

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

RESPUESTA RESIDUAL DE LA SOJA DE SEGUNDA A LA FERTILIZACIÓN
CON P, K Y S
AL TRIGO EN AMBIENTES CON DISTINTA PRODUCTIVIDAD

por

Iván Alfredo KRAMAROV DE LEÓN
Gabriel Héctor RIBAS HERNANDEZ

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo

MONTEVIDEO
URUGUAY
2013

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. Oswaldo Ernst

Ing. Agr. PhD. Mónica Cadenazzi

Ing. Agr. Guillermo Siri

Fecha:

26 de septiembre de 2013.

Autores:

Iván Alfredo Kramarov De León

Gabriel Héctor Ribas Hernández

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a todos los familiares y amigos que estuvieron en nuestra formación como profesionales y como personas. Su apoyo ha sido de mucha importancia durante toda la carrera así como también en el desarrollo de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	2
2.1 <u>FÓSFORO</u>	2
2.1.1 <u>Generalidades y respuesta vegetal</u>	2
2.1.2 <u>Residualidad del fósforo</u>	2
2.1.3 <u>Momento de la fertilización</u>	4
2.2 <u>AZUFRE</u>	5
2.2.1 <u>Generalidades del azufre</u>	5
2.2.2 <u>Residualidad del azufre</u>	5
2.3 <u>POTASIO</u>	7
2.4 <u>ZONAS DE PRODUCCIÓN</u>	10
2.4.1 <u>Cuantificación de las distintas variables</u>	10
2.4.2 <u>Zonas de manejo</u>	11
2.4.3 <u>Mapas de rendimiento</u>	12
2.4.4 <u>Factores que determinan la variabilidad del rendimiento</u>	13
2.5 <u>GEOESTADÍSTICA</u>	16
2.5.1 <u>Semivariograma</u>	17
2.5.2 <u>Predicción espacial</u>	18
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	20
3.1 <u>CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ENSAYO</u>	20
3.1.1 <u>Descripción del sitio experimental</u>	20
3.1.2 <u>Diseño experimental y tratamiento</u>	21
3.1.3 <u>Manejo del cultivo</u>	23
3.2 <u>DETERMINACIONES</u>	24
3.2.1 <u>Datos climáticos</u>	24
3.2.2 <u>Estimación de rendimiento</u>	24
3.2.3 <u>Perfil de suelo</u>	25
3.2.4 <u>Nutrientes disponibles en el suelo</u>	25
3.2.5 <u>Componentes de rendimiento</u>	25
3.2.5.1 <u>Rendimientos en grano</u>	25
3.3 <u>ANÁLISIS ESTADÍSTICO</u>	27

3.3.1 <u>Análisis espacial</u>	28
3.3.2 <u>Análisis de correlaciones</u>	30
3.3.2.1 Semivariogramas.....	30
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	31
4.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA	31
4.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL EXPERIMENTO.....	33
4.2.1 <u>Estadística descriptiva</u>	33
4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS OBTENIDOS POR MONITOR DE RENDIMIENTO.....	35
4.4 RENDIMIENTO EN GRANO DE SOJA Y SUS COMPONENTES NUMÉRICOS.....	40
5. <u>CONCLUSIONES</u>	42
6. <u>RESUMEN</u>	43
7. <u>SUMMARY</u>	44
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	45
9. <u>ANEXOS</u>	54

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Descripción de los tratamientos.....	21
2. Resumen de manejo del cultivo.....	23
3. Indicadores de posición y dispersión de las variables relevadas.....	33
4. Valores resultantes del semivariograma estandarizado.....	36
5. Comparación de medias por tratamiento.....	37
6. Efecto de los tratamientos en los atributos del suelo.....	38
7. Efecto residual de la fertilización en trigo sobre el rendimiento de soja y sus componentes.....	40
Figura No.	
1. Representación esquemática de la obtención de un mapa por medio de kriging, utilizando un programa geoestadístico.....	19
2. Mapa de ambientes y ubicación del sitio experimental.....	20
3. Mapa de ubicación de los tratamientos en la chacra.....	22
4. Mapa de grillas de muestreo de tratamientos.....	22
5. Mapa de grilla utilizada para perfil de suelo.....	22
6. Mapa de rendimiento corregido según monitor rendimiento.....	24
7. Temperaturas medias mensuales de noviembre 2011- mayo	

2012 para el periodo en estudio y serie histórica 1961-1990 en Estación Meteorológica Mercedes.....	31
8. Precipitaciones medias mensuales de noviembre-mayo para el periodo en estudio y serie histórica 1961-1990 en Estación Meteorológica Mercedes.....	32
9. Mapa Rendimiento estandarizado.....	35
10. Ajuste Semivariograma de rendimiento estandarizado.....	36
11. Validación cruzada.....	36
12. Semivariograma.....	37
Gráfico No.	
1. Ejemplos de semivariogramas y sus parámetros.....	18

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura de secano en Uruguay se realiza en un marco de una alta variabilidad climática y de ambientes edáficos. Esto determina importantes variaciones de rendimiento entre años y a su vez una gran variación en la respuesta vegetal intra o entre chacras (Del Campo, 2007). Sin considerar esta variabilidad casi la totalidad del área agrícola es manejada de manera uniforme basados en requerimientos promedio que ignoran esta variabilidad (Hatfield, Stafford, citados por Terra, 2010).

El rendimiento de los cultivos está definido por factores del suelo y clima que varían en el espacio y el tiempo. Cuando las causas de esta variabilidad pueden ser identificadas y medidas, esta información puede usarse para modificar las prácticas de manejo del cultivo con el objetivo de mejorar la rentabilidad de la producción o disminuir su impacto ambiental (Plant, 2001).

En el Uruguay en los últimos años está ampliamente difundida la secuencia trigo/soja, donde más del 50% del área sembrada, es soja de segunda (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2011). En el cultivo de segunda la fertilización es escasa o nula, ya que la estrategia es fertilizar al cultivo de invierno y utilizar la fertilidad residual en el cultivo de verano. Esta estrategia resulta en balances que van de neutros a negativos dependiendo de otros factores (Cano et al., 2006).

La intensificación agrícola, sumada a una falta adecuada de reposición de los nutrientes del sistema, ha producido un empobrecimiento progresivo de la fertilidad de los suelos. Como consecuencia se han reportado zonas con respuesta a la fertilización con azufre en lugares donde antes este nutriente no era deficiente. Barbazán et al. (2011), sostienen que cerca del 20% del área del país mantiene cierta probabilidad de responder a la fertilización potásica.

Estudios realizados en Uruguay plantean ajustar la estrategia de fertilización para los cultivos de segunda, ya que en la mayoría de las situaciones existe escasa residualidad de la fertilización al cultivo de invierno, por lo que se siembra con baja disponibilidad de nutrientes a la siembra (Hoffman et al., s.f.)

El objetivo general de la presente investigación fue evaluar el efecto residual de los nutrientes agregados a los cultivos de invierno sobre el cultivo de segunda e identificar aquellos factores del terreno que condicionan la respuesta a la fertilización.

La hipótesis del trabajo es que, si se fertiliza el cultivo de invierno con cantidades de P,K,S requeridas por la secuencia trigo/soja existe respuesta productiva en ambos cultivos y que ésta respuesta interacciona con el rendimiento alcanzable de las distintas zonas de la chacra determinadas en base a atributos del terreno.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 FÓSFORO

2.1.1 Generalidades y respuesta vegetal

El fósforo, luego del nitrógeno, es el nutriente que más frecuentemente afecta la producción de cultivos. Forma parte de enzimas, ácidos nucleídos y proteínas, estando involucrado en prácticamente todos los procesos de transferencia de energía. El contenido total de P en el suelo se relaciona a características del material parental y el clima (García y Picote, 2004).

Este elemento y su adecuada disponibilidad es crítico para lograr un rápido crecimiento y un desarrollo adecuado de la parte aérea, de las raíces, de los nódulos de soja (número, ubicación y tamaño) y de una eficiente FBN (García, citado por Fontanetto et al., 2011).

En cuanto a la nutrición mineral, la soja es el cultivo de más altas exigencias y el de mayor índice de cosecha de nutrientes, considerando la escasa fertilización de los cultivos de segunda se asocia a balances negativos de este nutriente en el sistema de producción (Cano et al., 2006).

En Uruguay la amplia mayoría de los suelos son naturalmente deficitarios de P, ya que en los materiales de origen de esos suelos el nivel de fosforo va de 3.2 a 5.2 ppm (Hernández et al., 1995). Como la mayoría de las especies de cultivos y pasturas sembradas requieren niveles superiores a 10 ppm, es necesario fertilizar anualmente durante periodos de más de una o dos décadas para lograr disponibilidad no limitante en el suelo (Morón, 1996). La aplicación consecutiva de P sumado a su baja movilidad ha conducido a que exista una heterogeneidad de situaciones respecto a la disponibilidad de este nutriente en el suelo.

Echeverría y García (1998) para 101 ensayos en la Region pampeana de Argentina entre 1996 y 2004, encontraron que los suelos con niveles de P menores de 13-14 ppm presentarían respuestas rentables a la fertilización con P.

2.1.2 Residualidad del fósforo

En el caso de la secuencia trigo/soja (Fontanetto et al., Salvagiotti et al., citados por Fontanetto, 2006) observaron que las prácticas de fertilización aplicadas al trigo

influyen sobre la soja de segunda y que en el caso de tratamientos con nutrientes poco móviles en el suelo (por ejemplo P) es posible dejar remanentes aprovechables directamente por la soja. Estos remanentes aumentaron los niveles de P (ppm) en el suelo y la soja tubo respuestas de 50 a 400 kg/ha en rendimiento en grano.

Trabajos de investigación realizados por Fontanetto et al. (2008) en la región pampeana de argentina, en las que se aplicó fosfato mono amónico (PMA) previo a la siembra de trigo en una secuencia de trigo/soja 2^a, demostraron que hubo una elevada respuesta a su agregado, registrándose una alta residualidad del P para la soja de 2^a, (el nivel de P Bray I del experimento a la siembra del trigo fue de 9,2 ppm), se concluye que debido a la poca movilidad de este nutriente en el suelo, aplicando lo suficiente para ambos cultivos queda un remanente para el cultivo siguiente, esto también traería beneficios sobre la implantación, dado a que la semilla de soja es más sensible a los efectos salinos y fitotóxicos de los fertilizantes en comparación con las semillas de los cereales.

Vivas et al. (2010) trabajando sobre la residualidad de la fertilización con P al trigo en una secuencia de trigo/soja durante cuatro zafras, encontraron que en la mayoría de los años hubo diferencia significativa en la aplicación de P y que en los años en que no se dio esa diferencia fueron en años de sequia lo que se podría explicar dado que el P, al tener poca movilidad en el suelo y estar localizado mayormente en superficie, se inactiva ante condiciones de estrés hídrico temporales. Resultado similar reporta el mismo autor Vivas et al. (2006) para condiciones de bajas precipitaciones donde en noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo, las precipitaciones fueron de 38, 85, 85, 30 y 82 mm, respectivamente durante el ciclo del cultivo de soja de segunda bajo estas condiciones no hubo efecto residual aun con dosis elevadas. El autor lo atribuye a la importancia de las precipitaciones para aprovechar la residualidad de este nutriente en la secuencia.

Un efecto importante encontrado en los trabajos sobre residualidad es que mejora los niveles de fósforo en el suelo cuando las dosis son suficientemente altas, Vivas et al. (2010) partiendo de 11 ppm al inicio del experimento la residualidad del fosforo mejoro los niveles del mismo en el suelo cuando la fertilización fue de 40 kg/ ha de P, cuando la fertilización fue la mitad no mejoro el nivel en el suelo sino que lo mantuvo y sin fertilización disminuyó. Resultados similares obtuvieron Salvagiotti et al. (2004) en trabajos sobre residualidad de P en la secuencia trigo/soja, en 7 sitios con diferentes niveles iniciales de fosforo a la siembra. En los sitios donde el nivel de fosforo inicial eran menor al nivel crítico de respuesta de 15 ppm P Bray, existió respuesta residual a la fertilización en la soja de segunda, mientras que en los lugares donde el nivel de fosforo eran superiores a los críticos la soja de segunda no tuvo respuesta a la fertilización. El efecto residual sobre el rendimiento estuvo asociado a los niveles iniciales de fosforo en el suelo.

También Boxler et al. (2006) encontraron que aumentos en la fertilidad acumulada del suelo se debieron al efecto residual de la fertilización fosfatada, esto se tradujo en incrementos significativos de los niveles de P Bray I. Además se encontró que para soja de segunda el rendimiento relativo se relaciono significativamente con el nivel de P Bray I en pre-siembra del trigo, donde con niveles de P Bray I de 13 ppm permiten alcanzar el 90% del rendimiento máximo y el 95% del rendimiento máximo se alcanza con P Bray I de 22 ppm.

2.2.3 Momento de la fertilización

Para Vivas et al. (2010) al realizar la fertilización del doble cultivo en una sola oportunidad, implica importantes ventajas operativas al reducirse el número de aplicaciones y llegar al cultivo de soja de segunda sin otro compromiso que el de la siembra.

Gerster y Novell (2003). compararon los resultados obtenidos para la secuencia de trigo/soja durante dos zafas, sobre aplicaciones a la siembra de cada cultivo contra aplicaciones a la siembra de trigo según la demanda de la secuencia. No observaron diferencias entre las aplicaciones divididas a siembra de trigo y de soja por sobre las aplicaciones a siembra de trigo para cubrir los requerimientos del doble cultivo. Salvagiotti et al. (2004) tampoco encontro diferencias en los rendimientos de soja por efectos de la fertilización fosfatada según el momento de aplicación de los nutrientes en la secuencia, y que además la eficiencia del fertilizante fosfatado no fue alterada por la estrategia de manejo del fertilizante (a la siembra del trigo vs en cada cultivo) oscilando entre 10 y 17 kg de grano de soja por kg de P aplicado. Resultado similares obtuvo Vivas (s.f.), con dos tratamientos uno fertilizado en trigo y con dosis de arranque para la soja de (70 kg/ha de fosfato monoamónico) y otro sin fertilizar aplicando solamente el fertilizante como arrancador. La soja producida sólo con fertilizante arrancador y disponibilidad residual de P, tuvo rendimientos competentes pero los incrementos sobre el testigo no fueron relevantes, la soja tuvo atributos para hacer eficiente la absorción de P, pero esta condición, en función de la producción de grano, fue más pronunciada cuando contó con cantidades extra de fertilizante de reciente aplicación en el volumen de suelo.

Esto concuerda con lo observado por Barrow, citado por Salvagiotti et al. (2004), donde el efecto del P residual sobre la respuesta del cultivo es menor que el proveniente de aplicaciones directas al cultivo.

2.2 AZUFRE

2.2.1 Generalidades y respuesta vegetal

Debido a la intensificación agrícola ocurrida en las últimas décadas y al aumento de los potenciales de rendimientos asociado con un planteo de fertilización con dosis limitadas para reducir costos, la fertilización nunca es suficiente para reponer los niveles extraídos, generando en consecuencia una creciente respuesta a la fertilización con (S), azufre (Gerster y Novell, 2003).

Para el caso del S, unos de los problemas asociados a la definición de la fertilización es la falta de indicadores de respuesta, (nivel de sulfatos, contenido de MO, momento de aplicación, profundidad del muestreo) lo que hace difícil identificar sitios con deficiencia en este nutriente (Echeverría et al. 2002, Gentiletti y Gutiérrez 2004). Los sitios deficientes solo se pueden identificar midiendo la respuesta del cultivo al agregado de S, la que para la serie de ensayos referida oscila entre 230 a 520 kg ha-1.

Pese a lo anterior se considera que niveles superiores a 10 ppm de azufre en el suelo de 0-20cm de profundidad son adecuado para la rotación trigo/soja, aunque el diagnóstico de las deficiencias considerando este como el único parámetro no fue preciso en varios casos (Messick, citado por Fontanetto y Keller 2006, Gentiletti y Gutiérrez Boem, Reusi Calvo et al., citados por Vivas et al. 2010) recomienda el agregado de S en lotes con niveles extractables de S-SO₄ inferiores a 10 ppm o si se han encontrado deficiencias generalizadas en la región. También Fontanetto et al.(2001) al evaluar dosis de S en la zona central de Santa Fe en suelos sin limitantes de P (> a 25 ppm, Bray 1), se verificó una alta respuesta de la soja hasta dosis de 12 ppm de S, donde se alcanzaron las mayores producciones.

2.2.2 Residualidad del azufre

En trabajos de residualidad de la fertilización en la secuencia trigo/soja en Argentina durante 4 zafra muestran que fertilizando solo al cultivo de trigo existe un efecto residual de dicho nutriente en el cultivo de soja (Vivas et al., 2010). Este efecto no se vio afectado por las condiciones de estrés hídricos de los diferentes años, ya que al tener movilidad hacia capas más profundas del perfil del suelo lo expone menos a variaciones hídricas en superficie.

Boxler et al. (2006) mediante un trabajo experimental durante 6 años y en varios sitios de la región sur de Santa Fe, Córdoba y Buenos Aires, correspondientes a los grupos CREA. En los que se evaluó el efecto de fertilizar con NPS para la secuencia trigo/soja con el criterio de suministrar lo necesario para la extracción de los granos encontró una relación estrecha entre el nivel de azufre como S-Sulfatos en la pre-

siembra de trigo y el rendimiento en la soja de segunda evidenciando así su residualidad.

Además de los resultados sobre residualidad de este nutriente existe una respuesta creciente en los rendimientos de la secuencia de cultivos trigo/soja a aumentos en los niveles de fertilización hasta 20 Kg/ha de S sin diferencias entre fuentes del nutriente (Gearhart s.f., Ferraris 2012).

En experimentos similares a los anteriores Fontanetto y Keller (2006), cuantificaron un efecto significativo del S aplicado en el trigo sobre los rendimientos de soja de segunda donde las mayores respuestas a la fertilización residuales se obtuvieron con los grupos de maduración más cortos, sobre todo los del Grupo IV.

Salvagiotti et al. (1992) en cinco ensayos (Armstrong, Maciel, Pergamino, Maciel II y Va. Eloísa), además de constatar el efecto residual del S, encontraron respuestas de 217 kg ha⁻¹ y 620 kg ha⁻¹, un 8 y 24% más en rendimiento que el testigo, con eficiencias que variaron de 15 hasta 31 kg de grano de soja por kg de S aplicado, donde no se observaron diferencias según el momento de aplicación de los nutrientes en la secuencia (a la siembra del trigo vs. en cada cultivo), lo que permitiría recomendar la fertilización del cultivo de soja en el momento que operativa y/o financieramente sea conveniente. Estos resultados son distintos a los de Barrow (1980), quien había observado que el efecto residual sobre la respuesta del cultivo es menor que el proveniente de aplicaciones directas al cultivo.

Resultados obtenidos en el sur de Santa Fe por Gerster (2000), Cordone y Martínez (2001), Gerster y Novell (2003) sugiriendo que la estrategia de fertilización con estos nutrientes debería analizarse para toda la secuencia y no en cada cultivo, alternativa que brindaría ventajas operativas y económicas.

2.3 POTASIO

El potasio es un macronutriente esencial utilizado en grandes cantidades por las plantas para su normal crecimiento y desarrollo (Kant y Kafkafi, 2000). Exceptuando el nitrógeno, el K es el mineral que mas es absorbido por las plantas.

Algunas de las principales funciones en las plantas donde el K está comprometido son: la osmorregulación, la síntesis de los almidones, la activación de enzimas, la síntesis de proteínas, el movimiento estomático y el balance de cargas iónicas (Maathuis y Sanders, Marschner, citados por Kant y Kafkafi, 2000).

La soja en comparación con otros cultivos extrae mayores cantidades de K del suelo, ésta deja gran proporción del nutriente absorbido en su rastrojo (aproximadamente el 40%) (García, 2009).

La absorción de potasio precede la producción de materia seca. Se observo que para el cultivo de soja en los primeros días del ciclo se absorbe el 50% del total absorbido (Aldrich et al., citados por Hernandez, s.f.).

Durante el crecimiento vegetativo, el máximo transporte del K se observa desde el tallo hacia las ramas en plantas de soja, mientras que durante el periodo reproductivo es más alto desde los tallos hacia las vainas. El desplazamiento de K hacia las semillas de soja es especialmente evidente durante la formación de las semillas; y la mayor parte proviene del tallo, de las hojas y de la raíz (Hanway y Johnson, Sallam et al., citados por Kant y Kafkafi, 2000).

El Ca y Mg compiten con el K por la entrada en la planta. Por esta razón es de esperar que suelos con altos niveles de ambos cationes o de uno en particular contenga altos niveles de K (Casanova, 1996)

La actividad agrícola en Uruguay se ha realizado tradicionalmente sobre suelos caracterizados por presentar niveles naturales medios a altos de K intercambiable (Hernández et al., 1988). En el mismo estudio se encontró que los niveles de K intercambiable variaron desde 0,11 meq/100g en Brunosoles de Colonia Palma a 1,50 meq/100g en Brunosoles de Béquelo, los relevamientos fueron realizados en trece suelos de Uruguay. Debido a esta característica los estudios de este nutriente son escasos.

El manejo de este nutriente para la mayoría de los cultivos se ha basado en tomar como niveles críticos tentativos de K intercambiable el rango de 0.20 - 0.25 meq/100g para suelos de texturas medias y de 0.35 meq/100g para suelos más pesados. Sin embargo, recientemente se ha producido una creciente expansión agrícola hacia suelos

con restricciones para la agricultura, como lo son los suelos desarrollados sobre Areniscas Cretácicas. Estos suelos presentan niveles de K intercambiable naturalmente bajos (Barbazán et al., 2007).

Estudios realizados por Cano et al., citados por Barbazán et al. (2010) en el norte del país y Baute et al., Cano et al., García et al., citados por Barbazán et al. (2010) en el litoral oeste encontraron respuesta en algunas situaciones al agregado de k en suelo que presentaban niveles de k intercambiable medios a altos.

Trabajos realizados de respuesta en potasio por varios autores en una gran diversidad de suelos del país y en diferentes cultivos (Barbazán et al., 2010), se obtuvieron respuesta al agregado de k en 15 ($P < 0,10$) de los 50 sitios, los mismos presentaban niveles de k intercambiable de 0,15 a 0,44 meq/100g. Se concluyó además que el nivel crítico encontrado fue de 0,34 meq/100 g de K en el suelo y que la respuesta al agregado de potasio está afectada por la textura, mineralogía y el cultivo.

La extracción de potasio en la región Pampeña de Argentina, en una secuencia Trigo-Soja considerando rendimientos de 2000 kg/ha y 2500kg/ha respectivamente es de 58kg/ha (García, 2001).

Trabajos realizados en requerimientos nutricionales de los cultivos por (Ciampitti y García, citados por García, 2012) mencionan que los niveles de absorción son de 35 kg/ha de k extrayendo 17 kg/ton del mismo.

Barbazán et al. (2007) trabajando en el diagnóstico nutricional de *L. Corniculatus* observaron bajas concentraciones de K en plantas en zonas de suelos sobre Planicies y lomadas del Este y en suelos sobre cuaternario asociado a Basalto. Observándose los valores más altos de dicho diagnóstico sobre materiales asociados a Formación Fray Bentos. En ambos casos se asoció la disponibilidad de k de acuerdo al tipo de mineral existente.

García et al. (2009) estudiando el agregado de KCl a la soja en dos zafra consecutivas 08-09 concluyeron que no hay efecto positivo del agregado de KCl o incluso si los niveles de este nutriente en el suelo son de tenores altos (0.9 meq/100 g de suelo) podría haber efectos negativos pudiendo estar relacionado con la interferencia de otros nutrientes.

Trabajando en diecinueve chacras comerciales sobre Areniscas Cretácicas donde se realizaron ensayos de fertilización K en cebada, soja, maíz y sorgo. Los tratamientos fueron cinco dosis de potasio, usando cloruro de potasio (KCl): 0, 30, 60, 120 y 240 kg ha⁻¹ de K₂O. Las variables medidas fueron diferentes según el cultivo, en los ensayos de soja se midió el contenido de K en hoja (la última hoja completamente desarrollada) al

estado R2. Además el rendimiento en grano de soja y se determinó el contenido de K en grano. Determinaron que en el cultivo de soja los efectos residuales de la aplicación en el cultivo anterior fueron positivos ($P < 0.05$) de todas las variables estudiadas (Baute et al., 2009)

Barbazán et al. (2011) revisando una serie de trabajos de respuesta a la fertilización con K en soja concluye que no se recomendaba la fertilización debido a que la agricultura se desarrollaba en suelos con altos contenidos de este nutriente, bajo laboreo convencional y en rotación con pasturas. La intensificación agrícola 1,5 cultivos por año de las últimas décadas trae consecuencias en la evolución del contenido de K en el suelo. Se han detectado disminuciones entorno a 40-44% del contenido de k en los primeros 7cm de suelo para chacras bajo agricultura en comparación a suelos sin historia agrícola. Considerando el balance de K, contabilizando entradas menos salidas, siempre ha sido negativo para este nutriente, dado que no se ha fertilizado con K en casi ninguno de los cultivos extensivos realizados en el país. Los aportes provenientes del rastrojo deben ser considerados en la determinación de las cantidades de k en el suelo ya que estos aportan cantidades no despreciables y modifican las cantidades de este nutriente en solución. La descomposición del rastrojo depende del tipo de rastrojo, la cantidad de lluvia acumulada luego de cosechado el cultivo. El retorno de este nutriente al suelo se observa en los primeros centímetros de suelo.

2.4 ZONAS DE PRODUCCIÓN

La agricultura de precisión tiene por objetivo el manejo diferencial de los insumos (semillas, fertilizante, riego, herbicida, etc) de acuerdo a las necesidades específicas de cada sitio o zona dentro de la chacra. Aplicando esta forma de manejo por “ambientes de producción” se está haciendo un uso más eficiente de los recursos tanto monetarios como de impacto ambiental (Roel, 2005)

García y Correndo (2011), describen el manejo nutricional de forma diferencial, como la manera mediante la cual se pueden implementar prácticas de manejos ajustados a cada ambiente o situación, reconociendo, la variabilidad espacial de la disponibilidad de nutrientes en el suelo y el rendimiento potencial del cultivo. El éxito y, por ende, el beneficio agronómico, económico y ambiental de la fertilización variable dependerá del i) grado de variabilidad que exista en una determinada chacra, ii) conocimiento de las causas de la variabilidad, iii) conocimiento de las necesidades de manejo para cada ambiente, y iv) la capacidad de gestionar los distintos manejos por ambiente.

De acuerdo a esta nueva forma de manejo diferencial de los insumos se está sustituyendo la manera habitual de recomendación promedio, por una práctica más precisa, de forma localizada considerando las variaciones existentes del ambiente. Esta nueva forma de manejo puede dividirse en tres grandes etapas dentro del estudio: I) Recolección de datos, II) Procesamiento e interpretación de la información III) Aplicación de la información (Montavini et al., 2006).

Para que se justifique el manejo por ambientes se deben de dar una serie de condiciones que justifican dicha forma de trabajo a) los factores que influyen en la productividad de los cultivos deben de presentar importante variabilidad; b) debe ser posible identificar esos factores que varían y cuantificarlos; c) de la información recolectada debe de ser analizada desde el punto de vista científico-agronómico para poder obtener beneficios productivos, económicos o ambientales (Plant, citado por Roel y Terra, 2006b)

2.4.1 Cuantificación de las distintas variables

La variabilidad espacial de suelos y cultivos en las chacras 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 del suelo) y remotos (ej.: imágenes satelitales).

Cuando se aplican métodos de muestro de forma continua los resultados se obtienen de forma inmediata luego de ser recogidos, ejemplo de estos son los monitores de rendimiento o sensores de conductividad eléctrica. En cambio los métodos de muestreo discretos tienen por objetivo la obtención de muestras en la chacra a nivel de suelo o de plantas en lugares específicos dentro de la chacra de manera tal que se logre una correcta caracterización de dicho sitio. La ubicación de los puntos a ser muestreados es de gran importancia ya que permite mediante métodos estadísticos realizar una correcta interpolación a sitios de la chacra no muestreados (Plant, 2001).

2.4.2 Zonas de manejo

Terra et al. (2010) plantea distintas metodologías para el estudio y delimitación de las diferentes zonas de manejo, pueden ser muy variadas destacándose: a) mapas detallados de suelos; b) mapas de distribución espacial de propiedades del suelo en base a muestreos intensos e interpolaciones geoestadísticas; c) imágenes remotas tomadas por plataformas montadas en satélites o aviones; d) mapas de rendimiento; e) atributos edáficos y topográficos estable temporalmente (elevación, pendiente, textura, conductividad eléctrica). A nivel productivo para delimitar zonas como complemento de las tecnologías mencionadas se destaca el conocimiento de la chacra (conocimiento del establecimiento, historia de la chacra) complementado con conocimiento agronómico y capacidades del parque de maquinaria.

Con respecto a los mapas de suelos estos son elaborados utilizando descriptores como textura, densidad aparente, capacidad de intercambio catiónico e interpretación, a partir de esta información se elaboran unidades de suelos asociando suelos con características similares. El nivel de relevamiento depende de la escala utilizada. Las prácticas agronómicas pueden afectar las características de los horizontes superficiales que estarían haciendo variar los parámetros por los cuales se clasifican los suelos, en este sentido la utilización exclusiva de mapas de clasificación taxonómica para delimitar zonas de manejo estaría viéndose limitada (Roel y Terra, 2006b).

Utilizar mapas de propiedades de los suelo para delimitar zonas de manejo ayudados de técnicas de interpolación geoestadística puede ser otra opción. Esta técnica puede realizarse utilizando una grilla de muestreo para la recolección de los datos. La principal desventaja de esta técnica radica en la cantidad de muestras que deben ser recolectadas y analizadas para una correcta representación de la variabilidad presente. La técnica se justificaría en algunas propiedades del suelo que son más estables en el tiempo siendo poco afectadas por el manejo como lo son textura, capacidad de intercambio catiónico y contenido de C orgánico. Estas características pueden ser asociadas con atributos del terreno estables en el tiempo como son pendiente, área de cuenca y elevación, de esta forma se pueden observar variaciones edafo-topográficas. Analizando los principales factores que hacen variar el rendimiento de los cultivos se

destacan las variaciones estáticas del suelo, topografía y la variabilidad temporal asociada al clima (Roel y Terra, 2006b).

Roel y Terra (2006b) mencionan la utilización de imágenes satelitales e imágenes aéreas como otra metodología de delimitación de zonas de manejo. Esta práctica consiste en calcular índices de vegetación que permiten diferenciar zonas de la chacra con condiciones para el crecimiento de cultivo diferentes. Este índice que consiste en estimar la cantidad de materia seca producida, son reflejo de los factores que hacen a la productividad de la chacra.

Roel y Terra (2006b) proponen luego de haber recabado la información de cada punto de la chacra y haber sido ordenada correctamente que el siguiente paso sea conocer las variables que explican la mayor parte de la variación de la chacra. Se pueden utilizar para tal fin análisis estadísticos multivariados como lo son análisis de factores o análisis de los componentes principales. Utilizando métodos de regresión o los CART se puede observar cual de las variables estudiadas, son las que representan la mayor variación dentro de la chacra y cuáles son las que están asociadas al rendimiento de los cultivos.

CART es un método estadístico no paramétrico, que no busca identificar y modelar relaciones entre variables de predicción y respuesta, sino que parte del espacio multidimensional en grupos tan homogéneos como sea posible en términos de respuesta en función de las variables de predicción Terra et al. (2010). Para una mejor visualización y comprensión entre las variables explicativas y las de respuesta CART propone utilizar una estructura de árbol de decisión y clasificación de las variables asociadas al rendimiento.

Roel (2006a) destaca la utilización de análisis estadístico de clusters para la delimitación de zonas de manejo. Esta técnica es utilizada cuando no se tiene ninguna hipótesis de posibles problemas. A nivel productivo permite agrupar datos de rendimientos en grupos llamados clusters. El agrupamiento de los datos con alguna similitud permite minimizar la varianza dentro del grupo y maximizarla entre los mismos.

2.4.3 Mapas de rendimientos

Bragachini et al. (2006) describen los mapas de rendimientos como la forma de cuantificar durante la cosecha la variabilidad existente del rendimiento en la chacra, quedando grabado de forma espacial.

Los mapas de rendimiento expresan de forma gráfica de una serie de datos de rendimiento georreferenciados, la forma más común de visualización son los mapas en código de colores para intervalos de rendimiento (Pierce et al., citados por Plant, 2001).

De los datos de rendimiento y humedad obtenidos por la cosechadora y transmitidos al monitor de rendimiento que se encuentra asociado a un GPS se consigue información georreferenciada, donde se pueden construir mapas de rendimiento. El ancho de la plataforma de la cosechadora junto con la velocidad de la misma en un tiempo determinado estará determinando los datos de rendimiento (Bragachini et al., 2006).

Los mapas de rendimientos representan según varios autores la mejor herramienta para la delimitación de zonas de manejo, donde el rendimiento de los cultivos estaría indicando el nivel de productividad del suelo. Debido a que las delimitaciones de las zonas de manejo varían de forma temporal dependiendo del clima, cultivo y el manejo agronómico; el uso exclusivo de esta herramienta tiene objeciones hasta que no se generan mapas de manejo que no varían dependiendo de las condiciones mencionadas. Independientemente de las limitaciones mencionadas o que se utilicen o no delimitando zonas los mapas de rendimientos continúan siendo una herramienta fundamental para estudiar las diferencias en productividad entre zonas de una chacra (Fraisse et al., citados por Roel y Terra, 2006b).

Mallarino (2005), trabajando en EE.UU. sugiere la utilización de mapas de rendimiento para la aplicación de fertilizantes fosforo y potasio de forma variable. Asociados a esta forma de fertilización se plantea el “muestreo de manejo de zonas” este método tiene por objetivo muestrear de forma dirigida en zonas de la chacra delimitadas por mapas de rendimientos o otras herramientas.

Amuchástegui (2006), destaca la utilización por parte de los productores de mapas de rendimiento a nivel de chacra tanto para la aplicación fertilización variable de densidades de semilla variables como en la utilización de variedades soja diferentes.

Por su parte Bongiovanni y Lowenberg-DeBoer (2006), realizaron ensayos en soja manejando de forma diferente: grupos de madurez, espaciado entre hileras y tratamiento de enfermedades de fin de ciclo dependiendo de las características particulares de las zonas, obteniendo resultados positivos en el rendimiento en todos los ensayos a partir de las delimitaciones realizadas con mapas de rendimiento.

2.4.4 Factores que determinan la variación del rendimiento

Los atributos del terreno afectan las propiedades de los suelos y la suma de los efectos del terreno y las propiedades estáticas y dinámicas del suelo afectan el

rendimiento de los cultivos (Roel y Terra, 2006b). En tanto Moore et al., citados por Roel (2006a), menciona la correlación existente entre la profundidad del horizonte A, el contenido de fósforo (P) y carbono orgánico, el pH y la textura del suelo con la pendiente de la chacra.

Propiedades del suelo como el contenido de materia orgánica y nutrientes (P, K, Ca, Mg), la textura, pH y conductividad eléctrica han sido estudiadas desde el punto de vista de su variación espacial, y han sido relacionadas con el rendimiento de los cultivos (Kravchenko et al., Cox et al., Terra et al., Parent et al., Marquez y Silva, citados por Pravia, 2009). Propiedades del terreno asociadas a la capacidad de almacenaje de agua en el perfil del suelo también se encuentran frecuentemente relacionadas con el rendimiento de cultivos en secano y su variabilidad espacial (Kravchenko y Bullock, Fraisse et al., Kaspar et al., Terra et al., Parent et al., Marquez y Silva, citados por Pravia, 2009)

Terra et al. (2010b) destaca a la variabilidad temporal como el principal factor determinante del rendimiento de soja. Donde el efecto año explicado básicamente por precipitaciones fue el factor más influyente en el rendimiento en comparación con efectos edáficos, topográficos, manejo del suelo (subsolador y manejo del pastoreo) o tipo de rotación.

Kravchenko y Bullock, citados por Terra et al. (2010a), encontraron que factores edáficos y topográficos explicaron aprox. 40% de la variación de rendimiento de maíz (n=15) y soja (n=13) en 8 chacras de Iowa. En tanto Terra 2010a en ensayos realizados en soja observo que la conductividad eléctrica explico el 46% de las variaciones de rendimiento.

En 3 años de estudio el autor Terra et al. (2010b), analiza el efecto de las prácticas de manejo del suelo sobre la productividad del cultivo de soja. Los trabajos se realizaron sobre una secuencia sorgo-soja rotando con pasturas anuales o plurianuales. Además se establecieron sitios de muestreo donde se determino C orgánico, N total, potencial de mineralización (PMN), contenido de P, K intercambiable y textura. Se elaboraron mapas de conductividad eléctrica. En el mismo ensayo el autor concluye que en años de sequía los rendimientos se vieron disminuidos y la cantidad de variables influyentes del rendimiento son mayores en comparación con los demás años del ensayo. El efecto de la sequía se vio agravando en sitios con mayor contenido de arcilla y menor contenido de arena.

Por otra parte Sawchik y Mallarino (2008), mencionan que el rendimiento del cultivo de soja se explico por variables como: plagas, malezas, propiedades del suelo y disponibilidad de K y P influyentes entre un 5 y 64%. En donde se menciona que en el conjunto de las variables estudiadas la importancia relativa de cada una dependió de la

chacra y de sus propiedades edáficas. El P y el K representaron en algunas chacras variaciones en el rendimiento del orden del 14%.

Mediante ensayos de fajas de fertilización y su interacción con atributos edáficos y topográficos, Otaño y Zarucki (2010), concluyen que la elaboración de mapas de fosforo (P) en la presiembra es de gran importancia ya que posibilita el manejo diferencial del agregado de P. En el mismo trabajo se delimitaron, utilizando métodos estadísticos, zonas de requerimientos de manejo diferencial para los cultivos de trigo, maíz y soja. Analizando las variables que explican el rendimiento de los cultivos se encontró que las mismas varían dependiendo del cultivo. En el cultivo soja la variable edáfica explico el 73% de rendimiento.

Bosch y Lecueder (2011), trabajando a nivel de chacra estudiaron el efecto de la variación espacial de los atributos edáficos y su relación con el rendimiento del cultivo de soja. En el mismo se delimitaron ambientes de producción utilizando monitores de rendimiento, imágenes satelitales e información planimetría y altimétrica del terreno. Los ambientes pre-establecidos se identificaron con la letra “A” cuando los resultados fueron consistentemente superiores a los ambientes denominados “D”, además se determino un ambiente “B” presentando resultados variables y erráticos dependiendo del cultivo y/o año.

Se observa una mayor asociación entre el ambiente “A” y características edáficas como profundidad del perfil, contenido de carbono orgánico del horizonte A y capacidad de almacenaje de agua disponible. En cambio en el ambiente denominado “B” no se encontró una buena asociación con los atributos edáficos. Esto posibilita la utilización de herramientas como monitores de rendimiento o índices verde para la delimitación de zonas de manejo de alta producción.

En tanto Mallarino (2005), tras varios trabajos realizados en evaluaciones de respuesta a nivel de chacra y en la elaboración de unidades de mapeo de potasio (k) y fosforo (P) destaca que la historia de fertilización borra los efectos del suelo y la topografía.

2.5 GEOESTADÍSTICA

La productividad de los cultivos está definida por factores del suelo y clima que varían en el espacio y el tiempo. Cuando las causas de esta variabilidad pueden ser identificadas y medidas, la geostatística permite utilizar esta información para analizar su distribución espacial Plant (2001).

La geostatística es una rama de la estadística que trata fenómenos espaciales. Donde su objetivo es la estimación, predicción y simulación de dichos fenómenos. Esta herramienta nos permite darle una continuidad espacial a muchos fenómenos naturales y adaptar las técnicas clásicas de regresión (Isaaks y Srivastava 1989, Giraldo 2002). Además este tipo de análisis permite conocer las características de variabilidad y de correlación espacial de los datos así como estimar valores de una variable en sitios donde no ha sido medida (Otaño y Zarucki, 2010). Para la representación en un mapa de interpolación de las variables debe de existir asociación espacial o autocorrelación, debido a esto es posible identificar zonas donde la variable toma niveles altos o bajos. Si la variables bajo estudio muestra una distribución aleatoria, no existe autocorrelación espacial y no es posible representarlo en un mapa (Best y León, 2006).

La mayor parte de las estimaciones en estadística tradicional, asumen que los valores de las observaciones para cada muestra, son independientes unos de otros. En geoestadística, el concepto de autocorrelación positiva puede violar este principio, si las muestras han sido tomadas a partir de áreas adyacentes (Best y León, 2006).

La extensión de los experimentos clásicos parcelarios y de sus resultados a escala de chacras muchas veces no resulta factible, ya que al pasar a una escala mayor es difícil encontrar sitios homogéneos como los bloques experimentales. Las observaciones cercanas en el espacio tienden a ser más parecidas que aquellas que se encuentran más apartadas, por lo tanto la distribución espacial de los atributos observados no es al azar (Goovaerts, citado por Pravia, 2009). Cuando se detectan patrones espaciales una de las suposiciones claves de los métodos estadísticos clásicos deja de ser válida: los errores no son independientes ni se encuentran idénticamente distribuidos (Bhatti et al., citados por Pravia et al., 2009). Si la variabilidad espacial no es controlada el error experimental es sobreestimado, reduciendo la precisión de las estimaciones del efecto de los tratamientos (Wu et al., Bishop y Lark., citados por Pravia et al., 2009). Para evitar que esto suceda, la variabilidad espacial debería ser estudiada, y los patrones espaciales removidos del error experimental en el análisis estadístico de los tratamientos (Bhatti et al., citados por Pravia et al., 2009).

Según Moreno López (2009) el estudio geoestadístico podría ser dividido en tres etapas:

1. Análisis exploratorio de los datos: En esta fase se estudian los datos muestrales sin tener en cuenta su distribución geográfica. Es una etapa de aplicación de la estadística. Se comprueba la consistencia de los datos, eliminándose aquellos que sean erróneos, y se identifican las distribuciones de las cuales provienen.

2. Análisis estructural: Se estudia la continuidad espacial de la variable. En esta etapa se calcula el variograma experimental, o cualquier otra función que nos explique la variabilidad espacial, se ajusta a los datos un variograma teórico y se analiza e interpreta dicho ajuste al modelo paramétrico seleccionado.

3. Predicciones: Estimaciones de la variable estudiada en los puntos no muestrales, considerando la estructura de correlación espacial seleccionada e integrando la información obtenida de forma directa en los puntos muestrales, así como la obtenida indirectamente en forma de tendencias conocidas u observadas. También se pueden realizar simulaciones, teniendo en cuenta los patrones de continuidad espacial elegidos.

El autor destaca a la fase de análisis estructural como la más crítica de este proceso.

2.5.1 Semivariograma

Es una de las herramientas ampliamente utilizadas para la descripción espacial de los conjuntos de datos corresponde al semivariograma y es de gran importancia para la determinación de una de las mejores técnicas de interpolación utilizadas, el método de kriging (Best y León, 2006)

Dado un conjunto de datos es posible estimar la función semivariograma experimental $\gamma(h)$ a partir del siguiente cálculo:

$$\bar{\gamma}(h) = \frac{1}{2m(h)} \sum_{i=1}^{m(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

Donde $m(h)$ es el número de parejas de datos separadas por una distancia h , $Z(x_i)$ corresponde a el valor de la variable (Z) para la ubicación (x_i), mientras que $Z(x_i + h)$ es el valor muestreado de la variable en un punto separado a la distancia h del anterior. Se incluyen en el cálculo de cada semivarianza todos los pares de datos posibles para cada distancia en todas las direcciones.

El semivariograma es una grafica que describe la diferencia esperada entre pares de muestras separados por una distancia h , o lo que es lo mismo, la varianza de los incrementos de la variable regionalizada en las localizaciones separadas una distancia h Moreno (2009).

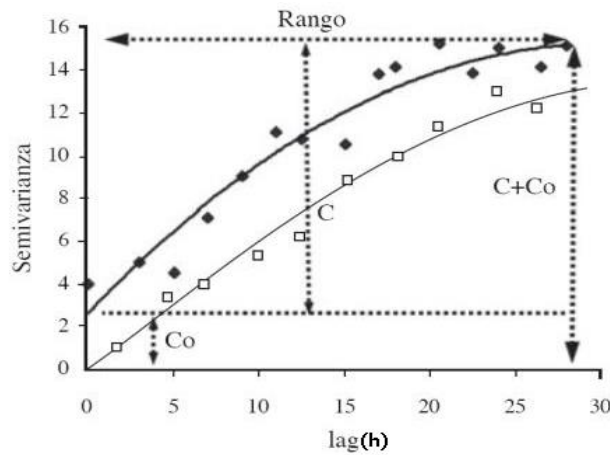


Gráfico No. 1. Ejemplos de semivariogramas y sus parámetros

Para interpretar el semivariograma experimental se parte del supuesto de que a menor distancia entre los sitios mayor similitud o correlación espacial entre las observaciones. Por ello en presencia de autocorrelación se espera que para valores de h pequeños el semivariograma experimental tenga magnitudes menores a las que este toma cuando las distancias h se incrementan (Giraldo, 2003)

En el Gráfico No. 1 además del semivariograma experimental se encuentra el semivariograma teórico al cual han sido ajustados los datos. Allí aparecen los parámetros del semivariograma, siendo “Co” el efecto pepita, “rango” la distancia a la cual se estabiliza la semivarianza y a partir de donde ya no existe correlación entre pares de puntos, y “C + Co” los valores de semivarianza alcanzados en el rango (Best y León, 2006).

2.5.2 Predicción espacial

Cuando se realiza un muestreo discreto la estimación de los valores en aquellos lugares donde no se ha muestreado, implica utilizar técnicas de interpolación, que finalmente nos lleva a la caracterización de la distribución de los datos en un mapa. Para caracterizar o modelar (interpolación) la distribución espacial implícita en un conjunto de datos, existen numerosas técnicas entre otras contamos con: la técnica “Nearest Neighbor”, la “Inverse Distance to a Power— weighted” (o IDW), como también existen números métodos: Natural Neighbor-weighted”, “Método de triangulación“, etc (Best y León, 2006).

Existen muchos métodos de estimación, variando la elección en función de las características del problema a resolver. El krigage tiende a ser superior a los métodos

tradicionales (Best y León, 2006), diferenciándose principalmente de estos en la forma en que otorga los pesos a los valores componentes de la predicción, al considerar tanto la distancia como la geometría de localización de las muestras (Moreno, 2009).

La técnica de interpolación del kriging está basada en la idea de que se pueden desarrollar inferencias considerando una función aleatoria $Z(x)$, dados los puntos $Z(x_1)$, $Z(x_2)$, ... $Z(x_n)$ (Best y León, 2006).

La expresión matemática de lo señalado anteriormente es:

$$Z(x) = m(x) + \gamma(h) + \varepsilon'' \quad (2)$$

En la ecuación No. 2 se pueden distinguir tres componentes fundamentales: un componente estructural ($m(x)$), un componente aleatorio correlacionado espacialmente ($\gamma(h)$) y un error residual (ε'') (Best y León, 2006).

Es importante señalar que a través de otra técnica, el “co-kriging”, se puede obtener el valor de una variable a través de la estimación de otras correlacionadas (por ejemplo, en el caso de densidad de suelo y humedad del mismo) (Best y León, 2006).

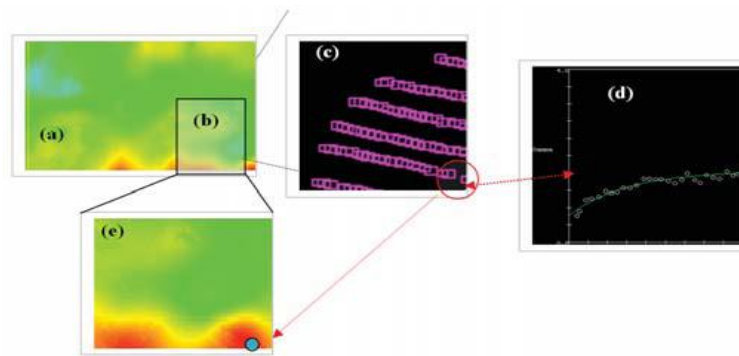


Figura No. 1 Representación esquemática de la obtención de un mapa por medio de kriging, utilizando un programa geoestadístico.

En la Figura No. 1 se puede apreciar: (a) mapa definitivo obtenido mediante variograma; (b) zona considerada en análisis kriging para la estimación del punto en turquesa; (c) puntos considerados para la estimación del punto desconocido; (d) variograma para determinar los pesos de los valores que serán considerados en la interpolación final; (e) punto interpolado, zona ampliada del mapa (Best y León, 2006).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ENSAYO

3.1.1 Descripción del sitio experimental

El experimento fue realizado en el verano de 2011-2012, el mismo se encuentra ubicado a 20km de la ciudad de Young al sur departamento de Rio Negro, Uruguay ($32^{\circ}51'31.62''S$, $57^{\circ}29'21.99''O$, 53 m de elevación).

La chacra se encuentra en la Unidad Bellaco de la Carta de reconocimiento de suelos de Uruguay (URUGUAY. MAP. DSF, 1976). Sobre el Grupo de suelos CONEAT presente 10.2.

El experimento evalúa el efecto aditivo de dosis de fósforo (P), potasio (K) y azufre (S) agregada al cultivo anterior (trigo) en dosis consideradas como no limitantes. Está dispuesto cortando una pendiente de manera tal que los tratamientos abarquen lomas, laderas y bajo.

Dentro de la chacra se identificaron previamente dos ambientes de productividad diferencial, los que fueron delimitados en base al análisis espacial de rendimientos de cultivos previos, planimetría y altimetría del terreno, Cartografía de suelos CONEAT y planos georreferenciados del establecimiento.

Los ambientes definidos y la ubicación del sitio experimental son presentados en el siguiente mapa.

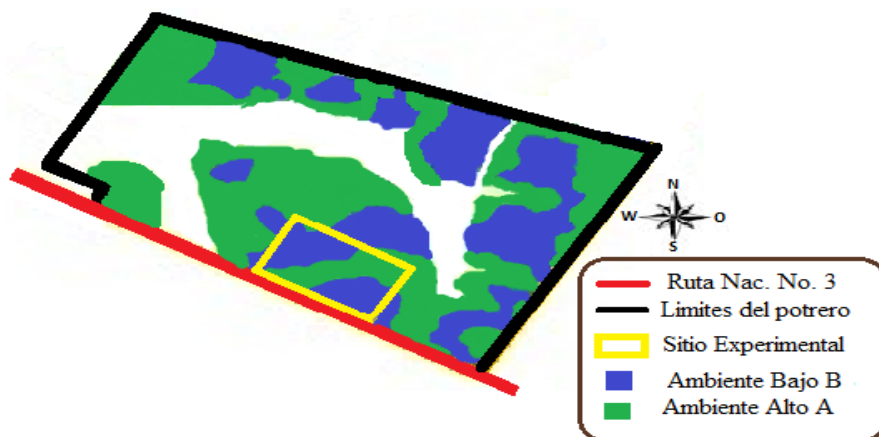


Figura No. 2. Mapa de ambientes y ubicación del sitio experimental.

El ambiente “Alto” corresponde a productividad superior a la media y “Baja” a productividad menor a la media de los registros históricos analizados.

3.1.2 Diseño experimental y tratamientos

El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar con ocho sitios georreferenciados en los cuales se obtuvieron las muestras dentro de cada parcela. Los tratamientos fueron una combinación aditiva de P, K, y S agregados a la siembra del trigo sembrado en junio del 2011: testigo sin fertilizar (T1); sólo Fósforo (T2); Fósforo + Potasio (T3); Fósforo + Potasio + Azufre (T4) con tres repeticiones por tratamientos.

Las dosis de nutrientes agregadas a la siembra de trigo fueron lo suficientemente altas para cubrir los requerimientos del cultivo de trigo y dejar remanentes aprovechables por el cultivo de soja. Considerando además que los valores de P y K a la siembra de trigo eran de 12 ppm y 0,37 meq./100g respectivamente.

A continuación en el Cuadro No. 1 se presentan las dosis de nutrientes agregados en cada tratamiento.

Cuadro No. 1. Descripción de los Tratamientos

Tratamientos	P (Kg P₂O₅/ha)	K (Kg K₂O/ha)	S (Kg S/ha)
Testigo	0	0	0
Fósforo	60	0	0
Fósforo + Potasio	60	51	0
Fósforo + Potasio +Azufre	60	51	18,5

Las parcelas estaban ubicadas a favor de la pendiente con el objetivo de ocupar diferentes zonas dentro de la chacra, cada parcela tenía 25 metros de ancho con 250 metros de largo con un área total del experimento de 7,5 hectáreas.



Figura No. 3. Mapa de ubicación de los tratamientos en la chacra.

Para la toma de las muestras se confeccionaron dos grillas georreferenciadas con sus coordenadas geográficas para realizar todas las determinaciones en el mismo sitio, una de las grillas fue con 8 puntos por tratamientos con un total de 96 sitios de muestreos, en donde se tomaron la mayoría de las determinaciones a campo, la otra grilla se utilizó solamente para realizar los muestreos de los perfiles del suelo, con un total de 36 puntos de muestreos ordenados equidistantes uno de otros dentro del experimento.



Figura No. 4. Mapa de grillas de muestreo de tratamientos.

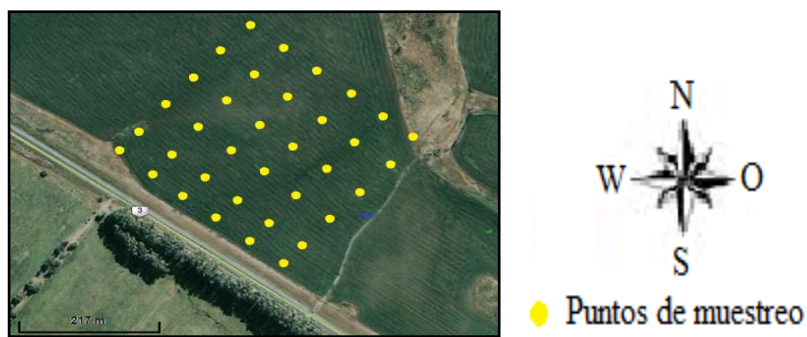


Figura No. 5. Mapa de grilla utilizada para perfil de suelo.

3.1.3 Manejo del cultivo

La cosecha del cultivo de trigo se realizo el 10 de noviembre de 2011 y la siembra de soja se realizo el 3 de diciembre del mismo año.

Se sembró a razón de 94kg de semillas/ha de la variedad Don Mario 5.9, previamente curadas e inoculadas. La siembra se realizo con una sembradora John Deere 1590 equipada con banderillero satelital a 38 cm entre filas. Las aplicaciones tanto de herbicidas como de insecticidas se realizaron con pulverizadoras terrestres.

A continuación en el Cuadro No. 2 se resumen las actividades agronómicas desarrolladas en el ensayo.

Cuadro No. 2. Resumen de manejo del cultivo.

Fecha	Estadio	Manejo
3/11/2011	---	Siembra 94kg/ha + curasemilla + inoculante
5/1/2012	V2-V3	Pulverización Glifosato Ultramax (2 lt/ha)
24/2/2012		Pulverización de Intrepid (0.12lt/ha) + Lorsban (1lt/ha) +Aceite vegetal (0.5lt/ha)
15/3/2012	R3-R4	Pulverizacion de Engeo (200cc/ha) + Belt (50lt/ha) + Sphere Max (150ml/ha)+ Aceite Vegetal (0,5lt/ha)
8/5/2012	R8	Cosecha mecánica.

3.2 DETERMINACIONES

3.2.1 Datos climáticos

Esta información fue obtenida por medio de la Dirección Nacional de Meteorología (URUGUAY. MDN.DNM, 2012), de la estación meteorológica más cercana al ensayo, ubicada en Mercedes, correspondiente al periodo noviembre de 2011 a mayo de 2012.

3.2.2 Estimación de rendimiento

Las determinaciones durante el cultivo fueron realizadas de forma georreferenciadas, los puntos de muestreo fueron ubicados en el ensayo utilizando un GPS Garmin Etrex Legend, el mismo se utilizó para el muestreo de las variables durante el cultivo.

En las cinco visitas (27/12/2011; 2/1/2012; 23/1/2012; 7/3/2012; 25/4/2012) se determinó el estadio fenológico de la soja según la Escala Fehr y Caviness (1971), cuantificándose altura de las plantas promedio del área experimental en V4-V5.

En la Figura No. 5 se presentan los datos obtenidos por el monitor de rendimiento promedio para cada celda de las fajas. Donde se puede apreciar que las fajas centrales están compuestas con celdas que en promedio tienen mayor rendimiento. Estas fajas serían desde la cuarta hasta inclusive la novena.

En la Figura a continuación se presenta el mapa de rendimiento.

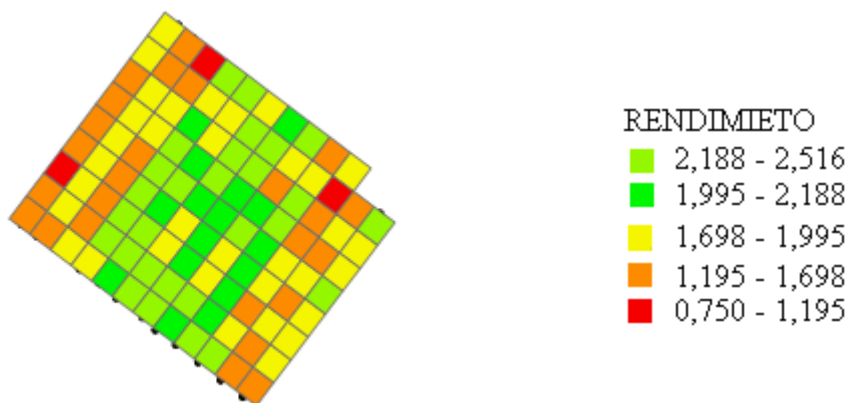


Figura No. 6. Mapa de rendimiento corregido según monitor rendimiento.

3.2.3 Perfil de suelo

Cuando el cultivo se estaba implantando siguiendo la grilla correspondiente se realizó una caracterización del perfil de suelo. La metodología de descripción y caracterización consistió en primera instancia con la extracción de una muestra de cada horizonte del perfil de suelo utilizando taladro holandés. La descripción consistió en medición de profundidad total del perfil, espesor de cada horizonte, color de los mismos, textura a nivel de laboratorio y características destacables de cada horizonte.

Se realizaron determinaciones del contenido humedad por horizonte de perfil en todos los sitios de muestreo siguiendo la grilla de perfil de suelo en dos oportunidades. Al inicio de cultivo en implantación y en estado reproductivo de R3-R4 promedio del ensayo.

3.2.4 Nutrientes disponibles en el suelo

En estado fenológico de V2-V3 se realizó el muestreo de suelo a una profundidad de 20 cm utilizando calador. Estas muestras fueron analizadas a nivel de laboratorio y se obtuvieron datos de N-NO₃⁻ (determinación realizada por electrodo de acción específica), fósforo (Bray No. I), potasio por medio de espectroscopia de emisión (Isaac y Kerber, 1971), pH (método potencimétrico) y % de carbono.

3.2.5 Componentes del rendimiento

Con el cultivo en estado de V2-V3 se estimó el número de plantas en 5 metros lineales en cada punto de muestreo.

Con el cultivo en estado de R7 (inicio de maduración) se contó el número de plantas en 10 metros lineales de surco por sitio georeferenciado dentro de cada parcela. Se colectaron 10 plantas representativas por sitio sobre las cuales se determinó: n° de chauchas/planta, granos por chaucha y peso de mil granos.

Además se estimó el rendimiento promedio de cada celda a partir del promedio de los valores obtenidos mediante el monitor de rendimiento, los puntos considerados fueron los más cercanos al georeferenciados de la grilla.

3.2.5.1 Rendimiento en grano

La cosecha mecánica se realizó el 8 de mayo de 2012 con una máquina John Deere 9670 equipada con monitor de rendimiento SFire 1 y GPS Greestar 1. Cada faja fue dividida en celdas de 25m de largo, disponiéndose del rendimiento medio de cada

una de ellas compuesto por observaciones tomadas cada 5 m de marcha de la cosechadora.

Además se estimo el rendimiento promedio de cada celda a partir del promedio de los valores obtenidos mediante el monitor de rendimientos más cercanos al punto georeferenciados.

3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó una descripción de los datos obtenidos estimando media, desvío estándar, coeficiente de variación, mínimo y máximo de cada una de ellas.

Se estudió la correlación espacial de los datos y, para los casos en que no se logró estimar un semivariograma válido, se realizó un análisis de varianza utilizando un diseño de bloques completos al azar con un componente de error de muestreo estimado a partir de las sub-muestras dentro de parcelas.

El siguiente modelo estadístico de bloques completos al azar con muestras fue el que se ajustó al diseño de nuestro experimento, para el análisis el efecto de los tratamientos y sus contrastes.

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + \beta_j + \varepsilon_{ijk} + \delta_{k(ij)} \quad (1)$$

Y_{ijk} : Rendimiento

μ : Media poblacional

T_i : Tratamiento $i=1,2,3,4$

β_j : Bloque $j=1,2,3$

ε_{ijk} : Error $K=1,2,3,\dots,8$

$\delta_{k(ij)}$: Error de muestreo

Supuestos:

Modelo es correcto (en relación al material experimental) y aditivo.

$\varepsilon_{ij} \text{ Vs } A_s \text{ Is ID} \sim N(0, \sigma^2)$

Hipótesis planteadas:

$H_0: T_1 = T_2 = T_3 = T_4 = 0 \Rightarrow$ Ningún tratamiento tiene Efecto.

$H_a: \text{Al menos un } T_i \neq 0 \Rightarrow$ Al menos un tratamiento tiene Efecto.

La separación de medias se realizó utilizando el Test de Tukey y LSD, usando 0,05 como nivel de significancia. También se realizaron contrastes ortogonales entre los tratamientos para estimar por diferencia el efecto atribuible a cada nutriente:

Contraste 1. Hay efecto de la fertilización?

$H_0: \psi_1 = 3\alpha_1 - 1\alpha_2 - 1\alpha_3 - 1\alpha_4 = 0 \Rightarrow$ No hay efecto de la fertilización.

$H_a: \psi_1 = 3\alpha_1 - 1\alpha_2 - 1\alpha_3 - 1\alpha_4 \neq 0 \Rightarrow$ Hay efecto de la fertilización.

Contraste 2. El efecto es atribuible al P o al K+S?

$H_o: \psi_1 = 0\alpha_1 + 1\alpha_2 - 1\alpha_3 + 0\alpha_4 = 0 \Rightarrow$ El efecto no es producto del P

$H_a: \psi_1 = 0\alpha_1 - 1\alpha_2 - 1\alpha_3 + 1\alpha_4 \neq 0 \Rightarrow$ El efecto es producto del P

Contraste 3. El efecto es atribuible al P+K o al P+K+S?

$H_o: \psi_1 = 0\alpha_1 + 0\alpha_2 - 1\alpha_3 + 1\alpha_4 = 0 \Rightarrow$ El efecto no es producto del P+K

$H_a: \psi_1 = 0\alpha_1 + 0\alpha_2 - 1\alpha_3 + 1\alpha_4 \neq 0 \Rightarrow$ El efecto es producto del P+K

Hipótesis planteadas:

$H_o: \mu_i = \mu_{i'} \forall i \neq i' \Rightarrow$ Las medias de tratamientos son iguales.

$H_a: \mu_i \neq \mu_{i'} \Rightarrow$ Las medias de tratamientos son diferentes.

donde:

μ_i = media del i-ésimo tratamiento.

$\mu_{i'}$ = media del i'-ésimo tratamiento

3.3.1 Análisis espacial

La estructura espacial de todas las variables medidas se analizó utilizando el programa ARCGIS 10 (2011), para: a)- verificar y analizar la estructura espacial de todas las variables medidas, b)- interpolar y realizar mapas a partir de los datos de muestreo discreto y c)- estandarizar los datos para eliminar la autocorrelación espacial de las variables para poder analizar el efecto tratamiento.

Para observar la distribución espacial de las variables se realizaron semivariogramas teóricos, seleccionando el que mejor se ajustó (estándar, esférico y exponencial) dependiendo del valor de R^2 . Utilizando la relación pepita/umbral se clasificaron las correlaciones espaciales como fuerte (menor a 0,25), moderado (entre 0,25 y 0,75) y débil (mayor a 0,75) (Cambardella et al., 1994).

Luego se procedió a realizar la validación cruzada de los puntos muestreados con los procedimientos kriging ordinario, removiendo consecutivamente un valor de los datos, el que es estimado a partir de los datos restantes. Se graficó la relación entre observados y estimados, lo que fue utilizado para la selección del mejor estimador semivariograma en base a comparación de los coeficientes de determinación y el residuo de los errores de los modelos.

Las variables que presentaron autocorrelación espacial fuerte, altos coeficientes de determinación entre estimado y observado y además tener bajo error estándar, fueron interpoladas para generar mapas de las variables estimadas.

Para la realización de los mapas se utilizaron herramientas geoestadísticas que permitieron interpolar datos desde los sitios muestreados hacia zonas no muestreadas según la función de semivariograma.

Para analizar el efecto tratamiento, la distribución espacial de los errores fue descripta, modelada y luego removida de los datos de campo. Se eliminó la estructura espacial del rendimiento obteniendo un “rendimiento limpio” utilizando el método propuesto por Hernández y Mulla (2002) como una variante del método de Papadakis que se propuso por primera vez en 1937. Los residuales para cada celda se calculan restando el promedio de rendimiento de tratamiento con el promedio de cada celda (Pravia et al., 2009).

$$m r_{ij} = \frac{(Y_{ij} - \bar{Y}_{t(ij)})}{\bar{Y}_{t(ij)}} \quad (2)$$

$m r_{ij}$ = Residual normalizado en cada lugar ij

Y_{ij} = Valores observados de Rendimiento en el lugar ij

\bar{Y}_t = Rendimiento promedio para el tratamiento t

Se determinó la estructura espacial de los residuales $m r_{ij}$ y se realizó kriging para estimar un nuevo residual para cada celda por medio de validación cruzada de vecinos observados más cercanos.

$$m+1\hat{f}_0 = \sum_{h=1}^n \lambda_h m r_{ij} \quad (3)$$

donde:

${}^{m+1}\hat{r}_0$ = Residual estimado para la interacción $m + 1$

λ_h = Vector de Kriging ordinario basadas en ponderaciones en el modelado semivarianza

${}^m r_{ij}$ = Residual

Estos nuevos residuos ${}^{m+1}\hat{r}_0$ se utilizan para calcular el rendimiento con la formula siguiente No. 4. La constante b se fijó a 0,5, de modo que el ajuste elimine parcialmente la tendencia, para evitar oscilaciones de las medias de los tratamientos (Bhatti et al., citados por Pravia et al., 2009).

$${}^{m+1}Y_{ij} = {}^m Y_{ij} (1 - b \cdot {}^{m+1}\hat{r}_0) \quad (4)$$

donde:

${}^{m+1}Y_{ij}$ = Valor de rendimiento actualizadas para la interacción $m + 1$

${}^m Y_{ij}$ = Rendimiento original en los lugares i y j

b = Constante (0,5)

${}^{m+1}\hat{r}_0$ = Residual estimado de la fórmula para la interacción $m + 1$

Este procedimiento fue reiterado con rendimientos actualizados hasta que los residuales dejaron de tener estructura espacial, permitiendo así analizar los efectos de los tratamientos sobre el rendimiento mediante modelos lineales con errores aleatorios por medio del software InfoStat versión 2008.

3.3.2 Análisis de correlaciones

3.3.3.1 Semivariograma

Se estandarizaron todas las variables y se estudiaron las distribuciones espaciales del modelo ajustado en el análisis de varianza. Además se calcularon los valores de semivarianza y graficaron los semivariogramas empíricos. Debido a la falta de ajuste de las variables entre los semivariogramas teóricos a los gráficos empíricos obtenidos, no se detectaron tendencias espaciales analizándose los datos mediante métodos clásicos de análisis.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

La zafra 2011 -2012 se caracterizó por presentar temperaturas muy similares a la media histórica 1961-1990, registrándose valores levemente superiores a la media histórica en los meses de enero y febrero. El cultivo en estos meses se encontraba en pleno desarrollo vegetativo.

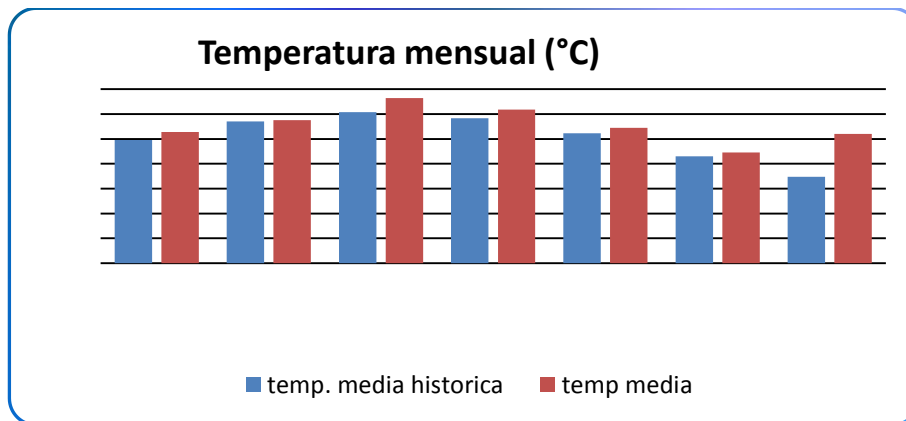


Figura No. 7. Temperaturas medias mensuales de noviembre 2011- mayo 2012 para el período y sitio en estudio y serie histórica 1961-1990 en Estación Meteorológica Mercedes.

Desde la siembra del cultivo seguido por la implantación y hasta los estados vegetativos de V3-4 el cultivo se desarrolló bajo condiciones de severo estrés hídrico. Como consecuencia de dicha falta de agua en las etapas iniciales del cultivo se obtuvieron porcentajes de implantación cercanos a 33%.

A partir de que el cultivo alcanzo el estadio de V3-4 y hasta el estado fenológico de R4 las precipitaciones fueron por encima del promedio (Figura No. 8), para volver a ser inferiores al promedio en las etapas finales del ciclo.

Al inicio del periodo crítico R3-6 llovieron 150 mm situación favorable para lograr rendimientos mayores al 50% del potencial. Según Bidegain (2012) estudiando el efecto del agua en el rendimiento de soja concluyo que las precipitaciones menores a 100 mm durante el periodo crítico R3-6 determinan valores reales de producción menores al 50% del potencial.

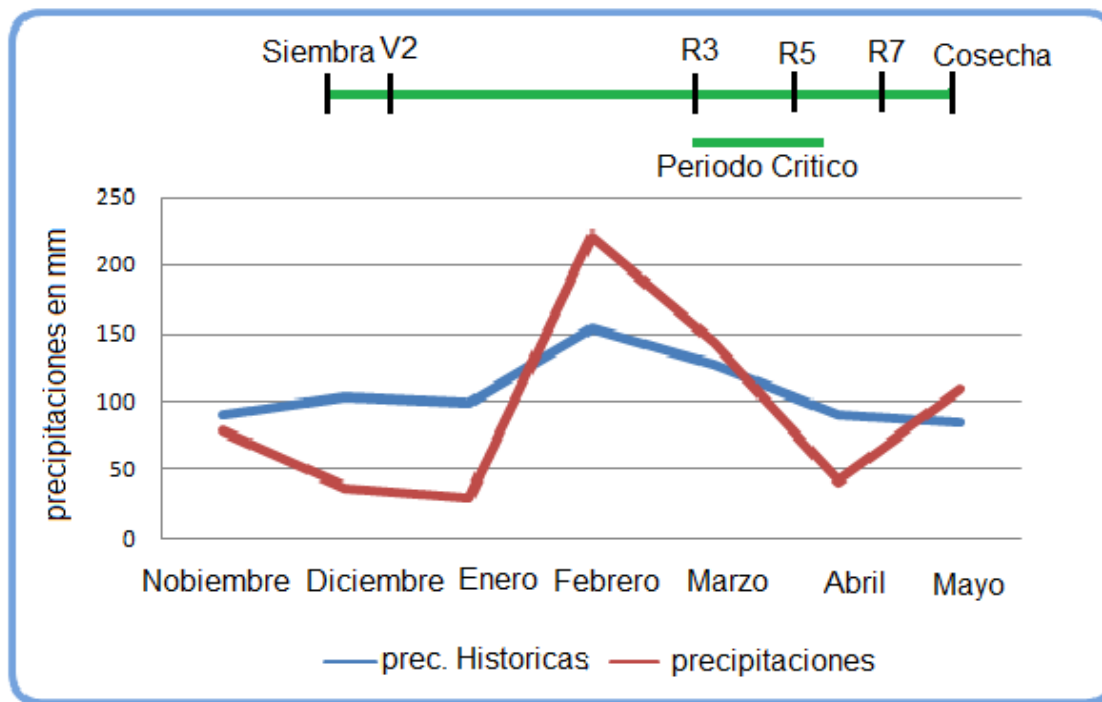


Figura No. 8. Precipitaciones medias mensuales de noviembre-mayo para el periodo en estudio y serie histórica 1961-1990 en Estación Meteorológica Mercedes.

Es importante destacar que debido a las precipitaciones ocurridas en los últimos estadios del ciclo del cultivo se noto la incidencia del complejo de enfermedades de fin de ciclo afectando tanto hojas como tallos y chauchas, aunque no se llegó a constatar incidencias importantes en los kilogramos de grano obtenidos.

4.2 CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL EXPERIMENTO

4.2.1 Estadística descriptiva

En Cuadro No. 3 se presentan los valores de pH (agua), pH (KCl), profundidad total del perfil y del horizonte A, además las cantidades de Carbono, P (ppm), K (meq/100g), N (NO₃ ppm), plantas logradas en 5m, plantas/m² y los componentes de rendimiento chauchas/plantas, granos/planta y rendimiento en (Kg/ha).

Cuadro No. 3. Indicadores de posición y dispersión de las variables relevadas.

VARIABLES	PROMEDIO	D. E	CV	MAX	MIN
Ph (agua)	5,1	0,2	0,05	6,02	4,4
Ph (Kcl)	4,2	0,2	0,06	5,1	3,5
Prof. total (cm)	66	17,7	0,2	110	23
Prof. hz. A (cm)	20,5	9,4	0,4	45	6
N-NO ₃ ⁻ ppm	19	5,0	0,2	36,3	8,7
P ppm	19,6	8,4	0,4	69,3	9,2
% Carbono	2,6	0,5	0,2	4,2	1,17
K (meq./100g)	0,3	0,07	0,25	0,47	0,14
Plantas logradas (m ²)**	22	6,6	0,3	35	0
chauchas /planta	40,0	7,5	0,2	59	25
granos /chaucha	2,8	0,15	0,05	3,15	2,14
Plantas (m ²) ¹	25	8	0,33	46	0
Rendimiento (kg/ha)*	1982	718	0,36	4010	410

* = Rendimiento en base a monitor de rendimiento.

** = Conteo de plantas en V2.

¹ = Conteo de plantas en R3.

Prof. hz A = Profundidad del horizonte A.

CV = Coeficiente de Variación.

DE = Desvio Estandar.

MAX.= Máximo

MIN. = Mínimo

El rendimiento promedio del experimento fue de 1982 kg/ha con un CV de 36%, presentando un rango de 3600 kg/ha demostrando la alta variabilidad en el experimento producto de los tratamientos y de la variabilidad natural de la chacra con un área de 7 ha.

El rendimiento promedio es similar al promedio nacional para los últimos 10 años (1970 Kg/ha^{-1}). En relación a los demás componentes de rendimiento se registro una media de 40 ± 7.53 chauchas/ planta y $2.8 \pm$ granos/chaucha.

La profundidad total del suelo en promedio es de $66 \pm 17\text{cm}$ alcanzando máximos en algunas zonas de chacra de 110cm y en otras valores de 23cm , con un horizonte A promedio de $20 \pm 9\text{cm}$ llegando a máximos de 45cm y mínimos de 6cm pudiendo observarse la gran variabilidad existente.

Los valores de Ph (agua) $5,1 \pm 0,26$ y Ph (KCl) $4,2 \pm 0,24$, se encuentran por debajo del rango deseable para el cultivo de soja (valores de Ph entre 6 y 7 citado por García et al., 2009).

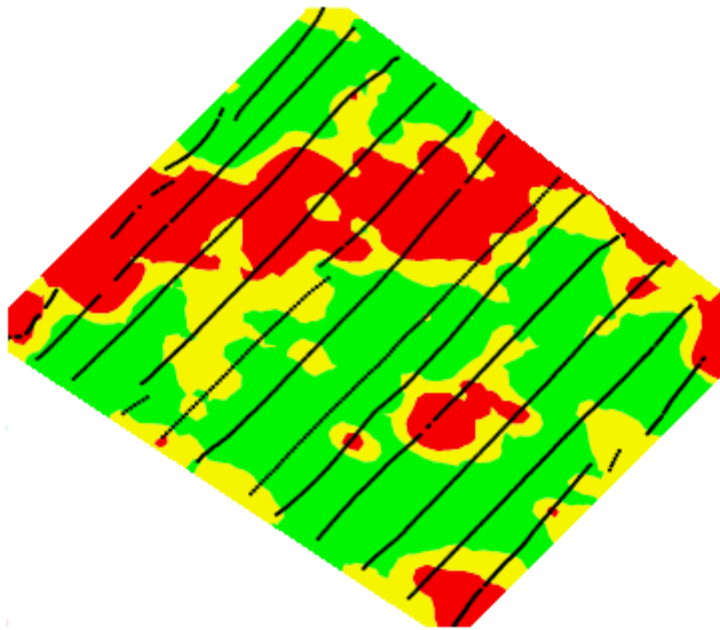
La media de fósforo disponible (Bray 1) (P) fue $19,6 \pm 8,5$ ppm en suelo en 0-20 cm del perfil, lo que se encuentran por encima del nivel crítico de respuesta para el cultivo según (Hernández et al., 1995). Por el contrario para el caso de potasio intercambiable (K), el nivel promedio fue de $0,3 \pm 0,07\text{meq./100g}$, por debajo del valor crítico de respuesta (0.34meq/100g citado por Barbazán et al. (2010) para el cultivo de soja).

Los resultados muestran variabilidad en las propiedades químicas del suelo dentro del la zona estudiada, las que, según Kravchencko y Bullock (2000), pueden explicar en gran medida las variaciones en el rendimiento.

La población de soja lograda fue de $22 \pm 6,6$ plantas por m^2 en estado V2-3 y las contadas en el periodo crítico del cultivo fueron de 25 ± 8 plantas/ m^2 , observándose para los dos momentos de medición, zonas de la chacra sin plantas y máximos de 35 plantas en m^2 y 46 plantas/ m^2 para los dos momentos estudiados.

4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS OBTENIDOS POR MONITOR DE RENDIMIENTO

Una vez removido el efecto tratamiento de los datos obtenidos con el monitor de rendimiento, se logró ajustar un semivariograma significativo (Figura No. 10), con una aceptable validación cruzada (Figura No. 11 más datos del Cuadro No. 4), por lo que fue posible generar un mapa continuo de residuos de rendimiento. De ésta forma, se identificaron zonas de rendimiento diferencial, establecidas como “alto” (valores positivos), “medio” (en torno al valor cero) y “bajo” (valores negativos). Las zonas identificadas no cruzaron todos los tratamientos (Figura No. 9), por lo que no fue posible analizar la respuesta residual a la fertilización por ambientes de productividad diferencial como fue planteado originalmente.



Desvíos del rendimiento estandarizado.

- = -0,808 a -0.127*
- = - 0.0127 a + 0.172*
- = + 0.172 a + 1.094*

*Valores positivos indican rendimientos superiores a la media, valores negativos indican rendimientos inferiores a la media.

Figura No. 9. Mapa Rendimiento estandarizado.

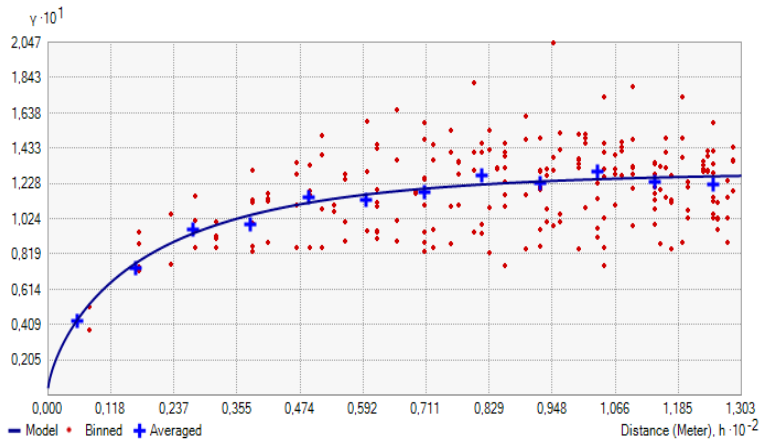


Figura No. 10. Ajuste de semivariograma de Rendimiento estandarizado.

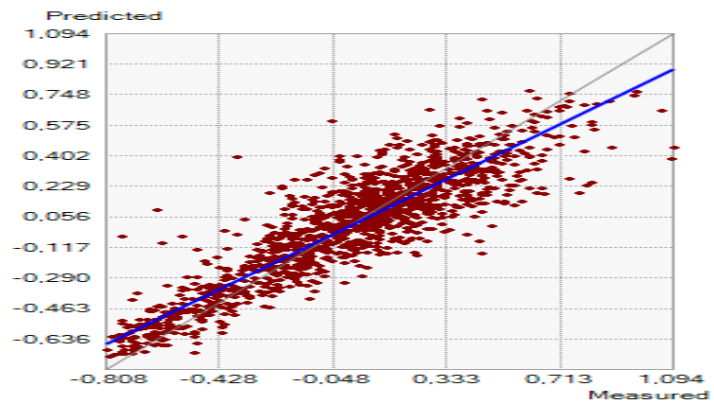


Figura No. 11. Validación cruzada.

Cuadro No.4. Valores resultantes del semivariograma de rendimiento estandarizado.

Variable	Rendimiento
Modelo de ajuste	Estable
Nugget	0,004
Meseta	0,125
Rango	87
Relación Co/ (Co+Meseta)	0,03

La correlación espacial (Figuras No. 10 y 11) fue de carácter muy fuerte (**Relación $Co/(Co+Meseta) < 0,25$**). Los valores resultantes del análisis de semivariograma permiten observar una alta semivarianza entre los puntos en un rRngo de 87 metros, obteniéndose una buena predicción de los valores muestreados para ese rango.

Se realizó la corrección del rendimiento utilizando el semivariograma para los residuos de rendimiento (efecto zona). El rendimiento, corregido por el efecto lugar no presentó correlación espacial significativa, (Figura No. 12). Por tanto, fue posible analizar los resultados utilizando un diseño de bloques completos al azar.

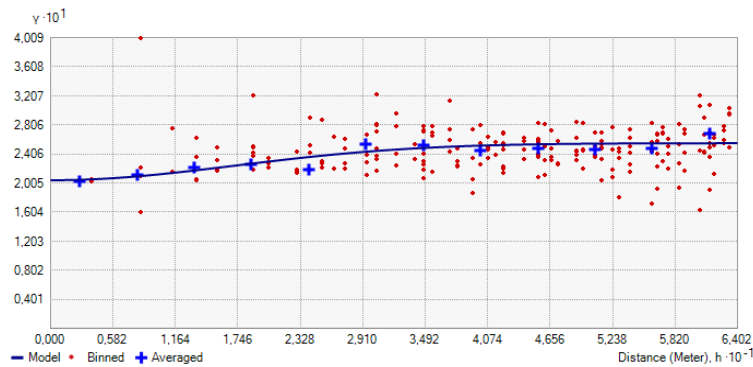


Figura No. 12. Semivariograma.

En el Cuadro No. 5 se presentan los resultados del análisis de comparación de medias de los tratamientos mediante Test de Fisher a un nivel de significancia de $p < 0,05$.

Cuadro No. 5. Comparación de medias por tratamiento.

Tratamientos	Medias*	n	E.E.	
TESTIGO	1,70	395	0,06	b
P	1,63	386	0,06	b
PK	2,09	368	0,06	a
PKS	2,11	399	0,06	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según Test: LSD Fisher ($p < 0,05$). DMS=0,196

*= Toneladas/ha obtenidos del monitor de rendimiento (promedio por tratamiento) removido el efecto espacial.

Testigo: sin fertilización; P: fertilización con P; PK: fertilización con P y K; PKS: fertilización con P, K y S.

Esto muestra que el agregado de P + K como “no limitante” al trigo tuvo un efecto residual positivo sobre el rendimiento de la soja siguiente. No hubo efecto residual del agregado de sólo P ni de adicionar S a la fertilización combinada de P+K. Si bien no es posible aislar el efecto P del de K dado los valores de fósforo disponible y potasio intercambiable en el suelo a la siembra de la soja, la respuesta cuantificada sería fundamentalmente a la fertilización potásica. No obstante, el análisis de K intercambiable a la siembra, si bien fue menor al nivel crítico de respuesta, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos que recibieron K a la siembra de trigo y los que no lo recibieron.

En el Cuadro No. 6 se presentan los valores de Ph (agua), Ph (KCl), N (NO_3^- ppm), P (ppm), K (meq/100g) y % de Carbono por tratamiento, así como contrastes entre tratamientos que buscan identificar el efecto de cada nutriente agregado al trigo. Los muestreos que describen las características del terreno se obtuvieron cuando el cultivo se encontraba ya establecido en el estado fenológico de V3-4.

Cuadro No. 6. Efectos de los tratamientos en los atributos del suelo.

TRATAMIENTOS	PH (agua)	PH (kcl)	N- NO3	P (BrayI)	K (meq./100g)	% C.
1 T	5,1	4,2	19,4	15,6	0,30	2,6
2 P	5,0	4,2	20,1	21,3	0,28	2,6
3 PK	5,0	4,2	18,3	20,4	0,30	2,4
4 PKS	5,0	4,2	19,2	21	0,31	2,6
p-VALOR TRAT.*	0,69	0,68	0,70	0,42	0,49	0,34
CV	1,9	2,52	10,4	22,61	7,54	21,15
MDS (p=0,05)	0,1	0,21	4,04	8,86	0,04	0,30
T vs fertilizados	0,2	0,46	0,85	0,12	0,40	-
P vs P+K	0,9	0,94	0,37	0,84	0,22	-
P+K vs P+K+S	0,7	0,92	0,60	0,88	0,81	-
CME _{EXP} **	0,07	0,07	26,85	214,8	0,0052	0,33
CME _M ***	0,06	0,05	23,54	61,02	0,0057	0,12

Testigo: 1 sin fertilización; 2P: fertilización con P; 3PK: fertilización con P y K; 4 PKS: fertilización con P, K y S.

* = Probabilidad de que al menos un tratamiento sea diferente.

C1; Testigo vs todos

C2; P vs P+K

C3= P+K vs PKS

** = Cuadrado Medio del Error

*** = Cuadrado Medio del Error de Muestreo.

No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ni entre zonas de productividad ($p \leq 0,05$), por lo que no se detectó efecto residual de la fertilización al trigo sobre la disponibilidad de nutrientes a la siembra de soja de segunda. La disponibilidad de P fue superior al crítico para el cultivo en todos los tratamientos y la de K inferior, comportamiento sin interacción con zonas de productividad (datos no mostrados).

Cuando se realizó el muestreo de suelo, 30 días pos-siembra, prácticamente no se habían registrado precipitaciones, lo que pudo ser una limitante para el lavado de K desde el rastrojo de trigo. Coincidente con los trabajos realizados por Barbazán et al. (2011) en los que se plantea que la liberación del K del rastrojo está relacionado con la cantidad de lluvia acumulada pos cosecha, las precipitaciones ocurridas posteriores a la fecha de muestreo habrían permitido el proceso, lo que sería la explicación a la respuesta cuantificada en el cultivo sin haber detectado diferencias en el suelo.

Además para las variables descriptivas de los atributos del terreno (profundidad del perfil, profundidad del horizonte A, pH (agua), pH (KCl), N-NO₃, P, K y %C) no se pudo delimitar zonas debido a la falta de autocorrelación espacial para la distancia muestreada de 30m (ver Anexo 5)

4.4. RENDIMIENTO EN GRANO DE SOJA Y SUS COMPONENTES

NUMÉRICOS

En el Cuadro No. 7 se presentan los promedios de implantación, chauchas/plantas, granos/plantas, plantas/m² y de rendimiento por tratamiento, además se detalla los valores resultantes del contraste entre tratamientos, los valores de Coeficiente de variación y los datos de Cuadrado Medio del Error del experimento y del muestreo.

Cuadro No. 7. Efecto residual de la fertilización en trigo sobre el rendimiento de soja y sus componentes.

TRATAMIENTOS	Impla	Rend.	Rend*	Chau./ Plantas	Gran./ Chaucha	Plantas/ m ²
1 T	45	1,86	1,79	39,4	3	23
2 P	39	1,95	1,84	38,3	3	23
3 PK	44	2,01	1,92	41	3	28
4 PKS	40,5	2,11	2	41	2,763	26
C1: T VS REST	28,6	-	0,35	1,2	0,003	11
C2: P VS P+K	10	-	0,23	15	0,004	35,5
C3: P+K VS P+K+S	15	-	0,08	0,11	0,001	5,5
p-VALOR	0,44	0,08	0,02	0,45	0,58	0,18
CV¹	10	18	13,7	6	2,2	11
MDS (p=0,05)	8	0,197	0,14	5	0,12	6
PVALOR C1	0,24	-	0,02	0,64	0,40	0,27
PVALOR C2	0,47	-	0,07	0,15	0,34	0,07
PVALOR C3	0,38	-	0,28	0,88	0,62	0,43
CME EXP²	113	0,13	0,07	38	0,025	77,5
CME M³	152	0,13	0,05	59	0,021	66

Impla.= número de plantas en 5m; Rend.= Rendimiento.

Testigo: 1 sin fertilización; 2P: fertilización con P; 3PK: fertilización con P y K; 4 PKS: fertilización con P, K y S.

* Rendimiento promedio de la celda y además corregido por variabilidad espacial.

C1; C2; C3 = Contrastes entre tratamientos.

¹ = Coeficiente de Variación.

² = Cuadrado medio del Error Experimental

³ = Cuadrado medio del Error de Muestreo.

p-VALOR = Nivel de significancia establecido $\leq 0,05$.

El análisis del rendimiento sin corregir no presentó diferencias significativas entre tratamientos. En tanto, cuando fue removida la correlación espacial cuantificada

para el rendimiento medio de cada celda de muestreo, se encontraron diferencias entre el tratamiento testigo y los que recibieron fertilización cuando se sembró el trigo ($p \leq 0,02$). Esta variable fue la única que fue posible corregir, ya que no se encontró correlación espacial entre las determinaciones realizadas cada 30 m dentro de cada parcela para los componentes del rendimiento.

Los componentes del rendimiento en general presentaron valores bajos de variación, menores a 11%. Donde las variables más afectadas por el ambiente como plantas logradas y rendimiento fueron las que obtuvieron mayores valores. Por lo contrario las variables más dependientes del componente genético (chauchas/planta y granos/chaucha) presentaron los menores valores.

Los mayores coeficientes de variación fueron para las variables rendimiento, plantas por metro cuadrado e implantación.

Además en el Cuadro No. 6 se incluye para mejorar la interpretación diferentes contrastes ortogonales donde los mismos fueron (testigo vs resto; P vs P+K; P+K vs P+K+S). Encontrándose diferencias significativas solo en el C_1 para la variable rendimiento corregido demostrando que el agregado de fertilizantes P K S al trigo mejoró el rendimiento de soja.

Para el caso de los C_1 y C_3 no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre ellos para las variables implantación y chauchas/planta, granos/chaucha, plantas/m². En el caso del C_2 ninguna variable presentó diferencias entre tratamientos al nivel de significancia estudiado (0.05), aunque se vieron tendencias en algunas variables que con niveles de significancia de (0,10) serían significativas como son las variables rendimiento corregido y plantas por metro cuadrado, indicando que el agregado de fosforo acompañado de potasio tendrían efecto en esas variables.

El error de muestreo en las variables muestreadas de manera discreta, en grilla de 30*30 m fue mayor que el error experimental. Este efecto resulta de la alta variabilidad espacial registrada dentro de cada parcela. Como los datos no tuvieron una estructura de correlación espacial, no fue posible eliminar este efecto, lo que limitó las posibilidades de establecer posibles diferencias entre tratamientos para estas variables.

5. CONCLUSIONES

El rendimiento fue la única variable en la cual se pudo ajustar un semivariograma significativo. Dada la estructura fuerte de la correlación espacial de esta variable se logró realizar un mapa de rendimiento y se establecieron zonas de rendimiento diferencial.

Con los datos de rendimiento obtenidos con el monitor de la cosechadora y corregidos por su correlación espacial, fue posible detectar una respuesta significativa del rendimiento de soja a la fertilización al trigo. El efecto combinado de nutrientes, sumado a la baja disponibilidad de K intercambiable en el suelo, sugiere que la respuesta corresponde a un efecto residual de la fertilización potásica al trigo. El incremento de rendimiento fue del 19% con relación al testigo sin fertilización. No obstante, como no se detectó efecto residual de la fertilización al trigo sobre la disponibilidad de fósforo ni potasio en el suelo, no hubiera sido posible predecir la respuesta observada, por lo que no hubiera sido posible establecer una estrategia diferencial de fertilización a la soja de segunda.

No fue posible cuantificar interacciones entre las variables de respuesta estudiadas y las zonas de productividad de las chacras. Por tanto, no se puede establecer cuales atributos del terreno están explicando la variación en el rendimiento e identificar qué variables están explicando la respuesta del fertilizante.

6. RESUMEN

La agricultura en Uruguay en esta última década se ha caracterizado por presentar una secuencia de cultivos Trigo/Soja donde la ausencia de fertilización al cultivo de segunda es escasa o nula, trayendo como consecuencia balances de nutrientes negativos. Donde además se realizan manejos a nivel de chacra sin considerar la variación espacial que estas presentan. En el marco de esta situación la presente investigación tiene por objetivo evaluar el efecto residual de los nutrientes fosforo (P), potasio (K) y azufre (S), los cuales son aplicados al inicio de la secuencia Trigo/Soja. Además se estudió la variabilidad intrachacra y la interacción de los atributos edáficos que están determinando rendimientos diferentes del cultivo de soja. Los tratamientos se instalaron en la chacra en fajas de fertilización con diferentes combinaciones de P, K, S en un diseño de bloques completos al azar. Se determinaron variables de descripción de suelo, rendimiento en grano y los componentes de rendimiento. El análisis del rendimiento sin corregir no presentó diferencias significativas entre tratamientos. En cambio cuando fue removida la correlación espacial cuantificada para el rendimiento medio de cada celda de muestreo, se encontraron diferencias entre el tratamiento testigo y los que recibieron fertilización cuando se sembró el trigo ($p \leq 0,08$). Encontrándose respuesta productiva en el cultivo de soja al agregado de K. Se debe de considerar que la respuesta de la fertilización residual de los distintos nutrientes está acotada a situaciones donde los niveles en el suelo estén por debajo del nivel crítico y así apreciar respuesta vegetal, además que las condiciones hídricas no estén limitando la absorción de los nutrientes.

Palabras clave: Residualidad de nutrientes; Zonas de producción; Variabilidad espacial; Soja.

7. SUMMARY

The agriculture in Uruguay in this last decade has been characterized for a sequence of cultures presented Wheat / soybean where the absence of fertilization to the culture of second is scanty or void, bringing as consequence balance sheets of negative nutrients. Where in addition managings are realized to level of farm without considering the spatial variation that these present. In the frame of this situation the present investigation has for aim evaluate the residual effect of the nutrients phosphorus, potassium and sulphur, which are applied to the beginning of the sequence Wheat / soybean. In addition was studied the variability intra farm and the interaction of edaphic attributes that are determining different yields from the culture of soybean. The treatments established themselves in the farm in strips of fertilization with different combinations of phosphorus, potassium, and sulphur in a design of complete blocks at random. There decided variables of description of soil, performance in grain and the components of performances. The analysis of the performance without correcting did not present significant differences between treatments. On the other hand when there was removed the spatial correlation quantified for the average performance of every cell of sampling, differences were found between the treatment witness and those who received fertilization when the wheat was sowed ($p \leq 0,08$). Being productive response in the culture of soybean to the attaché of potassium. It is necessary to consider that the response of the residual fertilization of the different nutrients is fenced in situations where the levels in the soil are below the critical level and like that to estimate vegetable response, besides the fact that the water conditions are not limiting the absorption of the nutrients.

Keywords: Residual nutrients; Production areas; Spatial variability; Soybean

8. BIBLIOGRAFÍA

1. ALVEZ MOREIRA, M.; MONTOVANI, E. 2006. Sensores remotos. In: Bongiovanni, R.; Mantovani, E.; Best, S.; Roel, A. eds. Agricultura de precisión; integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable. Montevideo, PROCISUR/IICA/MERCOSOFT Consultores. pp. 81 - 96.
2. AMUCHASTEGUI, J. 2006.; Entrevista. In: Bongiovanni, R.; Mantovani, E.; Best, S.; Roel, A. eds. Agricultura de precisión; integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable. Montevideo, PROCISUR/IICA/MERCOSOFT Consultores. pp. 218-219.
3. BARBAZÁN, M.; FERRANDO, M.; ZAMALVIDE, J. 2007. Estado nutricional de *Lotus corniculatus* L. en Uruguay. *Agrociencia* (Montevideo). 11 (1): 22–34.
4. _____.; BAUTES, C.; BEUX, L.; BORDOLI, M.; CANO, J.; ERNST, O.; GARCÍA, A.; GARCÍA, F.; QUINCKE, A. 2010. Fertilización potásica en cultivos bajo siembra directa en Uruguay. In: Reunión Técnica (1ª., 2010, Colonia del Sacramento, Colonia, Uruguay). Dinámica de las propiedades del suelo bajo diferentes usos y manejos. Montevideo, Sociedad Uruguaya de Ciencias del Suelo/International Soil and Tillage Research Organization. pp. 1-6.
5. _____.; DEL PINO, A.; BORDOLI, J.; MAZZILLI, S.; ERNST, O. 2011. La problemática del K en Uruguay; situación actual perspectivas de corto y mediano plazo. In: Simposio Nacional de Agricultura (2º, Paysandú, 2011). No se llega, si no se sabe a dónde ir. Montevideo, Hemisferio Sur. pp. 21-33
6. BARROW, N. J. 1980. Evaluation and utilization of residual phosphorus in soils. In: Khasawneh, F. E.; Sample, E. C.; Kamprath, E. J. eds. The role of phosphorus in agriculture. Madison, USA, American Society of Agronomy. pp. 333–359.
7. BAUTES, C.; BARBAZAN, M.; BEUX, L. 2009. Fertilización potásica inicial y residual en cultivos de secano en suelos sobre areniscas cretácicas y transicionales. *Informaciones Agronómicas*. 41: 1-8.
8. BEST, S.; LEÓN, L. 2006. Geoestadística. In: Bongiovanni, R.; Mantovani, E.;

Best, S.; Roel, A. eds. Agricultura de precisión; integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable. Montevideo, PROCISUR/IICA/MERCOSOFT Consultores. pp. 147-161

9. BOCOSH, F.; LECUEDER, F. 2011. Relación entre el rendimiento de soja de segunda y la variación espacial de los atributos edáficos dentro de una misma chacra. Tesis de Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 66 p.
10. BOXLER, M.; GARCIA, F.; MINTEGIAGA, J.; POZZI, R.; FIRPO, L.; DEZAMARIN, G.; BERARDO, A. 2006. Efectos directos y residuales de la fertilización en trigo/soja en la región CREA sur de Santa Fé. (en línea). s.n.t. 6 p. Consultado 26 jun. 2012. Disponible en <http://www.fertilizando.com/articulos/EfectosDirectosResidualesFertilizacionTrigoSoja.pdf>
11. BRAGACHINI, M.; VON MARTINI, V.; MÉNDEZ, A. 2000. Potencialidad de la información de los mapas de rendimiento en la interpretación del manejo de factores de rendimiento y su respuesta sitio específica en el cultivo de soja. (en línea). Córdoba, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 12 p. Consultado 18 dic. 2010. Disponible en <http://www.agriculturadeprecision.org/monrend/PotencialidadInformacionMapasRendimiento.pdf>
12. _____.; MENDEZ, F.; SCARAMUZZA, F.; PROIETTI, F. 2006. Monitoreo de rendimiento y elaboración de mapas. In: Bongiovanni, R.; Mantovani, E.; Best, S.; Roel, A. eds. Agricultura de precisión; integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable. Montevideo, PROCISUR/IICA/MERCOSOFT Consultores. pp. 43-60.
13. _____. 2007. La agricultura de precisión, presente y futuro. In: Curso de Agricultura de Precisión y Máquinas Precisas (7º., 2007, Manfredi, Córdoba, Argentina). Actualización técnica sobre los avances en agricultura de precisión. Manfredi, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. pp. 13-28.
14. CADENAZZI, M. 2000. A metodología de análise de dados espaciais aplicada a plantas forrageiras. Tesis Doctorado. Porto Alegre, Brasil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 100 p.

15. CAMBARDELLA, C; KARLEN, D. 1999. Spatial analysis of soil fertility parameters. Precision Agriculture. 1 (1): 5-14.
16. CANO, J D.; ERNST, O.; GARCIA, F. 2006. Balance aparente de fósforo en rotaciones agrícolas del litoral oeste del Uruguay. Balance de fosforo en rotaciones agrícolas. INPOFOS. Informaciones Agronómicas no. 32: 8 - 11.
17. _____.; _____.; _____. 2007. Respuesta a la fertilización potásica en maíz para grano en suelos del noroeste de Uruguay. Informaciones Agronómicas. no. 36: 9-12.
18. CASANOVA, O. 1996. Potasio; consideraciones sobre su situación en el Uruguay. In: Morón, A.; Martino, D.; Sawchik, J. eds. Manejo y fertilidad de suelos. Montevideo, Uruguay, INIA. pp. 57-61 (Serie Técnica no. 76).
19. DEL CAMPO, B. 2007. Factores que afectan la variabilidad intra chacra del rendimiento de maíz. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 77 p.
20. ECHEVERRÍA, H.; GARCÍA, F. 1998. Guía para la fertilización fosfatada de trigo, maíz, girasol y soja. INTA Balcarce. Boletín Técnico no. 149. pp. 1-16.
21. ECHEVERRÍA, E.; FERRARIS, G.; GERSTER, G.; GUTIÉRREZ BOEM, F. H.; SALVAGIOTTI, F. 2002. Fertilización en soja y trigo - soja: respuesta a la fertilización en la región pampeana. Resultados de la red de ensayos del proyecto fertilizar – INTA 4. Campaña 2000/2001 y 2001/2002. Pergamino, INTA. 44 p.
22. FERRARIS, G. N.; COURETOT, L. A.; MOUSEGNE, F.; LÓPEZ de SABANDO, M. 2012. Dosis y fuentes de nitrógeno-azufre y micronutrientes en una secuencia trigo – soja en la región norte de Buenos Aires. Campañas 2009, 2010 y 2011 Pergamino, INTA. pp. 1-11.
23. FONTANETTO, H. 2001. La fertilización del doble cultivo trigo-soja. Anuario INTA Rafaela 2001: 1 – 6.
24. _____.; KELLER, O. 2006. Consideraciones sobre el manejo de la fertilización de la soja. Campaña 2006. INTA. Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. Información técnica cultivos de verano. Publicación Miscelánea no. 106. pp. 45-79.

25. _____.; _____.; GIAILEVRA, D., BELOTTI, L.; NEGRO, C. 2008. Fertilización fosfatada del cultivo de soja en suelos de la región central de Santa Fe. I- Respuesta física del cultivo, eficiencia de uso del P y niveles críticos en el suelo. *In*: Congreso de la AACS (21°. 2008, Rafaela). Resúmenes. Santa Fé, Argentina, INTA. pp. 3-12.
26. _____.; _____.; SILLÓN, M.; ALBRECHT, J.; GIAILEVRA, D.; NEGRO, C.; BELOTTI, L. 2011. Manejo de la fertilización de la soja en regiones templadas. Campaña 2011. INTA. Estación Agropecuaria Rafaela. Informaciones técnicas cultivos de verano. Publicación Miscelánea no. 121. pp. 100-107.
27. GARCÍA, A.; MORÓN, A.; QUINCKE, A. 2009. Requerimientos de la fertilización en soja. *In*: Jornada de Cultivos de Verano (2009, La Estanzuela). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 9-12 (Actividades de Difusión no. 583).
28. GARCÍA, F. 2001. Rotación de cultivos en siembra directa. Balance y manejo de nutrientes en rotaciones agrícolas. Rosario, Argentina, s.e. pp. 59-68 (Publicación Técnica AAPRESID)
29. _____.; PICONE, L. 2004. Fósforo; dinámica y manejo en sistemas de siembra directa. *Informaciones Agronómicas*. 55: 1- 4.
30. _____. 2005. Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo. *Informaciones Agronómicas*. no. 27: 1 - 7.
31. _____.; CIAMPITTI, I. A.; BAIGORRI, H. E. 2009. Manual de manejo del cultivo de soja. Buenos Aires, IPNI. cap. 3, pp. 33-76.
32. _____. 2010. Más de 25 años de investigación en manejo de la fertilización en trigo. *In*: Jornada Técnica (2010, Mercedes, Uruguay). El efecto de la agricultura en la calidad de los suelos y fertilización de cultivos. Montevideo, INIA. pp. 19-23 (Actividades de Difusión no. 605).
33. _____.; CORRENDO A., 2011. Pautas para el manejo nutricional del cultivo. (en línea). *Archivos Agronómicos*. 105: 13-20. Consultado 30 jun. 2012. Disponible en [http://www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf/\\$webindex/article=39E942A303256B1B0050E966DE1FEB3B?opendocument&navigator=archivos+agronomicos](http://www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf/$webindex/article=39E942A303256B1B0050E966DE1FEB3B?opendocument&navigator=archivos+agronomicos)

34. GENTILETTI, A.; GUTIÉRREZ BOEM F. H. 2004. Fertilización azufrada del cultivo de soja en el centro-sur de Santa Fe. INTA. Informaciones Agronómicas. no. 24: 14 – 23.
35. GERSTER, G. 2000. Fertilización azufrada en trigo/soja. INTA Oliveros. Para Mejorar la Producción no. 15: s.p.
36. _____.; NOVELLO, O. 2003. Fertilización con nitrógeno, fósforo, azufre y micronutrientes en la secuencia trigo – soja. Ensayos INTA Cañada de Gómez - Campañas 2001/02 y 2002/03. INTA. Informaciones Agronómicas del Cono Sur. no. 18: 18-42.
37. GIRALDO, R. 2003. Introducción a la geoestadística; teoría y aplicación. (en línea). Bogotá, Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Estadística. s.p. Consultado may. 2009. Disponible en <http://www.docentes.unal.edu.co/rgiraldoh/docs/LIBRO%20DE%20GEOESTADISTICA..pdf>
38. GRUPO INFOSTAT. 2010. Manual del usuario; versión 2010e. Córdoba, Universidad Nacional de Córdoba. 336 p.
39. HERNÁNDEZ, J. s.f. Potasio. Montevideo, Facultad de Agronomía. 35 p.
40. _____.; OTEGUI, O.; ZAMALVIDE, J. P. 1995. Formas y contenidos de fósforo en algunos suelos de Uruguay. Facultad de Agronomía (Montevideo). Boletín de Investigación no. 43. 32 p.
41. _____. 2010. Fósforo. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. p. 85.
42. KANT, S.; KAFKAFI, U. 2000. Absorción de potasio por los cultivos en distintos estadios fisiológicos. (en línea). In: Internacional Potash Institute Annual Conference (5th., 2000, Rehovot, Israel). Potassium in plants and animals. Rehovot, s.e. pp. 263-279. Consultado 6 jun. 2012. Disponible en <http://www.ipipotash.org/udocs/Sesion%20V.pdf>
43. KRAVCHENKO, A.; BULLOCK, D. 2000. Spatial variability; correlation of corn and soybean grain yield with topography and soil properties. Agronomy Journal. 92 (1): 75-83.
44. _____.; THELEN, K.; BULLOCK, D.; MILLER, N. 2003. Relationship among crop grain yield, topography, and soil electrical conductivity studied with cross correlograms. Agronomy Journal. 95 (4): 1132-1139.

45. MALLARINO, A. 1996. Spatial variability patterns of phosphorus and potassium in no-tilled soils for two sampling scales. *Soil Science Society of America Journal*. 60 (5): 1473-1481.
46. _____.; BERMUDEZ, M.; WITTRY, D.; HINZ, P. 2000. Alternative data managements and interpretations for strip trials harvested with yield monitors. (en línea). In: International Conference on Precision Agriculture (5th, 2000, Bloomington, Minnesota, USA). Precision resource conservation and management. Madison, s.e. s.p. Consultado 19 ene. 2011. Disponible en http://extension.agron.iastate.edu/faculty/mallarino/tech_pdf/StripTrialMethods_PrecAgConf_2000.pdf
47. _____. 2005. Criterio para la fertilización fosfatada en sistema de agricultura continúa con maíz y soja en el cinturón de maíz. *Informaciones Agronómicas*. no. 28: 9 - 15.
48. MANTOVANI, E.; DE CARVALHO PINTO, F. de A.; MARÇAL DE QUEIRO, D. 2006. Introducción a la agricultura de precisión. In: Bongiovanni, R.; Mantovani, E.; Best, S.; Roel, A. eds. *Agricultura de precisión; integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable*. Montevideo, PROCISUR/IICA/MERCOSOFT Consultores. pp. 13-22
49. MORENO, J. 2009. Introducción a la geoestadística y su aplicación. Tesis Licenciatura. Ciudad de México, México. Universidad Autónoma de Chapingo. 151 p.
50. MORÓN, A. 1996. El fósforo en los sistemas productivos. In: Morón, A.; Martino, D.; Sawchik, J. eds. *Manejo y fertilidad de suelos*. Montevideo, Uruguay, INIA. pp. 37-44 (Serie Técnica no. 76).
51. NUÑEZ, A. 2010. Situación del potasio en la agricultura uruguaya. In: Jornada Técnica (2010, Mercedes, Uruguay). El efecto de la agricultura en la calidad de los suelos y fertilización de cultivos. Montevideo, INIA. pp. 11-14 (Actividades de Difusión no. 605).
52. OTAÑO, C.; ZARUCKI, I. 2010. Impacto de distintos niveles de fertilidad y atributos de terreno sobre la variabilidad de rendimiento del cultivo de soja a escala de chacra. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 107 p.

53. PLANT, R. 2001. Site-specific management; the application of information technology to crop production. *Computers and Electronics in Agriculture*. 30: 9–29.
54. PRAVIA, V. 2009. Uso de los elementos de agricultura de precisión y modelos de simulación para la incorporación de la dimensión espaciotemporal en la investigación de cultivos agrícolas, A) Impacto de prácticas de manejo de suelos y atributos del terreno en la productividad de sorgo a escala de chacra, B) Simulación de la producción de arroz en Uruguay utilizando el modelo DSSATv4 CERES-Rice. Tesis M.Sc. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 102 p.
55. PRYSTUPA, P.; SALVAGIOTTI, F.; FERRARIS, G.; GUTIÉRREZ BOEM, F.; ELISEI, J.; COURETOT, L. 2004. Efecto de la fertilización con fósforo, azufre y potasio en cultivos de maíz en la pampa ondulada. *Informaciones Agronómicas*. 23: 1-4.
56. ROEL, A. 2006a. Análisis de cluster y CART. In: Bongiovanni, R.; Mantovani, E.; Best, S.; Roel, A. eds. *Agricultura de precisión; integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable*. Montevideo, PROCISUR/IICA/MERCOSOFT Consultores. pp. 168-170.
57. _____; TERRA, J. 2006b. Muestreo de suelos y factores limitantes del rendimiento. In: Bongiovanni, R.; Mantovani, E.; Best, S.; Roel, A. eds. *Agricultura de precisión; integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable*. Montevideo, PROCISUR/IICA/MERCOSOFT Consultores. pp. 65-80.
58. SALVAGIOTTI, F. G., GERSTER, S.; BACIGALUPPO, J.; CASTELLARIN, C.; GALARZA, N.; GONZALEZ, V.; GUDELJ, O.; NOVELLO, H.; PEDROL, H.; VALLONE, P. 1992. Efectos residuales y directos de fósforo y azufre en el rendimiento de soja de segunda. *Ciencia del Suelo*. 22(2):92-101.
59. SAS INSTITUTE. 2008. *JMP Users guide; versión 8.0*. Cary, NC. 280 p.
60. SAWYER, J.; MALLARINO, A.; KILLORN, R.; BARNHART, S. 2008. *A general guide for crop nutrient and limestone recommendations in Iowa*. Ames, Iowa, Iowa State University. 19 p. (Extension Publication)
61. SIQUEIRA, G.; VIEIRA, Z.; SOUZA, J.; DAFONTEL, A. 2007. Utilización de herramientas estadísticas y geoestadísticas para optimización del muestreo

de propiedades físicas del suelo. In: Giradles, J.; Jiménez, F. eds. Zona no saturada del suelo. Santiago de Chile, s.e. v.8, pp. 173-178.

62. SAWCHIK, J.; MALLARINO, A. 2008. Variability of soil properties, early phosphorus and potassium uptake, and incidence of pests and weeds in relation to soybean grain yield. *Agronomy Journal*. 100: 1450 - 1462.
63. TERRA, J.; MELO, D.; SAWCHIK, J. 2010a. Atributos edáficos y topográficos relacionados a los patrones de variación de rendimiento de cultivos agrícolas en Uruguay. In: Reunión Técnica (1ª., 2010, Colonia del Sacramento, Colonia, Uruguay). Dinámica de las propiedades del suelo bajo diferentes usos y manejos. Montevideo, Sociedad Uruguaya de Ciencias del Suelo/International Soil and Tillage Research Organization. pp. 7-17.
64. _____; PRAVIA, V.; ROEL, A. 2010b. Impacto de la intensidad de uso de suelo y la variación del terreno sobre la productividad del cultivo de soja. In: Reunión Técnica (1ª., 2010, Colonia del Sacramento, Colonia, Uruguay). Dinámica de las propiedades del suelo bajo diferentes usos y manejos. Montevideo, Sociedad Uruguaya de Ciencias del Suelo/International Soil and Tillage Research Organization. pp. 18-27.
65. TORRES, M.; RODRÍGUEZ, M. 2009. Buenas prácticas de manejo de fertilizantes azufrados; propiedades de las fuentes azufradas y su efectividad agronómica. (en línea). In: Simposio de Fertilidad (10º., 2009, Rosario, Argentina). Mejores prácticas de manejo para una mayor eficiencia en la nutrición de cultivos. Santa Fe, IPNI Cono Sur. s.p. Consultado 21 dic. 2010. Disponible en <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2009/11/30/129493>
66. UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA (URUGUAY). FACULTAD DE AGRONOMÍA. 1998. Carta geológica de Uruguay. Montevideo. Escala 1:500.000.
67. URUGUAY. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCIÓN DE SUELOS Y FERTILIZANTES. 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay. Montevideo. Escala 1:1.100.000.
68. _____. MINISTERIO DE GANADERÍA AGRICULTURA Y PESCA. PRENADER. 2010. Cartografía de suelos CONEAT. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 10 abr. 2013 Disponible en <http://www.prenader.gub.uy/coneat>

69. VERHAGEN, J.; BOUMA, J. 1997. Modelling soil variability. In: Rogers, F.; Black, E. eds. The state of site-specific management for agriculture. Madison, WI, ASA/CSSA/SSSA. pp. 55–67 (Miscellaneous Publication)
70. VIVAS, H. S.; VERA CANDIOTI, N.; ALBERECHT, R.; MARTINS, L.; HOTIAN, J. L. s.f. Fertilización con fósforo y azufre en rotación de cultivos del centro de Santa fe, Argentina; beneficios productivos y económicos y evolución del P extractable. *Informaciones Agronómicas*. no. 1: 17 – 21.
71. _____. 1999. Residualidad de la fertilización fosfatada y su influencia en la producción de soja y en la rotación. In: Jornada de Actualización Técnica para Profesionales Fertilización de Soja (2ª., 1999, Acassuso). Memorias. Buenos Aires, INPOFOS Cono Sur. p. 39.
72. _____.; ALBERECHT, R.; HOTIAN, J. L.; GASTALDI, L. 2006. Residualidad del fósforo y del azufre. Estrategia de fertilización en una secuencia de cultivos. INTA. EEA Rafaela. Publicación Miscelánea no. 106. pp. 121-134.
73. _____.; CANDIOTI, V.; ALBRECHT, R.; MARTINS, L.; HOTIAN, J. L. 2010. Beneficios productivos y económicos en trigo/soja por la fertilización con P y S en una rotación trigo/soja-maíz-soja. Relación con el P extractable. INTA EEA Oliveros. Publicación Miscelánea no. 118. pp. 109-118.

9. ANEXOS

Anexo No. 1 Descripción de la textura por horizonte del suelo en cada punto de muestreo según las cantidades de arcilla, limo y arena.

Punto	HORIZONTE	% Arcilla	% Limo	% Arena	Total
1,2	A	19,48	28,82	51,70	100
1,3	A	20,80	23,94	55,26	100
1,3	A	19,36	20,00	60,63	100
1,4	A	25,64	19,59	54,78	100
1,5	A	20,33	20,88	58,79	100
1,6	A	9,25	26,87	63,88	100
1,6	AB	15,06	19,32	65,62	100
2,1	A	22,05	20,23	57,73	100
2,1	A	21,60	18,51	59,88	100
2,2	A	15,10	24,64	60,26	100
2,2	AB	22,11	21,09	56,80	100
2,3	AB	27,00	24,47	48,53	100
2,4	A	24,44	41,33	34,23	100
2,4	A	28,54	22,23	49,23	100
2,4	AB	23,16	37,33	39,51	100
2,5	A	24,06	27,47	48,47	100
2,5	AB	24,46	21,30	54,24	100
2,6	A	22,07	22,14	55,79	100
3,1	AB	31,42	21,91	46,67	100
3,1	AB	19,76	26,72	53,53	100
3,2	A	28,43	36,32	35,25	100
3,2	A	26,32	23,93	49,75	100
3,3	A	32,78	22,46	44,76	100
3,4	A	25,86	40,79	33,35	100
3,5	A	19,74	27,50	52,76	100
3,6	AB	24,42	32,77	42,81	100
4,1	A	32,55	23,32	44,13	100
4,1	B	37,48	22,58	39,94	100
4,1	AB	30,28	24,00	45,72	100
4,2	A	25,77	28,50	45,74	100
4,3	A	29,65	24,63	45,72	100
4,4	A1	30,91	27,94	41,15	100
4,4	A2	24,61	20,37	55,02	100
4,5	AB	17,42	14,06	68,52	100
4,5	A	12,70	17,27	70,03	100

4,6	A	24,48	17,96	57,56	100
5,1	A	26,74	25,30	47,96	100
5,1	AB	25,49	29,19	45,33	100
5,1	A	32,77	22,83	44,40	100
5,2	A	30,91	15,98	53,11	100
5,3	AB	25,69	21,20	53,11	100
5,3	A	25,64	18,89	55,48	100
5,4	A	17,53	7,83	74,65	100
5,5	A	22,05	17,21	60,75	100
5,6	BC	37,37	18,88	43,76	100
5,6	A	31,97	22,52	45,51	100
6,2	A	22,05	26,85	51,11	100
6,3	A	18,64	30,22	51,14	100
6,4	AB	29,08	21,47	49,45	100
6,4	A	12,66	67,33	20,01	100
6,5	AB	30,48	20,12	49,40	100
6,5	A	34,01	17,44	48,55	100
6,6	A	29,17	25,19	45,64	100
6,6	AB	22,11	27,03	50,86	100
6,6	AB	18,63	28,53	52,83	100

Anexo No. 2 Cuadro de descripción de las variables profundidad total del perfil, profundidad del horizonte A y contenido de humedad por horizonte en cada punto georeferenciado.

No. Punto	Profundidad Total	Profundad Horizonte A	Humedad del horiz. A
1,1	23	23	14,1
1,2	46	22	14,2
1,3	76	20	17,9
1,4	55	18	17,8
1,5	28,5	28	14,5
1,6	110	45	7,9
2,1	70	25	16,9
2,2	65	28	14,9
2,3	60	20	13,8
2,4	95	27	14,4
2,5	80	35	14,2
2,6	74	10	15,0
3,1	80	13	14,4
3,2	46	23	12,4
3,3	62	14	1,2
3,4	60	10	13,9
3,5	72	13	11,6
3,6	58	23	14,2
4,1	85	30	19,5
4,2	62	6	19,9
4,3	73	6	19,7
4,4	80	24	17,7
4,5	47	22	11,2
4,6	65	12	14,6
5,1	80	10	18,2
5,2	70	15	13,6
5,3	60	10	17,8
5,4	45	20	15,5
5,5	50	10	9,9
5,6	70	15	13,7
6,1	69	30	19,0
6,2	90	45	8,8

6,3	88	22	9,3
6,4	64	17	17,4
6,5	70	21	15,0
6,6	50	25	16,5

Anexo No. 3 Descripción de perfiles por punto de muestreo.

Punto	Horizonte	Profundidad de los horizontes (cm.)	CARACTERISTICAS
1,1	A	0-23	Textura franca coloración oscura
	R	23+	Contacto lítico que no permitió mas exploración del taladro
1,2	A	0-22	Franco, pardo oscura
	B	22-46	Con piedra , Arcilloso
	R	46+	Contacto con piedra
1,3	A	0-20	
	B	20-33	Color oscuro pero con menor arcilla
	Bt	33-55	Color pardo oscuro
	BC	55-76	Con concreciones de calcio y arcilla, con roca no consolidada
1,4	A	0-18	Color oscuro
	B	18-38	Pardo oscuro
	BC	38-55	Con carbonato de calcio, coloración mas clara que los horizontes superiores
	C	55+	
1,5	A	0-18	Franco olor claro
	AB	18-28	Franco arcilloso
	R	28+	Contacto litico
1,6	A	0-30	Franco, color claro
	AB	30-45	Transicional con arcilla, concreciones de hierro
	B	45-60	Arcilloso con concreciones de hierro
	BC	60-82	con concreciones de hierro.
	C	82-110	
2,1	A	0-10	Textura franco
	AB	10 al 25	Alto contenido de Arcilla con películas
	Bt	25- 70	Alto contenido de Arcilla c/películas

	BC	70+	Alto contenido de Arcilla con películas, coloración mas clara lo que permite su difenciacion
2,2	A	0-12	Textura franco
	AB	12 al 28	Textura franco-Arc.
	Bt	28-55	Arcilloso
	BC	55-65	Arcilloso con CaCO ₃ , Fe y Mg abundantes.
2,3	A	0-5	Total del perfil con coloración pardo muy oscura, con poca diferenciación entre los horizontes hay un aumento gradual de contenido de arcilla hacia los horizontes inferiores.
	AB	5 al 20	
	Bt	20-60	
	BC	60 a +	Presencia de CaCo ₃ .
2,4	A	0-15	Textura franco-arcillosa
	AB	15-27	Mayor contenido de arcilla que el horizonte superior
	Bt	27 -95	Buen contenido de humedad
2,5	A	0-15	Franco arcilloso coloración mas clara q el siguiente horizonte.
	AB	15-35	Coloración oscura a negra.
	Bt	35-80	Arcillo
	BC	80 a +	Presencia de piedras menor a 5mm de diámetro.
2,6	A	0-10	Franco arcilloso
	Bt	10 al 42	Arcilloso
	BC	42-74	Con presencia de piedras menores a 5 mm de diámetro y CaCO ₃ .
3,1	A	0-13	Franco
	AB	13-33	Franco-Arcilloso con estructura similar al A.
	Bt	33-80	Arcilloso con presencia de películas.
3,2	A	0-23	Franco

	Bt1	23-35	Arcilloso mas oscuro que el A
	Bt2	35-46	Concreciones de CaCO3 mas claro
	BC	46 a +	Oscuro
3,3	A	0-14	
	Bt1	14-28	
	Bt2	14-53	
	BC	53-62	Con concreciones de CaCo3
3,4	A	0-10	
	B	10 al 25	
	Bt	25 - 60	Arcilloso
3,5	A	0-13	
	B	13-33	
	Bt	33-60	Con concreciones de CaCO3
	BC	60-72	Con piedras menor a 5mm.
3,6	A	0-15	Franco
	AB	15-23	
	Bt	23-50	Presencia de CaCO3 y Fe.
	BC	50-58	Con presencia de piedras menores a 5 mm de diámetro y CaCO3.
4,1	A	0 - 10	
	AB	10 al 30	
	B	30 al 60	
	BC	60 al 85	
	C	85 a +	
4,2	A	0-6	
	Bt1	6 al 33	
	Bt2	33 al 62	Con presencia de CaCO3 y coloración marrón
4,3	A	0-6	En general de todo el perfil tiene coloración pardo oscuro
	Bt1	6 al 23	
	Bt2	23 al 43	presencia de CaCO3

	BC	43 a 73	
4,4	A1	0- 10	Franco
	A2	10 al 24	Poco mas de arcilla que el horizonte anterior
	B	24 al 35	
	Bt	35 al 52	Con CaCO3 y coloración oscura
	BC	52 al 80	Coloración marrón
4,5	A	0-14	Franco
	AB	14 al 22	Franco arcilloso
	Bt	22 al 47	
	R	47 a +	Roca consolidada
4,6	A	0-12	
	Bt1	12 al 25	
	Bt2	25-50	Con concreciones de CaCo3 y coloración pardo oscura
	BC	50-65	Con concreciones de CaCo3 y coloración marron a anaranjada
5,1	A	0-10	
	B	10 al 40	
	BC	40-80	
	C	80 a +	
5,2	A	0-15	
	B	15-35	
	BC	35-55	
	C	55-70	
5,3	A	0-10	
	AB	10 al 25	
	B	25-45	
	BC	45-60	
5,4	A	0-20	
	B	20-45	
	C	45 a +	

5,5	A	0-10	
	B	10 al 25	
	BC	25-50	
	C	50 a +	
5,6	A	0-15	
	B	15-35	
	BC	35-70	
6,1	A	0-16	Textura franca
	AB	16-30	Textura franco-arcilloso
	B	30-42	
	Bt1	42-69	
	BC	69 a +	Con presencia de piedras menor a 5 mm de diámetro.
6,2	A	0-25	
	AB	25-45	
	B	45-65	
	BC	65-90	
	C	90 a +	
6,3	A	0-22	Textura franco
	B	22-46	Franco Arcilloso
	Bt	46-88	Coloración negra amorronada
	BC	88 a +	Presencia CaCO ₃
6,4	A	0-7	Textura franco
	AB	7 al 17	Diferenciado del horizonte A por presencia de arcilla.
	B	17-39	Estructura de terrones grandes.
	Bt	39-64	Presencia de CaO ₃ coloración oscura algo amorronada
	BC	64 a +	Coloración mas marrón que el horizonte superior y presencia de CaCO ₃
6,5	A	0-6	
	AB	6 al 21	
	Bt	21-45	Presencia de CaCO ₃

	BC	45-70	Presencia de CaCO ₃ y Fe, coloración marrón y piedras menores a 5mm de diámetro.
6,6	A	0-10	
	AB	10 al 25	
	B	25-50	
	C	50 a +	Presencia abundante de piedras.

Anexo No. 4 Descripción por punto de muestreo del estado fenológico del cultivo y de la altura promedio.

PUNTO	ESTADO	PROMEDIO cm.
1,2	R3	54,4
1,3	R3	59
1,4	R3	64,4
1,5	R4	67,4
1,6	R4	62,6
1,7	R3-4	64,6
1,8	R3-4	72
1,9	R3	58
2,2	R3-4	64
2,3	R4	67
2,4	R3-4	59
2,5	R3-4	65
2,6	R3	62,6
2,7	R4	75
2,8	R4	66
2,9	R3-4	61,6
3,2	R3-4	70
3,3	R3-4	65
3,4	R3-4	70
3,5	R3-4	55
3,6	R3	67
3,7	R3	65
3,8	R3-2	62
3,9	R3-4	62
4,2	R3-4	66
4,3	R3	67

4,4	R3	54
4,5	R3-4	55
4,6	R3-4	66
4,7	R3-4	71
4,8	R4	70
4,9	R2-1	66
5,2	R2-3	53
5,3	R2-3	50
5,4	R3	57
5,5	R3	51
5,6	R3-4	61
5,7	R3	55
5,8	R3-4	59
5,9	R3	56
6,2	R4	58
6,3	R4	82
6,4	R4	71
6,5	R3-4	63
6,6	R3-4	66
6,7	R4	63
6,8	R3-4	65
6,9	R3	50
7,2	R3	63
7,3	R3-4	76
7,4	R3-4	60
7,5	R3	63,4
7,6	R4	78
7,7	R3-4	63
7,8	R3-4	66
7,9	R4	62
8,2	R3	67
8,3	R3-4	54
8,4	R4-3	60
8,5	R4	60
8,6	R3	60
8,7	R4	65
8,8	R3-4	57
8,9	R4	56
9,2	R4	69

9,3	R4	69
9,4	R3-4	64
9,5	R4	54
9,6	R4	65
9,7	R4	66
9,8	R3-4	61
9,9	R4	71
10,2	R4	70
10,3	R4	67
10,4	R3	53
10,5	R4	71
10,6	R3-4	65
10,7	R3-4	66
10,8	R3-4	67
10,9	R4	69
11,2	R3-4	65
11,3	0	0
11,4	R3	57
11,5	R3-4	57
11,6	R3-4	62
11,7	R4	70
11,8	R4	63
12,2	R4	48,4
12,3	SIN	PLANTAS
12,4	SIN	PLANTAS
12,5	SIN	PLANTAS
12,6	R3-4	67
12,7	R4	75
12,8	R4	75
12,9	R4	56

Anexo No. 5 Contenido de N-NO₃⁻ por cada punto de muestro georeferenciado.

Punto	N-NO₃⁻
1.2	15,1
1.3	27
1.4	21,2
1.5	21
1.6	20,4
1.7	19,3
1.8	23,5
1.9	18,4
2.2	25
2.3	21
2.4	16,3
2.5	36,3
2.6	15,4
2.7	30
2.9	22,2
3.2	20,3
3.3	18,7
3.4	20,5
3.5	22,6
3.6	23,3
3.7	23,8
3.8	16
3.9	11
4.2	17
4.3	19,2
4.4	29,3
4.5	20
4.6	21,3
4.7	17,5
4.8	22
4.9	14,6
5.2	27
5.3	14,4
5.4	13,5
5.5	22
5.6	15,4
5.7	25
5.8	18,1

5.9	16,7
6.2	13
6.3	20,3
6.4	17,5
6.5	12,4
6.6	16
6.8	14
6.9	16
7.2	14,4
7.3	14,2
7.4	24,1
7.5	15,4
7.6	17,3
7.7	15
7.8	13
7.9	14
8.2	18,6
8.3	32
8.4	20
8.5	16,2
8.6	20
8.7	13,5
8.8	15
8.9	15,1
9.2	16,6
9.3	17
9.4	20
9.5	34
9.6	28
9.7	17
9.8	16
9.9	15
10.2	21,1
10.3	20,3
10.4	19
10.5	15
10.7	25
10.8	21
10.9	25
11.2	14,4
11.3	13,2
11.4	24,2

11.5	18,6
11.6	13,7
11.7	22,3
11.8	18,3
11.9	20
12.2	18,4
12.3	8,7
12.4	22
12.5	14
12.6	22,4
12.7	21
12.8	22
12.9	21

Anexo No. 6. Descripción edáfica de las diferentes zonas de la chacra (Profundidad total del perfil y del horizonte A).

Punto	Buena		Media		Mala	
	Prof. Total	Prof A	Prof. Total	Prof A	Prof. Total	Prof A
1,1						
1,2						
1,3						
1,4	55	18				
1,5			28,5	28		
1,6						
2,1	70	25				
2,2	65	28				
2,3	60	20				
2,4	95	27				
2,5	80	35				
2,6			74	10		
3,1	80	13				
3,2	46	23				
3,3	62	14				
3,4	60	10				
3,5			72	13		
3,6			58	23		
4,1	85	30				
4,2	62	6				
4,3	73	6				
4,4						
4,5			47	22		
4,6			65	12		
5,1						
5,2					70	15
5,3					60	10
5,4			45	20		
5,5						
5,6	70	15				
6,1						
6,2					90	45
6,3					88	22
6,4	64	17				
6,5	70	21				

6,6							
PROMEDIO	68,56	19,25	55,64	18,29	77,00	23,00	