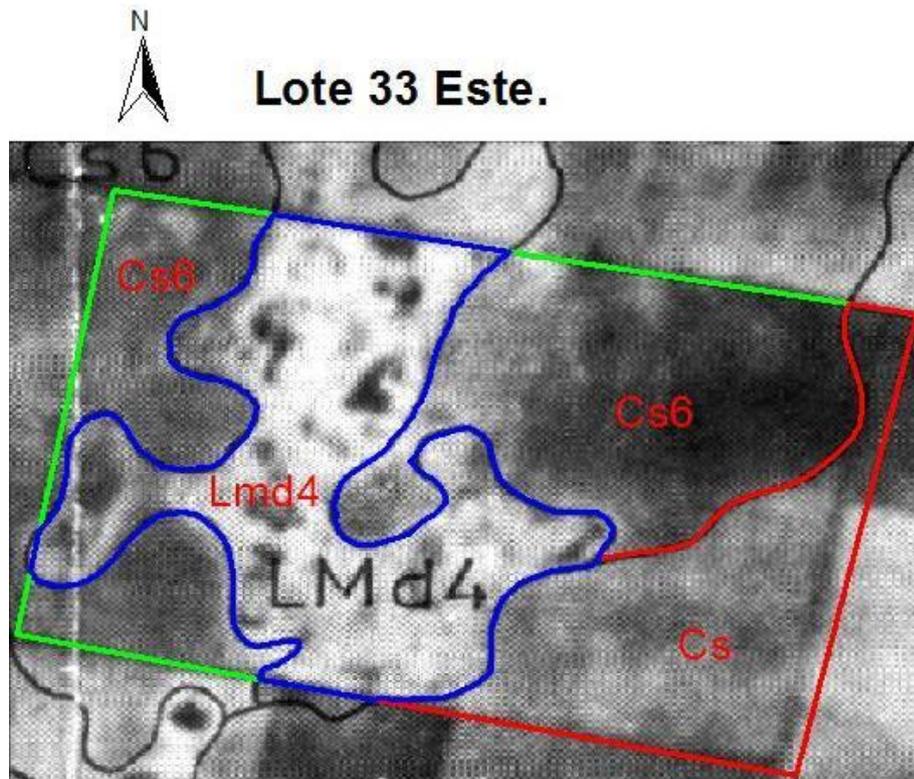


Figura N° 3: Localización de los tipos de suelo en el lote 33E.

Evaluación de la confiabilidad de los mapas de rendimiento

Al momento de este estudio el establecimiento contaba con 126 mapas de rendimiento obtenidos durante tres ciclos de cultivo en 45 lotes. Se analizaron todos los mapas de rendimiento (MR) para determinar con cuales MR podíamos trabajar y con cuales MR no podíamos trabajar. De los 126 MR fueron descartados 96 (76,2%) porque presentaban uno o más errores (Ver Tabla N°1). Los 96 mapas desechados cubren 36 lotes del total de 45 lotes. Las causas de rechazo de estos 96 mapas son variadas.

Análisis de la confiabilidad del mapa de rendimiento

La calidad de los mapas de rendimiento, medida como la confiabilidad o precisión de los datos en ellos representados, resulta muy importante para la implementación de estrategias efectivas y precisas de delimitación de zonas homogéneas de manejo. Por tal motivo se determinó la calidad del mapa de rendimiento a través de la confiabilidad evaluada en dos aspectos:

- 1) Exactitud de la ubicación geográfica de los datos de rendimiento
- 2) Precisión del rendimiento calculado por el monitor de rendimiento.

1) Exactitud de la ubicación geográfica de los datos de rendimiento

La precisión de la ubicación geográfica indicada por el monitor de rendimiento fue evaluada a campo, constatando si las coordenadas geográficas de sitios claramente identificados en el MR –p.ej. los esquineros– coincidían o no con las observadas en el lote. Los esquineros fueron tomados como puntos de referencia real para evaluar la precisión del mapa construido con los datos relevados por el GPS de la cosechadora.

Los esquineros de un lote ocupan el punto de intersección de dos líneas del alambrado que lo delimita, generalmente en ángulo recto. El mapa de rendimiento no marca exactamente ese punto, ya que en las esquinas del lote las cosechadoras giran en curva, manteniéndose a corta distancia del punto de unión de los alambrados, lo que puede observarse en la Figura N° 4. El sitio que corresponde al esquinero se obtiene entonces dibujando en el MR líneas rectas sobre los recorridos de la cosechadora más cercanos a los alambrados. Se extienden esas líneas hasta interceptarse (Figura N° 5) y se asume que el punto de intersección de esas líneas sobre el MR es el sitio donde está ubicado el esquinero del lote. Se registran entonces las coordenadas que indica el MR y se las compara con las coordenadas observadas en el campo sobre el esquinero real. Debe tenerse en cuenta que la marcha de la cosechadora es paralela al alambrado, a distancias variables de 0,50 m a 1,00 m, pudiendo ser hasta 3,00 m si hay una calle interna entre el cultivo y el alambrado.

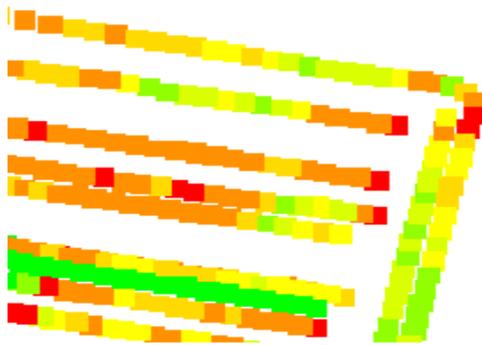


Figura N° 4: esquina de lote.

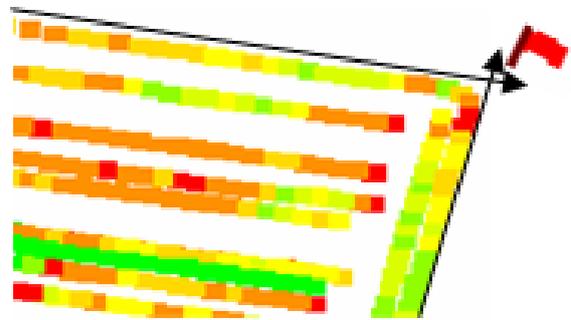


Figura N° 5: esquina de lote, la bandera indica el punto de GPS.

Se aplicó una segunda validación de la exactitud de las posiciones registradas en el MR tomando la distancia entre los esquineros y los sitios escogidos dentro del lote para estudio del suelo. Esta distancia fue luego medida en el campo como reaseguro del control realizado sobre los esquineros como principales referentes geográficos.

Para la tarea de campo se utilizó un receptor de GPS marca Garmin modelo e-Trex Venture, sin corrección diferencial, calibrado y configurado con los mismos parámetros del equipo GPS de la cosechadora que realizó el mapa de rendimiento del lote 33E: sistema de referencia datum WGS84 y coordenadas geográficas con Latitud-Longitud en grados

decimales. En el campo este receptor de GPS mantuvo una precisión en la navegación de 4 a 6 metros.

2) Precisión del rendimiento calculado por el monitor de rendimiento

La evaluación de este aspecto consistió en comparar el rendimiento calculado por la cosechadora en un lote versus el peso real de la producción de granos de ese lote. La producción del lote se pesa sobre camiones en una báscula habilitada para tal fin, ubicada en el mismo establecimiento. La confiabilidad del rendimiento determinado por el monitor se expresa como porcentaje, el que se calcula restando el peso registrado por el monitor del peso registrado en la báscula; al resultado se lo divide por el peso de báscula y luego se lo multiplica por 100 para llevarlo a porcentaje. Para validar el método adoptado se utilizaron 23 MR de los 9 lotes que, sobre un total de 45, mostraron en sus MR solamente el error de subdivisión.

También se evaluó la confiabilidad del dato de superficie cosechada registrado por el monitor de rendimiento, para lo cual se procedió a restar de la superficie real del lote la superficie calculada por el monitor. A la diferencia se la dividió por la superficie real y al resultado se lo expresó en porcentaje. Este procedimiento se realizó sobre los mismos 23 mapas de rendimiento evaluados en el paso anterior.

Análisis de los mapas de rendimiento

El análisis se desenvuelve en una serie de cuatro pasos para obtener **mapas de similitud**, a partir de transformar los datos de los MR en valores comparables y definir zonas de rendimiento homogéneo.

Un mapa de similitud representa las relaciones espaciales existentes en un conjunto complejo de datos cartográficos (Berry 2003), como lo son en este caso los tres mapas de rendimiento bajo análisis, correspondientes a dos cultivos –soja y trigo– y a tres ciclos agrícolas consecutivos. Las diferentes capas en las que se representan estos índices pueden ser ponderadas para reflejar la importancia relativa en el proceso general de determinación de la similitud, dando lugar a modelos más o menos complejos. Ha quedado demostrado que los mapas o índices de similitud pueden ser una herramienta de incalculable valor al tratar de averiguar las relaciones existentes entre objetos de estudio que son disímiles pero sobre los que pueden actuar variables comunes. Mediante la capacidad de cálculo y modelación de las computadoras actuales es posible crear índices de similitud entre gran número de objetos como variables de entrada –como mapas de suelos–, en tanto que el ser humano no puede conceptualizar más de tres variables a la vez, como configuración cúbica (Berry, 2003).

En este trabajo el primer paso (1) consistió en normalizar los tres mapas de rendimiento del lote seleccionado. Este es un proceso de reasignación de los valores de un conjunto de datos a una escala fija o común. En este caso se utilizó una escala porcentual de 0 a 100%.

La normalización de conjuntos de datos permite comparar resultados a través de distintos rangos de valores, como cuando se intenta comparar el rendimiento de maíz y de soja de un lote para distintos años. De esta manera, los mapas de diferentes años con distinto rendimiento promedio y distintos cultivos son presentados con valores comparables. (Bongiovanni et al, 2006).

En el proceso de normalización, los datos se llevaron a una escala de 0 a 100 (0 = menor rendimiento, 100 = mayor rendimiento) aplicando la siguiente fórmula:

$$((\text{Valor} - \text{Mín.}) / (\text{Máx.} - \text{Mín.})) \times 100 = \text{Resultado normalizado}$$

Valor: corresponde al valor de cada dato de rendimiento a normalizar.

Mín: dato de menor rendimiento presente en la masa de datos que se está normalizando.

Max: dato de mayor rendimiento presente en la masa de datos que se está normalizando.

El paso siguiente (2) consistió en rasterizar los mapas de rendimiento normalizados en el paso anterior. El formato raster representa imágenes gráficas como una matriz de celdas –que se denominan píxeles- que contienen información de un atributo. Los archivos raster pueden ser obtenidos de mapas escaneados, de fotografías aéreas o de imágenes de satélite. En este caso el archivo raster es el MR mismo, en el que cada celda representa una porción del lote cosechado y tiene incorporados los datos de rendimiento. Este tipo de formato permite un acceso rápido a los datos contenidos en cada celda, lo que facilita tareas tales como seleccionar datos o ejecutar consultas, y también incorporar estas imágenes a los sistemas de información geográfica (SIG). El resultado de este paso aplicado a los MR del lote 33E se presenta en las Figuras N° 6, 7 y 8 que corresponden a estos cultivos:

- 1.- (Figura N° 6) Trigo 2005, Mapa de rendimiento normalizado.
- 2.- (Figura N° 7) Soja 2005, Mapa de rendimiento normalizado.
- 3.- (Figura N° 8) Soja 2006, Mapa de rendimiento normalizado.

El tercer paso (3) consistió en ejecutar la interpolación espacial de datos, operación necesaria para evitar que el MR contenga celdas sin valores. Este proceso consiste en adjudicar valores a esas celdas ubicadas entre puntos de datos conocidos. Existen numerosos y distintos métodos de interpolación, siendo los más utilizados los métodos de Distancia Inversa Ponderada (IWD) y de Kriging. En este trabajo se utilizó el método IWD por ser el método más difundido, utilizando un algoritmo matemático que promedia los valores de las celdas locales y toma en cuenta la distancia de las celdas vecinas. Mientras más alejados estén los datos de muestra de una ubicación, tales datos tendrán menos influencia sobre el cálculo de un valor en ella. La distancia inversa ponderada es de gran utilidad para conjuntos

de datos densos tales como datos de rendimiento, debido a la rapidez de procesamiento de datos y debido a que existen grandes cantidades de datos espaciados consistentemente.

El cuarto paso (4) consiste en realizar la superposición digital de los mapas normalizados, aplicando el concepto de capas (*layers*) de los sistemas de información geográfica (SIG). El producto que se obtiene al realizar este paso es un mapa de similitud, que es un mapa de síntesis en el que se definen unidades homogéneas de similar rendimiento, separando claramente las zonas de distinto rendimiento (Figura N° 9).

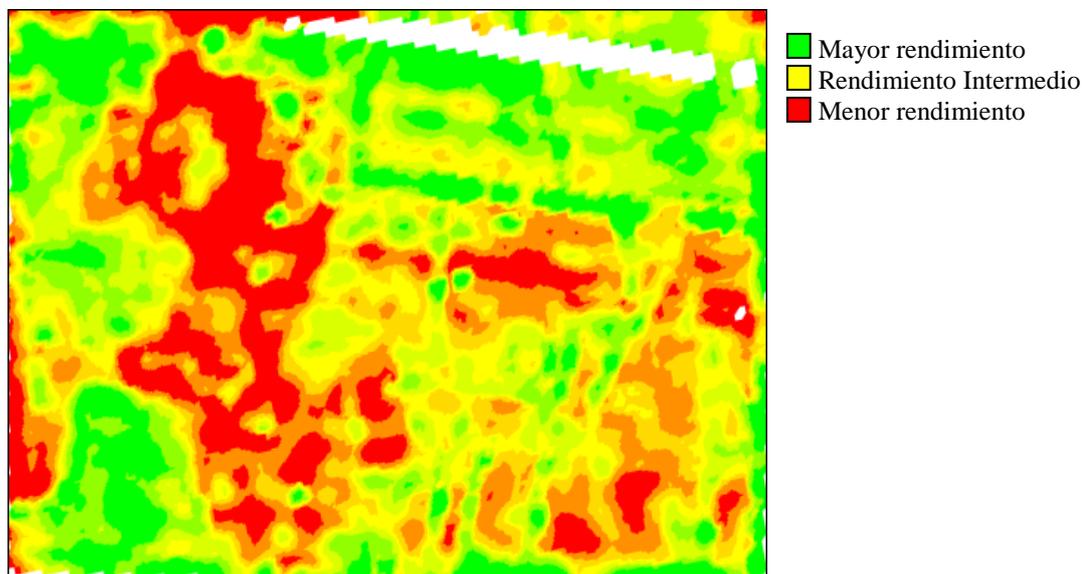


Figura N°6: Mapa de rendimiento trigo año 2005.

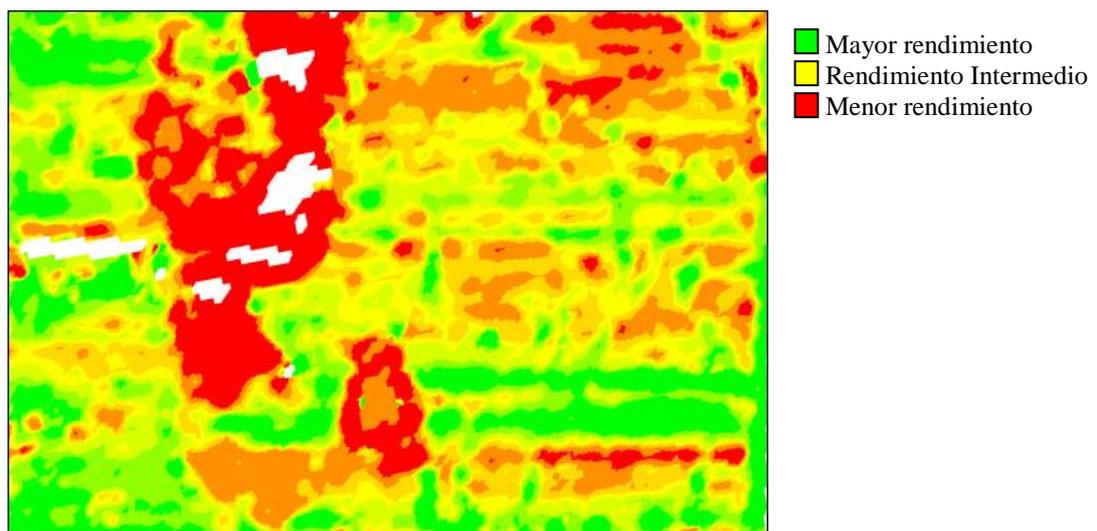


Figura N° 7: Mapa de rendimiento soja año 2005.

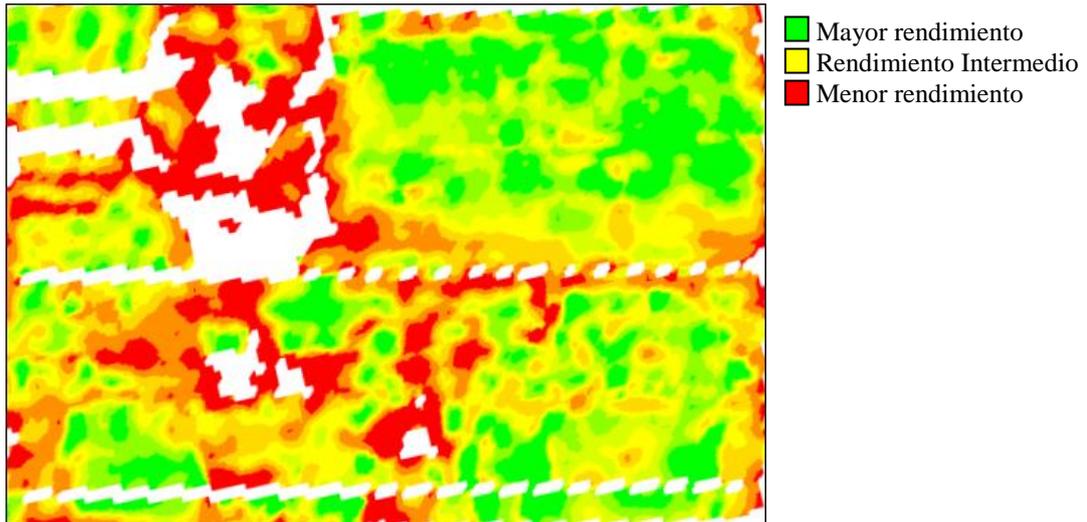


Figura N° 8: Mapa de rendimiento soja año 2006.

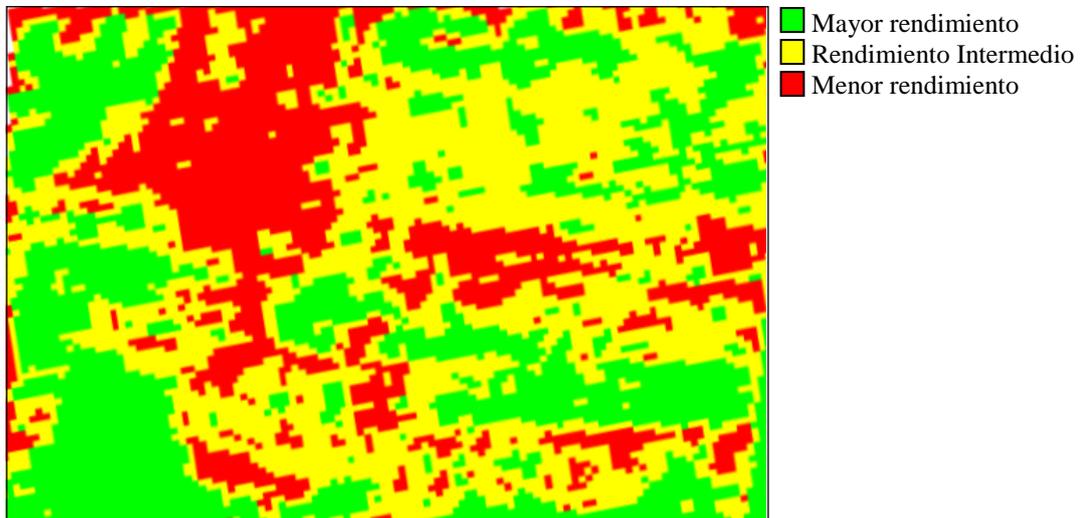


Figura N° 9: Mapa de similaridad

Además se superpuso el mapa de suelos presentado en la Figura 3 al mapa de similaridad (Figura 9), obteniéndose como resultado la Figura 10, en la que se ilustra gráficamente el rendimiento relacionado a las unidades cartográficas de suelo, y permite interpretar su variabilidad en el espacio. La variabilidad es identificada por colores que representan rangos de datos numéricos, los cuales se expresan en el mapa. Una vez realizada esta superposición de datos, es posible avanzar en la validación del mapa de similaridad.

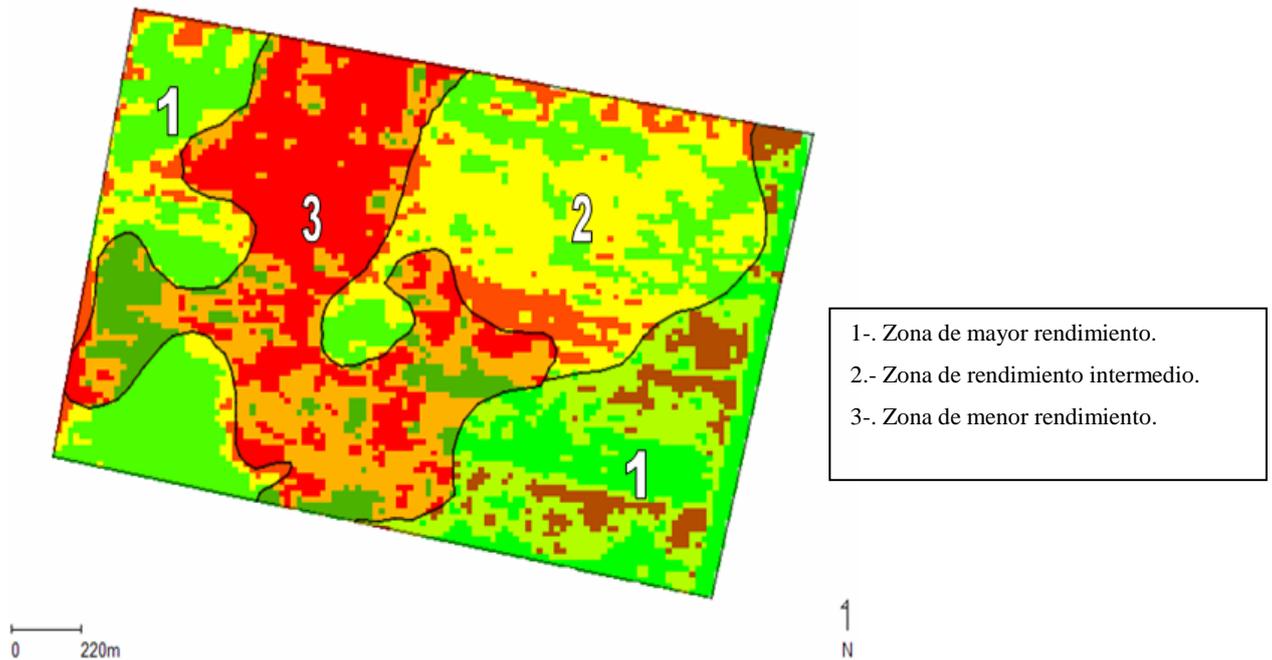


Figura N° 10: zonas de rendimiento homogéneo

Validación del mapa de similaridad

A fin de explicar las diferencias entre las zonas de rendimiento se correlacionó el mapa de similaridad con el mapa de suelos 1:50.000 (Figuras N° 3 y 10). Con la información de la carta de suelos se trató de indicar qué suelos corresponden a cada zona de rendimiento. Con ese fin se correlacionó la clase por aptitud o índice de productividad del suelo con el grado de respuesta en producción de la zona de rendimiento homogéneo considerada. Se trabajó con la premisa que los mejores suelos estarían en las zonas de mayor rendimiento.

Para validar a campo lo anteriormente postulado, sobre el mapa de similaridad se seleccionaron tres sitios en cada una de las zonas homogéneas de rendimiento, se tomó nota del tipo de suelo que se esperaba encontrar en el terreno, se registraron las coordenadas geográficas de cada sitio y se cargó el GPS con esos datos. Luego en el campo se verificó si los suelos de cada sitio correspondían con la descripción de la Carta de Suelos. A partir de la coincidencia o disidencia entre lo postulado y lo encontrado a campo, se determina la confiabilidad del mapa para delinear unidades de rendimiento homogéneo.

De los tres puntos seleccionados dentro de cada zona, en el campo se marcó y se exploró mediante una calicata sólo uno por zona, excepto en la Zona 1 (Figuras 10 y 11), donde se marcaron dos puntos debido a que esta zona (en color verde) tiene una porción en el sector este del lote y otras dos al oeste del lote, separadas por las áreas de rendimiento menor (rojo) e intermedio (amarillo) (Figura 11). Los puntos fueron ubicados utilizando el GPS. En cada zona, una vez encontrado el punto en el terreno, se procedió a cavar una calicata y a observar la correlación entre la descripción del perfil en la carta de suelos y el

presentado por la calicata. El cotejo de los datos de la carta de suelo con las observaciones en el terreno permitió confirmar cuál era el suelo que estaba presente en cada zona.

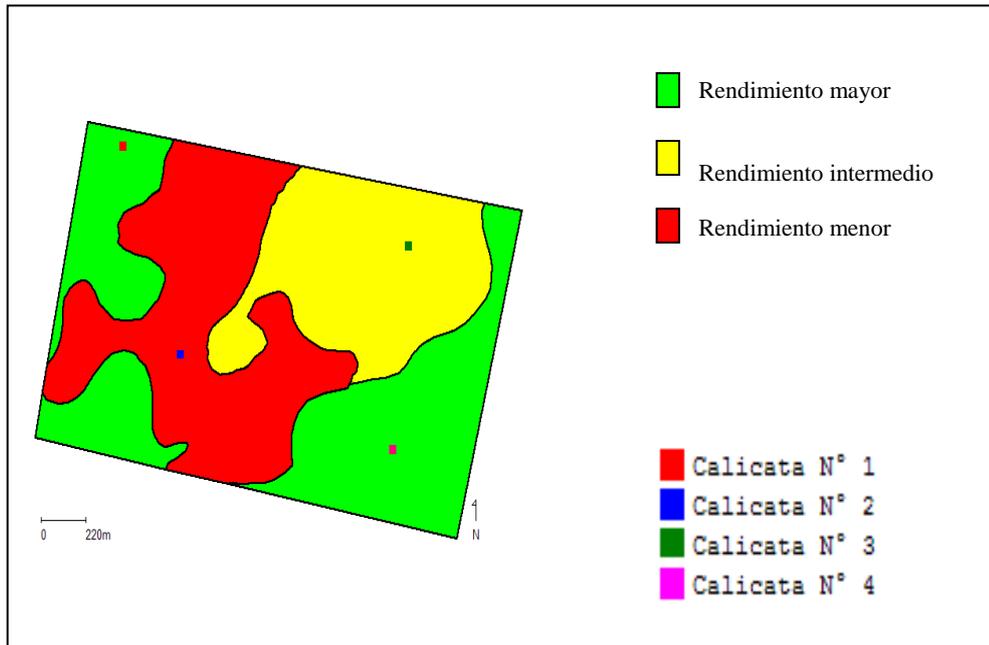


Figura N° 11: localización de los puntos seleccionados y calicatas realizadas

- **Resultados y discusión**

Confiabilidad de los mapas de rendimiento

El 80% de los lotes tenía registros de mapas de rendimiento no confiables (Tabla N° 1).

Lote	Mapa Incompleto	Superficie Incorrecta	Mal Identificado	Cultivo Equivocado
1	X	X		
2	X	X	X	
3	X	X		
8	X			
12	X			
14	X			
15	X			
16O		X		
17H	X			
17S	X			
18	X			
19E	X			
19O	X			
20E		X		
22			X	
25	X	X	X	
26	X	X	X	
27O	X			
27E		X		X
28E	X			
28O	X			
29	X			
30E	X			
31			X	
32E	X			
33O	X			
34			X	
41		X		
42		X		
43		X		
44	X			
53			X	
54	X			
55	X			
57			X	
58	X			

Tabla N° 1: Errores frecuentes encontrados en los mapas de rendimiento

Se encontraron 49 MR incompletos, correspondientes a 24 lotes. En 28 MR, correspondientes a 11 lotes, la superficie calculada por el monitor de rendimiento no era la superficie real del lote. Otros 18 MR, de 8 lotes, estaban mal identificados, es decir, los MR estaban asignados a unos lotes cuando en realidad correspondían a otros lotes del campo. En un caso puntual se encontró un MR con el cultivo equivocado: según el MR se trataba de trigo, cuando en realidad el cultivo cosechado era maíz.

En todos los MR, sin excepción, se observó que el número de subdivisiones de lote era incorrecto. Las subdivisiones de lote forman parte de los pasos de calibración periódica que se deben realizar en una jornada de trilla. Esta acción se realiza para chequear que todos los

sensores de la máquina y el monitor de rendimiento en sí, estén funcionando de manera correcta para lograr un mapa de rendimiento preciso y confiable.

Además, la distribución espacial de estas subdivisiones era incorrecta. Se deben realizar al menos 6 subdivisiones de lote, separados a espacios regulares de tiempo o de superficie en una jornada de trabajo. De esta manera, realizando la calibración regularmente se asegura que el monitor de rendimiento en conjunto estará trabajando bien calibrado en todo momento.

Por lo antes expuesto podemos afirmar que los monitores de rendimiento demandan operarios calificados en el uso y manejo de los mismos, que hagan una utilización responsable respetando los pasos de calibración necesarios en la jornada de trilla. Entonces así, el producto, los mapas de rendimientos, serán confiables.

Si todos los pasos de calibración son realizados correctamente estaremos en un nivel de precisión en el cálculo del rendimiento menor al 2%, lo que ubica a los datos obtenidos como muy útiles para ser utilizados en el diagnóstico del gran cultivo (Bragachini et al., 2006).

Precisión Geográfica.

La validación realizada a campo muestra que la imprecisión promedio de las coordenadas geográficas de los mapas de rendimiento del lote bajo estudio es de 3,6 m, considerando los valores en X e Y de un sistema de coordenadas planares (Tabla N° 2). La diferencia en X e Y anotada en la Tabla N° 2 expresa la distancia entre la posición en el campo de cada esquinero tomado de referencia y la ubicación de ese esquinero según las coordenadas tomadas por GPS. De los ocho valores que ubican a los 4 esquineros testigos (4 valores de X y 4 de Y), sólo uno mostró una diferencia significativamente mayor a la que presentaron los otros siete: 14 m contra 0,5 m a 5 m. Dejando fuera del cálculo el valor de 14 m del esquinero noroeste, en X, y considerando sólo los siete valores dentro de un rango similar de imprecisión se obtiene un promedio de 2,07 m. Este número es más cercano a la imprecisión generalmente aceptada en relevamientos a campo, pudiendo atribuirse la aparición de ese valor fuera de rango a interferencias de las señales satelitales o complicaciones en la manipulación del receptor de GPS sobre la máquina cosechadora.

Punto	Diferencia en Y (mts)	Diferencia en X (mts)
Esquinero Noroeste	1.5	14
Esquinero Suroeste	3	1
Esquinero Noreste	2	5
Esquinero Sureste	1.5	0.5

Tabla N° 2: Precisión promedio 3,6 metros

Estos resultados de la tarea de campo indican que los datos geográficos de los mapas de rendimiento del lote estudiado son sumamente confiables. Significa que las particularidades observadas en los mapas de rendimientos y que quieran ser revisadas y evaluadas en el campo, podrán ser ubicadas en el terreno con un alto grado de certeza. Significa además que, una vez asegurada la precisión del dato geográfico, se asegura también la solidez tecnológica del sistema GPS, la cual se extiende al sistema de mapeo de rendimiento. Según varios autores referentes del tema, esta es una condición de trabajo de suma importancia en Agricultura de Precisión.

Precisión del monitor de rendimiento en el cálculo del rendimiento y superficie del lote.

Los resultados encontrados indican que, en promedio, los datos registrados por el monitor de rendimiento difieren en un 27% con los registrados mediante el pesaje en la báscula del establecimiento. Este promedio presenta una desviación estándar del 23%.

En base a lo anterior, se puede decir que los mapas de rendimiento estudiados presentan una confiabilidad en cuanto al cálculo del rendimiento del 73%, con extremos de 50% y 96%.

Promediando los resultados, se llegó a determinar que la superficie calculada por el monitor difiere en un 22% con la superficie real. Además, estos datos presentan una desviación estándar de 19%. Es decir, tiene una confiabilidad en el cálculo de superficie del 78%, con extremos de 59% y 97%.

Los datos con que se alcanzaron estos resultados están presentes en el Anexo, cuadro N° 1.

Ante las diferencias halladas en los cálculos del rendimiento y superficie en los resultados expuestos podemos afirmar que los mapas de rendimiento analizados son poco confiables.

Stafford *et al.*, (1997) han sugerido que diferencias mayores al 10% en el cálculo de rendimiento y superficie no son aceptables, porque resultan en un nivel extremadamente alto de error no aleatorio.

Correlación mapa de suelos - mapa de similaridad

Al correlacionar el mapa de suelos con el mapa de similaridad, las zonas delimitadas sobre este último coinciden en más del 90% con las unidades cartográficas de suelos delimitadas sobre la fotocarta en escala 1:50000. En el mapa de similaridad se observa que en el sector sur de la zona 2, de rendimiento medio, se encuentra incluido un grupo de píxeles de color rojo que cubre aproximadamente 9 ha, de rendimiento bajo y que debería estar dentro de la zona 3 (Figura 10). Otra área que se encuentra fuera de la zona que le correspondería por el color verde que recibieron sus píxeles en la elaboración del mapa de

similaridad, es la que se encuentra en el extremo oeste de la zona 3, entre dos porciones de la zona 1 (de mayor rendimiento y de color verde), una al norte y otra al sur. Esta área fuera de su zona tiene aproximadamente 5,5 ha de superficie. En forma aislada aparecen otras intrusiones de píxeles con un color que no corresponde a la zona donde se encuentran, las que, por su dispersión y escaso número, no alteran la regularidad que se observa en la superposición del mapa de unidades cartográficas de suelos al mapa de similaridad. El área total fuera de su zona, sumados los dos sectores descriptos más las porciones aisladas, tiene una superficie total estimada de 18 ha. Este valor significa que de las 211 ha del lote bajo estudio, el 91,5% de la superficie del mapa de similaridad coincide con el mapa de unidades cartográficas de suelos.

De acuerdo a la información de las cartas de suelos del INTA (Figura 3, Datos analíticos y descripción de Perfil en Anexo) y a su verificación por observaciones realizadas en las calicatas (Fotos en Anexo), la zona 1 sector Este (Calicata 1) se encuentra dentro de la Unidad Cartográfica (UC) Cs, conformada por suelos de la serie pura CANALS. Ocupa las porciones más elevadas del terreno, su índice de productividad es 43 y su clase por aptitud de uso es IIIsc. La zona 1 sector Oeste (Calicata 4) se encuentra dentro de la UC Cs6, conformada por suelos del Complejo de series CANALS 60%; ESTANCIA DON FRANCISCO 20%; y LEGUIZAMON 20%. Este complejo ocupa áreas intermedias con lomas suavemente onduladas, su índice de productividad es 48 y la clase por aptitud de uso es IIIsc. En síntesis, la zona de mayor rinde corresponde a los suelos de la UC Cs y Cs6 con IP 43 y 48 respectivamente. Esto indica que en estos sectores del lote 33E se encuentran los suelos con menores limitaciones a la producción.

El mapa de similaridad indica además que la zona 2, al noreste del lote 33E, ubicada en su mayor parte dentro de la UC Cs6, es de rinde intermedio. La diferencia de rendimiento con respecto a la zona 1 (de mayor rendimiento y también definida como Cs6) se debería a que en la zona 2 prevalece un mayor porcentaje de la serie ESTANCIA DON FRANCISCO induciendo limitaciones en la producción. Esta serie presenta moteados a partir de los 19 cm. de profundidad y alcalinidad sódica a los 80 cm. de profundidad, condiciones suficientes para generar menores rendimientos.

Al sur de la zona 2 se encuentra una porción de menor rendimiento de aproximadamente 9 ha, ya mencionada, en el límite con la UC identificada como LMd4.

La zona 3, la de menor rendimiento relativo, coincide en su mayor parte con los límites de la UC denominada LMd4 (Figuras 10 y 11), que identifica al complejo de suelos formado por las series Los MEDANITOS 50%, ESTANCIA DON FRANCISCO 20%, CANALS 15% Y LEGUIZAMON 15%. Este complejo ocupa las porciones bajas del relieve donde domina la serie los MEDANITOS, que posee un suelo tipo Natralbol típico, con serias limitantes por alcalinidad a partir de los 40 cm y riesgo de inundación por anegamiento, lo

que le confiere una menor capacidad de producción (IP 34). La observación del perfil de la calicata 2 realizada en esta zona no mostró signos de la fuerte alcalinidad sódica indicada en la carta ni aparecieron muestras evidentes de haberse encontrado afectado por anegamiento.

- **Conclusión:**

Los mapas de rendimiento son una de las herramientas disponibles para orientar el diagnóstico de suelos enfocado a la toma de decisiones de manejo correctas, dentro de un planteo de Agricultura de Precisión.

La gran mayoría de los mapas de rendimiento del establecimiento presentan problemas para realizar estudios con fines agronómicos por poseer errores en su confección. Dichos errores son todos de carácter humano por mal uso de los monitores de rendimiento.

La interpretación agronómica de los mapas de rendimiento requiere una metodología compleja que aún no está universalmente establecida, que acerque la interpretación al terreno científico alejándola de una simple interpretación visual.

El estudio de mapas de rendimiento, aún siendo confiables, son mucho más útiles los fines de la Agricultura de Precisión si la tarea es acompañada de trabajos de diagnóstico de suelos a campo.

El paradigma productivo de la Agricultura de Precisión moderna es tecnológicamente rápido de adoptar. Pero para que éste cumpla con los fines propuestos, requiere una profunda reestructuración de la organización productiva de la empresa en la que se implemente. Los cambios que demanda son en educación del personal que opera las máquinas y en formación técnica de los Ingenieros que administran el establecimiento.

Hay que recordar siempre que la tecnología es una herramienta y no un fin en si misma.

- **Bibliografía.**

Ag Leader Technology. 2003. **Software Mapping Solutions.**

En: <http://www.agleader.com/support.php?Page=downloads>

Visitado: Martes, 08 de Agosto de 2006, 12:44:54 p.m.

Ag Leader Technology. 1999. **YIELD MONITOR 2000 Operators Manual.**

En: <http://www.agleader.com/support.php?Page=manuals-ym2k-jun99>

Visitado: Martes, 08 de Agosto de 2006, 12:52:08 p.m.

Bragachini, M. Méndez, A. Scaramuzza, F. 2006. Monitor de Rendimiento y Conocimientos de Calibración. **6° Curso de Agricultura de Precisión y primera Expo de Máquinas Precisas.** Manfredi, Argentina.

Bragachini, M. Martini, A. 2002. **Sistemas de Posicionamiento. 4° Curso de Agricultura de Precisión.** Oncativo, Argentina.

Berry, J K. 2003. **Análisis de Similaridad Cartográfica y Generación de Mapas Predictivos Mediante Sistemas de Información Geográfica.**

En: <http://recursos.gabrielortiz.com/art.asp?Info=046a#Uno#Uno>

Visitado: Lunes, 09 de Octubre de 2006, 07:25:17 p.m.

Bongiovanni, R. Mantovani, E. Best, S. Roel, A. 2006. **AGRICULTURA DE PRECISIÓN: Integrando conocimientos para una agricultura moderan y sustentable.** PROCISUR. Ed. Mercosoft. Pág: 67 – 78.

Fraisse C., Sudduth K., y Kichen N. 2001. **Delineation of Site Specific management zones by unsupervised classification of topographic attributes and soil electrical conductivity.** Transaction of the ASAE. 44

Hilbert, J., Mousegne, F., Ocampo, M., Aucaná, M. O. y Puentes, I. 2002. **APLICACIÓN DEL MONITOR DE RENDIMIENTO EN TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN A CAMPO.** Instituto de Ingeniería Rural INTA Castelar. Argentina.

INTA, 1986. CARTA DE SUELOS DE LA REPUBLICA ARGENTINA, Hoja 3363-28 CANALS, Plan mapa de suelos CORDOBA.

INTA, 1988. CARTA DE SUELOS DE LA REPUBLICA ARGENTINA, Hoja 3363-33 GENERAL VIAMONTE, Plan mapa de suelos CORDOBA.

INTA, 1988. CARTA DE SUELOS DE LA REPUBLICA ARGENTINA, Hoja 3363-34 COLONIA SANTA MARÍA, Plan mapa de suelos CORDOBA.

Morgan, M y Ess, D. 1997 El Estado actual de Agricultura de Precisión en los Niveles Federales y Estatales, **105th Congress of The Agricultural Research, Extension, and Education USA.** Georgia, USA

Mulla D. J., y Schepers J. S. 1997. Key processes and propertis for site specific soil and crop management. **The state of site specific management for agriculture.** Madison, Wisconsin.

Plant, R. E. 2001 Site Specific Managment: The application of information technology to crop production. **Computer an Electronic in Agriculture** 30.

Resch, G. P. 2004. **Estudio Estadístico Lluvias 2004**, INTA A.E. Canals, Argentina.

Roel, A. y R. E. Plant. 2004 Factors Underlying Variability in Two California Field. **Agronomy Journal** 96.

Stafford, J. V., Ambler, B., Bolam, H. C., 1997. **Cut with sensors to improve the accuracy of yield mapping systems**. In Proc. Precision Agric. 97 2; 519-527. London, UK.

Zamora, E. y Jarsum, B. 1984. **Mapa de Erosión de la Provincia de Córdoba**. Córdoba, Argentina.

- **Anexos**

Cuadro N° 1: Evaluación de confiabilidad del mapa de rendimiento.

Datos Registrados en la Administración del Establecimiento.				
Lote	Cultivo	Cosecha	Hectáreas	Tn
1	Trigo	2004/2005	86	343.1
1	Maíz	2004/2005	106	569.3
1	Soja	2005/2006	120	268.3
4	Soja	2004/2005	194	738.6
4	Maíz	2005/2006	196	1146.4
16 E	Soja	2004/2005	107	286.3
16 E	Maíz	2005/2006	106	328.6
16 O	Maíz	2004/2005	54	430.1
16 O	Trigo	2005/2006	124	274.3
16 O	Soja	2005/2006	123	258.1
19 O	Maíz	2004/2005	82	864.7
30 E	Maíz	2004/2005	120	1258.6
30 E	Soja	2005/2006	120	392.5
30 O	Soja	2004/2005	106	302.3
30 O	Trigo	2004/2005	106	708.5
30 O	Maíz	2005/2006	107	648.6
32 O	Trigo	2004/2005	114	721.4
32 O	Soja	2004/2005	114	311.2
32 O	Maíz	2005/2006	114	857.2
33E	Maíz	2003/2004	105	739.6
33E	Soja	2004/2005	211	888.7
33E	Trigo	2005/2006	211	703.9
33E	Soja	2005/2006	211	435.7

Fuente: Propia.

Datos Registrados por el Monitor de Rendimiento.				
Lote	Cultivo	Cosecha	Hectáreas	Tn
1	Trigo	2004/2005	107	347.4
1	Maíz	2004/2005	102	580.0
1	Soja	2005/2006	106	169.0
4	Soja	2004/2005	199	502.4
4	Maíz	2005/2006	138	796.8
16 E	Soja	2004/2005	105	273.0
16 E	Maíz	2005/2006	107	334.0
16 O	Maíz	2004/2005	51	383.8
16 O	Trigo	2005/2006	65	96.0
16 O	Soja	2005/2006	112	215.0
19 O	Maíz	2004/2005	57	525.0
30 E	Maíz	2004/2005	124	1195.0
30 E	Soja	2005/2006	156	400.2
30 O	Soja	2004/2005	114	335.9
30 O	Trigo	2004/2005	109	961.5
30 O	Maíz	2005/2006	70	400.8
32 O	Trigo	2004/2005	117	710.8
32 O	Soja	2004/2005	105	288.7
32 O	Maíz	2005/2006	56	400.0
33E	Maíz	2003/2004	60	364.3
33E	Soja	2004/2005	106	440.1

33E	Trigo	2005/2006	106	216.2
33E	Soja	2005/2006	102	216.1

Fuente: Propia.

Resultados: Superficie y Toneladas (Real - Calculado)				
Lote	Hectáreas	Tn	Diferencia en %	Diferencia en %
1	21	4.3	1%	24%
1	4	10.7	2%	4%
1	14	99.3	37%	12%
4	5	236.2	32%	3%
4	58	349.6	30%	30%
16 E	2	13.3	5%	2%
16 E	1	5.4	2%	1%
16 O	3	46.3	11%	6%
16 O	59	178.3	65%	48%
16 O	11	43.1	17%	9%
19 O	25	339.7	39%	30%
30 E	4	63.6	5%	3%
30 E	36	7.7	2%	30%
30 O	8	33.6	11%	8%
30 O	3	253.0	36%	3%
30 O	37	247.8	38%	35%
32 O	3	10.6	1%	3%
32 O	9	22.5	7%	8%
32 O	58	457.2	53%	51%
33E	45	375.3	51%	43%
33E	105	448.6	50%	50%
33E	105	487.7	69%	50%
33E	109	219.6	50%	52%
		Dif Promedio	27%	22%
		Desv Est	23%	19%

Fuente: Propia.

Serie CANALS, Haplustol éntico, franca gruesa.

Suelos algo excesivamente drenados, desarrollados sobre materiales arenosos y se encuentran vinculados a lomadas que presentan distintos porcentajes de hoyas medianosas estabilizadas dentro de la típica llanura eólica cordobesa.

Datos Analíticos:

Perfil	Ap	AC	C	
Profundidad de la muestra (cm)	0-25	25-54	54 a +	
Materia orgánica (%)	2.20	2.00	0.20	
Carbono orgánico (%)	1.30	1.14	0.12	
Nitrógeno total(%)	0.12	0.06	0.03	
Relación C/N	10.80	19.00	4.00	
Arcilla (<math><mu</math>) (%)	9.80	5.00	3.40	
Limo (2-50 μ) (%)	18.80	21.60	17.70	
Arena muy fina (50-100 μ) (%)	58.80	64.70	75.00	
Arena fina (100-250 μ) (%)	10.00	6.40	0.40	
CaCo3 (%)	0.00	0.00	0.00	
Equivalente de humedad (%)	12.00	12.00	8.60	
pH en pasta	5.70	6.60	7.30	
pH en H2O (1:2.5)	-	6.70	7.50	
Cationes de cambio (meq/100g)	Ca	5.90	7.00	6.90
	Mg	1.00	1.50	1.50
	Na	0.20	0.20	0.30
	K	2.20	1.20	0.80
H de cambio (meq/100g)	2.60	1.40	0.30	
Na (PSI)	1.70	1.80	3.00	
Conductividad eléctrica (mmhos/cm)				
Suma de bases (meq/100g)	9.30	9.90	9.50	
CIC (meq/100g)	12.00	11.30	9.90	
Saturación con bases (%)	77.50	87.60	96.00	

Fuente: INTA

Descripción del perfil típico:

El perfil típico que presentan estos suelos fue estudiado a 8 Km al sur de la Localidad de Canals.

Situación: Lat: 33°37'S Lon: 65°55'O Alt: 119 m.s.n.m

Horizonte	Profundidad	Descripción
Ap	0-25cm	Color pardo grisáceo muy oscuro en húmedo; franco arenosa; estructura en bloques subangulares medios débiles y granular; friable; no plásticos; no adhesivo; limite inferior claro suave.
AC	25-54 cm	Color pardo amarillento oscuro en húmedo; franco arenoso a arenoso; estructura en bloques subangulares débiles con tendencia a masivo; friable; no plástico; no adhesivo; limite inferior difuso.
C	54 cm a +	Color pardo a pardo oscuro en húmedo; arenosa franca a arenosa; masivo; muy friable; no plástico; no adhesivo.

Fuente: INTA

La capa arable (horizonte Ap) de 25 cm de espesor, es de color pardo a pardo oscuro, de textura franco arenosa y estructura en bloques débiles. Hacia abajo pasa gradualmente (horizonte transicional AC) al material originario que se encuentra a una profundidad de 54 cm, de textura arenosa y el calcáreo en la masa aparece por lo general por debajo de los 100 cm. La capacidad de los suelos está limitada por la baja retención de humedad y el clima.

Serie Leguizamon, Haplustol údico, franca gruesa.

Este es un suelo oscuro, desarrollado sobre materiales franco arenoso en áreas planas o en ligeras concavidades dentro de un paisaje de lomas suavemente onduladas del sudeste de la provincia de Córdoba. Presenta un horizonte superficial (A) de 20 cm de espesor, bien estructurado y de textura franca. Le sigue luego un horizonte subsuperficial con ligero incremento de arcilla (Bw), de textura franca a franca arenosa. El material originario se encuentra aproximadamente a 66 cm de profundidad y es de textura franco arenosa. Este suelo no tiene limitaciones importantes a excepción de la climática que se presenta en forma moderada.

Datos analíticos:

Perfil	Ap	Bw	BC	C	
Profundidad de la muestra (cm)	0-21	21-40	40-66	66 a +	
Materia orgánica (%)	2.89	0.97	0.61	0.29	
Carbono orgánico (%)	1.68	0.57	0.36	0.17	
Nitrogeno total(%)	0.17	0.08	0.06	0.04	
Relación C/N	10.00	7.30	6.10	4.30	
Arcilla (μ) (%)	14.80	15.60	12.40	9.60	
Limo (2-50 μ) (%)	34.00	29.80	29.90	28.30	
Arena muy fina (50-100 μ) (%)	49.80	54.00	56.40	57.80	
Arena fina (100-250 μ) (%)	0.50	0.50	0.30	2.10	
CaCo3 (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	
Equivalente de humedad (%)	19.00	17.10	14.90	13.20	
pH en pasta	5.00	6.30	6.50	6.80	
pH en H2O (1:2.5)	5.60	6.80	7.10	7.80	
Cationes de cambio (meq/100g)	Ca	12.20	7.20	7.00	7.10
	Mg	1.60	2.60	2.70	-
	Na	0.30	0.30	-	-
	K	1.70	1.90	-	-
H de cambio (meq/100g)	0.60	-	-	-	
Na (PSI)	-	-	-	-	
Conductividad eléctrica (mmhos/cm)	-	-	-	-	
Suma de bases (meq/100g)	12.20	11.20	11.60	12.00	
CIC (meq/100g)	14.80	13.00	12.10	11.80	
Saturación con bases (%)	82.00	86.00	96.00	100.00	

Fuente: INTA

Descripción del perfil típico:

El perfil representativo fue estudiado a 9 kilómetros al OSO de la Estancia Las Tunas en el departamento de Marcos Juárez, se corresponde con la serie Leguizamón.

Situación: **Lat: 33°42' S Lon: 62°40' O Alt: 125 m.s.n.m**

Horizonte	Profundidad	Descripción
Ap	0-21cm	Color pardo grisáceo muy oscuro en húmedo; franca; estructura en bloques subangulares medio moderados y granular; friable en húmedo; no plástico; no adhesivo; límite claro y suave.
Bw	21-40 cm	Color pardo oscuro en húmedo; franco arenosa a franca; estructura en bloques subangulares medios moderados; friable en húmedo; no plástico; no adhesivo; barnices húmico arcillosos escasos y finos; límite gradual y suave.
BC	40-66 cm	Color pardo oscuro en húmedo; franco arenosa a franca; estructura en bloques subangulares medios débiles; friable en húmedo; no plástico; no adhesivo; barnices arcillosos muy escasos y finos; límite inferior gradual y suave.
C	66 cm a +	Color pardo a pardo oscuro en húmedo; franco arenoso; estructura masiva; muy friable en húmedo; no plástico; no adhesivo.

Fuente: INTA

Serie Los Medanitos: Natralbol típico, franco grueso.

Es un suelo moderadamente bien drenado con fuerte alcalinidad sódica a partir de los 40 cm, desarrollado sobre materiales franco arenosos con mas del 50 % de la fracción mineral dominadas por arenas, vinculados a sectores deprimidos y a las aureolas de micro depresiones y lagunas.

La parte superficial del suelo, de 19 cm de espesor, constituye la capa arable (horizonte A1). Es textura franco arenosa con regular contenido de materia orgánica; de color pardo oscuro y estructura en bloques; en su base, y hasta los 33 cm promedio, se torna más claro (horizonte A2), con escaso contenido de materia orgánica y con matas de hierro que indican condiciones de hidromorfismo. Pasa luego en forma abrupta a un horizonte con mayor contenido en arcilla (B2t) que se extiende hasta los 60 cm de profundidad, de color pardo oscuro y estructura columnar con abundante sodio en el complejo de cambio y con moderada cantidad de barnices arcillo – húmicos. El material originario (horizonte C), aparece a los 87 cm de profundidad; es de textura franco arenoso, estructura masiva y abundante calcáreo diseminado en la masa.

Solo los primeros 20 cm de suelo presentan condiciones favorables para el desarrollo de las plantas. La materia orgánica decrece rápidamente a partir de dicha profundidad. Las condiciones físicas empeoran a partir de los 40 cm por la presencia del sodio haciéndose impermeable al aire y al agua. La capa de agua freática de agua se encuentra temporariamente cercana a la superficie y el suelo es susceptible a encharcamientos y/o inundaciones.

Datos analíticos:

Perfil	A1	A2	B2t	B3	Cca	
Profundidad de la muestra (cm)	0-19	19-38	38-61	61-87	87 a +	
Materia orgánica (%)	1.96	0.58	-	-	-	
Carbono orgánico (%)	1.14	0.31	0.31	0.14	0.12	
Nitrógeno total(%)	0.11	0.03	0.03	0.02	0.01	
Relación C/N	10.30	8.10	8.10	5.80	6.30	
Arcilla (<μ) (%)	7.20	3.40	14.60	7.40	6.60	
Limo (2-50μ) (%)	37.60	33.30	32.80	31.50	30.90	
Arena muy fina (50-100μ) (%)	52.60	60.50	47.00	54.20	54.00	
Arena fina (100-250μ) (%)	1.20	1.00	4.00	5.60	7.90	
CaCo3 (%)	0.00	0.00	0.00	0.32	3.14	
Equivalente de humedad (%)	14.60	9.80	20.20	14.30	12.50	
pH en pasta	5.10	6.50	7.60	8.20	8.90	
pH en H2O (1:2.5)	5.60	6.70	8.40	8.70	9.20	
Cationes de cambio (meq/100g)	Ca	7.10	5.30	9.50	-	-
	Mg	1.90	2.40	2.50	-	-
	Na	0.30	0.70	6.40	9.00	9.00
	K	1.50	1.00	2.30	2.20	1.90
H de cambio (meq/100g)	3.20	1.30	-	-	-	
Na (PSI)	-	7.40	23.00	48.00	78.00	
Conductividad eléctrica (mmhos/cm)	-	-	-	-	-	
Suma de bases (meq/100g)	10.80	9.40	20.60	-	-	
CIC (meq/100g)	14.20	10.40	20.20	18.40	11.50	
Saturación con bases (%)	76.00	90.00	100.00	-	-	

Fuente: INTA

Descripción del perfil típico:

El perfil representativo fue estudiado a 11.7 kilómetros al oeste-noroeste de la localidad de Alejo Ledesma, Provincia de Córdoba.

Situación: **Lat:** 33° 33' S **Lon:** 62°39' O **Alt:** 118 m.s.n.m

Horizonte	Profundidad	Descripción
A1	0-19 cm	Color pardo a pardo oscuro en húmedo; franco arenoso; estructura en bloques subangulares medio moderados; friable en húmedo; no plástico; no adhesivo; límite inferior claro y suave.
A2	19-38 cm	Color pardo grisáceo oscuro en húmedo; franco arenosa; masivo; muy friable en húmedo; no plástico; no adhesivo; moteados comunes, medios, precisos; límite inferior abrupto, suave.
B2t	38-61 cm	Color pardo a pardo oscuro en húmedo; franco; estructura semicolumnar, rompe a prismas irregulares medios; ligeramente firme en húmedo; ligeramente plástico; ligeramente adhesivo; barnices húmico arcillosos escasos, medios; moteados comunes, medios; precisos; límite inferior gradual y suave.
B3	61-87 cm	Color pardo a pardo oscuro en húmedo; franco a franco arenoso; estructura en bloques subangulares medios moderados; friable en húmedo; no plástico; no adhesivo; escasos barnices arcillosos; moteados abundantes, medios; precisos; límite inferior abrupto, ondulado.
Cca	87 cm a +	Color pardo a pardo oscuro en húmedo; franco arenosa; masivo; friable en húmedo; no plástico; no adhesivo; moteados abundantes, medios, precisos; abundante calcáreo libre en la masa.

Fuente: INTA

Serie Estancia Don Francisco: Argialbol típico; franca gruesa

Es un suelo moderadamente bien drenado, ligeramente alcalino (no sódico), pero con alcalinidad sódica solo en profundidad, desarrollado sobre materiales franco arenoso a arenoso franco, en planos deprimidos de origen eólico y áreas intermedias. La parte superficial del suelo (Horizonte A), tiene 18 cm de profundidad, textura franco arenosa y estructura en bloques débiles. Le sigue un horizonte decolorado (A2 Albico) de textura algo mas liviana que termina abruptamente a 38 cm donde aparece el subsuelo (Horizonte B) enriquecido en arcilla, con textura franco arenosa (17.8 de arcilla) y 6.8 de Na intercambiable y estructura moderada, en prismas, este horizonte se extiende hasta los 56 cm de profundidad.

El horizonte C aparece a los 84 cm con textura arenosa franca y alcalinidad sódica. Las limitaciones para el uso de este suelo están dadas por el drenaje moderado, el horizonte decolorado superficial, con bajo tenor de materia orgánica y su posición en el relieve (generalmente cóncavo) que puede sufrir anegamientos frecuentes y alcalinidad sódica en profundidad.

Datos analíticos:

Perfil	A1	A2	B2	B3	c	
Profundidad de la muestra (cm)	0-18	18-38	38-56	56.84	84 a +	
Materia orgánica (%)	1.79	0.29	0.32	0.25	0.08	
Carbono orgánico (%)	1.11	0.18	0.20	0.16	0.05	
Nitrogeno total(%)	0.11	0.02	0.03	-	-	
Relación C/N	9.70	6.40	5.20	-	-	
Arcilla ($\lt; \mu$) (%)	7.40	4.40	17.80	16.80	4.60	
Limo (2-50 μ) (%)	26.90	21.00	18.30	17.50	16.20	
Arena muy fina (50-100 μ) (%)	54.10	60.00	58.20	52.90	50.70	
Arena fina (100-250 μ) (%)	12.50	14.90	6.90	13.40	28.00	
CaCo ₃ (%)	-	-	-	-	-	
Equivalente de humedad (%)	16.00	9.80	21.70	19.70	10.00	
pH en pasta	5.70	6.60	7.30	7.80	9.20	
pH en H ₂ O (1:2.5)	6.00	6.80	7.50	8.20	9.40	
Cationes de cambio (meq/100g)	Ca	4.50	3.40	7.70	7.20	3.10
	Mg	2.00	1.30	2.80	2.20	0.90
	Na	0.20	0.50	0.90	1.80	4.30
	K	1.30	1.10	2.10	2.30	1.70
H de cambio (meq/100g)	1.00	0.20	0.40	-	-	
Na (PSI)	-	-	-	-	-	
Conductividad eléctrica (mmhos/cm)	-	-	-	-	-	
Suma de bases (meq/100g)	8.00	6.30	13.50	13.50	10.00	
CIC (meq/100g)	9.40	6.60	14.10	13.00	10.00	
Saturación con bases (%)	85.00	95.00	96.00	100.00	100.00	

Fuente: INTA

Descripción del perfil típico:

El perfil representativo fue estudiado a 12.3 kilómetros al SE de Ea. San Julián en la Provincia de Córdoba.

Situación: Lat: 33° 33' S Lon: 62°39' O Alt: 118 m.s.n.m

Horizonte	Profundidad	Descripción
A1	0-18	Color pardo grisáceo oscuro en húmedo; franco arenoso; estructura en bloques subangulares medio débiles; friable en húmedo; no plástico; no adhesivo; PH: 6; raíces muy abundante límite inferior claro y suave.
A2	18-38 cm	Color pardo amarillento oscuro en húmedo; arenoso franco; masivo; muy friable en húmedo; no plástico; no adhesivo; PH: 6.8; moteados comunes y abundantes, finos y débiles, raíces abundantes; límite inferior abrupto, suave.
B2	38-56 cm	Color pardo a pardo oscuro en húmedo; franco arenoso; prismas irregulares medios moderados; friable en húmedo; no plástico; no adhesivo; PH: 7.5; barnices húmico arcillosos escasos a abundantes; moteados comunes finos y medios; raíces comunes; límite inferior gradual y suave.
B3	56-84 cm	Color pardo a pardo oscuro en húmedo; franco arenoso; estructura en bloques subangulares medios moderados a débiles; friable en húmedo; no plástico; no adhesivo; PH: 8.2; concreciones de Co ₃ Ca escasas y finas; barnices arcillosos escasos, finos; moteados abundantes medios y precisos; raíces comunes; límite inferior gradual y suave.
C	84 cm a +	Color pardo a pardo oscuro en húmedo; arenoso franco a franco arenoso; masivo; muy friable en húmedo; no plástico; no adhesivo; PH: 9.4; concreciones de Ca escasas y finas; moteados abundantes, medios, precisos; raíces escasas.

Fuente: INTA

Fotos Calicata Zona 1 — Unidad Cartográfica Cs



Fuente: Propia.

Fotos Calicata Zona 1 y 2 — Unidad Cartográfica Cs6



Fuente: Propia.

Fotos Calicata Zona 3 — Unidad Cartográfica Lmd4



Fuente: Propia.