

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

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

Análisis de la variabilidad espacial en mapas de rendimiento

**Federico Vivas
DNI: 30.711.006**

Director: Américo Degioanni

**Río Cuarto - Córdoba
Diciembre - 2008**

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

CERTIFICADO DE APROBACIÓN.

TÍTULO DEL TRABAJO: Análisis de la variabilidad espacial en mapas de rendimiento.

Autor: Vivas, Federico.

Director: Ing. Agr. Degioanni, Américo.

Aprobado y corregido de acuerdo a las sugerencias de la Comisión Evaluadora:

Ing.Agr. Miguel Ángel Reynero -----

Ing.Agr. Nidia Montani -----

Ing.Agr. Gabriel Pablo Esposito -----

Fecha de presentación: -----/-----/-----

Aprobado por Secretaría Académica: -----/-----/-----

Secretario Académico.

AGRADECIMIENTOS

En este espacio quiero hacer llegar mi agradecimiento a todas las personas que permitieron la realización de este trabajo. Sin embargo, de manera resumida señalo brevemente quienes me brindaron su apoyo y les expreso mi más profundo agradecimiento:

A la Universidad Nacional de Río Cuarto y en particular a la Facultad de Agronomía y Veterinaria por su contribución a mi formación profesional y humana, brindada durante los años de carrera.

A todos los docentes que prestaron desinteresadamente su apoyo para la concreción de este trabajo, en especial al Ing.Agr Américo Degioanni; como así también a Estudio Agronómico del Ing. Agr. Martín Silva Rosi, a GEOcampo de Tomas Liendo, a el establecimiento La Unión y su encargado Ing.Agr Cezar Jimenes y a todas aquellas personas que contribuyeron directa o indirectamente.

Por ultimo quiero dedicarles este trabajo a las personas más importantes en mi vida, mis familiares, ya que ellos hicieron posible que concluya mis estudios siendo el sostén de mi vida.

ÍNDICE

RESUMEN.....	7
SUMMARY.....	8
INTRODUCCIÓN.....	9
ANTECEDENTES.....	10
OBJETIVOS GENERAL Y ESPECÍFICO.....	13
MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
CONCLUSIONES.....	47
BIBLIOGRAFÍA.....	48

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1.** Tecnología de producción del cultivo de maíz.
- Tabla 2.** Necesidad de nutrientes por parte del cultivo.
- Tabla 3.** Datos analíticos del suelo natracualf.
- Tabla 4.** Datos de un muestreo dirigido realizado en el 2006 del horizonte E.
- Tabla 5.** Valores de PEA de los horizontes del suelo hapludol.
- Tabla 6.** Datos analíticos del horizonte A (muestra extraída entre 0 – 25 cm.) del suelo hapludol.
- Tabla 7.** Datos de un muestreo dirigido realizado en el 2006.
- Tabla 8.** Valores de PEA de los horizontes del suelo argiudol.
- Tabla 9.** Datos analíticos del horizonte A del suelo argiudol.
- Tabla 10.** Rindes Promedios de Maíz por UHR y ciclo.
- Tabla 11.** Temperaturas medias mensuales de la carta de suelo de la zona de Venado Tuerto.
- Tabla 12.** Datos de suma de grados días y promedio de temperaturas diarias para el estado vegetativo y reproductivo del cultivo.
- Tabla 13.** Precipitaciones máximas, mínimas y medias de la zona de Venado Tuerto presentes en la carta de suelos.
- Tabla 14.** Valores de precipitación y temperaturas para realizar el balance hídrico.
- Tabla 15.** Capacidad de almacenaje de cada horizonte y el total del perfil hasta los 2 mts. de profundidad.
- Tabla 16.** Salida del Balance hídrico climático de Thorwaite .
- Tabla 17.** Valores de nutrientes aportados por fertilizantes y por el suelo.
- Tabla 18.** Datos de fertilización en el lote.
- Tabla 19.** Balance de nutrientes.
- Tabla 20.** Nitratos a la siembra para suelos clase I-I. Zona de Venado Tuerto.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del sitio de estudio.

Figura 2. Mapa de rendimiento de puntos.

Figura 3. Mapas de Rendimientos zonificado.

Figura 4. Mapa de las UHR.

Figura 5. Imagen Satelital UHR.

Figura 6. Puntos de observación (2006 - 2008):

Figura 7. Foto del perfil del suelo Natracualf.

Figura 8. Foto del perfil del suelo Hapludol.

Figura 9. Foto del perfil del suelo Argiudol.

Figura 10. Gráfico de las temperaturas medias mensuales promedios de la región y los ciclos 05/06 y 07/08.

Figura 11. Temperaturas promedios diarias de los ciclos de producción.

Figura 12. Precipitaciones en el área de Venado Tuerto durante ciclo desarrollo maíz: promedio histórico, ciclo 05 – 06 y 07 – 08

RESUMEN

La variabilidad espacial en los rendimientos de los cultivos ha sido reconocida y estudiada desde los inicios mismos de la agricultura. Las características del clima, los suelos y las tecnologías de producción son, entre otras, las principales causas de variabilidad. Una tecnología reciente, denominada Agricultura de Precisión -AP, permite medir, registrar y manejar dicha variabilidad para aumentar la eficiencia productiva y disminuir los posibles impactos ambientales negativos de los actuales modos de producción. El objetivo de este trabajo es explicar la variabilidad de rendimiento de cultivos agrícolas registrados en mapas de rendimiento obtenidos a partir de las tecnologías de agricultura de precisión.

Se evaluaron dos mapas de rendimiento de maíz para los ciclos de producción 2005/06 y 2007/08 en la zona de Venado Tuerto (Pcia. de Santa Fe). A partir del procesamiento digital de dichos mapas y con apoyo de fotos satelitales se definieron Unidades Homogéneas de Rendimiento. Se recopiló información climática de la región, historial de producción del cultivo y se realizaron observaciones de suelos en calicatas y muestreos puntuales. Se interpretó la variabilidad de rendimiento identificando las principales limitaciones estructurales y funcionales del sistema suelo - planta que disminuye la producción por unidad de superficie. En tal sentido, se pudo explicar la variabilidad de rendimientos de maíz para situaciones contrastantes de clima y aptitud productiva de los suelos. Se concluye que el uso de la agricultura de precisión para la toma de decisiones agronómicas necesita de una interpretación mínima de los procesos físico - biológico que definen el rendimiento y que la metodología utilizada en este trabajo resulta de utilidad a tal fin.

Palabras claves: variabilidad espacial, agricultura de precisión, unidades homogéneas de rendimiento.

Analysis of the spatial variability in yield maps

SUMMARY

The spatial variability in crop yields has been recognized and studied from the very beginning of agriculture. The features of the climate, soils and production technologies are, among others, the main causes of variability. A recent technology, called Precision Agriculture-AP, to measure, record and manage this variability to increase production efficiency and reduce the potential negative environmental impacts of current modes of production. The aim of this paper is to explain the variability in crop yields in agricultural yield maps derived from the technologies of precision agriculture. We evaluated two maps yield of maize for the production cycles 2005/06 and 2007/08 in the area of Venado Tuerto (Pcia. Santa Fe). From the digital processing of such maps and supported by satellite photos were defined Homogeneous Unity Yield. Will collect climate information in the region, the history of crop production and soil observations were conducted in calicatas and sampling point. Was interpreted variability of performance by identifying the main structural and functional system of the soil- plant that reduces the output per unit area. In that sense, it could explain the variability of yields for corn contrasting situations of climate and productive ability of the soil. We conclude that the use of precision farming for decision-making needed an agronomic minimal interpretation of the physical processes- that biological define performance and that the methodology used in this work is useful for this purpose.

Keywords: spatial variability, precision agriculture, homogeneous unity yield.

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Presentación e importancia del trabajo

La variabilidad espacial de las propiedades del suelo y de los rendimientos de los cultivos ha sido reconocida desde los inicios de la agricultura. Una nueva tecnología, llamada Agricultura de Precisión –AP, permite medir y manejar dicha variabilidad para aumentar la eficiencia productiva y disminuir el impacto ambiental negativo (Ortega y Flores, 1999).

La agricultura de precisión se puede definir como un conjunto de técnicas y procesos orientados a optimizar el uso de insumos agrícolas (semilla, agroquímicos y otros) en función de la cuantificación de la variabilidad espacial y temporal de la producción agrícola. Esta optimización se logra a través de la recolección, procesamiento e interpretación de los datos de los cultivos y del suelo (Bongiovanni et. al, 2006). Permite la aplicación de insumos con una distribución espacial en cantidades óptimas, dependiendo del potencial productivo y de la necesidad de manejo de cada unidad de producción. De esta forma, se busca una mayor estabilidad de la producción a través de la maximización del retorno económico y preservando al medio ambiente de excesos del uso de insumos (Saraiva et al., 2000).

Bajo este punto de vista, la información recogida a través del mapa de rendimiento, es fundamental dentro de los procedimientos que involucran a la AP.

Sin embargo, debemos considerar que los mapas son abstracciones de la realidad, en donde los distintos elementos son representados por medio de líneas, polígonos y colores. La utilización de los mapas ha estado tradicionalmente asociada a la ubicación de elementos geográficos del territorio con una reducida capacidad de análisis temporal de los procesos. Actualmente, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) que son mapas administrados con una computadora y los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) han facilitado la interpretación espacial y temporal de procesos dinámicos como la producción agrícola, tarea que se puede hacer casi en tiempo real y registrando detalladamente la variabilidad espacial del objeto de estudio.

Robert (1999) sostiene que no es una novedad la existencia de variabilidad en los factores de la producción en el agroecosistema. Sin embargo, esta afirmación que parece sencilla, en muchos casos resulta compleja para identificar, cuantificar y explicar a que tipo de interacción entre los factores naturales o tecnológicos se atribuye la variabilidad de los rendimientos. En tal sentido, el trabajo pretende abordar este problema agronómico: **explicar la variabilidad que presentan los mapas de rendimiento**, a partir del análisis de aquellos factores e interacciones que influyen en la producción de los cultivos.

Las variables físico - biológicas que regulan el crecimiento y desarrollo de la producción vegetal son en orden jerárquico: *genotipo, radiación solar, temperatura, balance hídrico y gaseoso del suelo y disponibilidad de nutrientes* (FAO, 1981). Cada variable constituye un *límite* en la producción máxima de biomasa. Si dichos límites no pueden ser modificados por la tecnología (por ejemplo, producción en invernáculos o riego) cada variable en función de su disponibilidad y grado de interacción con el genotipo define una *producción potencial* de un ambiente. Es trabajo de quien administra los recursos físicos biológicos de hacer, tecnología mediante, que cada ambiente “rinda” en niveles iguales o muy próximo al potencial. Un mapa de rendimiento es la producción real obtenida en cada punto del territorio. Establecer la brecha entre la producción potencial y la producción real es una forma de saber la eficiencia en el uso de los recursos naturales y tecnológicos que se disponen para producir bienes agrícolas. Por otra parte, como cada ambiente posee un nivel de interacción particular con el genotipo, es de esperar que con similares condiciones de disponibilidad de recursos naturales, técnicos y de manejo para un cultivo, la variabilidad de rendimiento que registra un mapa va a corresponde a diferencias de estructura o funcionamiento de cada unidad de producción.

Por lo expuesto precedentemente, se considera que este estudio es de relevancia, ya que avanza sobre el conocimiento de las causas de la variabilidad de rendimientos y permite tomar decisiones más acertadas en cuanto al manejo de los posteriores ciclos de producción de cultivos. Además, en el país se encuentran muy pocos trabajos realizados sobre el tema.

1.2. Antecedentes

Según Pocknee et al. (1996) y Roel y Plant (2004a), los mapas de rendimiento son la mejor herramienta para la delineación de zonas de manejo o sitio específico o zonas donde muestrear los diferentes factores que afectan la producción, ya que el rendimiento del cultivo es el mejor indicador de la productividad del suelo.

Los cultivos presentan alta variabilidad espacial y temporal. Una de las mayores complicaciones aparecen cuando los patrones de variabilidad espacial interactúan con las condiciones climáticas, por ejemplo zonas de altos rendimientos en años de precipitaciones por debajo de lo normal pueden transformarse en zonas de bajo rendimiento en años con precipitaciones excesivas. Por lo tanto, en estos casos, la variabilidad espacial del rendimiento cambia de una cosecha a otra.

De todas maneras, en aquellos casos en que se cuente con una serie importante de mapas de rendimiento de un mismo lote, la observación de los mismos permitiría identificar

patrones de variabilidad a lo largo del tiempo. Puede darse el caso que estos patrones de variabilidad, por su complejidad y cambios a lo largo del tiempo, no sean fáciles de identificar visualmente, por lo que existen procedimientos estadísticos avanzados que permiten la detección objetiva de los mismos (Roel y Plant, 2004b). Estos procedimientos se basan mayoritariamente en el cálculo de los desvíos estándares de los rendimientos en cada cosecha con respecto al promedio de cada una de ellas y luego el agrupamiento de los mismos en grupos lo más diferenciados posible.

Mulla y Shepers (1997) definen como un adecuado manejo de sitio-específico aquél en el que los factores limitantes para una óptima productividad y protección ambiental pueden ser identificados, caracterizados y manipulados en cada sitio o zonas y momentos apropiados.

La AP se desarrolla en EEUU mediante un fuerte impulso de la industria de la maquinaria agrícola y comienza a aplicarse en nuestro país a partir de 1995 por intermedio de INTA y empresas privadas proveedoras de las tecnologías pertinentes.

En Brasil, uno de los productores que inicio la aplicación de la AP fue el Holandés, Andrea Charles Josef Peeters el cual implemento en su establecimiento el diagnostico de la fertilidad del suelo por medio de un relevamiento para observar los diferentes nutrientes (Ca, P, K, N), para luego poder realizar mapas de fertilidad y mas tarde una fertilización con dosis diferenciada (Mantovani, 2004).

En Chile los trabajos acerca de la AP fueron realizados en el sector vitivinícola y frutícola, implementando el manejo de “sitio específico”, por medio de la imágenes multiespectrales que se utilizan para identificar los diferencias en los distintos sitios productivos, para su posterior uso diferenciado (Best, 2005).

En Uruguay la AP se comenzó a aplicar en el cultivo de arroz. Observando la variabilidad que se presentaba en los lotes en las diferentes zafras, para luego analizar el porqué de esa variabilidad (Roel y Firpo, 2004).

Los trabajos de investigación desarrollados en Argentina tratan, en general, aspectos vinculados al manejo de sitio específico y la aplicación de dosis variables de fertilizantes y herbicidas, (Ortega y Flores, 1999). En esta misma línea también hay ensayos en materia de aplicación de distintas densidades de siembra. Otras experimentaciones estudian la aplicación de esta tecnología en ensayos de rendimiento, comparando cultivares, distintas dosis de fertilización y distintas densidades de siembra (Bragachini, 2006).

En la línea experimental de explicar la variabilidad de rendimientos se destacan dos trabajos de Melchiori et al. (2001). Estos autores estudiaron la relación existente entre la variación de los parámetros de suelos y la variación en el rendimiento para un cultivo en particular, en una zona de Paraná, (Entre Ríos) y bajo determinado manejos, también

evaluaron las respuestas de los cultivos ante la aplicación de un determinado insumo (Melchiori et. al., 2001).

La agricultura de precisión es una práctica que se va extendiendo en el área pampeana, en cultivos como maíz y soja entre otros. Por medio de la técnica de monitoreo satelital y el uso de diferentes sensores, se obtienen mapas de rendimiento y de otras variables del cultivo y lote, que pueden ser interpretadas para aplicar el conocimiento de las variabilidades resultantes, en prácticas tales como la determinación de densidades de siembra y de fertilización sitio-específicas. Sin embargo, la interpretación de mapas de rendimiento y mapas de otras variables de interés de cultivo y suelo, con el propósito aplicar tecnologías sitio-específica, necesita herramientas de apoyo para interpretar los numerosos factores ambientales que producen variaciones en los rendimientos, tanto en su variación espacial como temporal.

Un marco teórico para interpretar y cuantificar la influencia de los factores ambientales que controlan la producción de materia seca cosechable –y por consiguiente la variabilidad espacial y temporal, es el propuesto por FAO (1981). El mismo establece que la producción vegetal ($Tn\ ha^{-1}$) es regulada primeramente por la genética de la especie, segundo por la radiación solar y la temperatura, tercero por la disponibilidad hídrica para la planta y por último por la disponibilidad de nutrientes. Cada factor posee su propia dinámica en el tiempo y en el espacio y opera en término de balances. En esta línea de análisis se propone desarrollar el presente trabajo.

1.2.3 Objetivo General:

Explicar la variabilidad de rendimiento de cultivos agrícolas a partir de información de mapas de rendimiento.

1.2.3 Objetivos Específicos:

- Sistematizar la información de mapas de rendimientos para una zona representativa de la región pampeana.
- Establecer zonas homogéneas de rendimiento.
- Relevar información de los recursos naturales y tecnológicos vinculados a cada zona homogénea de rendimiento.
- Identificar las limitaciones más relevantes de la producción sobre la base del análisis del sistema cultivo – clima – suelo.

CAPITULO 2

MATERIALES Y MÉTODOS:

2.1 Área de estudio:

El área experimental seleccionada para este trabajo se localiza en el establecimiento “La Rinconada”, ubicado a 12 Km. al sur-este de la ciudad de Venado Tuerto (Fig. 1). Es un sitio representativo de la Llanura pampeana con clima húmedo (846 mm anuales) de régimen pluviométrico de tipo monzónico, clima templado (16.4 °C media anual), periodo libre de heladas de 270 días aproximadamente, de relieve normal con pendientes que difícilmente superan el 1 % de gradiente y suelos de los ordenes Molisoles y Alfisoles con deficiencia de drenaje.

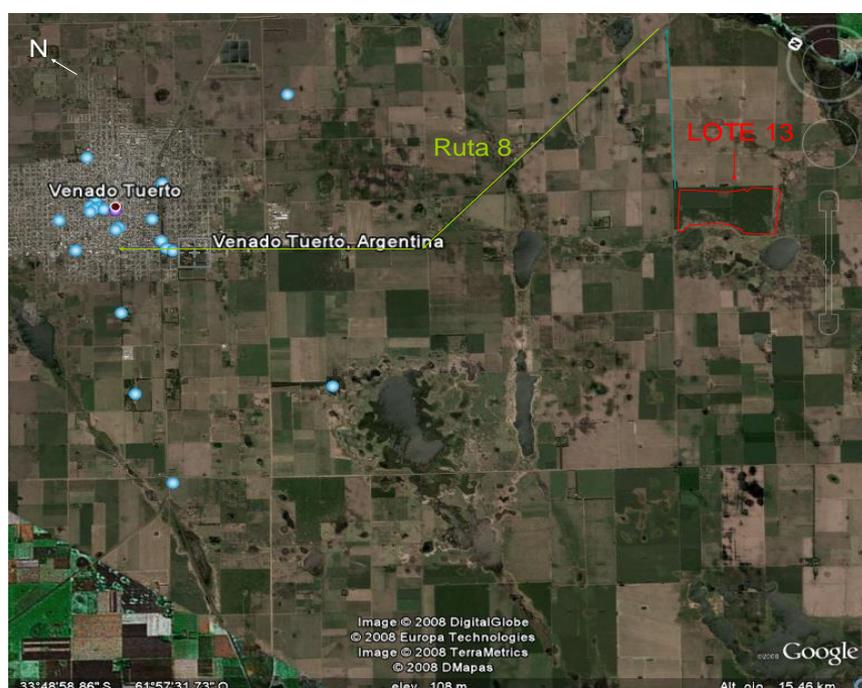


Figura 1. Localización del sitio de estudio.

La unidad experimental es el lote N° 13 del establecimiento La Rinconada. El mismo posee un historial de 10 años de agricultura, con tecnología de siembra directa desde su comienzo y con una rotación soja-maíz-trigo/soja 2^{da}-maíz. Este lote fue elegido para su estudio por disponer de mapas de rendimiento de aceptable calidad y por que se verificó la existencia de variabilidad en los rendimientos para lograr el objetivo de este trabajo.

2.2 Recopilación de información:

a) Mapas de rendimiento: los mismos fueron facilitados por la consultora GEOCampo. Estos mapas fueron obtenidos por monitores PF Advantage de AgLeader instalados en las cosechadoras. La información recolectada es almacenada en tarjetas Compact Flash las cuales permiten descargarlos en una PC, los cuales ya vienen georeferenciados, para su posterior procesamiento.

Un mapa de rendimiento es un archivo digital de puntos con tres valores básicos: latitud, longitud, y valor de rendimiento. Al ser procesados digitalmente y al visualizarse en una pantalla se observan los puntos como áreas de diferentes colores que representa la localización espacial de los rindes. En tal sentido, en la Figura 2 se observan las diferencias de colores que presentan los distintos rangos de rendimientos, y así es posible poder distinguir las diferentes zonas de producción dentro del lote, zonas que nos permiten inferir unidades homogéneas de respuesta a la producción.

Del conjunto de mapas analizados, se seleccionaron aquellos que pertenecían a lotes con historial de producción de maíz particularmente para los ciclos de producción 2005/2006 y 2007/2008.

Además de los mapas se dispuso de material cartográfico auxiliar tales como imágenes satelital de Google Earth y fotocartas de suelos para ayudar a la definición de áreas homogéneas de rendimiento.

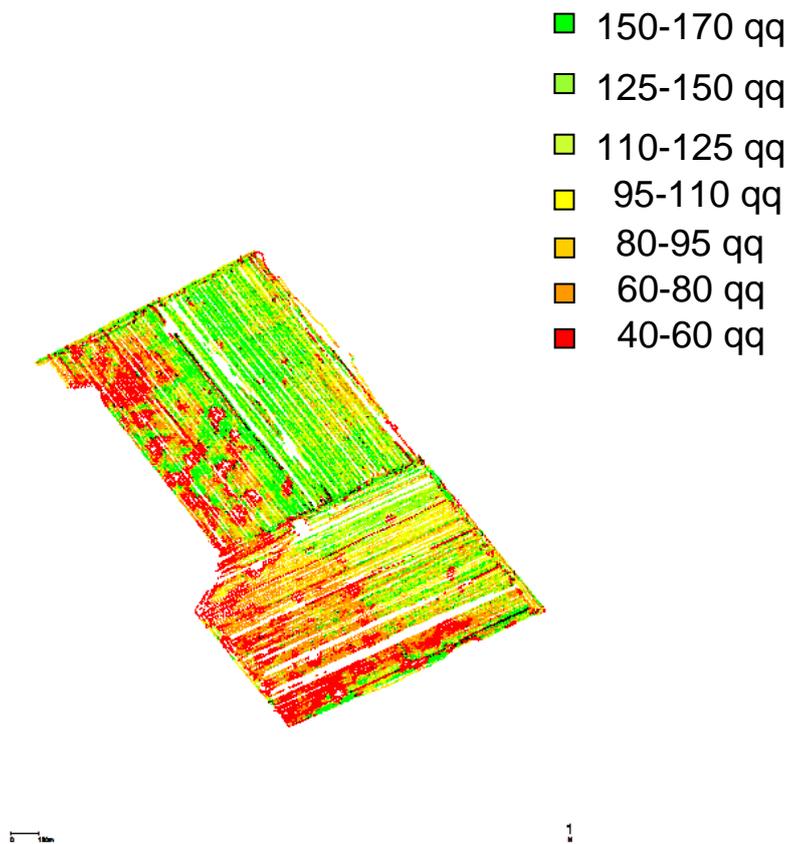


Figura 2. Mapa de rendimiento.

b) Clima y suelo: la información climática (datos diarios de temperaturas máximas y mínimas, precipitaciones y vientos) fue brindada por la estación metereológica del Centro Agrotécnico Regional de Venado Tuerto. La información edáfica se relevó en dos fechas: agosto de 2006 se obtuvieron datos mediante un muestreo dirigido de Materia Orgánica lábil y estable, fósforo, reacción de pH, infiltración y conductividad hidráulica y junio de 2008 donde se realizo una descripción de perfiles de suelos según las Normas de Reconocimiento de Suelo de la República Argentina (Etchevhere, 1976), con determinación analítica de materia orgánica a través del método Walkel y Black (Nelson y Sommers 1982), fósforo por le método Bray P₁ (Bray & Kurtz, 1945), Ph con disolución 1 en 1 (Lierop, 1990) y Peso Específico Aparente (Forsythe, 1975).

c) Tecnología de cultivos: en la Tabla 3 se indican los aspectos tecnológicos del cultivo de Maíz para explicar la variabilidad de los rendimientos de las campañas agrícolas seleccionadas.

Tabla 1. Tecnología de producción del cultivo de maíz.

AÑOS	Fecha de siembra	Fertilizacion	Kg/lts	Por Ha	Híbrido	Bolsas	Densidad(pl/ha)	Has	Rinde
2005-2006	23/09/2005(maíz)	Fosfato Diamonico(23/09/05)	30243 kg	168 kg	Dekalb 722 Mg	186 bolsas	80.000 plt	180 ha	123 qq
		Solmix 80-20(08/10/05)	33010 lts	234 lts					
		Solmix 80-21(27/11/05)	9023 lts						
2007-2008	10/10/2007(maíz)	Solmix 80-20(24/09/07)	65060 lts	311 lts	Nidera AX 882 Mg	231 bolsas	85.000 plt	209 ha	89 qq
		Fosfato Diamonico(10/10/07)	14710 kg	70 kg					

2.3 Procesamiento y análisis de la información:

2.3.1 Procesamiento de los mapas de rendimiento:

Esta actividad se desarrolló mediante el software SMS AGLeader (Case IH) empleando el siguiente procedimiento:

a) Carga de datos: se descargan los archivos de la tarjeta (Compact Flash) que contienen los mapas de rendimiento. Se nombra cada mapa con el cultivo y el año correspondiente de manera que identifique el lote en caso de no presentarlos.

b) Visualización de los mapas: una vez cargados los archivos desde la tarjeta desde la rama de información y usando la opción crear mapa nuevo, se visualizan los datos en la pantalla para realizar las acciones que se requieran.

c) Corrección de errores: El primer paso con el mapa visualizándose en la pantalla y mediante la operación “editar capa”, se obtiene una nueva pantalla donde se van a seleccionar y eliminar los diferentes datos de rendimiento considerados “ilógicos” tales como: valores de 0 qq o valores extremos muy elevados. Estos datos normalmente provienen de: maquinadas encimadas, maquinadas realizadas con medio cabezal, atoramiento de la maquina, vueltas en vacío o cabeceras en vacío.

El segundo paso de corrección se realiza mediante una operación de “filtrado de datos”, lo cual permite eliminar datos con valores extremos de acuerdo al cultivo en cuestión y valores obtenidos a campo. A tal efecto, se deben cargar valores de rinde máximo y mínimo definidos arbitrariamente según criterios agronómicos o estadísticos (promedio mas 2 desvios estandar).

d) Validación de los datos de rendimiento: para conocer el grado de exactitud del mapa se realiza la comparación entre el dato real de rendimiento y el dato obtenido en el mapa una vez procesado.

Para mejorar la exactitud, el software permite realizar una acción llamada “convertir datos a escala” que se realiza con el objetivo de llevar los datos registrados por el monitor a valores más similares a los reales (datos obtenidos por la pesada de los carros tolvas) para lograr un mapa de mayor grado de exactitud. Esto se realiza colocando el factor de escala, que resulta de dividir el dato del rendimiento promedio real por el teórico.

e) Definición de unidades homogéneas de rendimiento (UHR):

Es importante tener presente que la comparación de mapas de rendimiento de diferentes ciclos productivos no es correcta, ya que un valor de rendimiento que puede ser considerado “alto” en una cosecha puede ser “bajo” en otra de mayor potencial productivo. Una manera de evitar esto es trabajar con los valores de los desvíos de rendimiento con respecto al valor promedio del lote en cada ciclo, lo que se suele llamar mapas de rendimiento “normalizados”. En los mapas normalizados se reformulan los mapas de rendimiento llevándolos a un índice relativo con respecto al promedio del lote. Al promedio del lote se le adjudica el valor 100 y cada valor del mapa se le calcula un índice relativo a este valor. Lo que se obtiene es un mapa que expresa las variaciones porcentuales del rendimiento con respecto al promedio. De esta manera todos los mapas de diferentes años con distinto rendimiento promedio y de distintos cultivos están en valores comparables pudiéndose promediar entre sí.

2.3.2 Análisis de la interacción genotipo-agua.

La disponibilidad de agua para el cultivo se puede analizar desde el balance hidrológico seriado (BHS). A tal efecto, se dispuso de valores mensuales de precipitación (P) y evapotranspiración (EP). Los valores de EP se obtuvieron por estimación a partir de las temperaturas medias mensuales (Thornthwaite, 1948).

Se consideró la posibilidad de encontrar diferencias edáficas en lo que respecta a la capacidad máxima de almacenaje de agua, adoptando para tal fin valores de 208 mm (Hapludol) y 291 mm (Argiudol), estimados a partir de determinaciones de constantes hidrológicas de distintos horizontes.

Los valores de excesos, deficiencias y equilibrio, resultantes del BHS, fueron dispuestos

en una tabla (Tabla 16) con el objetivo de visualizar su distribución mensual para la serie analizada.

Otro aspecto relativo a la interacción genotipo – agua, es el análisis de la Eficiencia de Uso de Agua (EUA). Según Hattendorf et al. (1988), la EUA de un cultivo puede ser definida en distintas escalas. De manera general, en condiciones de secano, se la define como el rendimiento o producción de biomasa por unidad de agua consumida. El agua consumida puede expresarse como transpiración, evapotranspiración o precipitación. Para el desarrollo de este trabajo se tomará como base la siguiente fórmula:

$$\text{EUA} [\text{kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}] = \text{R} / \text{Pp}$$

Donde R es el rendimiento del cultivo (kg ha⁻¹), en biomasa total o grano, según el objetivo de producción, Pp son las precipitaciones ocurridas durante el barbecho y el ciclo del cultivo (mm).

2.3.3 Análisis de la interacción genotipo-nutrientes.

Para integrar, procesar e interpretar la información y evaluar la posible incidencia de este recurso sobre la producción de maíz se procedió a realizar balances de N y P de acuerdo a los modelos propuestos por: Alvarez, 1999 y García, 1999 respectivamente. El balance de N es el siguiente:

$$((\text{N inicial} + \text{N mineralizado} + \text{N fertilizante}) \times \text{E}) - \text{N Cultivo} = \text{N residual}$$

N cultivo = requerimiento de nitrógeno en MAIZ de 22 kg N / t grano (14% agua)

N residual=25% de N inicial

N inicial = nitrógeno disponible 0 – 60 cm (kg N / ha.)

N mineralizado = 2.4% del nitrógeno orgánico 0-30 cm. para muestreos en presiembra y 1.8% para muestreos de 6 hojas.

N fertilizante: se despeja de la ecuación.

E= eficiencia de retención del nitrógeno (<1)

$$\text{P aplicado por fertilizantes} - \text{P extraído por el cultivo} = \text{P residual}$$

$$(\text{S fertilizante} + \text{S suelo}) - \text{S extraído por el cultivo} = \text{S residual}$$

Las necesidades del cultivo de maíz se obtuvieron de la planilla de calculo del INPOFOS (García, 1999).

Tabla 2. Necesidad de nutrientes por parte del cultivo maíz.

Cultivo Maíz	Rendimiento kg/ha	Nutriente	Requerimiento kg/ton	Necesidad kg	Extracción kg
	10000	N	22	220	145,2
		P	4	40	30
		K	19	190	39,9
		Ca	3	30	2,1
		Mg	3	30	8,4
		S	4	40	18
		B	0,02	0,2	0,05
		Cl	0,44	4,44	0,27
		Cu	0,01	0,13	0,04
		Fe	0,13	1,25	0,45
		Mn	0,19	1,89	0,32
		Mo	0,00	0,01	0,01
		Zn	0,05	0,53	0,27

CAPITULO 3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Definición de unidades homogéneas de rendimiento:

3.1.2 Selección de mapas de rendimiento: de los 16 mapas provistos se seleccionaron solo 4 mapas, todos correspondientes al lote número 13 del establecimiento La rinconada (Figura 4). Esta selección se realizó en función de la calidad de los mapas y la variabilidad de los datos. En primer lugar se eliminaron todos aquellos mapas incompletos, con datos dudosos o fuera del intervalo de producción medido. Con este criterio se descartaron 12 mapas, para trabajar con 4 de un mismo lote, siendo 2 de maíz, 1 de trigo y 1 de soja de 2da. Aunque si bien es incompleto, se lo incluyo igual porque la parte que faltaba es de un área poco representativa para el estudio en cuestión. En segundo lugar, se optó por aquellos mapas cuyo cultivo y ciclo de producción muestran variabilidad espacial. A tal efecto se eligieron 2 mapas de rendimiento del cultivo de maíz ciclo 2005/2006 y 2007/2008.

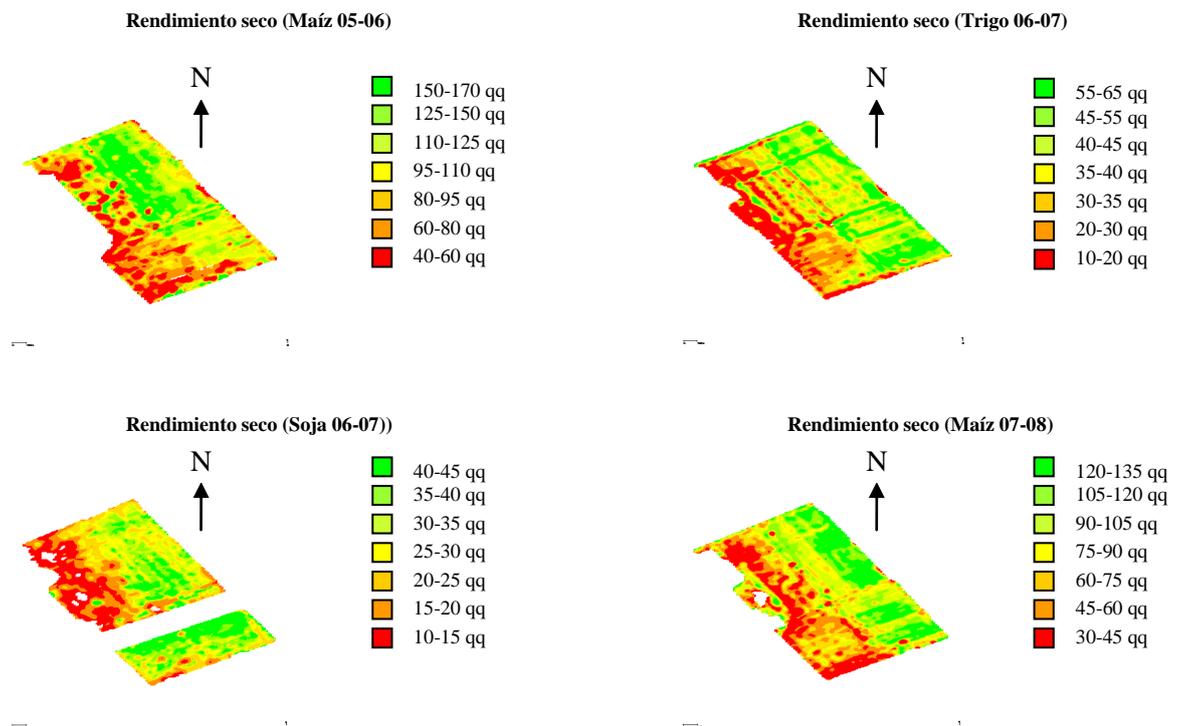


Figura 3. Mapas de Rendimientos zonificado.

Para cada mapa se establecieron 7 rangos de datos de rendimiento, siendo los valores más bajos los representados por los colores en la gama de rojos, los valores medios en la gama de los amarillos y los altos en la gama de los verdes. El mapa de maíz del ciclo 2005/2006 el rango en el color rojo va de 40 a 80 qq, en el color amarillo de 80 a 110 qq y de 110 a 170 qq el color verde. En cambio, en la campaña 2007/2008 de maíz, los colores rojos presentan un rango de 30 a 60 qq, los amarillos 60 a 90 qq y los verdes de 90 a 135 qq. Para el cultivo de trigo ciclo 2006/2007 el rango de rendimiento va de 10 a 30 qq para los colores rojos, 30 a 40 qq los amarillos y de 40 a 65 qq los verdes. Para la soja, ciclo 2006/2007 el rango de los colores rojos va de 10 a 20 qq, los amarillos de 20 a 30 qq y los verdes de 30 a 45 qq.

Esta diferencia de colores entre ciclos permite ir delineando las diferentes áreas homogéneas de producción para cada cultivo, lo cual da el punto de partida para empezar a definir los ambientes que se constituirán en sitios de manejo específico.

Para la situación en estudio y analizando los datos de cada mapa individual se observa, en líneas generales, tres unidades homogéneas de rendimiento o ambientes productivos: una franja oeste, una central y una este. En la observación individual de los mapas se puede apreciar que la franja oeste del lote presenta para todos los cultivos y ciclos de producción los menores valores de rendimiento. Mientras que las franjas central y este del lote alternan sus respuestas al rendimiento según el cultivo y el ciclo de producción. Por ejemplo, trigo y maíz 07 – 08 en la franja central presentan menos rendimiento que maíz 05 – 06 pero soja 06 – 07 no muestra con claridad tales espacios. En consecuencia y a partir de este análisis visual de los mapas, se puede adelantar que hay un sector del lote que definitivamente registra los menores rendimientos (franja oeste) mientras que los otros dos sectores son claramente visibles pero no se pueden calificar desde el punto de vista de su capacidad de respuesta a la producción (sector central y este).

3.1.3 Definición de unidades homogéneas de rendimiento (UHR) a partir de los mapas de rendimiento:

De acuerdo al procesamiento automático de los 4 mapas de rendimiento (descrito en el capítulo 2, punto 2.3.1) se obtuvo un mapa de Unidades homogéneas de rendimiento (UHR). (Figura 4) donde definitivamente se delimitaron tres unidades.

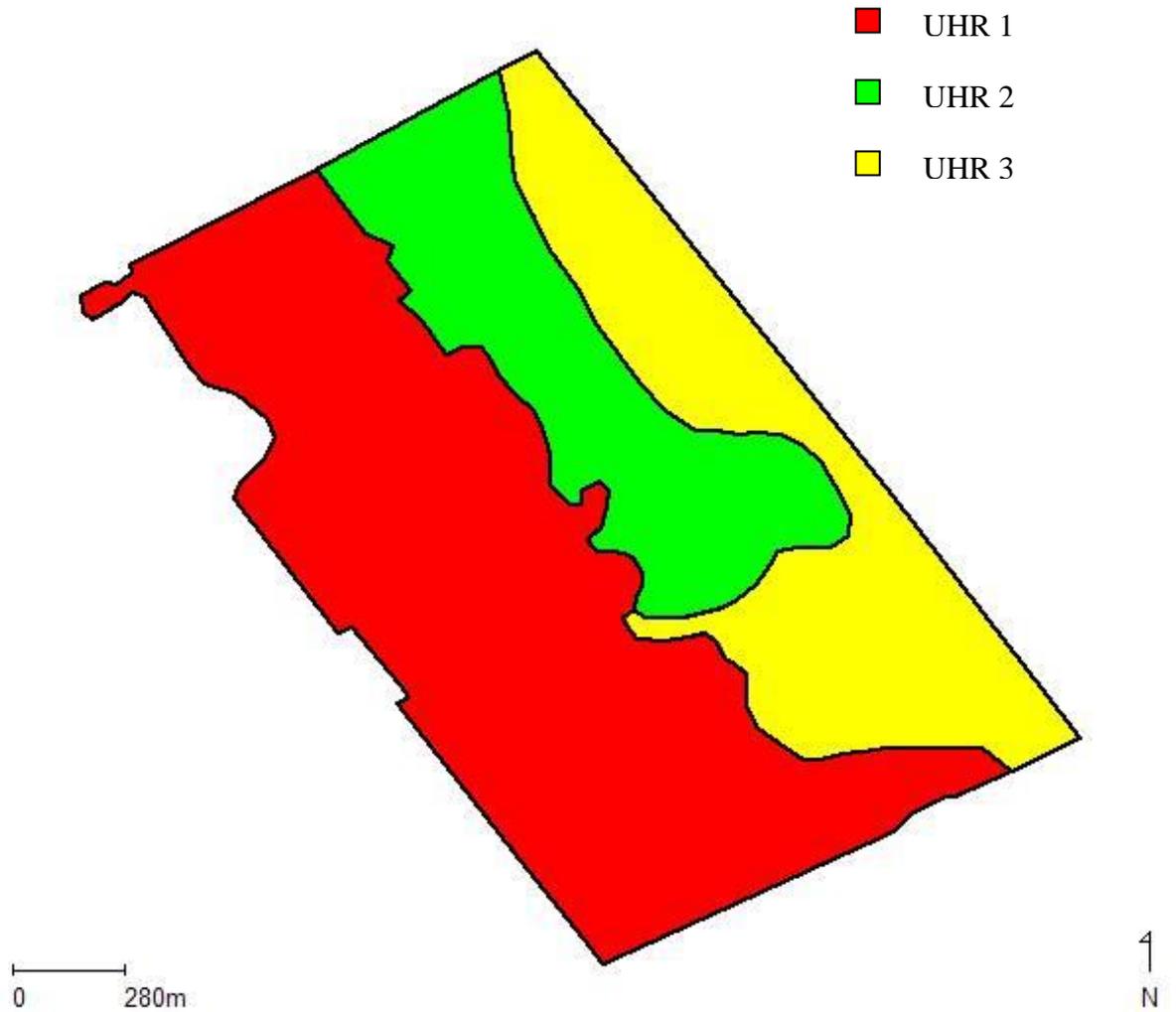


Figura 4. Mapa de las UHR.

UHR 1: corresponde a la zona oeste y sur-oeste del lote con un total de 130 has con la menor respuesta a rendimientos independientemente del cultivo realizado. Área de color rojo en el mapa de las UHR. (Figura 4).

UHR 2: corresponde a la zona central del lote con un total de 50 has con respuesta diferencial a cultivos y ciclos. Área de color verde en el mapa de las UHR. (Figura 4).

UHR 3: corresponde a la zona este del lote con un total de 70 has con respuesta diferencial a cultivos y ciclos. Área de color amarillo en el mapa de las UHR. (Figura 4).

A los efectos de cotejar este resultado se procedió a realizar una comparación de los ambientes delimitados con la imagen de satélite provista por Google. (Figura 5).

Figura 5. Imagen Satelital UHR.



En la verificación visual de las UHR sobre la imagen solo se aprecia una diferencia en la variabilidad de la imagen que corresponde a la UHR 1. En esta zona se observa un sector con deficiencias de drenaje visualizándose por el variegado en la imagen y la presencia de bañados y lagunas. Además corresponde al sector mas bajo según las alturas snm tomadas en pantalla directamente de Google. Dicho sector es drenado superficialmente por un canal de desagüe que se realizo uniendo los diferentes cuerpos de agua y vías de escurrimiento para trasladar los excedentes hídricos hacia una laguna de mayor envergadura al sur de la provincia de Santa Fe. Esta obra ha permitido una disminución en la recurrencia de las inundaciones del sector, por lo cual las áreas aledañas, como la UHR 1 del lote 13 ha vuelto a ser cultivada desde el año 2003, con cultivos anuales. No obstante esta posición en el relieve sumado a su localización en una vía de escurrimiento regional hace suponer la presencia de suelos hidromorfos, con limitaciones estructurales para la producción, como se verificó posteriormente. Además, hacia el sector sur del área delimitada para este estudio se observa (en un detalle de la misma) un claro manchoneo lo que refuerza la presunción de la presencia de suelos con limitaciones estructurales.

En las otras unidades, no se puede deducir mucho de la imagen satelital, salvo que corresponde a zonas mas elevadas y en principio a suelos bien drenado sin peligro de encharcamiento.

3.2.1 Caracterización de las UHR:

3.2.2 Definición de sitios para descripción de perfiles

Establecidas las UHR a partir de los mapas de rendimiento, se procedió a verificar en el terreno los suelos representativos para cada UHR. Para ello se estableció una transecta (Figura 6) donde se realizaron 3 calicatas y luego se definieron 4 puntos de observación para verificar la distribución espacial de los suelos descriptos. Además se indican 4 puntos de observación (2006) realizados con anterioridad a este estudio donde se relevo información del horizonte superficial de los suelos que también se incluyo como parte de análisis explicativo de la variabilidad de rendimientos.

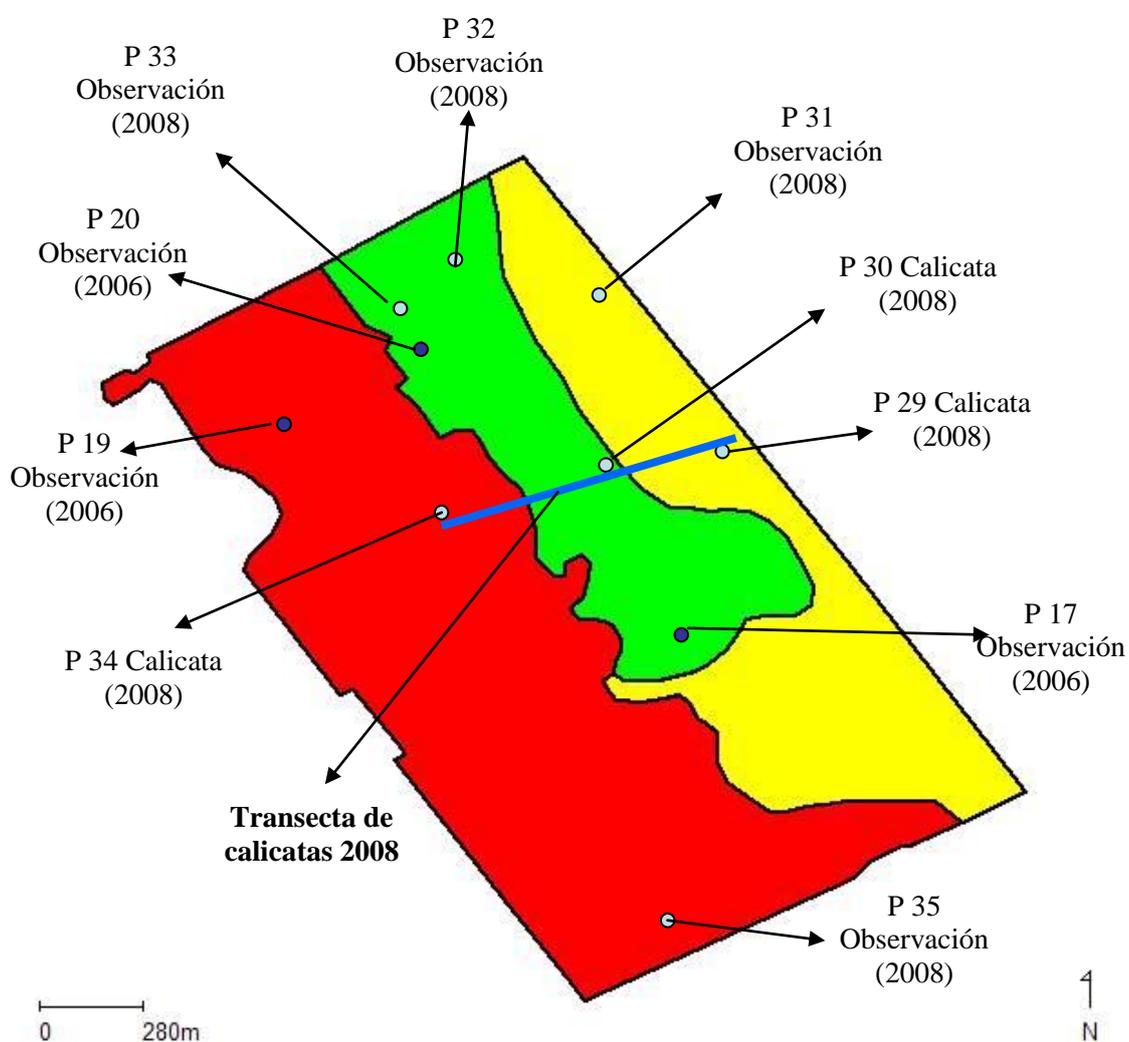


Figura 6. Puntos de observación (2006 - 2008):

3.2.2. Descripción de suelos representativo de cada UHR:

UHR 1: el suelo representativo de esta unidad es de relieve subnormal, con escurrimiento lento y con peligro de inundación clase 3: áreas poco inundables, de permeabilidad moderadamente lenta y cuyo drenaje natural es clase 2: imperfectamente drenado. Es un suelo de color claro en los horizontes superficiales y poseen un horizonte textural (Bt) con reacción alcalina a poca profundidad y no salino. Los signos de hidromorfismo se presenta a escasa profundidad (concreciones calcáreas, moteados).

Taxonómicamente se trata de un Natracualf típico, Serie Rancagua (Gorgas y Sobral, 1983). En el punto de observación P34 (Figura 6), su latitud es S33.84315 y la longitud es W61.89939, su altura snm 107 m. Se constató la siguiente organización morfológica:

E 1: 0-7 cm. pardo claro, franco limosa, estructura en bloques angulares medios débiles, limite claro, suave.

E 2: 7-20 cm. pardo muy claro, franco limosa, estructura en bloque subangulares, finos, débiles que rompen a grano simple, límite abrupto ondulado.

Bt: 20 - 55 cm. Pardo oscuro, franco arcillo limosa, estructura semicolumnar que rompe en bloques angulares medios y finos, moteados escasos, limite claro suave, moderada reacción al ácido clorhídrico a partir de los 39 cm. por la presencia de calcáreo a partir de los 70 cm. fuerte resistencia a la penetración de barreno con presencia de abundantes concreciones.

Tabla 3. Datos analíticos del suelo natracualf (2008, P 34).

Horizontes	pH	CE dS/m	P ppm	MO total %	MO estable %	MO lábil %
E1	6,63	-	49,5	2,66	2,58	0,08
E2	8,73	0,79	17,4	2,81	2,25	0,56
Bt	7,19	0,82	3,1	2,15	1,29	0,86

Tabla 4. Datos de muestreo dirigido del 2006, en el primer horizonte del perfil, E de 0-25 cm.(P 19).

pH	P	MO Total	MO Estable	MO Lábil	K (mm/h)
6,85	45,7	2,60	1,73	0,87	10



Figura 7. Foto del perfil del suelo Natracualf.

UHR 2: el suelo representativo de esta unidad es de relieve normal, microrelieve convexo, con escurrimiento rápido, permeabilidad moderadamente rápida y drenaje natural clase 4: bien drenado. Taxonómicamente corresponde a un **Hapludol típico**, Serie Santa Isabel (Gorgas y Sobral, 1983). En el punto de observación P 30 (Figura 6) cuya latitud es S 33.84167, su longitud es W 61.89461 y la altura snm 111 m. se constató la siguiente organización morfológica del perfil:

A 1: 0-7 cm., pardo oscuro, franca, bloques subangulares, finos a medios, moderados a débiles; no adhesivo, no plástico, limite abrupto, suave.

A 2: 7-17 cm., pardo, franca, bloques subangulares, medios, moderados; no adhesivos, no plásticos, limite abrupto, suave.

A 3: 17-25 cm., pardo muy oscuro, franca, bloques angulares, medios a grueso, moderados; no adhesivo, no plástico, limite claro y suave.

AB: 25-34 cm., pardo, franca, bloques subangulares, medios, moderados a débiles, no adhesivo, no plástico, limite claro y suave.

Bw1: 34-47 cm., pardo claro, franco – franca arenosa, bloques angulares, gruesos que rompen bloques angulares finos, moderados, ligeramente plástico, no adhesivo, , límite claro y suave.

Bw2: 47-55 cm., pardo claro, franca – franca arenosa, bloques subangulares, medios a finos, débiles a muy débiles; no plástico, no adhesivo, límite claro y suave.

B 3: 55 cm., pardo muy claro, franco arenosa, bloques subangulares, finos, muy débiles.

Tabla 5. Valores de PEA de los horizontes del suelo hapludol.

Horizontes	PEA
A1	1,23
A2	1,4
A3	1,45
Bw	1,45
B3	1,25

Tabla 6. Datos analíticos del horizonte A (muestra extraída entre 0 – 25 cm.) del suelo Hapludol (2008, P 30).

pH	P ppm	MO total %	MO estable %	MO lábil %
5,93	14,7	2,90	2,65	0,25

Tabla 7. Datos de muestreo dirigido del 2006, del primer horizonte del perfil, A de 0-25 cm. (P 17 y P 20).

pH	P	MO Total	MO Estable	MO Lábil	Ks (mm/h)
5,66	30,4	2,85	1,97	0,88	27
6,32	23,7	3,52	2,02	1,5	42



Figura 8. Foto del perfil del suelo Hapludol.

Se trata de un suelo muy homogéneo desde el punto de vista morfológico con una excelente exploración de raíces en todo el perfil.

UHR 3: el suelo representativo de esta unidad es de relieve normal, microrelieve cóncavo, con escurrimiento medio, permeabilidad moderada cuyo drenaje natural clase 3: suelo bien a moderadamente bien drenado.

Taxonómicamente corresponde a un **Argiudol típico**, Serie Venado Tuerto, (Gorgas y Sobras, 1983). De la observación realizada en el punto P 29 (Figura 6), cuya latitud es S33.84144, la longitud es W61.89245 y la altura snm 107 m. se pudo constatar la siguiente organización morfológica:

A1: 0-8 cm., pardo oscuro, franco limosa, bloques subangulares, medios, moderados; no plástico, no adhesivo, límite abrupto.

A 2d: 8-20 cm., pardo muy oscuro, franco limosa, bloques aplanados, medios a gruesos, fuertes; ligeramente plástico, no adhesivo; límite claro suave.

AB: 20-28 cm., pardo, franco limoso, bloques subangulares, medios, moderados; ligeramente plástica, no adhesivo, límite claro, suave.

Bt1: 28-37 cm., pardo amarillento, franco arcillo limoso, bloques angulares, medios, moderados; barnices escasos, plástico, no adhesivo, límite abrupto.

Bt2: 37-47 cm., pardo amarillento, franco arcillo limoso, prismas que rompen en bloques angulares, plástico, adhesivo, barnices húmicos-arcillosos abundantes, límite claro suave.

B 3: mas de 47 cm., pardo amarillento, franca limosa, bloques subangulares, medios, finos débiles a moderados.

Tabla 8. Valores de PEA de los horizontes del suelo argiudol.

Horizontes	PEA
A1	1,2
A2	1,4
B1	1,4
Bt	1,16
B3	1,15

Tabla 9. Datos analíticos del suelo Argiudol, horizonte A de 0-25 cm. (2008, P 29).

pH	P ppm	MO total %	MO estable %	MO lábil %
6,28	16,7	3,13	1,19	1,94



Figura 9. Foto del perfil del suelo Argiudol.

Es un suelo que presenta cierta anisotropía del perfil a raíz de una marcada compactación en el horizonte A2. Genéticamente también presenta un cambio textural significativo por la presencia de horizontes texturales. Se observó una escasa exploración de raíces en los horizontes sub-superficiales del perfil.

3.2.3 Discusión sobre los suelos identificados en las UHR.

La **UHR 1** esta compuesta por suelos que pertenecen a la aptitud de uso **Clase IIIws** (Gorgas y Sobral, 1983). Esta clase por aptitud de uso, presenta severas limitaciones estructurales que restringen tanto la elección de cultivos como en la implementación de prácticas de manejo y conservación más complejas, intensas y más difíciles de mantener. En tal sentido, el suelo observado en esta unidad posee como limitaciones estructurales más importantes: a) drenaje interno pobre, lo que aumenta el riesgo de anegamiento y por tanto muerte de los cultivos por anoxia; también puede restringir las operaciones de labranza y cosecha durante un lapso significativo de tiempo. b) alcalinidad: la alcalinización es una consecuencia del aumento en el contenido de sodio intercambiable; la hidrólisis del Na intercambiable o del Na_2CO_3 produce un incremento del pH, se produce la dispersión de las arcillas y de la materia orgánica. La dispersión de los sistemas coloidales y la consiguiente destrucción de la estructura afectan al movimiento del agua a través del suelo, por la disminución del tamaño de poros incrementando los problemas de falta de oxígeno. La alcalinidad, además de limitar la selección de cultivos interfiere en el ciclo de los nutrientes.

La condición de alcalinidad en períodos de oxidación, hace que en el proceso de nitrificación (en donde se produce la formación de amonio), la reacción se incline a la formación de amoníaco, con la consiguiente pérdida de nitrógeno en forma gaseosa (desnitrificación). Esta condición incrementa la solubilidad del hierro y en situaciones prolongadas se produce la reducción de sulfatos. Estas modificaciones son importante desde el punto de vista de la planta ya que todos ellos son nutrientes esenciales que según su forma química pueden o no ser absorbidos por las raíces (Bernardo et al., 2005).

Los análisis de suelo realizados en el primer horizonte una reacción de pH débilmente ácida, una elevada disponibilidad de fósforo (presumiblemente por las aplicaciones realizadas) y tenores medios de materia orgánica con una baja proporción de la fracción estable. El segundo horizonte analizado (E2), indica la presencia de un horizonte fuertemente alcalino, no salino. Por último la baja permeabilidad observada en el horizonte superior refleja condiciones subsuperficiales de baja permeabilidad.

En definitiva, se ha comprobado que este ambiente está muy condicionado por sus limitaciones estructurales lo que explica su menor capacidad de respuesta al rendimiento de los cultivos. Quedaría por analizar en otra instancia si es correcto el uso agrícola al que está sometido actualmente o si el manejo tecnológico es el adecuado.

Los suelos representativos de las **UHR 2 y 3** pertenecen por su aptitud de uso a la **Clase I-1** (Gorgas y Sobral, 1983). Son suelos con ninguna o leves limitaciones que restringen al uso para la mayoría de los cultivos con aplicación de prácticas de manejo más generalizadas (a diferencia de suelos del la UHR1). El peligro de erosión o la erosión actual no supera el nivel de riesgo leve o ligero. Están libres de inundaciones que obstaculicen la preparación de la tierra, la siembra, el crecimiento de los cultivos o la cosecha. Tienen adecuada capacidad de retención de agua y están suficientemente provistos de elementos, nutrientes o dan respuestas económicamente satisfactorias al empleo de fertilizantes.

No obstante, de acuerdo a los datos analíticos y morfológicos relevados se pudo comprobar que estos suelos poseen moderadas limitaciones funcionales vinculadas particularmente con la exploración radicular y el funcionamiento hídrico. En tal sentido, con los datos de PEA se pudo constatar un incremento en la densidad de los horizontes sub-superficiales como lo son el A2, A3 y Bw en el caso del Hapludol y del A2 y B1 en el caso del Argiudol, con valores de PEA mayor o igual 1.4 gr/cc, con respecto al resto de horizontes. Esto evidenciaría un incremento en la compactación de esos suelos por parte de la continua actividad agrícola y el tránsito de maquinarias de gran porte. Esta situación fue mas clara en el Argiudol donde se observó un subtipo de estructura en bloques aplanados, y una menor exploración de raíces de trigo (cultivo presente al momento de describir el suelo) en el perfil.

3.3.1 Análisis de la variabilidad de rendimientos en las UHR

Tal como se expuso en el Capítulo 1, el rendimiento de un cultivo es producto de la interacción del genotipo con la radiación solar y temperatura, con el agua disponible durante el ciclo y con la disponibilidad de nutrientes para un determinado manejo tecnológico.

Para realizar este análisis se seleccionó el rendimiento de cultivo de maíz durante los ciclos 2005/2006 y 2007/2008.

Esta selección se fundamentó en que es el cultivo que con mayor claridad revela variabilidad interanual y espacial para todas las UHR y particularmente para las UHR 2 y UHR 3 que alternan el mayor rinde para cada año analizado. En la tabla 4 se presentan los datos de rendimiento promedios por UHR.

Tabla 10. Rindes Promedios de Maíz por UHR y ciclo.

Ciclo	UHR 1	UHR 2	UHR 3	Promedio del lote	Diferencias entre UHR 2 Y UHR 3
2005-2006	102 qq	136 qq	125 qq	121 qq	11 qq
2007-2008	78 qq	93 qq	103 qq	91 qq	10 qq
Promedio interanual	90 qq	114 qq	114 qq	106 qq	0 qq

Los resultados analizados indican variabilidad por ambiente y año de producción. Se constata en primer lugar una diferencia de producción entre años siendo esta de 30 qq promedio más para el ciclo 05/06. En segundo lugar (analizando las diferencias entre unidades) podemos observar que en ambos ciclos la UHR 1 presenta los menores rendimientos, mientras que para las UHR 2 y 3 se visualiza diferencias interanuales.

Por otra parte, en la producción promedio interanual de las UHR, no se encuentra diferencia entre la 2 y la 3, pero si entre estas y la UHR 1, ya que se observa 24 qq de diferencia.

En síntesis, se observa claramente que la UHR 1 rinde en ambos ciclos menos que las otras dos. Esto obedecería a que el suelo representativo de esta unidad presenta las mayores limitaciones estructurales (analizadas en el punto 3.2.3).

Cuando se analiza el rendimiento promedio para las unidades 2 y 3 se observa un comportamiento diferencial según año y sitio. En la UHR 2 se obtiene el mayor rendimiento en el ciclo 05/06 mientras que en el año 07/08 el mayor rendimiento fue logrado en la UHR 3. Si bien estas diferencias son en el orden de los 10 – 11 qq y pueden que no sean estadísticamente significativas, explicarlas requieren de profundizar en el análisis del sistema clima – suelo – cultivo ya que en principio los suelos no presentan limitaciones

estructurales a la producción. Por otra parte, esta diferencia es significativa desde el punto de vista económico ya que importa el costo de la faena de cosecha.

Para iniciar el análisis, primeramente se indaga la **interacción genotipo - radiación solar y temperatura** para tratar de interpretar si estos factores tuvieron algún impacto sobre la producción. A falta de datos de radiación solar, se procedió a analizar la evolución de las temperaturas asumiendo que las variaciones de temperatura explican más del 80% de las variaciones de radiación solar (Bristow y Campbell 1984). En la figura 10 se presentan las temperaturas medias mensuales para la zona de Venado Tuerto (presentes en la Carta de Suelo) con las registradas para los dos ciclos de producción (Estación metereológica del Aero Club de Venado Tuerto).

Tabla 11. Temperaturas medias mensuales de la carta de suelo de la zona de Venado Tuerto.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
Temperatura Media	23,8	22,7	19,8	15,7	12,8	9,9	9,3	10,7	13,1	16,6	19,8	22,3	16,4

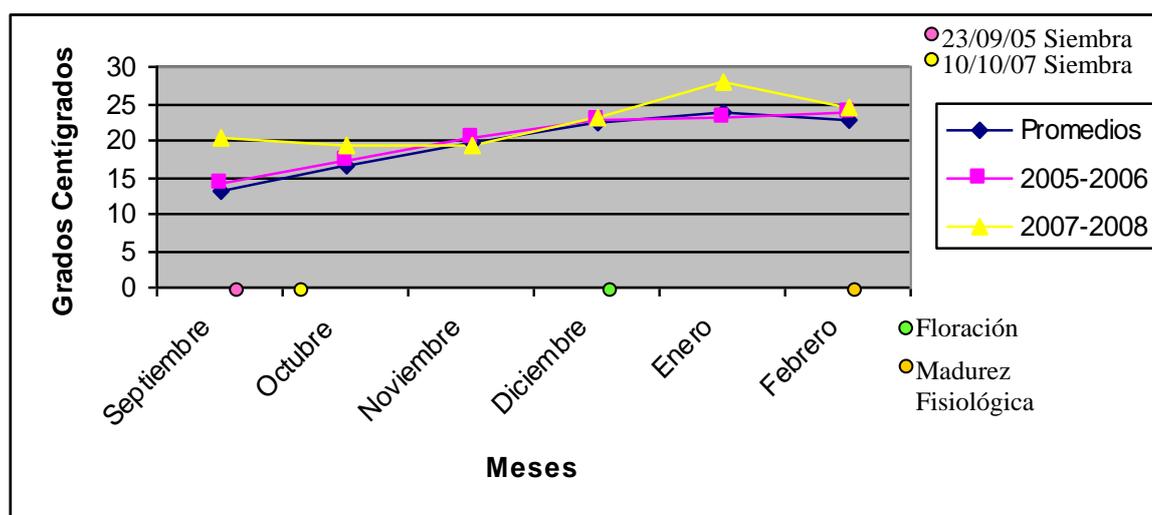


Figura 10. Gráfico de las temperaturas medias mensuales promedios de la región y los ciclos 05/06 y 07/08.

En Figura 10 se puede observar como en el ciclo 2005-2006 las temperaturas mensuales medias se asemeja mucho al promedio histórico, mientras que en el ciclo 2007-2008 las temperaturas superan al principio y al final del ciclo los promedios históricos.

El maíz requiere una temperatura de 25 a 30°C para obtener una óptima tasa fotosintética. Además, requiere alta intensidad de luz solar. Por tanto en climas húmedos, con mayor cantidad de días nublados, su rendimiento potencial es más bajo. Para que se produzca la germinación en la semilla la temperatura debe situarse entre los 15 a 20°C de

temperatura ambiente. El maíz llega a soportar temperaturas mínimas de hasta 8°C (Temperatura base) y a partir de los 30°C pueden aparecer problemas serios debido a mala absorción de nutrientes minerales y agua y al aumento de la tasa respiratoria. Para la fructificación se requieren temperaturas de 20 a 32°C (Cirilo, 1994). Para una mejor interpretación de estos requerimientos, se analizan las temperaturas medias diarias para los dos años de producción, (se presenta como medias móviles para suavizar las curvas).

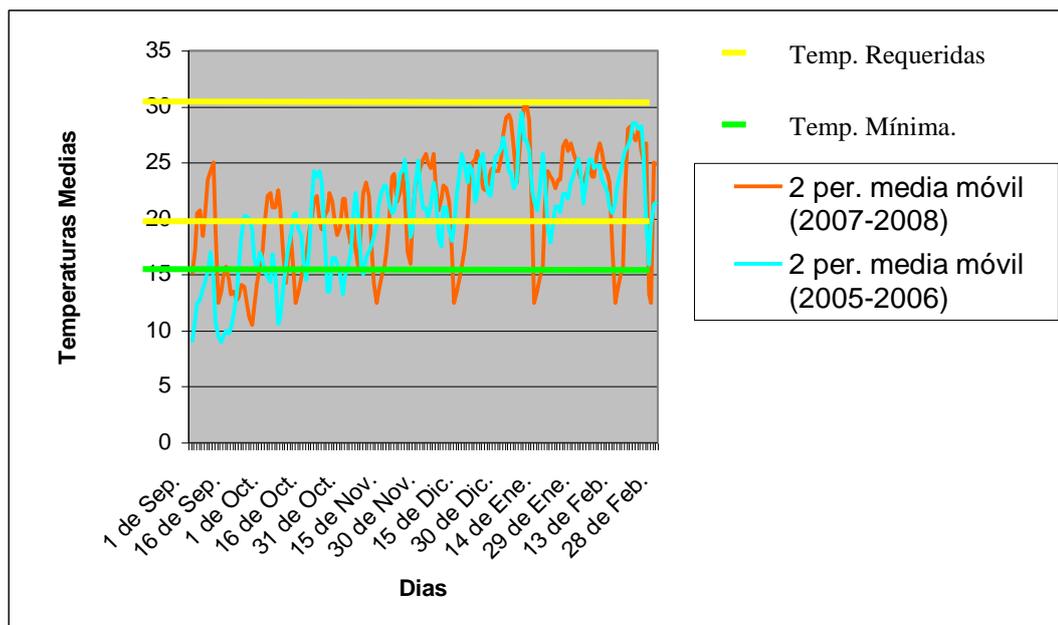


Figura 11. Temperaturas promedios diarias de los ciclos de producción.

Como se puede observar en el gráfico las temperaturas diarias del ciclo 07/08 fueron en su mayoría superiores a las del ciclo 05/06, pero presentaron a su vez una gran oscilación a lo largo del ciclo, llegando en 5 oportunidades a disminuir por debajo de la temperatura de desarrollo mínima, produciéndose en el estado vegetativo y reproductivo del cultivo, lo cual en principio no es favorable para el normal desarrollo del mismo.

En cambio el ciclo 05/06 presentó un régimen estable a lo largo del ciclo del cultivo, con temperaturas óptimas prácticamente para todo el desarrollo del mismo.

Para profundizar este análisis, se procedió a comparar la suma de grados días (G.D) con la duración de los estados vegetativos y reproductivos del cultivo.

Esto se realiza sumando los grados centígrado de las temperaturas medias diarias, por encima de un umbral de 8 grados. Para esto se tomó una suma de 900 G.D desde siembra a floración (estado vegetativo y 1000 G.D más desde floración a madurez fisiológica (estado reproductivo).

Tabla 12. Datos de suma de grados días y promedio de temperaturas diarias para el estado vegetativo y reproductivo del cultivo.

Estado fenológico	Fechas y días	Suma de G.D 2005/2006	Fechas y días	Suma de G.D 2007/2008
Vegetativo	23/9-26/12 (94 días)	908,7	10/10-02/01(84 días)	903,45
Promedio de G.D		9,57		10,63
Reproductivo	27/12-11/03(74 días)	1004,5	03/01-23/03(79 días)	1006,5
Promedio de G.D		13,39		12,58
E. - M.Fisiológica	168 días		163 días	

En la tabla 12 se puede ver como el cultivo en el ciclo 07/08 llego a floración 10 días antes que en el ciclo 05/06, debido a su retraso en la fecha de siembra y a las mayores temperaturas durante estado vegetativo del cultivo.

Para el mismo ciclo, el estado reproductivo culmino 5 días antes que el ciclo 05/06 debido a que éste presento mayores temperaturas durante el mismo período.

Por último, se resalta que el ciclo 05/06 fue 5 días mas largo que el ciclo 07/08, y esto se debe al retraso de la fecha de siembra, por lo cual recibió mayores temperaturas en sus primeros estadios, lo que acelero su etapa vegetativa al acumular antes los grados días necesarios para llegar a floración, y por mas retraso de su etapa reproductiva, alcanzó en menos días totales la madurez fisiológica del cultivo.

Esto permite considerar que pudo haber diferencias en el desarrollo del índice de área foliar en los diferentes ciclos, lo cual haya afectado el llenado del grano por tener menor área fotosintética (ciclo 07/08) por un lado, o por presentar picos de temperaturas elevadas en la etapa inicial de llenado de los granos (primeros días después de floración) durante la cual pueden tener lugar fuertes modificaciones en el número de granos (Maddoni y Otegui, 1996).

Analizada la relación temperatura - producción, la segunda limitante de la producción esta vinculada a la **interacción agua – cultivo**. Esta relación se cuantifica a través de la eficiencia de uso del agua. Dicho parámetro se expresa como kg grano producido/kg agua utilizada. El agua disponible para el cultivo, depende de varios factores: las lluvias, la capacidad de almacenaje del suelo, la capacidad de captación del agua por las raíces del cultivo y del flujo transpiratorio de la planta. En primer lugar y a los fines de este trabajo, se analiza la evolución de las precipitaciones para los dos ciclos bajo análisis y se

discute en líneas generales la relación lluvia y producción para maíz. En la Fig. 12 se presentan las precipitaciones a lo largo de los ciclos de producción de maíz.

Tabla 13. Precipitaciones máximas, mínimas y medias de la zona de Venado Tuerto presentes en la carta de suelos (en mm de agua).

	J	J	A	INV.	S	O	N	PRI.	D	E	F	VER.	M	A	M	OTO.	AÑO
Media	26	35	30	91	54	90	76	220	94	95	99	288	116	78	53	247	846
Máxima	127	164	182		141	332	255		267	309	270		248	273	142		1254
Mínima	0	0	0		0	5	3		2	0	6			27	21	0	584

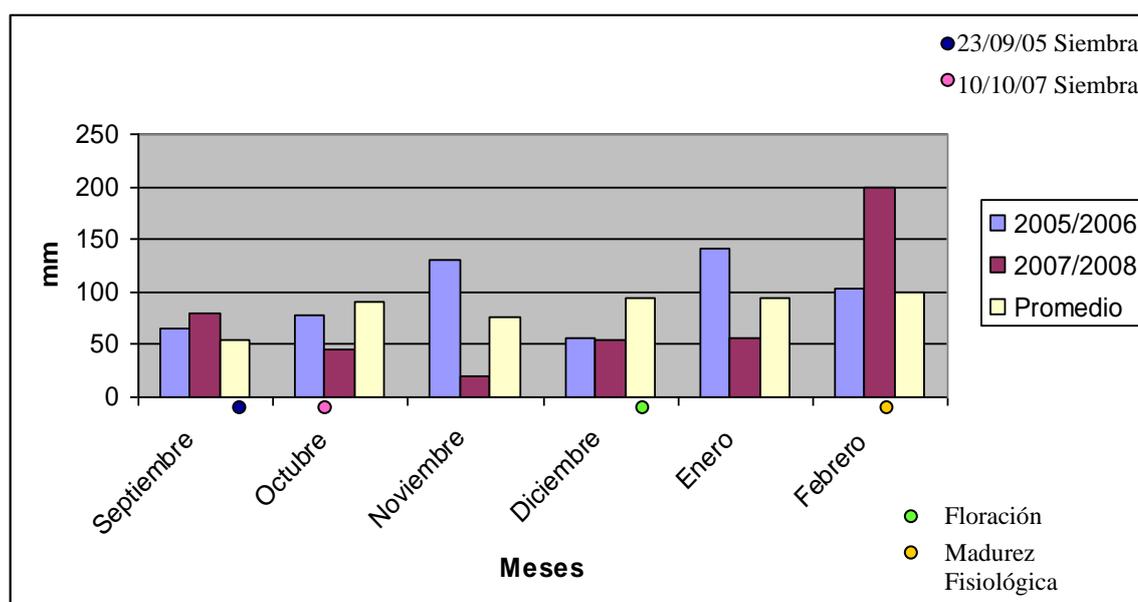


Figura 12. Precipitaciones en el área de Venado Tuerto durante ciclo desarrollo maíz: promedio histórico, ciclo 05 – 06 y 07 – 08.

El promedio histórico de las precipitaciones semestrales (septiembre-febrero) que coinciden con el ciclo de maíz –siembra hasta su estado de madurez fisiológica para la zona de Venado Tuerto es de 508 mm., distribuidos como se lo observa en la figura 12.

Como se puede observar en el gráfico, la campaña 05/06 supero en la mayoría de los meses del ciclo la acumulación de mm de lluvias, superando en tal sentido la cantidad total de mm llovidos a lo largo de los 6 meses; siendo para el ciclo 05/06 576 mm, mientras que para el ciclo 07/08 fue de 456 mm. En tal sentido, se observa el ciclo 07/08 ha sido un año seco (comparado a las precipitaciones promedios de la zona), sumado a mayores temperaturas lo que podría haber incrementado la posibilidad de estrés hídrico afectando los rindes para ese año.

En tal sentido, los cultivos estivales están expuestos a sequías erráticas, de intensidad y duración variables que se originan por una combinación de factores atmosféricos (Ej.: lluvias, altas temperaturas) o edáficos (Ej.: tosca o pan de arcilla cercanos

a la superficie). Dependiendo de la intensidad, duración y el momento de ocurrencia las sequías pueden tener efectos devastadores (Andrade y Sadras, 2000). En caso de maíz las mayores disminuciones en rendimiento se producen cuando el déficit hídrico ocurre alrededor de floración. El maíz es altamente susceptible a las deficiencias de agua en floración, reduciendo la formación de granos severamente.

En segundo lugar se analiza la EUA como variable de síntesis de la disponibilidad de este recurso. Según determinaciones realizadas en EE-Oliveros, en la localidad de Santa Isabel, Santa Fe, (Andriani, 2000) midió el consumo de agua en diferentes cultivos a lo largo de su ciclo de crecimiento y desarrollo. Para un maíz de 90 qq, obtuvo un consumo total de 530 mm, es decir una EUA de 17 kg/mm de lluvia/ha.

Así, los valores máximos y mínimos según Hattendorf et al. (1988) son para maíz de 10 – 24 kg ha/ mm de lluvia. . Para Schmalz y Rivetti (2007) el promedio es de 25 Kg de grano por Ha. por mm de lluvia para la zona de Río Cuarto.

En tal sentido, realizando el cálculo de EUA para el ciclo 2005/2006, propuesta por Hattendorf (24 kg/mm/ha) el rinde promedio esperado sería de 13.824 kg/ha, pero el mismo fue de 12.100 kg/ha. En cambio, para el ciclo 2007/2008 el rinde debió ser de 10.944 kg/ha, pero el mismo fue de 9100 kg/ha. Evidentemente han ocurrido pérdidas del agua disponible por las precipitaciones. Estas pérdidas podrían vincularse a escurrimiento superficial, percolación o ineficiencia en la captación de agua por las raíces.

La cantidad y tasa de absorción de agua y nutrientes por las plantas depende de la habilidad de las raíces de absorber de la solución del suelo que está en contacto, como así también de la habilidad que tiene el suelo de suministrarla y transmitirla hacia las raíces a una velocidad tal que permita satisfacer los requerimientos de transpiración y crecimiento (Gil, 2002). En tal sentido esto implica:

A -Condiciones de superficie para una correcta entrada de agua al perfil.

B - Adecuada capacidad de almacenaje de agua y libre movimiento de la solución agua más nutriente desde el suelo a la raíz.

C - Ausencia de limitaciones, ya sean genéticas (naturales) o inducidas, en la profundidad del suelo para el desarrollo de raíces.

A partir de los tres aspectos mencionados precedentemente, se presenta a continuación la discusión para las UHR identificadas en este análisis:

A- Para ambas UHR (2 y 3) la superficie cubierta por rastros, según los datos brindados por el encargado del establecimiento alcanzaba el 80 % por lo que presentaban una adecuada protección frente a eventuales escurrimientos y pérdidas de agua por evaporación. Por otra parte la Ks del horizonte A de la UHR 2 es aceptable (a valores de la zona) con un promedio de 35 mm/hr. La única diferencia existente es el microrelieve: la UHR 2 presenta un micro relieve convexo mientras que la UHR 3 el micro relieve es cóncavo. Esta característica podría generar en posibles acumulaciones de agua superficial con posibles estados de anoxia para el cultivo.

B- Capacidad de retención de agua útil del suelo: es de 208 mm de agua hasta los 2 metros de profundidad para el suelo de la UHR 2, mientras que para el suelo representativo de la UHR 3 es de 291 mm.

C- Sin densificaciones importantes en ninguno de sus horizontes en la UHR 2, en cambio la UHR 3 presenta un horizonte densificado a los 20 cm. de profundidad.

Resistencia Mecánica (RM): en la UHR 2 sería media a baja, ya que no presentaría dificultades las raíces para su desarrollo, situación comprobada por la observación de una gran abundancia de las mismas en el perfil.

La UHR 3 no presenta limitaciones genéticas para el desarrollo de los cultivos, si en cambio se detectó la presencia de limitaciones inducidas como una **capa densificada** a los 20 cm de profundidad la cual puede afectar el normal desarrollo y exploración de las raíces en los primeros centímetros, como así también afectar el flujo de nutrientes hacia la raíz sobre todo de aquellos de baja movilidad en suelo.

La compactación del suelo, además de intensificar su resistencia mecánica (RA), entorpece la aireación. Con ello se superpone la acción de dos factores que pueden restringir el crecimiento de las raíces y la producción del vegetal.

Con bajas RM, la deficiencia de oxígeno puede ser el factor que incide con mayor peso provocando la restricción del crecimiento de las raíces, en cambio con altas RM la deficiencia de oxígeno pasa a ser un factor muy secundario, aunque una mejor oxigenación suele atenuar los efectos de RM. En situaciones medias, la RM es por mucho el factor más importante en la restricción del crecimiento de las raíces.

Es interesante destacar que experiencias conducidas para estudiar la incidencia de las resistencias mecánicas sobre el crecimiento de las raíces de maíz, en relación con los efectos de las deficiencias de oxígeno mostraron que la ausencia casi total de oxígeno en el suelo, si bien limitaba el crecimiento de las raíces, no lo hacía en forma tan marcada como una alta RM y que bastaba una corta reoxigenación del medio, para anular el efecto depresivo de varios días de anaerobiosis. Puesto que las RM del suelo se debilitan con el aumento de la

humedad, el mantenimiento de un exceso de humedad sería menos desfavorable que una desecación del suelo. También se comprobó que los efectos depresivos de las RM se intensificaban cuando las condiciones exteriores eran más favorables para el crecimiento vegetal (Perigaud S, 1965 y 1966).

Los tenores de materia orgánica, otorgan a este ambiente (UHR 2) una alta estabilidad estructural, lo cual permite que las raíces exploren todo el volumen del suelo sin limitaciones, dando las condiciones, si no se registran déficit hídrico, para un alto potencial de rendimiento. Esta posible situación de menores rendimientos debido a escasa precipitaciones, se asocia a su menor capacidad de almacenamiento de agua (208 mm.) en el perfil comparado con el suelo Argiudol (291 mm.).

La capacidad de agua disponible (CAD) se refiere a la cantidad total de agua que un suelo puede almacenar para el crecimiento del cultivo y es la diferencia entre la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP). La CAD esta afectada por la textura del suelo.

En relación a la textura, Damiano y Taboada (2000) realizaron un estudio a escala 1:500 000 en diferentes subregiones pampeanas de Argentina, uno de los resultados obtenidos fue el de un perfil de un suelo Argiudol típico con una CAD de 169 mm y el de un suelo Hapludol entico con una CAD de 69 mm hasta los 100 cm. de profundidad.

Para integrar los aspectos discutidos precedentemente, se procedió a realizar un Balance Hídrico Climático (Método Thorwaite) para evaluar el agua disponible, que supone que el suelo capta el 100% del agua de lluvia y no existen limitantes para el desarrollo radicular. La única variable en consideración es la capacidad de retención de agua útil. Los valores de precipitaciones y temperatura utilizados para realizar el balance se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14. Valores de precipitación y temperaturas para realizar el balance hídrico.

Meses	Prom. Mensual (Grados C)	Temp. Mensuales(mm)
Sep-04	13,56	0
Oct-04	16,03	89
Nov-04	18,7	79
Dic-04	22,08	130
Ene-05	22,43	102
Feb-05	21,96	41
Mar-05	19,94	101
Abr-05	15,02	59
May-05	13,41	3
Jun-05	11,57	28

Jul-05	10,88	35
Ago-05	11,79	65
Sep-05	13,99	33
Oct-05	17,08	78
Nov-05	20,51	131
Dic-05	22,76	57
Ene-06	23,15	141
Feb-06	23,9	104
Mar-06	20,7	73
Abr-06	19,1	137
May-06	12,95	0
Jun-06	13,35	46
Jul-06	14,19	8
Ago-06	11,8	0
Sep-06	15,26	10
Oct-06	20,4	34,5
Nov-06	20,92	119,5
Dic-06	24,75	177,5
Ene-07	24,61	89
Feb-07	23,52	105
Mar-07	20,66	199
Abr-07	18,25	195,5
May-07	12,91	30,5
Jun-07	11,95	24,5
Jul-07	8,72	18,5
Ago-07	8	0
Sep-07	20,48	80,5
Oct-07	19,4	44,5
Nov-07	19,3	20
Dic-07	23,2	55
Ene-08	27,9	57
Feb-08	24,65	200
Mar-08	22,65	106
Abr-08	19,8	2

Tabla 15. Capacidad de almacenaje de cada horizonte y el total del perfil hasta los 2 mts. de profundidad.

Hapludol

Horizontes	Profundidad(cm)		Eq. Humedad	Eq.Hum*0,5	PEA	PEA/10	Cap. Alm.
Ap	0	20	16,5	8,25	1,23	0,13	20
A1	20	36	21,7	10,85	1,23	0,12	21
B2	36	67	18,2	9,1	1,45	0,15	41
B3	67	98	16,5	8,25	1,45	0,15	37
C	98	200	14,5	7,25	1,2	0,12	89
							208

Argiudol

Horizontes	Profundidad(cm)		Eq. Humedad	Eq.Hum*0,5	PEA	PEA/10	Cap. Alm.
A1	0	20	30	15	1,2	0,12	36
B1	20	29	29,6	14,8	1,4	0,14	19
B2t	29	58	29,4	14,7	1,4	0,14	60
B3	58	115	25,2	12,6	1,16	0,12	83
C	115	200	18,4	9,2	1,2	0,12	94
							291

Tabla 16. Salida del Balance hídrico climático de Thorwaite.

Hapludol	Déficit	Reserva Suelo	Excedentes	Argiudol	Déficit	Reserva Suelo	Excedentes
		208				291	
Sep-05	0,0	208,0	3,5	Sep-05	0,0	291,0	3,5
Oct-05	0,0	208,0	24,7	Oct-05	0,0	291,0	24,7
Nov-05	0,0	208,0	45,7	Nov-05	0,0	291,0	45,7
Dic-06	0,0	150,4	0,0	Dic-06	0,0	231,4	0,0
Ene-06	0,0	169,9	0,0	Ene-06	0,0	252,9	0,0
Feb-06	0,0	162,7	0,0	Feb-06	0,0	245,7	0,0
Sep-07	0,0	208,0	0,0	Sep-07	0,0	291,0	0,0
Oct-07	0,0	180,4	0,0	Oct-07	0,0	263,4	0,0
Nov-07	0,0	126,6	0,0	Nov-07	0,0	209,6	0,0
Dic-07	0,0	59,5	0,0	Dic-07	0,0	142,5	0,0
Ene-08	69,8	0,0	0,0	Ene-08	0,0	13,2	0,0
Feb-08	0,0	80,4	0,0	Feb-08	0,0	93,6	0,0

Este balance (tabla 16) en primer lugar permite distinguir los 2 ciclos de producción ya que muestra en ambos suelos excedentes de agua en los meses de septiembre, octubre y noviembre en el ciclo 05/06. Mientras que para el ciclo 07/08 el suelo Hapludol presenta un déficit de agua en el mes de enero, que en el Argiudol no se exhibe posiblemente debido a su mayor capacidad de almacenaje en el perfil y menor percolación. Este balance explicaría la diferencia de producción entre los suelos para el ciclo seco. Sin embargo los resultados para el ciclo húmedo no son explicado ya que la UHR 3 (Argiudol) rindió en promedio 1.100 kg menos que la UHR2 (Hapludol) para el ciclo 2005/2006.

Sin embargo cuando se comparan los rindes por unidades, la respuesta es diferencial y ocurre que para el ciclo húmedo el sitio con Argiudoles rinde 1.100 kg menos que para el sitio con Hapludoles, hecho que no se observa para el ciclo seco ya que el rinde es mayor en el Argiudol (1.000 kg). El balance hídrico presenta excedentes en los primeros estadios de desarrollo del cultivo para ambos suelos. Sin embargo esta situación podría ser más crítica desde el punto de vista de posibles estados de anoxia al cultivo en el suelo Argiudol (UHR 3) por las siguientes razones:

- El microrelieve cóncavo puede inducir a una mayor precipitación efectiva con un menor escurrimiento superficial.
- La permeabilidad del perfil es menor por tener un horizonte textural y la presencia de una compactación entre los 8 a 20 cm.

Estas características del suelo podrían haber inducido afectación del cultivo por anoxia en los primeros estadios de crecimiento. Rodríguez y Ramírez (1987) reportaron caídas de rendimiento de biomasa aérea y radicular del 13,8% y 16,9% respectivamente cuando el maíz es sometido a anoxia por espacio de 14 días luego de 12 días de germinada la plántula y caídas de rendimiento del 49,3% y 38,14% de biomasa aérea y radicular cuando es sometido a un segundo estrés por 14 días luego de recuperado del primer estrés. Un efecto de este tipo podría haber ocurrido en la UHR3, porque las diferencias registradas en rangos de alta producción donde el cultivo es más exigente y sensible a limitaciones funcionales.

3.3.2 Balance de Nutrientes: se realizo un balance de nutrientes de los 2 ciclos de maíz, con los aportes de nutrientes por parte de los fertilizantes, los aportados por el suelo y la necesidad del cultivo (según los rindes promedios del lote).

Tabla 17. Valores de nutrientes aportados por fertilizantes y por el suelo.

Fosfato Diamónico	18 % N 20 % P
Solmix 80-20	6 % S 24 % N
Suelo(Mineralización de M.O en kg/ha de N) Hapludol (05/06) 3,19% Hapludol (07/08) 2,9% Argiudol (05/06) 3,3 % Argiudol (07/08) 3,13 %	137 kg/ha 129 kg/ha 149 kg/ha 145 kg/ha
Suelo(ppm de Azufre en kg/ha de S) 05/06 20 ppm 07/08 15 ppm	52 kg/ha 39 kg/ha

Tabla 18. Fuentes de nutrientes por fertilización.

Cultivo	Fertilización kg/ha	Fósforo	Nitrógeno	Azufre
Maíz 05-06	168 Kg Diamónico	33,6 kg	30,2 kg	
	234 lts Solmix 80-20		56,2 kg	14 kg
Maíz 07-08	70 Kg Diamónico	14 kg	12,6 kg	
	311 Lts Solmix 80-20		74,6 kg	18,7 kg

Tabla 19. Balance de nutrientes.

UHR 2			
136 qq			
Maíz(05-06)	P	N	S
Aporte por Fertilizantes	33,6	86,4	14
Suelo	0	140	52
Extracción por grano	41	197	24
Balance	-7,4	29,4	42

93 qq			
Maíz(07-08)	P	N	S
Aporte por Fertilizantes	14	87,2	18,7
Suelo	0	129	39
Extracción por grano	28	135	17
Balance	-14	81,2	40,7

UHR 3			
125 qq			
Maíz(05-06)	P	N	S
Aporte por Fertilizantes	33,6	86,4	14
Suelo	0	155	52
Extracción por grano	38	183	23
Balance	-4,4	58,4	43

103 qq			
Maíz(07-08)	P	N	S
Aporte por Fertilizantes	14	87,2	18,7
Suelo	0	144	39
Extracción por grano	31	150	19
Balance	-17	91,2	38,7

Los resultados obtenidos son positivos para los nutrientes N y S, en cambio los balances de P presenta resultados negativos como el 99% de los casos de la Pampa Humedad.

Como no se contaban con datos de disponibilidad de nitrógeno al inicio de la siembra, se precedió a recopilar información de 39 análisis de nitratos a la siembra hasta los 50 cm de profundidad. Se agruparon los datos en función del contenido de materia orgánica del horizonte A. Los resultados se muestran en la tabla 20.

Tabla 20. Nitratos a la siembra para suelos clase I-I. Zona de Venado Tuerto.

Numero de muestras	% de M.O	NO3 hasta 50 cm. (kg/ha)
13	> o = a 3	104
26	< a 3	85

Fuente: Estudio Agronómico, de Martín Silva Rosi.

De acuerdo a estos datos se puede observar que las disponibilidades a la siembra de nitrógeno por nitratos junto con el N aportado por la mineralización de la materia orgánica superan ampliamente la extracción por el cultivo estimado en el balance de nutrientes, para los dos tipos de suelo (se asume que suelos con menos de 3% de materia orgánica es similar al suelo de la UHR 2 y con mas del 3 % de materia orgánica es similar al suelo de la UHR 3).

Este resultado permite en principio descartar que este factor del rendimiento influya sobre la variabilidad de la productividad de maíz para las campañas analizadas.

CAPITULO 4

CONCLUSIONES

Con el siguiente trabajo se ha logrado:

- Evaluar la aptitud de la información generada por las tecnologías de agricultura de precisión para realizar interpretaciones agronómicas.
- Obtener unidades cartográficas en función de la respuesta a rendimiento de diferentes unidades de tierras mediante el procesamiento digital de mapas de rendimiento.
- Avanzar en el análisis de la relación suelo – clima – cultivo en base a la identificación de limitantes estructurales y funcionales de la producción. En este sentido se concluye que:
 - La metodología empleada es de utilidad en la interpretación agronómica del rendimiento. Sin embargo se requiere de más información experimental y análisis de tecnologías de procesos (en lugar de tecnologías de insumo)
 - Las evaluaciones realizadas muestran diferencias entre unidades con fuertes diferencias en la aptitud productiva de los suelos y para ciclos climáticos contrastantes
 - Las evaluaciones realizadas no fueron suficientes para explicar diferencias funcionales a nivel de unidades de similar aptitud productiva.
 - Es necesario profundizar en el análisis cuantitativo de los procesos físicos – biológicos que definen el rendimiento con un mejor diseño experimental y con modelos de simulación de base física.
 - La utilización de las tecnologías de agricultura de precisión como instrumento de manejo de los cultivos sobre un esquema de caja negra o sobre el análisis de tecnologías de insumos (más rinde más insumos se proveen) para las condiciones analizadas no es aplicable.

En función de lo concluido se propone como futura línea de investigación implementar ensayos experimentales con el registro de las siguientes variables físicas – biológicas durante el ciclo del cultivo:

- a) Clima: radiación solar, temperatura, humedad relativa, viento, lluvia.
- b) Cultivo: IAF, producción de biomasa (total y cosechable).
- c) Suelo: humedad volumétrica, resistencia mecánica, perfil de raíces, N, P y S.

BIBLIOGRAFÍA:

ALVAREZ, R. 1999. Uso de modelos de balance para determinar los requerimientos de fertilizante nitrogenado de trigo y maíz. (Ed) EUDEBA, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.

ANDRADE F.H., y SADRAS V.O., 2000. Efectos de la sequía sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos. En: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. (Eds) F.H. Andrade y V.O. Sadras. EEA-INTA Balcarce, Fac. de Ciencias Agrarias UNMP. pp 173-206.

ANDRIANI, J. M., 2000. El agua en los sistemas productivos. Para mejorar la producción, editado por SAGPyA y el INTA-EEA Oliveros, Santa Fe N°13, 72 pp.

BERNARDO, I; BONADEO, E; MORENO, I; BOGIOVANNI, M. y MARZARI, R.2005. Material de Apoyo didáctico, Sistema Suelo Planta. U.N.R.C.

BEST, S. 2005. Agricultura de precisión en Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuaria (INIA). Chile. En BONGIOVANNI, R; MANTOVANI, E; BEST, S. y A. ROEL. (Ed.) 2006. Agricultura de precisión: integrando conocimientos para una agricultura moderna. PROCISUR. IICA.

BONGIOVANNI, R; MANTOVANI, E; BEST, S. y A. ROEL. (Ed.) 2006. Agricultura de precisión: integrando conocimientos para una agricultura moderna. PROCISUR. IICA. pp 15.

BRAGACHINI, M. 2006. Conferencia del INTA Manfredi en la mega muestras 2006. Mecanización agrícola en argentina presente y futuro “innovaciones tecnológicas previsibles”. Oncativo, Argentina.

BRAY, R.H., AND L.T. KURTZ. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci. 59: 39-45.

BRISTOW, K. y G. CAMPBELL. 1984 On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. Agriculture and Forestry Meteorology 31 159-166.

CIRILO, A.G. 1994. Tesis de Magíster Scientiae. Univ. Nac. de Mar del Plata. Argentina. 86 pp.

DAMIANO F. y TABOADA M.A. 2000. Predicción del agua disponible usando funciones de pedo-trasferencia en suelos agrícolas de la región pampeana. Ciencia del Suelo 18 (2) 77-88.

ETCHEVHERE, P. 1976. Normas de Reconocimiento de Suelos. INTA.

FAO 1981 Report of de Agro-ecological Zones Project: Methodology and Results for South and Central America. World Soil Resources. Volume 3 Report 48/3

FORSYTHE 1975. Física de suelos, Manual de Laboratorio. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. San José de Costa Rica

GARCIA, F. 1999. INPOFOS Cono Sur. Unidad Integrada INTA Balcarce-FCA Universidad Nacional de Mar del Plata.

GIL, R C. 2002 El Comportamiento Físico – Funcional de los Suelos. 4° Curso de Agricultura de Precisión. Oncativo.

GORGAS, J., y R. SOBRAL, 1983. Cartas de suelos de la República Argentina, Hoja Venado Tuerto. INTA, pp: 19-118.

HATTENDORF, M.J., REDELFF, M.S., AMOS, B., STONE, L.R., y GWIN, R.E., 1988. Comparative water use characteristics of six row crops. Agron. J. 80: 80-85.

LIEROP W VAN. 1990. Soil pH and Lime Requirement Determination. R.L. Westwrman. (Editor). Soil Testing and Plant Analysis 3^{er} ed. ASA, SSSA, Madison WI, pp. 76-120.

MADDONNI, G.A and M.E. OTEGUI. 1996. Leaf area, light interception, and crop development in maize. Field Crops Res. 48:81-87.

MANTOVANI, E. 2004. Agricultura de precisión en Brasil. En: www.evandro.mantovani@embrapa.br. Consultado: 18-07-08.

MELCHIORI, R. 2001 .Variabilidad espacial en algunas propiedades del suelo. En <http://www.tucumanproductivo.com.ar/doc/contenido/\FactoresdeRendimientoCultivodeSoja> . Consultado: 18-07-08.

MULLA D.J., y J.S. SCHEPERS. 1997. Key processes and properties for site-specific soil and crop management. p. 1-18. In: F.J. Pierce y E.J. Sadler (editors). The state of site-specific management for agriculture. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI.

NELSON, D.W., AND L. E. SOMMERS. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: A.L. Page et al. (Editor). Methods of soil analysis. Part 2 2nd ed. ASA, SSSA, Madison WI, pp. 539-577.

ORTEGA R y L. FLORES 1999. Agricultura de precisión, introducción al uso de manejo de sitio específico.

PERIGAUD, S. 1965. Efectos de la resistencia mecánica y el déficit de oxígeno sobre el desarrollo radicular. C.R Acad.Agric. 1965, 1209-1220.

PERIGAUD, S. 1966. Efectos de la resistencia mecánica y el déficit de oxígeno sobre el desarrollo del maíz. Nutrición mineral del maíz C.R Acad.Agric. 1966, 695-707.

POCKNEE, S., B.C. BOYDELL, H.M. GREEN, D.J. WATERS, Y C.K. KVIEN. 1996. Directed Soil Sampling. In: P.C. Roberts, R.H. Rust, y W.E. Larson (Ed.) Proceeding of the 3rd International Conference of Precision Agriculture. Minneapolis, Minnesota. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI.

RODRÍGUEZ, B y R. RAMÍREZ. 1987. Influencia de la tasa de difusión de oxígeno en el suelo sobre la acumulación de materia seca en maíz. *Agronomía tropical*. 37(4-6): 53-62

ROEL, A y FIRPO, H. 2004. Integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable. *Agricultura de precisión en Uruguay*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuaria (INIA), Uruguay. En BONGIOVANNI, R; MANTOVANI, E; BEST, S. y A. ROEL. (Ed.) 2006. *Agricultura de precisión: integrando conocimientos para una agricultura moderna*. PROCISUR. IICA.

ROEL, A. y PLANT, R. 2004a. Factors Underlying Yield Variability in Two California Rice Fields. *Agronomy Journal* 96: 1481-1494.

ROEL, A y PLANT, R. 2004b. Factores que determinan la variabilidad de rendimiento en 2 cultivos de arroz Californiano. *Jornadas Agronómicas 1996*. (1): 77-90.

ROBERT, P. 1999. *Agricultura de precisión: revolución de la agricultura de precisión en los agricultores*. Outlook Forum 1999, st. Paul, MN. February 1999. ASA, CSSA, SSSA, Wi.

SARAIVA, A.M; CUGNASCA, C.E; HIRAKAWA, A.R. 2000. Aplicación variable de fertilizantes. *Agricultura de precisión*. Viscosa, MG, 2000, pp. 108-145.

SCHMALZ, H. J Y RIVETTI, A. R 2007. Respuesta del cultivo de maíz (zea mays) a diferentes modelos de riego complementario. Tesis. Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina.

THORNTHWAITE, C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geog. Review*, 38:55-94.

