

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EVALUACIÓN DE FAJAS DE FERTILIZACIÓN CON POTASIO EN  
SOJA CRUZANDO ZONAS CON DIFERENTE RENDIMIENTO HISTÓRICO  
DENTRO DE UNA MISMA CHACRA**

**por**

**Víctor Adrián CUI NAT TENCA  
Sergio Federico GONZÁLEZ SABBATELLA  
Federico PASÓ JAUNSOLO**

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

**MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2012**

Tesis aprobada por:

Director:

-----  
Ing. Agr. Oswaldo Ernst

-----  
Ing. Agr. Guillermo Siri

-----  
Ing. Agr. Mónica Cadenazzi

Fecha:

13 de junio de 2012

Autor:

-----  
Víctor Ardían Cuinat Tenca

-----  
Sergio Federico González Sabbatella

-----  
Federico Pasó Jaunsolo

## AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias y amigos por el apoyo brindado durante toda la carrera.

Al Ing. Agr. Oswaldo Ernst, nuestro tutor, por la dedicación a este trabajo.

A la empresa Agronegocios del Plata por permitirnos realizar el ensayo, en especial al Ing. Agr. Alvaro Bertini por su colaboración.

A la Lic. Sully Toledo, por sus aportes en la corrección de la presentación del 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> .....	3
2.1. <u>POTASIO</u> .....	3
2.1.1. <u>Dinámica del nutriente</u> .....	4
2.1.2. <u>Fijación y efecto residual de la fertilización potásica</u> .....	6
2.1.3. <u>Respuesta a la fertilización con Potasio</u> .....	6
2.2. <u>AGRICULTURA DE PRECISIÓN</u> .....	7
2.3. <u>GEOESTADÍSTICA</u> .....	8
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> .....	10
3.1. <u>DESCRIPCION GENERAL DEL TRABAJO</u> .....	10
3.2. <u>CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA</u> .....	17
3.3. <u>DETERMINACIONES</u> .....	18
3.3.1. <u>Rendimiento</u> .....	18
3.3.2. <u>Muestréos discretos a nivel de campo</u> .....	18
3.4. <u>ANALISIS DE DATOS</u> .....	19
3.4.1. <u>Estadística descriptiva</u> .....	19
3.4.2. <u>Análisis espacial</u> .....	19
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSION</u> .....	21
4.1. <u>ANALISIS DE PRECIPITACIONES SEMANALES</u> .....	21
4.2. <u>ANALISIS DE LAS IMÁGENES DE INDICE DE VERDE NORMALIZADO</u> .....	22
4.3. <u>DESCRIPCION GENERAL DE LAS VARIABLES ANALIZADAS</u> .....	24
4.4. <u>ANALISIS ESPACIAL</u> .....	27
4.4.1. <u>Análisis del rendimiento</u> .....	27
4.4.1.1. <u>Distribución de los rendimientos corregidos por la variabilidad espacial</u> .....	30
4.4.1.2. <u>Residuos predichos por zona</u> .....	32
4.4.2. <u>Análisis de datos obtenidos por muestreo discreto</u> .....	33
4.4.2.1. <u>Población lograda</u> .....	33

4.4.2.2. Plantas con síntomas de deficiencia de potasio.....	36
4.4.2.3. Resistencia a la penetración del suelo...	37
4.4.2.4. Crecimiento y componentes del rendimiento.....	39
5. <u>CONCLUSIONES</u> .....	44
6. <u>RESUMEN</u> .....	45
7. <u>SUMMARY</u> .....	46
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....	47
9. <u>ANEXOS</u> .....	50

## LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Descripción de los Grupos de suelos CONEAT.....	12
2. Descripción de los perfiles de suelo.....	13
3. Resultados del análisis de suelo verano 2009/2010.....	14
4. Dosis de P y K de las fajas de fertilización instaladas.....	14
5. Descripción general de las variables analizadas en el trabajo.....	24
6. Descripción general de las variables de respuesta cuantificadas para cada faja de fertilización.....	25
7. Componentes del rendimiento por faja.....	26
8. Rendimiento por ambiente.....	26
9. Descripción de la población de datos para el efecto faja de fertilización “puro”.....	31
10. Comparación de medias entre fajas de fertilización.....	31
11. Descripción de la población de datos de residuos rendimiento para los distintos ambientes.....	32
12. Comparación de medias de residuos de los rendimientos para los distintos ambientes.....	32
13. Comportamiento de las variables a través de los ambientes.....	42
14. Comparación de medias entre fajas para las variables vainas y granos.....	43

## Figura No.

1. Dinámica del potasio en el suelo.....	5
2. Ejemplo gráfico de un semivariograma.....	9
3. Mapa de ambientes La Tacuara.....	11
4. Perfiles de suelo extraídos en los distintos ambientes.....	13
5. Trazado de las fajas de fertilización dentro del campo.....	16
6. Área de muestreo discreto.....	17
7. Precipitaciones semanales para el período setiembre-abril 07/08, 08/09 y 09/10.....	21
8. Imágenes de IVDN tomadas el 1 de Marzo de 2009 (izquierda) y 15 de Enero de 2010 (derecha).....	22
9. Imágenes de IVDN correspondientes al periodo octubre-marzo para los veranos agrícolas 2007-2008, 2008-2009, 2009-2010.....	23
10. Semivariogramas del Rendimiento sin corregir (a), de los Residuos normalizados del Rendimiento (b) y del Rendimiento corregido (c).....	28
11. Mapa interpolado para los semivariogramas correspondientes a: a) Rendimiento sin corregir, b) Residuos Normalizado y c) Rendimiento corregido.....	29
12. Distribución del rendimiento corregido por la variabilidad espacial.....	30
13. Variación de los residuos predichos por zona.....	32
14. Mapa interpolado del número de plantas por metro (Plm)...	33
15. Topografía del terreno.....	34
16. Relación entre la altura del terreno (izquierda, líneas) y los residuos del rendimiento (derecha, rectángulos).....	35
17. Relación topografía-rendimiento.....	35
18. Mapa de los residuos de plantas con síntoma corregidos por población.....	36
19. Mapa interpolado de la distribución de plantas con síntomas (Plcs) (a); Plantas con síntomas corregidos por población lograda (b).....	36
20. Porcentaje de plantas de soja con síntomas visibles (PPlcs) de deficiencia de potasio al estadio V2-V3 para cada ambiente.....	37

21. Profundidad (cm) a la cual se alcanzaron las 200 psi en las dos mediciones (verde, primera visita; amarillo, tercera visita) y para los diferentes ambientes preestablecidos.....	38
22. Mapa interpolado de altura en R3-R4 (a) y altura en R6 (b).....	39
23. Variación de la altura (cm) en diferentes estados fenológicos según ambientes.....	40
24. Variación del numero de ramas por ambiente (a) Variación del numero de vainas por ambiente (b) y Variación del numero de granos por (c) ambiente.....	41

## 1. INTRODUCCIÓN

La agricultura de secano en Uruguay se realiza en el 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 e inter chacras (Del Campo, 2007).

La productividad de los cultivos está definida por factores del suelo y clima que varían en el espacio y 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).

El cultivo de soja *Glycine max* (L.) ha tenido un incremento sostenido de la superficie sembrada en los últimos años, pasando de 72.900 has en la zafra 2002/2003 a 863.200 has equivalente al 86 % del área de cultivos de verano de secano para la zafra 2009/2010 (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2010). El cultivo tiene una alta extracción de nutrientes (García, Berardo, Martínez et al., citados por Otaño y Sarucky, 2010), por este motivo es importante conocer el efecto de la fertilización y la variación de los mismos a escala de chacra (Otaño y Sarucky, 2010).

Este incremento en el área de siembra del cultivo de soja, alentado por un alto precio sostenido en los últimos años del grano, en relación a otros cultivos de verano, ha llevado a que los productores se inclinen por sistemas de agricultura continua, fundamentalmente secuencias trigo-soja. En adición, la agricultura en el país avanza hacia zona no tradicionales donde los suelos presentan restricciones para la producción considerados históricamente marginales para la misma.

Como resultado de lo anterior se constatan déficits de nutrientes que implican aumentar el uso de fertilizantes para obtener buenos resultados. El crecimiento de la agricultura, sumado a un aumento del rendimiento de los cultivos, genera una mayor extracción de nutrientes. A excepción del fósforo y el nitrógeno, en general la fertilización con otros elementos es escasa o nula, generándose un balance claramente negativo de nutrientes (Núñez, 2010). Tal es el caso del potasio; las recomendaciones nacionales para este nutrientes, dada la escasa respuesta encontrada, se limitaban a cultivos exigentes (papa, remolacha), en suelos arenosos o muy cultivados (Oudri et al., citados por Núñez, 2010).

Con el fin de optimizar el uso de los recursos y principalmente los fertilizantes surge el concepto de agricultura de precisión. Esta técnica permite

ajustar el agregado de los mismos en función del conocimiento y delimitación de zonas dentro de cada chacra, con el objetivo de maximizar el retorno económico dada la importancia de los mismos dentro de la estructura de costos del cultivo y así disminuir el potencial impacto ambiental de un agregado excesivo. La aplicación de insumos a tasa uniforme dentro de una chacra implica una ineficiencia asociada al agregado innecesario o insuficiente en algunas zonas de la misma (Plant, 2001).

El objetivo de este trabajo es evaluar la capacidad de detectar respuesta a la fertilización en soja, utilizando fajas georeferenciadas que cruzan ambientes productivos diferentes y analizar la variabilidad del rendimiento cuantificada con el uso de monitores de rendimiento.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Esta etapa fue subdividida en tres partes, tomando en cuenta el objetivo del trabajo. Una primera presentando información sobre el nutriente evaluado (Potasio) sus dinámica en el suelo y funciones en la planta, otra abarcando información sobre la agricultura de precisión (AP) como técnica, y una última parte donde se presentaran los principales conceptos asociados a la geoestadística y su aplicación en la agricultura comercial.

### 2.1. POTASIO

El potasio es un macronutriente esencial utilizado en grandes cantidades por las plantas para su normal crecimiento y desarrollo (Kant y Kafkafi, 2000). En cantidad absorbida es el segundo nutriente en importancia luego del nitrógeno. Si bien por lo general se encuentra en abundancia en los suelos, solo una pequeña parte es asimilable para las plantas (Casanova, 1996).

Cumple un rol importante en la activación de un número de enzimas (conociéndose más de 60 activadas por este catión), que actúan en diversos procesos metabólicos tales como fotosíntesis, síntesis de proteínas y carbohidratos; también tiene incidencia en el balance de agua y en el crecimiento meristemático (Mengel y Kirby, citados por Conti, 2000). Al participar de estos procesos metabólicos el K actúa favoreciendo el crecimiento vegetativo, la fructificación, la maduración y la calidad de los frutos (Conti, 2000).

El potasio está fuertemente relacionado con el mantenimiento de la condición hídrica de las plantas (Hirzel, 2004). Además de intervenir en varios procesos metabólicos, está asociado a la regulación de la apertura estomática y la absorción de agua a nivel de raíz. Los iones de K<sup>+</sup> regulan la apertura y cierre de los estomas, bajos niveles de K no permiten que los estomas se cierren rápidamente y eviten la pérdida de agua. A nivel de raíz, el K<sup>+</sup> genera un gradiente de presión osmótica que facilita la entrada de agua. Deficiencias a nivel de raíz dificultan la absorción. De las funciones antes mencionadas se desprende la importancia del potasio frente a condiciones de agua limitante o estrés hídrico. Cantidades adecuadas de potasio son importantes contribuyentes en la adaptación de los cultivos al estrés causado por factores bióticos y abióticos, tales como sequías, salinidad, heladas, ataques de insectos o enfermedades (Kafkafi, citado por Kant y Kafkafi, 2000).

### 2.1.1. Dinámica del nutriente

Las plantas obtienen el K del suelo que proviene de la meteorización de los minerales, de la mineralización de los residuos orgánicos o el que proviene de los abonos y fertilizantes. Los procesos pedogenéticos actúan sobre los materiales presentes en el suelo y producen en mayor o menor medida la disponibilidad del nutriente (Conti, 2000).

En los suelos, el contenido de K está estrechamente relacionado con el tipo de material parental y la pedogénesis (Mengel y Rahmatullah, citados por Conti, 2000).

Varias investigaciones confirmaron que el sistema agrícola no tiene otra vía de ingreso natural para el balance de K que la reposición primaria proveniente de la liberación de los minerales primarios y secundarios, siendo preponderante la participación de la fracción arcilla. Los minerales arcillosos son la fuente principal de K en el suelo (Sardi y Debreczeni, Buhman, citados por Conti, 2000). Los análisis químicos muestran que el contenido de K total del suelo no es un índice de fertilidad para los cultivos y que los suelos contienen K en diferentes formas (Conti, 2000).

El K de la solución de suelo está inmediatamente disponible y puede ser absorbido por las plantas en forma rápida, pero las cantidades presentes son muy pequeñas, apenas una mínima porción del K total del suelo se encuentra en esta forma. El proceso de adsorción-desorción es el que repone y equilibra la concentración de K de la solución del suelo. El Potasio intercambiable, es la forma iónica del potasio ( $K^+$ ) unido electrostáticamente a los materiales que componen la fase sólida coloidal mineral y orgánica. A medida que la concentración del K de la solución desciende, el K adsorbido es liberado a la solución del suelo. A la inversa, si la concentración de K de la solución del suelo aumenta por la aplicación de fertilizantes potásicos, parte de éste dejará la solución y se unirá electrostáticamente al material coloidal de la fase sólida (Conti, 2000).

El K de la solución más el intercambiable, es comúnmente denominado K "disponible" y medido en los análisis convencionales para evaluar la fertilidad del suelo.

Existen formas de K que están fuertemente unidas a la fase sólida mineral, las cuales se denominan "K fijado" y "K estructural". Ambas constituyen el K de reserva o de reposición de los suelos. Ambas formas son denominadas no-intercambiables (Conti, 2000).



### 2.1.2. Fijación y efecto residual de la fertilización potásica

Durante su período de crecimiento los cultivos absorben gran cantidad de K que está disponible bajo las formas intercambiable y no intercambiable. Las raíces de las plantas en crecimiento, producen una rápida disminución en la concentración de K de la solución del suelo cercana a ellas. Esto genera un proceso de difusión, con liberación del K intercambiable adsorbido por las cargas de las arcillas y de la materia orgánica. Cuando la concentración potásica de la solución ha disminuido hasta un mínimo (K intercambiable mínimo), el mismo es liberado de las interláminas de las arcillas (K fijado) para reponer el K de la solución del suelo. La principal fuente natural de reposición ante las intensivas extracciones realizadas por los cultivos, es el K fijado ubicado en las interláminas de arcillas del grupo de las illitas y minerales del grupo de las esmectitas. De esta manera, el K no intercambiable, contribuye significativamente a la nutrición potásica cuando la forma intercambiable es insuficiente, pero con mucha menor velocidad de pasaje a la solución del suelo. Es por eso que una agricultura intensiva requiere una gran velocidad de reposición de K a la solución del suelo y ello está ligado solo a grandes cantidades de K lábil o intercambiable. Los aportes de K por el uso de fertilizantes son necesarios para reponer estas posiciones en especial en aquellos suelos con baja saturación y baja regulación potásica, sometidos a agricultura continua (Conti, 2000).

El agregado de fertilizante al suelo trae cambios en la dinámica del K. En los suelos que poseen en su composición mineralógica un predominio de arcillas del tipo de las illitas y esmectitas, se favorece el proceso de fijación de K, ocupando el fertilizante los lugares interlaminares en primer lugar. Si los sitios de fijación se encuentran poco saturados, el ingreso de K al sistema puede implicar una disminución de la disponibilidad actual del nutriente para el cultivo, pero una fuente de reserva futura, poder residual de K. La fijación de K para algunos suelos, puede estar relacionada no sólo con la mineralogía de la fracción arcilla, sino también a factores térmicos, que producen la apertura de las estructuras de los minerales micáceos, favoreciendo la liberación de este elemento y la saturación potásica del suelo. De esta manera, la disponibilidad de K producida por la fertilización se ve afectada por la cantidad, naturaleza de las arcillas y saturación potásica, que provocan una redistribución del K agregado en las formas intercambiables y fijadas (Conti, 2000).

### 2.1.3. Respuesta a la fertilización con Potasio

Situaciones de elevada respuesta al agregado de K son más probables en sistemas extractivos como lo son el maíz y alfalfa para silo y suelos

arenosos con baja CIC (capacidad de intercambio catiónico), formados sobre materiales generadores pobres en K (Casanova, 1996).

Actualmente se maneja un nivel crítico tentativo, propuesto por Barbazán et al. (2010), para diversos cultivos y tipos de suelo de 0,34 meq/100g, coincidiendo con valores llamados óptimos en recomendaciones actuales en el cinturón maicero de EEUU, donde el rango para dicha categoría va de 0,33 a 0,43 meq/100g (Sawyer et al., 2008).

Barbazán et al. (2010) estudiando ensayos de respuesta a potasio de diversos autores nacionales en trigo, cebada, girasol, maíz y soja, en un total de 50 sitios encontró respuesta en 15 de ellos ( $P < 0,10$ ), presentando éstos niveles de K intercambiable en el rango de 0,15 a 0,44 meq/100g. Concluyen que la posibilidad de respuesta al agregado de potasio es dependiente no solo del nivel de K intercambiable en el suelo, sino también de la textura y mineralogía predominante de la fracción arcilla.

Además, la intensificación de la agricultura utilizando cultivos más extractivos (de mayor potencial) y produciendo 1.5 cultivos por superficie y por año (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2010), puede haber producido cambios en la capacidad de reserva de K en los suelos del país que podrían llevar a un replanteo de estrategias a manejar en relación a las prácticas de fertilización potásica. En un sistema en equilibrio, el K intercambiable repone rápidamente el K en solución que es extraído por las plantas, el cual a su vez, es repuesto por el K no intercambiable o fijado, aunque a una velocidad menor. En un sistema sin aporte de K y con varios cultivos en un determinado período, como es el actual escenario de la agricultura del país, el impacto de esa continua extracción sobre estos equilibrios es desconocido. Un suelo que ha perdido K debido a reiteradas y elevadas extracciones, además de poder agotar sus reservas de K, aún en suelos originariamente altos, la eficiencia de utilización del K agregado puede llegar a ser relativamente baja (Hernández, s.f.).

## 2.2. AGRICULTURA DE PRECISIÓN

La AP es un conjunto de técnicas orientadas a optimizar el uso de los insumos agrícolas (semillas, agroquímicos y correctivos) en función de la cuantificación de la variabilidad espacial y temporal de la producción agrícola. Esta optimización se logra con la distribución de la cantidad correcta de esos insumos, dependiendo del potencial y de la necesidad de cada punto en un área específica de manejo (Mantovani et al., 2006). Además según Plant (2001), como los costos de los insumos han aumentado, tanto las desventajas económicas como ambientales de la aplicación uniforme han de ser más evidentes aumentando la conveniencia de realizar estas prácticas de manejo.

Existen tres criterios básicos que deben cumplirse para justificar el manejo sitio-específico: a) la existencia de importante variabilidad espacial en factores que influyen significativamente en la productividad de los cultivos; b) la identificación y cuantificación de las causas de la variabilidad de estos factores; y c) el conocimiento científico-agronómico que permita utilizar la información recolectada para el logro de un beneficio productivo, económico o ambiental (Plant, 2001).

### 2.3. GEOESTADÍSTICA

Los siguientes párrafos pretenden resumir (Moreno López, 2009) los principales conceptos asociados a la Geoestadística o análisis de datos espaciales, rama de la Estadística, que incluye la variabilidad espacial en análisis de datos provenientes de muestreos o de diseños experimentales clásicos y es aplicada a fenómenos espaciales. El objetivo de la misma es aprovechar la continuidad presentada en dichos fenómenos (por ejemplo el rendimiento de un cultivo dentro de una chacra) para poder predecir o simular los mismos. Dados dos puntos  $x$  e  $y$ , el valor de la variable aleatoria que cada uno tome estará explicado en parte por la ubicación en el espacio de los mismos y el grado de correlación entre los mismos será el encargado de expresar la continuidad del fenómeno bajo estudio. Se parte de la base de que puntos más cercanos presentan mayor grado de asociación y esta se pierde a medida que los mismos se distancian. Por lo tanto el valor depende de su ubicación en el espacio y su relación con sus “vecinos”.

El procesamiento geoestadístico se basa en dos etapas principalmente. La primera implica la obtención y validación de lo que se denomina un semivariograma. El semivariograma es un gráfico que describe la diferencia esperada entre dos puntos separados por una distancia determinada. Permite ilustrar la dependencia espacial entre puntos a medida que se alejan. El semivariograma mide la disimilaridad promedio entre pares de datos separados por un vector de distancia, y se calcula como la mitad del cuadrado de la diferencia entre los componentes de pares de datos (Wollwehaupt et al., citados por Pravia, 2009). A partir del gráfico es posible determinar un modelo matemático teórico que representa la modelación de la variación de los datos y que luego será utilizado en una segunda etapa. Los modelos más frecuentes son el esférico, exponencial, gaussiano y lineal entre otros.

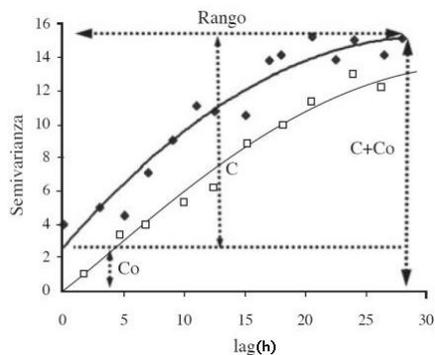


Figura No. 2. Ejemplo gráfico de un semivariograma (Fuente: Best y León, 2006).

Los semivariogramas son caracterizados por una serie de conceptos:  
 Efecto “nugget” o pepita ( $C_0$ ): es el valor del semivariograma en  $h=0$ .  
 Rango o Range: es la distancia a la cual se estabiliza la semivarianza y a partir de donde ya no existe correlación entre pares de puntos.  
 Meseta o Still: es el valor de la máxima semivarianza alcanzada.

La segunda etapa denominada Kriging o Krigaje permite a partir de la función del semivariograma teórico predecir valores para puntos no muestreados. Existen varios programas informáticos que resultan en imágenes a partir de las cuales es posible determinar zonas, herramienta fundamental para la agricultura de precisión.

Luego de realizar las predicciones se utilizan técnicas para evaluar la bondad de ajuste del semivariograma teórico, donde la técnica de validación cruzada es la más empleada.

Otra técnica relacionada es el co-kriging, a través del cual se puede obtener el valor de una variable a través de la estimación de otras. Se justifica en situaciones en que la correlación entre variables es superior a 0,70 y una de ellas presenta ventajas en su medición (Best y León, 2006).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. DESCRIPCION GENERAL DEL TRABAJO

El trabajo se realizó en el verano correspondiente a la zafra 2009-2010, dentro de una chacra comercial en la que se habían instalado fajas de fertilización cruzando zonas (ambientes) con comportamiento esperado diferente. La chacra está situada en el paraje El Águila km 260 ruta nacional numero 3, Departamento de Río Negro, Uruguay.

La definición de los ambientes se realizó por la empresa Agronegocios del Plata (ADP) en base a datos relevados en zafras anteriores: mapas de monitores de rendimiento, imágenes satelitales de índice de verde normalizado, así como características topográficas y edáficas del paisaje. Se definieron 3 ambientes:

Ambiente A - Todos los años analizados presentan valores de IVDN altos y/o productividades medias y altas para todos los cultivos (30% por encima de la media).

Ambiente B—Dentro de los años analizados aparecen años con valores de IVDN altos y otros bajos.

Ambiente D - Siempre presenta valores de IVDN bajos en todos los cultivos. (30% por debajo de la media).

A la categorización por ambiente se le adjudicó una segunda categorización basada en la posición topográfica en el terreno (clase) y en limitantes físico-químicas o curvaturas (subclase). La nomenclatura para dicha categorización fue:

Clases, posición en el terreno:

l: loma

ml: media loma

b: bajo

Sub clases, impedimentos físicos y/o químicos, curvaturas, etc.

s: salinidad

bt: horizontes B texturales

ts: tosca

a: anegamiento

c: compactación

p: pendiente

e: erosión

En la Figura No. 3. se presenta un esquema del área en el que estaban instaladas las fajas de fertilización, con su categorización por “ambiente”.

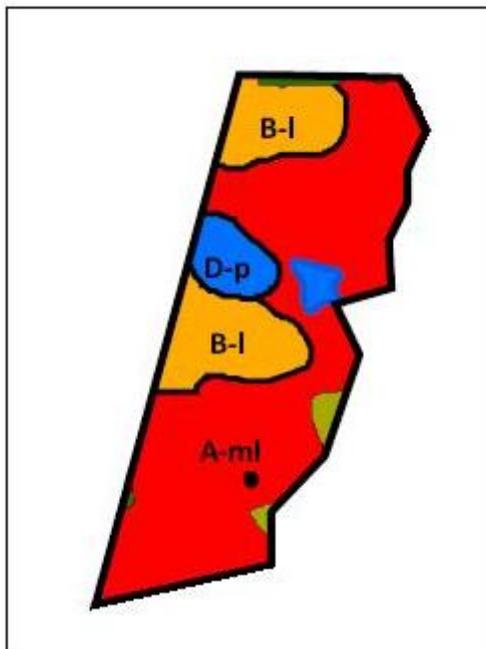


Figura No. 3. Mapa de ambientes La Tacuara (potrero 435, 61 hectáreas) (Fuente: ADP<sup>1</sup>).

Se instalaron seis fajas paralelas dentro de la chacra, de veintidós metros de ancho, de forma tal que las mismas atravesaran los ambientes de producción previamente establecidos.

El sitio en el que se instalaron las fajas de fertilización está ubicado dentro de los Grupos de suelos CONEAT 11.5 y 10.4 para los suelos del Uruguay.

---

<sup>1</sup> Agronegocios del Plata. 2012. Planimetría La Tacuara (sin publicar).

Cuadro No. 1. Descripción de los Grupos de suelos CONEAT.

Grupo CONEAT	Unidad de suelos Carta 1:1.000.000 (MGAP)	Suelos encontrados
11.5	Young	Brunosoles Eútricos Típicos
10.4	Paso Palmar	Brunosoles Eútricos y Subeútricos Lúvicos y Típicos

Fuente: URUGUAY. MGAP. PRENADER (2010).

A nivel de chacra se realizó la extracción del perfil de suelo para las tres zonas con un taladro holandés. Los suelos encontrados a nivel de cada ambiente fueron: ambiente A, Brunosol Lúvico; Ambiente B, Brunosol Típico; y ambiente D, Brunosol Lúvico. Dichos perfiles representativos de cada zona presentan la siguiente descripción.

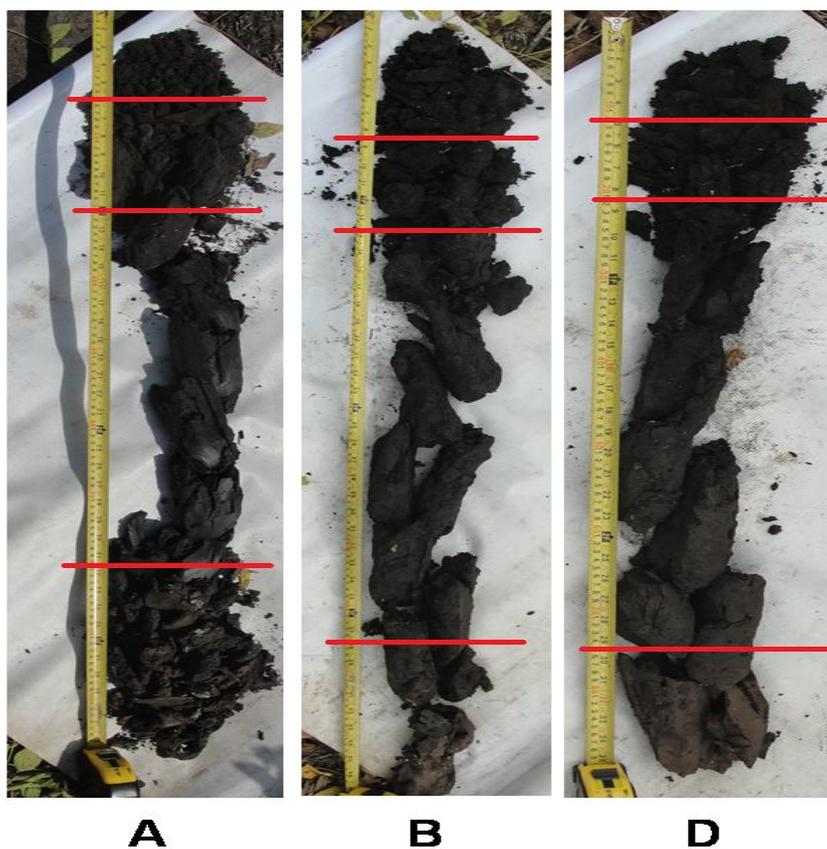


Figura No. 4. Perfiles de suelo extraídos en los distintos ambientes.

Cuadro No. 2. Descripción de los perfiles de suelo.

Horizonte	AMB A	AMB B	AMB D
	(cm)		
A	10	15	10
A/B	15	10	10
Bt	50	55	50
B/C	35	30	20
Total	110	110	90

El siguiente cuadro presenta los resultados del análisis de suelo realizado previo a la siembra. El mismo consistió en un muestreo dirigido por ambiente, indicando que la chacra tenía niveles inferiores al crítico establecido

para soja en potasio intercambiable ((K intercambiable, meq K/100g) (Barbazán et al., 2010) en los tres ambientes.

Cuadro No. 3. Resultados del análisis de suelo verano 2009/2010.

Ambiente	Potasio Intercambiable (meq K/100g)	Fósforo Bray I (ppm P)	Materia Orgánica (%)	pH Agua	Nitrato (ppm N-NO <sub>3</sub> )	Azufre (ppm S-SO <sub>4</sub> )
AMB.A-ML	0,20	5	3,3	5,8	6	7
AMB.B-L	0,27	5	2,3	6,2	6	10
AMB.D-P	0,22	8	2,3	5,9	5	5

La chacra fue sembrada con soja (*Glycine max*) de estación completa (de primera), variedad Don Mario 7.0i (GM VII, indeterminada), el 15-10-2009. La densidad de siembra fue de 80 kg/ha y la distancia entre hileras de 0.38 metros.

Las diferencias entre fajas estuvieron dadas en los niveles de fertilización inicial, siendo el resto del manejo homogéneo e idéntico al resto de la chacra.

Cuadro No. 4. Dosis de P y K de las fajas de fertilización instaladas.

Nomenclatura	Faja	N-NO <sub>3</sub> (kg/ha)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ ha)	K <sub>2</sub> O (kg/ha)	S-SO <sub>4</sub> (kg/ha)
0P-0K (testigo)	1	0	0	0	0
30P-90K	2	1,6	30,4	90	4
30P-90K	3	1,6	30,4	90	4
30P-0K	4	1,6	30,4	0	4
65P- 132K	5	3,4	64,6	132	8,5
30P-90K	6	1,6	30,4	90	4

El potasio se agregó como cloruro de potasio al 60% (NPK 0-0/0-60) y el fósforo como NPK 2-38/38-0+5S con 38% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Como puede observarse, 30P-90K estuvo en tres fajas y las demás combinaciones P-K no tuvieron repeticiones. Cada faja fue de 22 metros de ancho por 1288 m de largo, pero el trabajo se realizó en una superficie de 9,24 ha compuestas por los 22 metros de ancho de cada faja por 700 metros de largo, donde se estableció una grilla de muestreo georeferenciada compuesta por celdas de 22x70 m de largo.

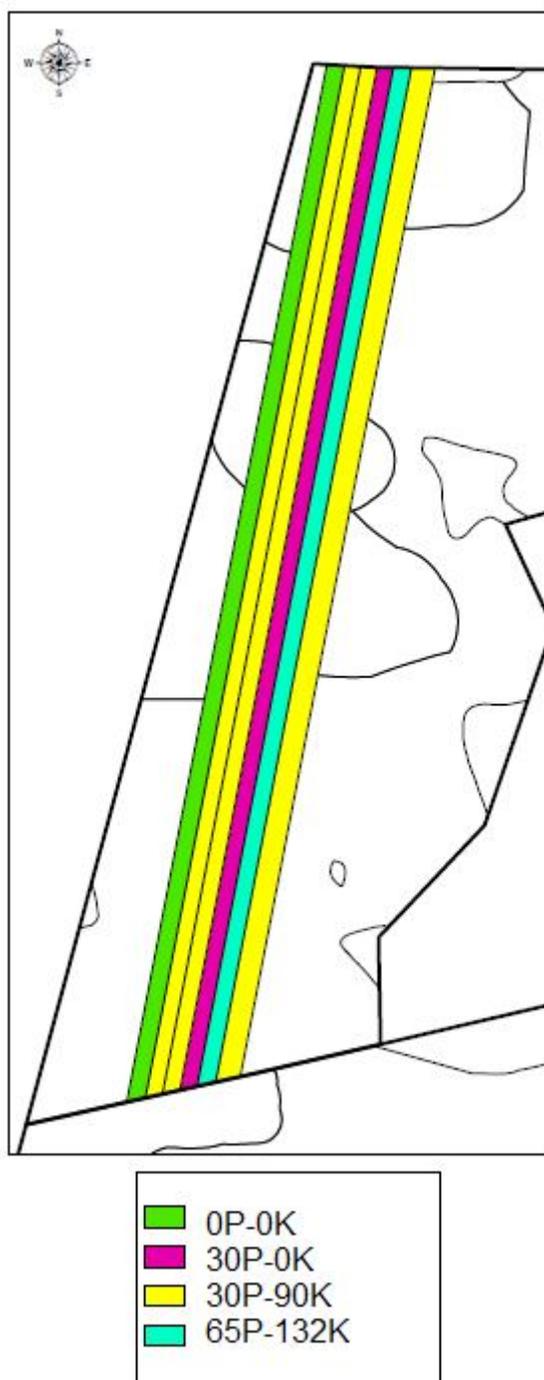


Figura No. 5. Trazado de las fajas de fertilización dentro del campo (Fuente: ADP<sup>1</sup>).

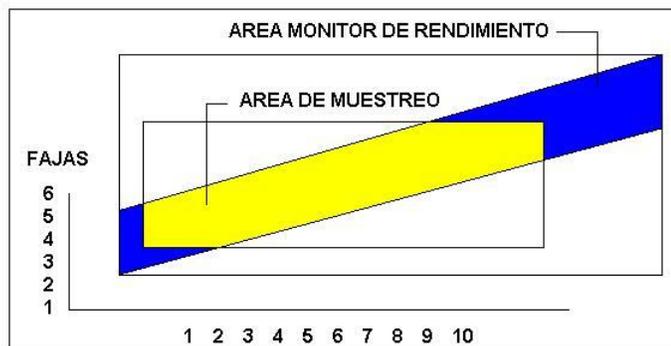


Figura No. 6. Área de muestreo discreto.

La Figura No. 4 muestra el trazado de las fajas, el área relevada por el monitor de rendimiento y el área en la que se realizaron los muestreos discretos en el cultivo.

### 3.2. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

Se obtuvieron los datos de precipitaciones semanales registrados en la localidad de El Águila, Río Negro, y las imágenes de índice de verde normalizado (IVDN) para el período en el que se realizó el trabajo de campo (2009-2010) y los dos veranos anteriores (2007-2008, 2008-2009). Las imágenes fueron obtenidas con el satélite LANDSAT 5 TM Bandas 4-3-5 RGB Falso Color Compuesto.

El IVDN es un método de percepción remota que obtiene información a partir de satélites que miden la reflectancia de la radiación solar absorbida por el cultivo. El índice permite identificar la presencia de vegetación verde en la superficie y caracterizar su distribución espacial así como la evolución de su estado a lo largo del tiempo. Esto está determinado fundamentalmente por las condiciones climáticas. La interpretación del índice debe asimismo considerar los ciclos fenológicos y de desarrollo anuales para distinguir oscilaciones naturales de la vegetación de los cambios en la distribución espacial causados por otros factores (INIA).

El índice diferencial normalizado se define como:

$$IVDN = (R2 - R1)/(R2 + R1)$$

Los valores de IVDN oscilan entre -1 y 1. La vegetación densa, húmeda y bien desarrollada presenta los mayores valores de IVDN.

### 3.3. DETERMINACIONES

#### 3.3.1. Rendimiento

El 09/04/2010 se cosechó la superficie de todas las fajas (1288 m de largo por 22 m de ancho) con una cosechadora John Deere 9770 equipada con un monitor de rendimiento Green Star. De ésta forma se obtuvo un dato de rendimiento georeferenciado cada 3 metros lineales por el ancho de la plataforma (30 pies), por lo que la unidad de observación corresponde a una superficie de 27 m<sup>2</sup>, totalizando 6976 observaciones.

#### 3.3.2. Muestreos discretos a nivel de campo

Las determinaciones se realizaron en la zona central de cada celda de 22x70 metros (10 sitios de muestreo por faja) Las estaciones de muestreo se fijaron en la primera visita, con el cultivo ya implantado, siguiendo el eje central de cada faja y fueron georeferenciados con un GPS portátil GARMIN Etrex Legend. Los muestreos se realizaron en un radio de 5 m de cada punto georeferenciado. Las referencias fueron utilizadas en cada una de las 4 visitas realizadas (28-12-09, 29-01-10, 4-3-10 y 9-4-10).

Primera visita, 28/12/2009 se determinó:

- Número de plantas nacidas en cinco metros lineales en dos surcos consecutivos por sitio.
- Plantas con síntomas visibles de deficiencia de potasio. En las mismas hileras se contaron las plantas con sintomatología de deficiencia de K establecida como clorosis en hojas inferiores desde los bordes hacia el centro de las hojas y necrosis en los bordes a amarillamientos generales. Se calculó el porcentaje de plantas con síntomas con relación al número total contado en cada sitio.
- Resistencia a la penetración del suelo, utilizando un penetrómetro Dickey John Soil Compaction Tester, se registró la profundidad a la cual se alcanzó 200 psi (libra por pulgada cuadrada), considerado como límite para la exploración radicular. Se registraron tres mediciones por punto de muestreo.

Segunda visita, el 29/01/2010:

- Altura de planta, utilizando una cinta métrica graduada se tomaron diez medidas de plantas contiguas en la hilera por punto de muestreo. Se tomo el suelo como extremo inferior y el último nudo como extremo superior.

Tercera visita, 04/03/2010:

- Altura de planta, ídem visita anterior.
- Resistencia a la penetración, ídem primera visita.
- Número de nudos por planta.

Cuarta visita, 09/04/2010:

Se cuantificaron componentes de rendimiento:

- Número de ramas, en cinco plantas por punto de muestreo y conteo.
- Número de vainas, cinco plantas por punto de muestreo, cosecha manual y conteo.
- Número de granos, cinco plantas por punto de muestreo, cosecha manual y conteo.

### 3.4. ANALISIS DE DATOS

#### 3.4.1. Estadística descriptiva

Se realizó la descripción de la población de datos de cada muestreo utilizando estadística descriptiva de tendencia central para todas las variables medidas en forma discreta y continua determinando: Mínimo, Máximo, Media, Desvío Estándar y Coeficiente de Variación (CV).

#### 3.4.2. Análisis espacial

A partir de los datos obtenidos con el monitor de rendimiento y de los muestreos discretos se analizó la estructura espacial de datos obtenidos para todas las variables. Para ello se utilizó el software ArcGis 10.0 (2011). Se modeló la variación espacial de cada variable estimando, por defecto, el semivariograma esférico. La existencia o no de estructura espacial de los datos se determinó a través de la relación Pepita/umbral. Para las variables en que fue menor a 0,5, se la consideró como fuerte y, si la validación cruzada obtenida removiendo cada dato de manera independiente y estimándolo por sus vecinos resultó con un  $R^2$  mayor a 0,7, se interpolaron los resultados para confeccionar mapas con los resultados de cada variable.

Se removió la autocorrelación espacial de rendimiento para poder analizar el efecto “faja de fertilización”. Para ello se estudió y modeló la distribución espacial de los errores y se descontó del rendimiento corregido, obteniendo un “rendimiento limpio”. Los residuales para cada celda se

calcularon restando el promedio de rendimiento de tratamiento con el promedio de cada celda (Hernández y Mulla, 2002).

Se determinó la estructura espacial de los residuales y se realizó kriging para estimar un nuevo residual para cada celda por medio de validación cruzada de vecinos observados más cercanos. Estos residuos representan el efecto que el sitio tiene sobre el rendimiento, por lo que su mapa interpolado representa “zonas de la chacra con distinto rendimiento”.

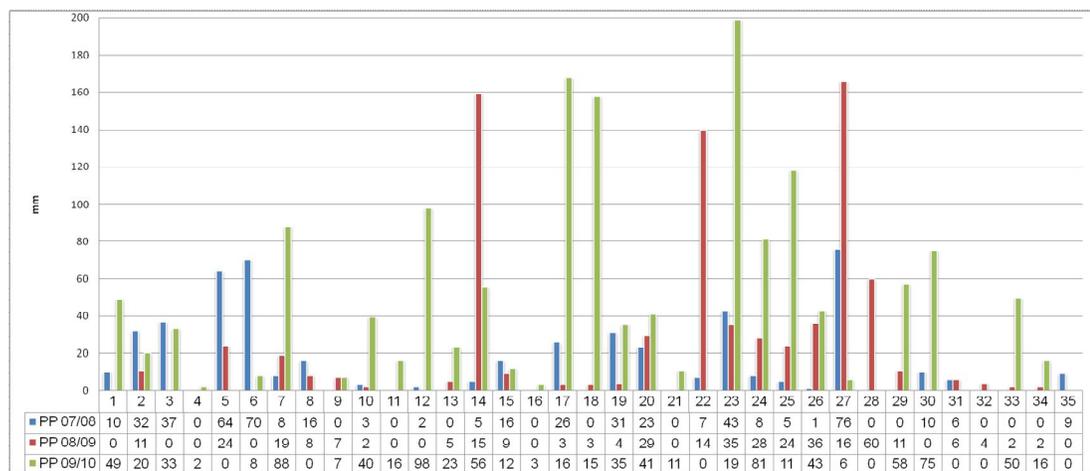
Los residuos estimados se utilizan para calcular el “rendimiento limpio”, que resulta de restar a cada observación, el valor correspondiente a la estimación del efecto sitio.

El efecto de las fajas de fertilización se estudió mediante la Prueba “t” “Inferencia basada en dos muestras”, utilizando el programa estadístico InfoStat versión estudiante, del 2010 y el JMP versión 8.0, del 2008.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1. ANALISIS DE PRECIPITACIONES SEMANALES

Se obtuvo la información de las precipitaciones semanales para el período setiembre-abril correspondiente al verano agrícola en estudio (2009-2010) y los dos anteriores (2007-2008, 2008-2009).



Fuente: URUGUAY. MDN. DNM (2012).

Figura No. 7. Precipitaciones semanales para el período setiembre-abril 07/08, 08/09 y 09/10.

Comparando el año en el que se realizó el trabajo con los dos veranos anteriores se denota un contraste en lo que a lluvias registradas concierne, tanto en el total registrado como en la distribución de las mismas. El verano 2009-2010 acumuló un total de 1513 mm frente a los 508 mm y 793 mm de los veranos 2007-2008 y 2008-2009 respectivamente. El 2007-2008 se caracterizó por eventos seguidos de poca significancia mientras que el 2008-2009 estuvo marcado por eventos de gran volumen de lluvias pero muy separados en el tiempo. Esta diferencia en la cantidad y distribución de lluvias es un factor determinante del rendimiento y del comportamiento del cultivo en cada ambiente.

#### 4.2. ANALISIS DE LAS IMÁGENES DE INDICE DE VERDE NORMALIZADO

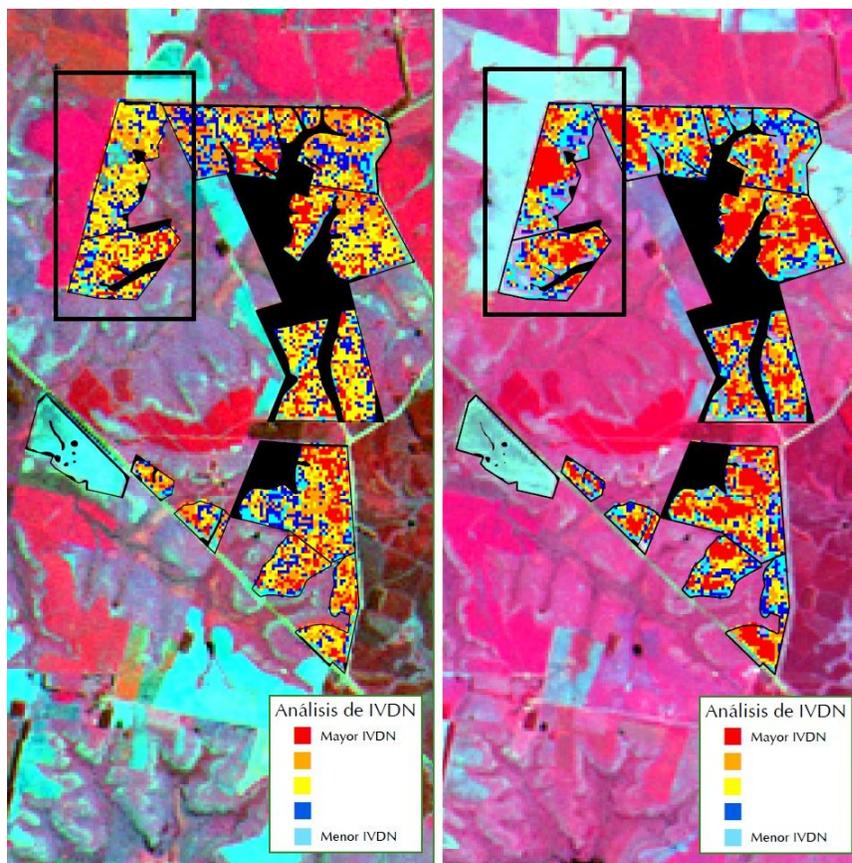


Figura No. 8. Imágenes de IVDN tomadas el 1 de marzo de 2009 (izquierda) y 15 de enero de 2010 (derecha, Fuente: ADP<sup>1</sup>).

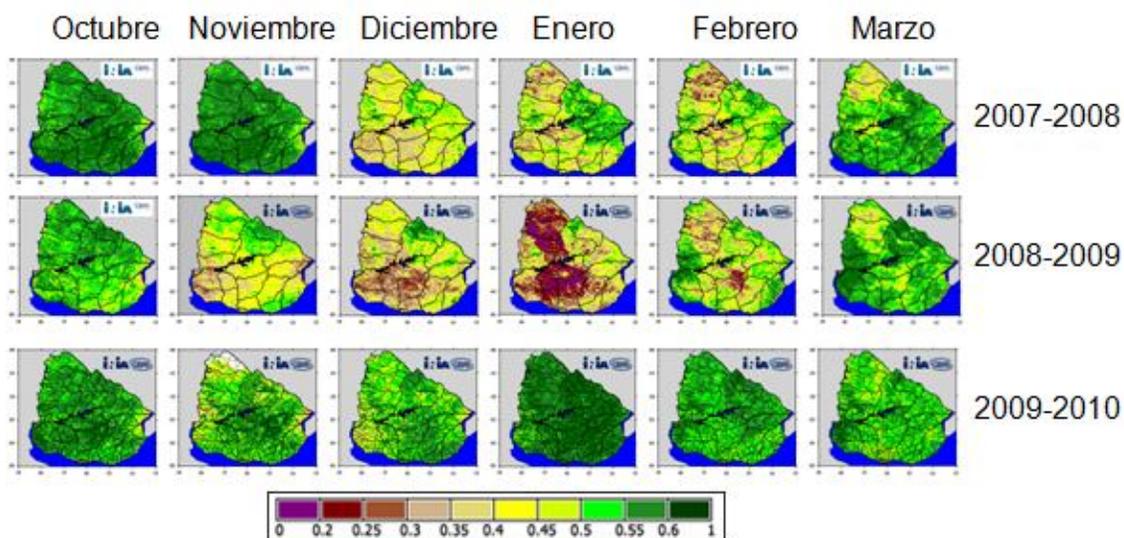


Figura No. 9. Imágenes de IVDN correspondientes al periodo octubre-marzo para los veranos agrícolas 2007-2008, 2008-2009, 2009-2010 (Fuente: INIA, 2011).

En las imágenes obtenidas con el satélite LANDSAT 5 TM Bandas 4-3-5 RGB Falso Color Compuesto (suministradas por ADP) se observa un claro contraste en los niveles de IVDN entre el cultivo de soja en estudio (zafra 2009-2010) y el cultivo antecesor sorgo de segunda sembrado el año anterior. Las imágenes fueron tomadas en momentos donde los cultivos se encuentran en activo crecimiento y desarrollo por lo cual son un buen indicador del status del cultivo. Dicho momento se corresponde con la floración para el sorgo de segunda antecesor, y la etapa de llenado de grano para la soja de primera bajo estudio, lo que hace a las imágenes comparables entre sí, debido a que ambos son momentos críticos para los cultivos. La imagen correspondiente al cultivo de sorgo presenta un color amarillo dominante en el área, indicando valores medios a bajos de IVDN, por el contrario, para la soja en estudio, la distribución de valores es menos homogénea con presencia de valores bajos pero con dominancia de color rojo correspondiente a valores altos de IVDN.

Las imágenes de IVDN mensuales obtenidas del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, se constata una diferencia significativa entre los meses de diciembre-enero-febrero de cada año, meses durante los cuales se ubica el período crítico de definición del rendimiento de los cultivos de verano.

Los veranos anteriores, utilizados para la determinación de los ambientes productivos fueron similares, caracterizados por escasas precipitaciones, con marcados déficits hídricos en los meses de mayor demanda de los cultivos de verano, por el contrario el verano 2009-2010 fue totalmente opuesto, sin déficits hídricos a lo largo del período. La utilización de imágenes de IVDN de años anteriores para la construcción de los ambientes productivos, pudo sobrevalorar zonas considerándolas “buenas” por su capacidad de almacenar agua debido a su posición topográfica o característica física de suelo, así como subestimar zonas “malas” de la chacra sin tomar en cuenta que años sin déficits hídricos pueden equiparar diferencias entre zonas o bien marcar una nueva distribución.

#### 4.3. DESCRIPCION GENERAL DE LAS VARIABLES ANALIZADAS

En los siguientes cuadros se presentan las variables de respuesta del cultivo a la fertilización cuantificadas y la descripción estadística primaria de las mismas en cada faja.

Cuadro No. 5. Descripción general de las variables analizadas en el trabajo.

Variable		Media	Desvió Estándar	Coef.de variación	Mínimo	Máximo
Plantas/m		7.3	1.8	25	3	12
Plantas con síntomas		3.6	1.5	42.5	0	8
Porcentaje de plantas con síntomas (%)		48.7	16.4	33.6	5	90
Resistencia a la penetración (V3-V4)		9.6	2.5	25.7	3	16.9
Resistencia a la penetración (R6)		3.4	1.2	34.4	1.3	6.3
Altura de planta R3-R4 (cm)	R3-	80.6	13.5	16.7	51	116
Altura de planta (cm)	R6	107.1	15.4	14.4	76	134
Ramas		5.7	1.1	19.5	4	10
Vainas		86.5	26.1	30.1	34	155
Granos		183.5	64.2	35	70	354
Rendimiento (kg/ha)		3827	582.8	15.2	403.3	5793

\*Rendimiento (kg/ha) promedio monitor de rendimiento.

La población lograda estuvo dentro del rango considerado aceptable para el cultivo y el ciclo de madurez (192 mil +/- 47 mil pl/ha), dada la capacidad de ramificación de la soja y tipo de crecimiento indeterminado del cultivar (Don Mario, 2010). Se cuantificó un alto número de plantas con sintomatología de deficiencia de potasio, sugiriendo una posible deficiencia del nutriente a nivel de suelo asociada a los bajos niveles observados en el análisis. Con respecto a la resistencia a la penetración, la diferencia registrada entre las dos mediciones se explica por las condiciones hídricas del suelo, la mayor resistencia constatada cuando el cultivo estaba en el estadio R6 (Escala de Fehr y Caviness, 1977) coincide con la situación de déficit hídrico registrado durante la semana previa a la tercera visita (6 mm vs. 160 mm correspondientes a la semana previa a la primera visita). En cuanto a la altura de planta, el criadero de la variedad la describe como una variedad de porte medio (92-108 cm). Con respecto al rendimiento, este es muy elevado para lo que es el promedio del cultivo a nivel nacional: 2105 kg/ha para la zafra 2009/2010 (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2010).

En los Cuadro 6 y 7 se describen características de la población, el crecimiento y los componentes abierto por fajas de fertilización.

Cuadro No. 6. Descripción general de las variables de respuesta cuantificadas para cada faja de fertilización.

Variable	0P-0K		30P-0K		30P-90K		65P-132K	
	Media	DE*	Media	DE	Media	DE	Media	DE
Plantas/m	7.0	1.2	8.2	1.4	7.0	1.8	7.5	2.5
Plantas con síntomas	2.9	0.7	4.5	1.1	3.2	1.6	4.5	1.6
Porcentaje de plantas con síntoma (%)	39.8	8.6	55.8	12.2	45.3	18.3	60.5	10.6
Resistencia a la penetración (V3-V4)	10.5	2.2	10.1	4.3	9.1	1.9	9.5	1.6
Resistencia a la penetración (R6)	3.6	1.4	3.6	1.3	3.2	1.0	3.7	1.4
Altura de planta R3-R4 (cm)	78.9	13.1	79.6	11.2	80.5	14.5	83.4	14.3
Altura de planta R6 (cm)	100.3	14.0	105.1	15.1	108.2	15.4	112.7	16.7

\*DE: desvío estándar.

Del cuadro anterior cabe destacar la aparente homogeneidad presentada en los valores medios que mostraron las distintas variables entre las distintas fajas.

Cuadro No. 7. Componentes del rendimiento por faja.

Variable	0P-0K		30P-0K		30P-90K		65P-132K	
	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE
Ramas	5.6	0.8	5.8	0.8	5.7	1.3	5.3	1.2
Vainas	104.7	25.2	95.9	27.2	78.6	22.2	82.7	28.4
Granos	218.1	70.9	225.0	79.8	170.2	51.7	146.9	41.3
Rendimiento (kg/ha)	3854.2	436.6	3851.5	470.5	3796.2	624.0	3981.7	490.3

\*Rendimiento (kg/ha) promedio monitor de rendimiento.

En el cuadro No. 8. se presentan los rendimientos promedio y su variación según los ambientes productivos preestablecidos por la empresa. La media de los mismos y su variación indican que no hubo diferencias entre ellas.

Si bien era de esperar que los rendimientos mayores se obtuvieran en el ambiente A, definido como el de mayor productividad, esto no fue así. Los máximos rendimientos se obtuvieron dentro del ambiente B y los mínimos dentro del A. El ambiente A fue el que presentó mayor variabilidad (entre 403 y 5765 kg/ha).

Cuadro No. 8. Rendimiento por ambiente.

Ambiente	Media (kg/ha)	Desvió Estándar	Coef. de variación	Mínimo	Máximo
A-ml	3718	644	17	403	5765
B-l	3946	493	13	1242	5793
D-p	3902	495	13	1774	5500
General	3827	583	15	403	5793

\*Información a partir de monitor de rendimiento.

La falta de coincidencia entre lo previamente establecido como diferentes zonas y lo registrado en el área del ensayo, puede deberse, entre otras cosas, a diferencias en el régimen hídrico entre años para el mismo período, siendo el verano agrícola en estudio totalmente opuesto a los dos

anteriores (años en los cuales se determinaron las zonas), registrándose años con escasas precipitaciones en meses claves para la construcción del rendimiento del cultivo (160 mm 2007-2008 vs. 470 mm 2008-2009 vs. 930 mm 2009-2010 para el período diciembre-enero-febrero).

#### 4.4. ANALISIS ESPACIAL.

##### 4.4.1. Análisis del rendimiento

Se analizó la estructura espacial de los resultados obtenidos con el monitor de rendimiento, la de los residuos normalizados y la del rendimiento corregido (Figura 10 a), b) y c)).

Como puede observarse, los datos del monitor de rendimiento presentaron una estructura espacial fuerte, ajustando un semivariograma que pasa por el origen (Efecto pepita= 0), con un rango de 82.4 m, distancia a la cual se perdió la relación entre sitios.

Los residuos normalizados surgen de sustraer a cada valor de la variable rendimiento la media de la faja de fertilización en la que se ubica resultando un valor, positivo o negativo, que caracteriza el efecto del sitio donde se registro la medición. El análisis de los residuos normalizados de rendimiento también presentó estructura espacial y aceptable ajuste para la validación cruzada, lo que permitió interpolar un mapa de residuos normalizados. En éste mapa, al tratarse de residuos normalizados, se representa la variabilidad del rendimiento de soja asociada al sitio y libre del efecto definido por las fajas de fertilización, determinado zonas dentro de la chacra.

El semivariograma de los datos de rendimiento corregido (Figura 10) con la estimación de los residuos normalizados del rendimiento no muestra una estructura espacial fuerte, mostrando que fue posible remover la variabilidad espacial de los resultados. Esto permite obtener un mapa en donde se refleje el efecto exclusivamente de la faja de fertilización, así como también realizar un análisis estadístico clásico.

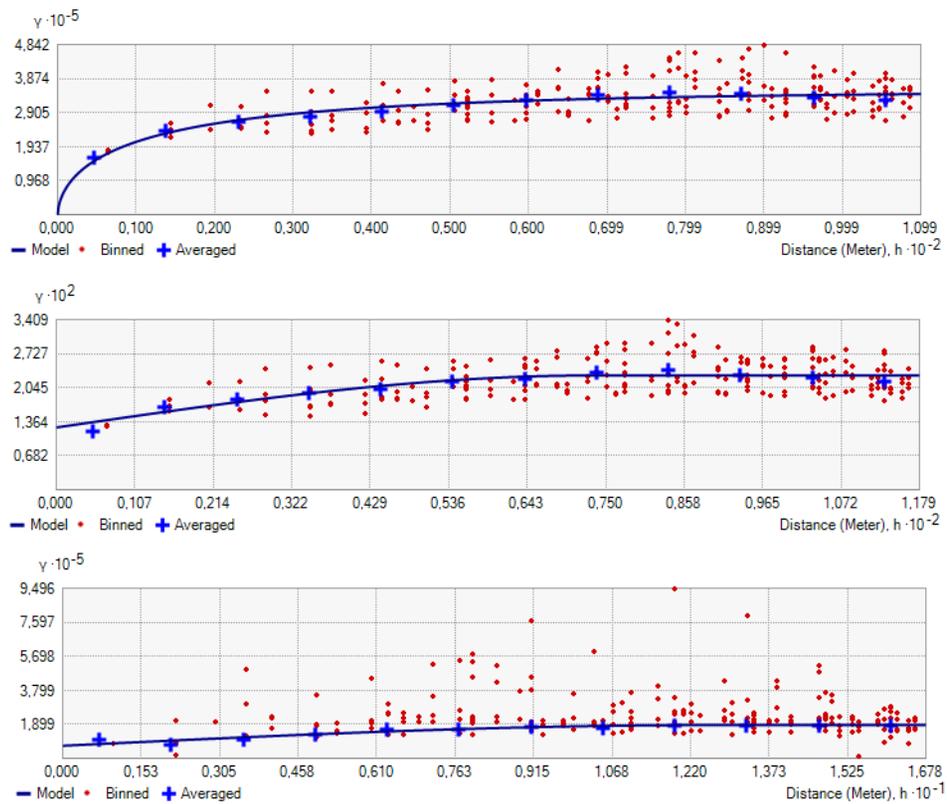


Figura No. 10. Semivariogramas del Rendimiento sin corregir (a), de los Residuos normalizados del Rendimiento (b) y del Rendimiento corregido (c).

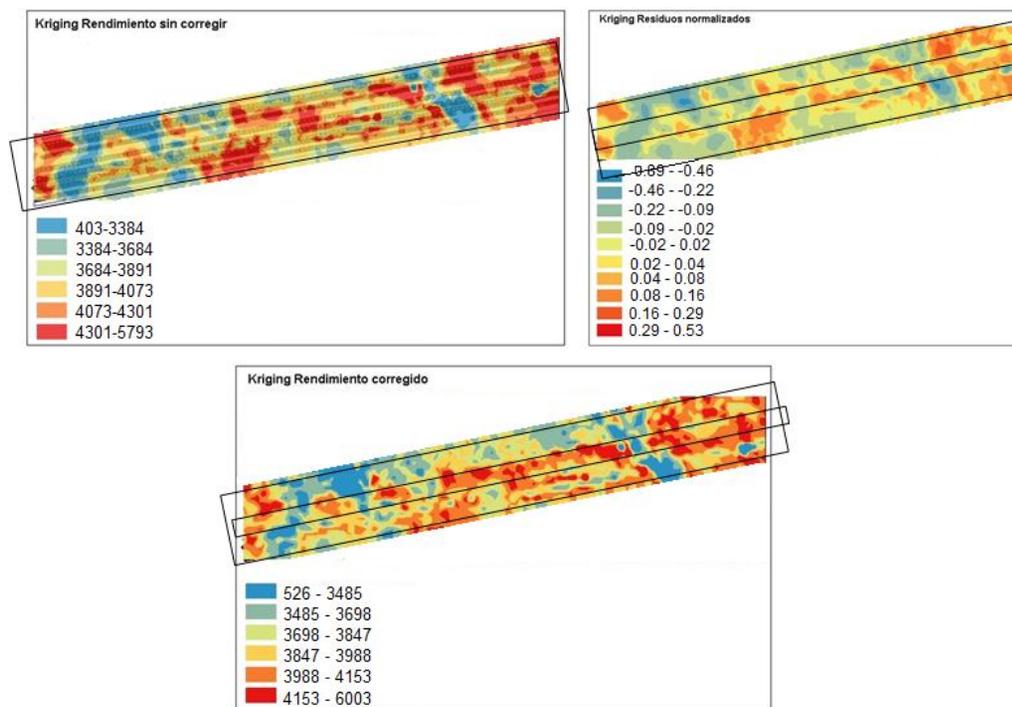


Figura No. 11. Mapa interpolado para los semivariogramas correspondientes a: a) Rendimiento sin corregir, b) Residuos Normalizado y c) Rendimiento corregido.

En la Figura No. 11 a) correspondiente al kriging de rendimiento sin corregir, pueden observarse zonas de altos, medios y bajos rendimientos en toda el área de trabajo. Lo mismo ocurrió para todas las fajas de fertilización. Sin embargo, la mayor parte de las zonas de rendimientos mayores no se corresponden con los ambientes de mayor productividad predeterminados.

En la figura b), donde los residuos están normalizados, las diferencias en rendimiento pueden atribuirse al sitio, ya que se removió el “efecto faja”. Se confirma así la tendencia mostrada en la figura 11 a), donde las zonas de rendimientos mas altos se registraron en la zona definida como D (zona de menor potencial). Las zonas de bajo rendimiento podrían explicarse por la posición topográfica donde se ubican, asociadas a bajos y desagües.

En la figura c), en la que se muestra el “rendimiento corregido”, se observa una faja de rendimientos mayores que cruza toda el área en la que se realizó el trabajo, atribuible a la faja de fertilización numero 5 (65P-132K) correspondiente a la dosis mas alta de fertilización (132 kg de K más 64,6; 3,4; y 8,5 kg de P, N y S respectivamente).

#### 4.4.1.1. Distribución de los rendimientos corregidos por la variabilidad espacial

. En la Figura No. 12 y Cuadros 9 y 10 se presenta la distribución del rendimiento corregido por la variabilidad espacial y por lo tanto, atribuible al efecto de las fajas de fertilización “puro”.

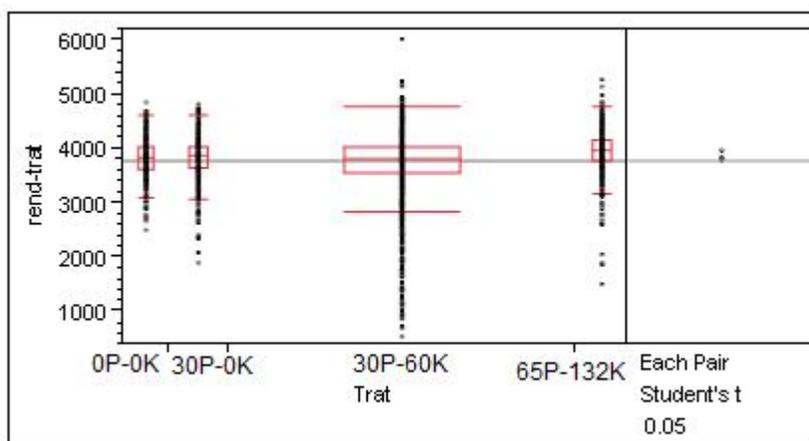


Figura No. 12. Distribución del rendimiento corregido por la variabilidad espacial.

Cuadro No. 9. Descripción de la población de datos para el efecto faja de fertilización “puro”.

<b>Fajas</b>	<b>Mínimo</b>	<b>10%</b>	<b>25%</b>	<b>Mediana</b>	<b>75%</b>	<b>90%</b>	<b>Máximo</b>
0P0K	2485	3439	3634	3836	4027	4197	4846
30P-0K	1894	3395	3667	3866	4057	4244	4811
30P-90K	526	3284	3565	3821	4048	4251	6003
65P-132K	1507	3563	3780	3990	4182	4367	5279

Cuadro No. 10. Comparación de medias entre fajas de fertilización.

<b>Faja</b>	<b>Faja</b>	<b>Dif</b>	<b>Dif del DE</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>p-Value</b>
65P-132K	30P-90K	197.9	18.1	162.5	233.4	<.0001*
65P-132K	0P0K	134.5	24.7	86.0	182.9	<.0001*
65P-132K	30P-0K	128.3	23.1	83.1	173.5	<.0001*
30P-0K	30P-90K	69.7	17.0	36.3	103.1	<.0001*
0P0K	30P-90K	63.5	19.2	25.8	101.1	0.0010*
30P-0K	0P0K	6.2	24.0	-40.8	53.2	0.7955

En la comparación de resultados, se destaca la población de datos obtenido de la faja 65P-132K, la cual resultó distinta de las demás, con una diferencia media de entre 128 y 198 kg/ha. La diferencia se explica porque en esta faja se incrementó el rendimiento del rango inferior, ya que solo el 10% de los valores de rendimiento registrados estuvieron por debajo de 3563 kg/ha, lo que implica ya a este nivel una diferencia de entre 100 y 250 kilos. El efecto fue más pronunciado en los rendimientos menores, ya que en los altos y en el promedio las diferencias fueron menores. Los rendimientos más bajos se encontraron en el tratamiento 30P-90K con un mínimo de 526 kg /ha y 3284 kg/ha para el 10% inferior.

#### 4.4.1.2. Residuos predichos por zona

En la siguiente figura No. 13. y los cuadros No. 11 y 12 se presentan los residuos predichos por zona. Permite comparar la bondad de los ambientes por si mismos.

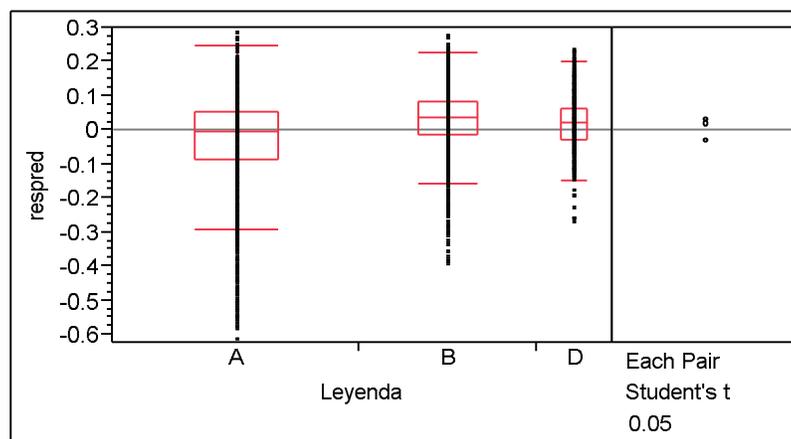


Figura No. 13. Variación de los residuos predichos por zona.

Cuadro No. 11. Descripción de la población de datos de residuos rendimiento para los distintos ambientes.

Tratamiento	Mínimo	10%	25%	Mediana	75%	90%	Máximo
A	-0.615	-0.190	-0.084	-0.003	0.054	0.107	0.282
B	-0.394	-0.059	-0.014	0.037	0.082	0.120	0.274
D	-0.272	-0.072	-0.027	0.020	0.066	0.114	0.233

Cuadro No. 12. Comparación de medias de residuos de los rendimientos para los distintos ambientes.

Trat	Trat	Dif	Dif del DE	Min	Max	p-Value
B	A	0.060	0.003	0.054	0.065	<.0001*
D	A	0.048	0.004	0.040	0.055	<.0001*
B	D	0.012	0.004	0.004	0.020	0.0019*

Los ambientes B y D resultaron ser mejores que el A, en contradicción con lo establecido por la empresa ( $A > B > D$ ). A su vez la variabilidad dentro de las mismas es menor. El ambiente A presenta los valores de residuos de rendimiento más negativos, es decir, zonas dentro del ambiente que no se corresponden con la caracterización de “mejor” ambiente productivo. Por otra parte, la determinación de ambientes por la empresa se realiza tomando el total de la chacra, por lo que la precisión es menor que la alcanzada mediante el monitor a nivel del ensayo.

#### 4.4.2. Análisis de datos obtenidos por muestreo discreto

Se estudió la correlación espacial de todas las variables de respuesta cuantificadas en muestreos discretos. Los semivariogramas y krigings para aquellas en las que se detectó variabilidad espacial se presentan en el Anexo.

##### 4.4.2.1. Población lograda

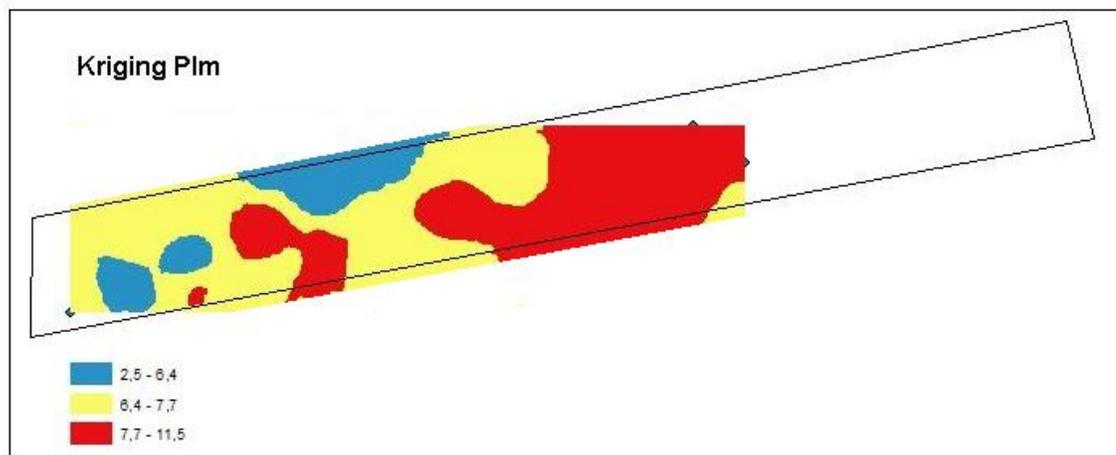


Figura No. 14. Mapa interpolado del número de plantas por metro (Plm).

El rectángulo vacío refiere al área registrada por el monitor a modo de referencia.

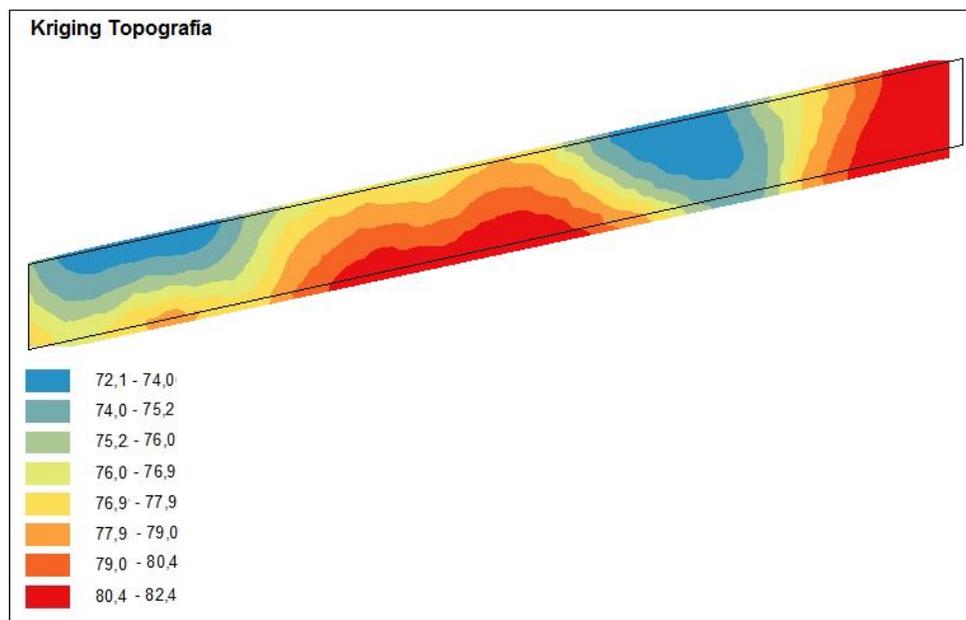


Figura No. 15. Topografía del terreno.

El mapa interpolado de población muestra un menor número de plantas asociadas a posiciones topográficas bajas, cercanas a los desagües que, dado el régimen de lluvias de año, podría haber disminuido la población por muerte de plantas por asfixia radicular. A su vez se constató una mayor presencia de ratrojo del cultivo antecesor (sorgo 2da) en dichas zonas, pudiendo ser esta otra de las causas de mala implantación. Poblaciones entre 2.5 y 6.4 pl/m que podrían definirse como bajas, se correspondieron con zonas en donde los valores del rendimiento fueron los menores.

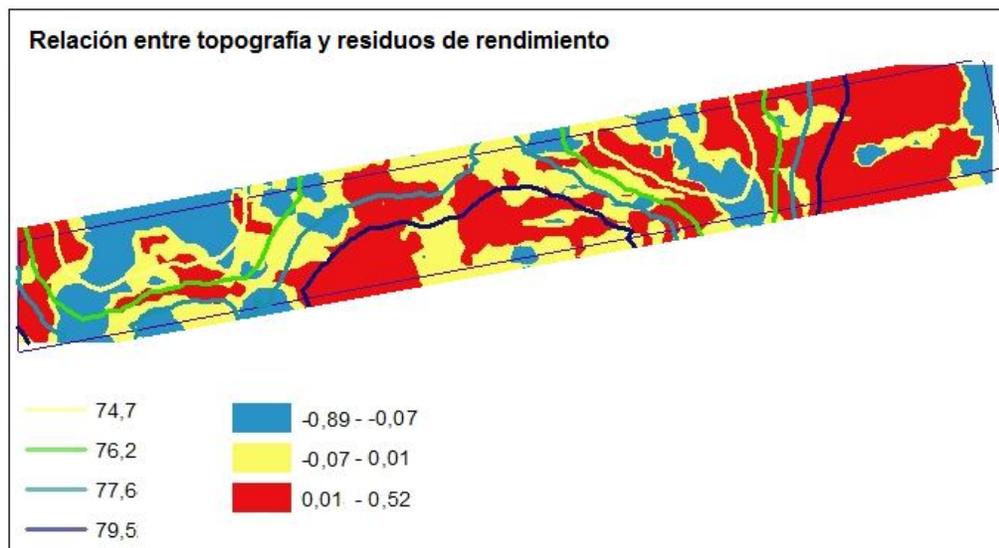


Figura No.16. Relación entre la altura del terreno (izquierda, líneas) y los residuos del rendimiento (derecha, rectángulos).

En adición se puede observar una asociación entre los residuos de rendimiento positivos y las zonas más altas dentro del terreno, es decir los rendimientos mas altos se ubicaron en dichas zonas.

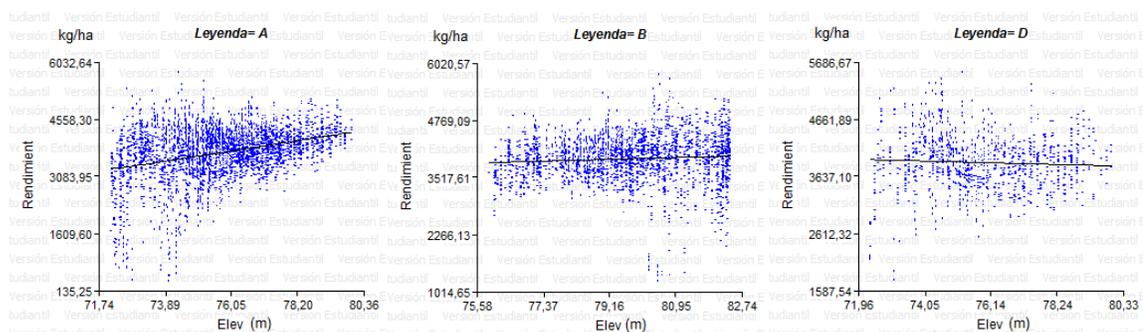


Figura No. 17. Relación topografía-rendimiento.

Como puede observarse en las figuras anteriores la relación existe sólo en el ambiente A, indicando que finalmente no se comportó como tal debido a que muchos de los sitios ubicados en la cota por debajo de 76 m tuvieron rendimientos muy bajos.

#### 4.4.2.2. Plantas con síntomas de deficiencia de potasio

Dado los antecedentes de la chacra, el análisis de suelo previo a la siembra de la soja y que uno de los nutrientes que varía entre las fajas de fertilización es el K, se cuantificó la presencia de plantas con síntomas visibles de deficiencia de K en V2-V3.

En la siguiente figura se presenta la distribución espacial del número de plantas con síntomas de deficiencia de potasio (Figura No. 18 a); el número de plantas con síntomas corregido por la población lograda (Figura No. 19 b) y el mapa de residuos estimados para ésta variable (Figura No. 17).

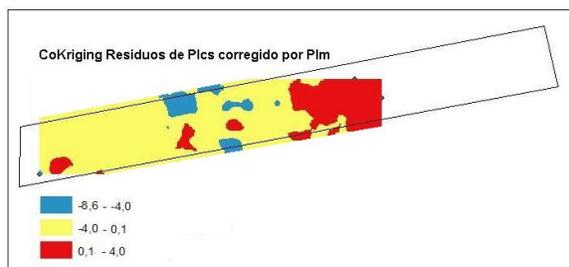


Figura No.18. Mapa de los residuos de plantas con síntoma corregidos por población.

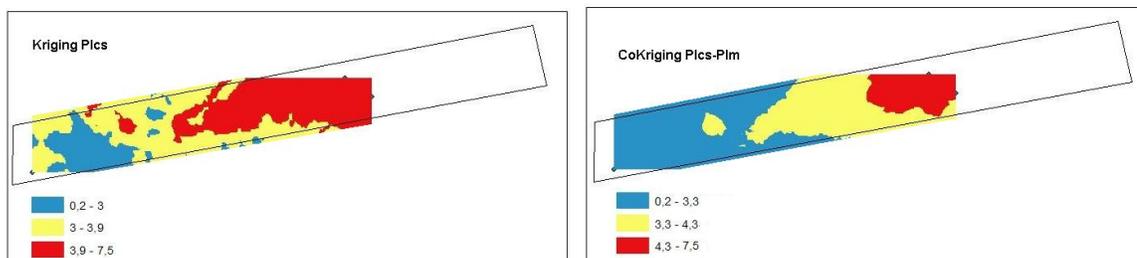


Figura No. 19. Mapa interpolado de la distribución de plantas con síntomas (Plcs) (a); plantas con síntomas corregido por población lograda (b).

Se cuantificó un alto número de plantas con síntomas de deficiencia de K en estadios tempranos (V2-V3) en la zona D de la chacra (entre 4 y 7 pl/m), lo que se confirmó aun corrigiendo por las diferencias en población lograda (Figura 19 b).

La zona celeste, con un bajo número de plantas con sintomatología de deficiencia (entre 0 y 3 plantas), una zona amarilla intermedia y una zona roja, con el mayor número de plantas con sintomatología (entre 4 y 8 plantas). Estas zonas coinciden con los ambiente A, B y D respectivamente. En ninguna de las dos figuras se identifican fajas que puedan ser asociadas a las fajas establecidas con diferente fertilización con K. Esto implica que las fajas no pudieron modificar la variabilidad espacial del terreno y la distribución de las variables estuvo asociada a las zonas y no las fajas.

En el mapa interpolado de residuos, en el que el efecto de las fajas fue removido, se distinguen básicamente dos zonas, manteniéndose la denominada como D, como la zona con mayor cantidad de plantas con sintomatología visible de deficiencias de K.

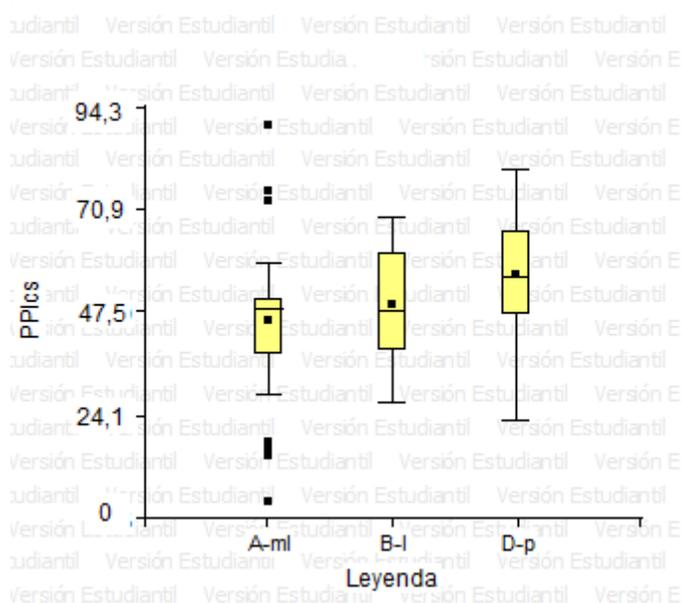


Figura No. 20. Porcentaje de plantas de soja con síntomas visibles (PPIcs) de deficiencia de potasio al estadio V2-V3 para cada ambiente.

Estos mapas de deficiencias de K confeccionados a partir de la sintomatología en plantas no se corresponden con los valores de análisis de suelo, ya que todas las zonas se encontraban en niveles de suministro deficitario. Por lo tanto, al bajo aporte del nutriente debe sumarse una posible explicación adicional. Una posible explicación podría estar asociada a la variabilidad espacial dentro de cada zona no reflejada en los valores promedio del análisis de suelo. Por otra parte, a pesar de los valores deficientes

resultantes del análisis las óptimas condiciones hídricas pudieron haber facilitado la absorción del nutriente y eliminar las deficiencias iniciales marcadas.

#### 4.4.2.3. Resistencia a la penetración del suelo

Se registró la resistencia a la penetración en dos momentos en los cuales la humedad del suelo era contrastante (Figura No. 21).

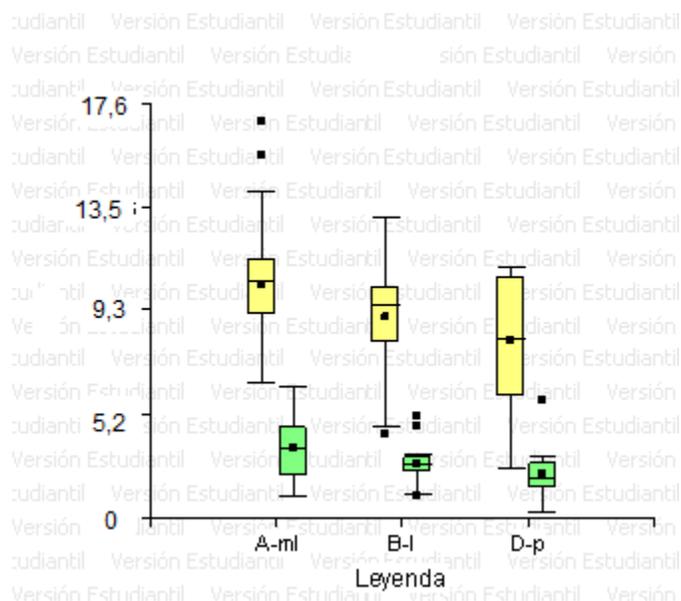


Figura No. 21. Profundidad (cm) a la cual se alcanzaron las 200 psi en las dos mediciones (amarillo, primera visita; verde, tercera visita) y para los diferentes ambientes preestablecidos.

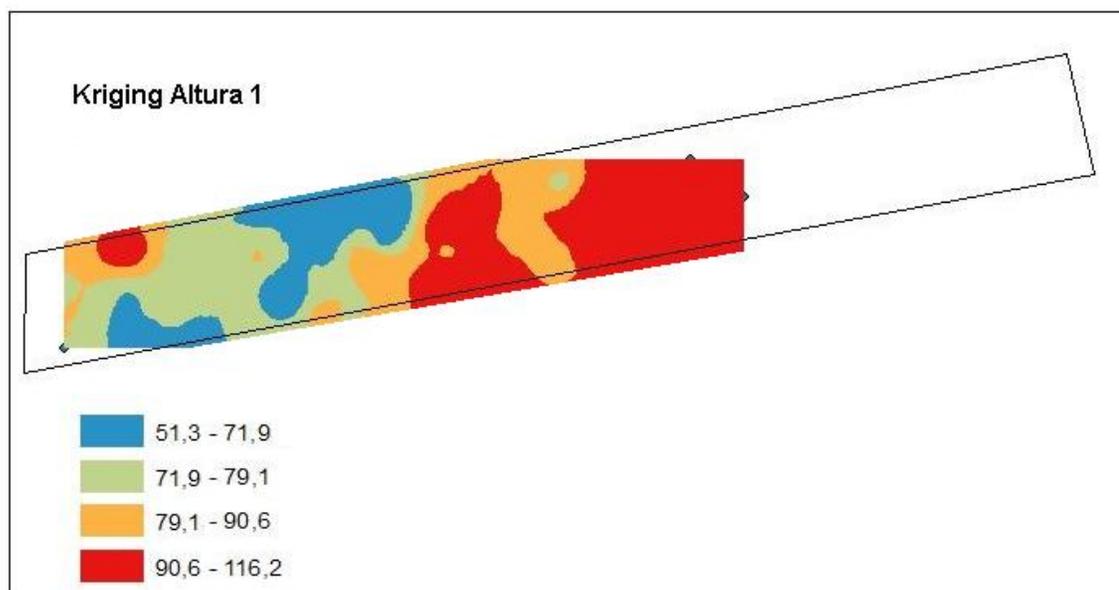
En la segunda medición representada en verde y con menor humedad todos los valores de los diferentes ambientes se encontraron por debajo de los valores registrados en la primera medición en amarillo.

A su vez independiente del momento de muestreo, los ambientes mostraron una tendencia similar en su comportamiento. El ambiente A ofreció menor resistencia a la penetración, el B se comportó de manera intermedia y

por último el D mostro la mayor resistencia registrándose valores de profundidad a los cuales se alcanzo el límite de exploración muy bajos. Esto determinaría que la exploración radicular para los tres sitios probablemente fuese diferente lo que pudo repercutir en el desarrollo del cultivo puesto que una mayor exploración permite acceso a nutrientes sobre todo aquellos poco móviles en el suelo como el potasio. Lo mismo ocurre para el acceso al agua, presentando mayor riesgo de sequía la zona D, siendo la zona A la de mejores condiciones para situaciones de déficit hídrico

Varios autores han determinado que la resistencia a la penetración es un parámetro más sensible que la densidad aparente para detectar los efectos de las prácticas de manejo sobre el suelo (Bauder & Black, Hammel, citados por Ferreras, 2007). El incremento en la impedancia mecánica del suelo bajo sistemas conservacionistas reduce el crecimiento de las raíces, con efectos negativos sobre el abastecimiento de agua y nutrientes por parte de los cultivos (Kirkegaard et al., citados por Ferreras, 2007). Dada la baja movilidad del potasio en el suelo una capacidad de exploración radicular disminuida podría dificultar el acceso a este nutriente.

#### 4.4.2.4. Crecimiento y componentes del rendimiento



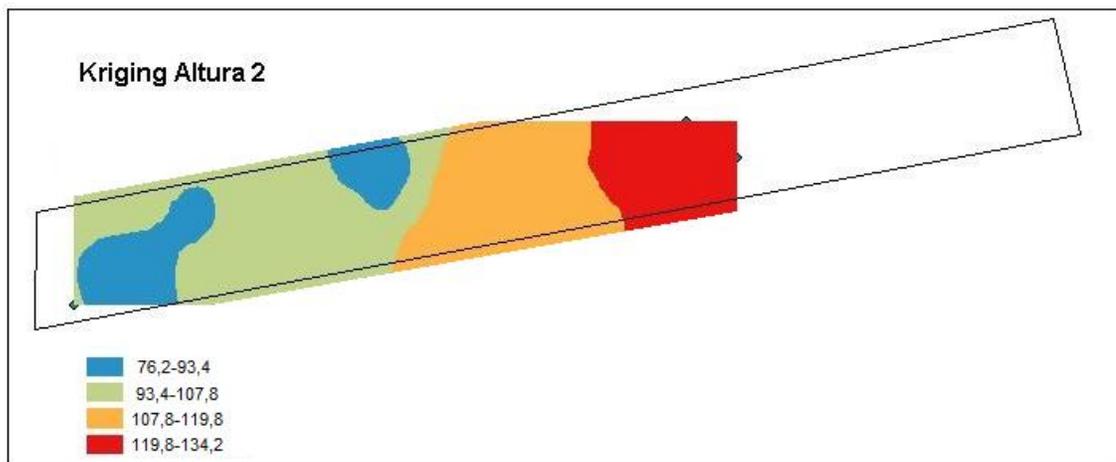


Figura No. 22. Mapa interpolado de altura en R3-R4 (a) y altura en R6 (b).

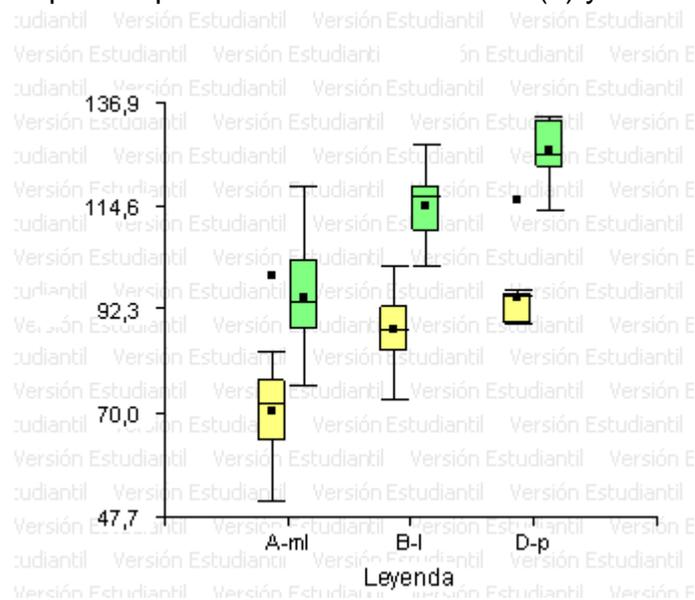


Figura No. 23. Variación de la altura (cm) en diferentes estados fenológicos según ambientes.

En cuanto a la altura registrada en los dos momentos (R3-R4; R6) se observó valores más altos en el ambiente D. Esto podría explicarse por un mayor número de plantas en dicho ambiente lo cual resultaría en mayor competencia por luz y entrenudos más largos.

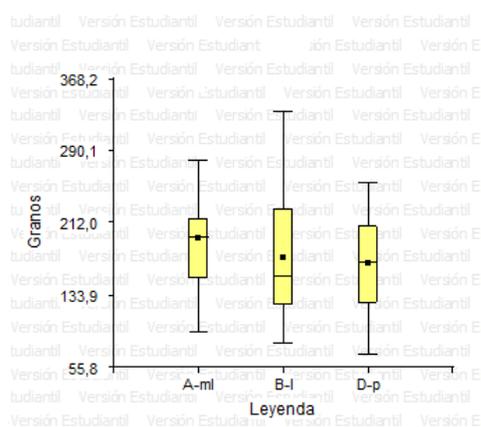
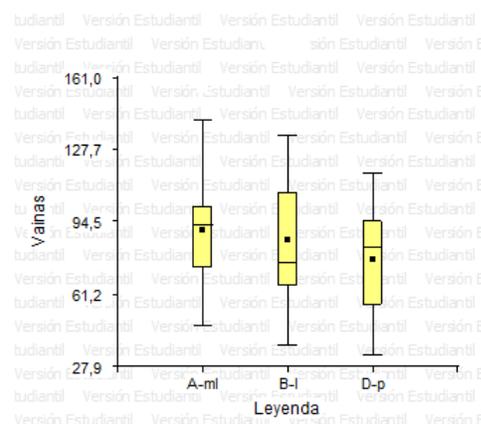
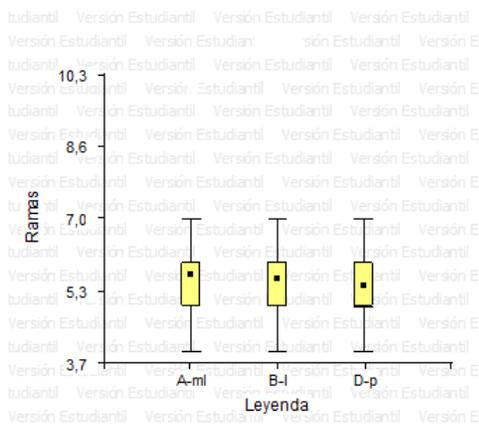


Figura No. 24. Variación del número de ramas por ambiente (a) Variación del número de vainas por ambiente (b) y Variación del número de granos por (c) ambiente.

En la figura anterior se evaluó el número de ramas, vainas y granos, en los diferentes ambientes, tres componentes fundamentales en la construcción del rendimiento. En dichas figuras no se observan diferencias para ninguna de las variables expuestas a los diferentes ambientes preestablecidos. En el caso de ramas/planta, el comportamiento fue similar en los tres ambientes, incluso en la variabilidad dentro de cada uno, con valores mínimos y máximos similares entre ambientes. Para número de vainas por planta, en promedio se comportaron de manera similar en los tres ambientes, presentando mayor variabilidad el ambiente B. Para el caso granos ocurre algo similar, no se diferenciaron los tres ambientes, con lo que, de esta manera se esperaría un promedio de rendimiento similar en los tres ambientes asumiendo un peso de grano uniforme en toda la chacra, hecho confirmado al cosechar el total del área. No se registró el peso de peso de mil granos, otro componente importante en la construcción del rendimiento final.

Si bien se observaron en etapas iniciales del cultivo diferencias entre los distintos ambientes en cuanto al número de plantas logradas, la presencia de sintomatología de deficiencia de potasio, la altura, etc. no las hubo en etapas avanzadas del cultivo a la hora de construir el rendimiento.

A modo de resumen se presenta el comportamiento de las distintas variables a través de los ambientes en el cuadro No. 13.

Cuadro No. 13. Comportamiento de las variables a través de los ambientes.

Ambiente	A	B	D
Variable			
Plantas/m	*	**	***
Plcs	*	**	***
Rp	*	**	***
Altura	*	**	***
Ramas	**	**	**
Vainas	**	**	**
Granos	**	**	**

\*bajo/a - \*\* intermedio/a – \*\*\*alto/a

Del mismo modo y resultado de la comparación entre fajas se muestran en el siguiente cuadro aquellas variables que mostraron diferencias.

Cuadro No. 14. Comparación de medias entre fajas para las variables vainas y granos.

	Faja 1	Faja 2	Media(1)	Media(2)	p-valor	prueba
Vainas	0P-0K (testigo)	30P-90K	105	79	0,004	Bilateral
Vainas	30P-0K	30P-90K	96	79	0,050	Bilateral
Granos	30P-0K	65P- 132K	225	147	0,013	Bilateral
Granos	0P-0K (testigo)	65P- 132K	218	147	0,013	Bilateral
Granos	30P-0K	30P-90K	225	170	0,016	Bilateral
Granos	0P-0K (testigo)	30P-90K	218	170	0,027	Bilateral

## 5. CONCLUSIONES

Para la variable rendimiento en grano no se observó una correspondencia entre las zonas delimitadas por la empresa (ambientes A, B y D) y las zonas resultantes del análisis espacial. Al retirar el efecto espacial se observó una faja de rendimientos altos correspondiente a la faja de fertilización 65P-132K. Las variables discretas medidas a campo tuvieron un comportamiento asociado a la zona y no a las fajas. En cuanto a la correlación espacial de las variables analizadas, la fortaleza de los semivariogramas construidos para la variable rendimiento puede asociarse al gran número de registros obtenidos (6976) y la cercanía entre puntos (un valor cada cinco metros) frente a los muestreos discretos (60, un valor cada 70 metros).

La interacción año - ambiente pudo influir en la determinación de los ambientes, no registrándose diferencias significativas en el año evaluado probablemente debido a las condiciones hídricas.

A pesar de los bajos niveles iniciales de potasio, y las marcadas diferencias en plantas observadas la disponibilidad de agua en el suelo pudo facilitar la exploración radicular y la absorción lo que hizo que la sintomatología no se mostrara en etapas más avanzadas del cultivo. En ninguna de las variables registradas la distribución estuvo asociada a las fajas de fertilización.

Con respecto al diseño del trabajo, la realización de fajas sin repetición o repetidas más de una vez y la falta de un diseño experimental pudo haber influido en los resultados. A su vez la fertilización conjunta potasio-fósforo no permite evaluar el efecto de cada nutriente por separado, resultando en rendimientos más altos en la faja con el mayor agregado de potasio pero también de fósforo.

## 6. RESUMEN

La expansión de la agricultura en el Uruguay se ha basado principalmente en el incremento del área de soja. La alta extracción del cultivo así como la escasa fertilización con nutrientes a excepción de fósforo y nitrógeno ha llevado a la manifestación de deficiencias nutricionales en los cultivos. Tal es el caso del potasio. El manejo de la fertilización mediante la denominada agricultura de precisión permite hacer un uso más eficiente de los insumos y disminuir el impacto ambiental de los mismos. En una chacra comercial se estableció un ensayo constituido por fajas de fertilización con distintos niveles de potasio y fósforo, atravesando a lo largo zonas previamente establecidas por la empresa con diferente comportamiento esperado en cuanto a potencial de producción (zonas A, B y D). Se registró la variabilidad del rendimiento mediante una cosechadora equipada con monitor de rendimiento y se registraron en puntos de muestreo georeferenciados variables asociadas al cultivo tales como población, sintomatología de deficiencia de potasio, altura de planta y componentes del rendimiento así como del suelo como ser la resistencia a la penetración. Para la variable rendimiento en grano no se observó una correspondencia entre las zonas delimitadas por la empresa y las zonas resultantes del análisis espacial. Al retirar el efecto espacial se observó una faja de rendimientos altos correspondiente a la faja de fertilización 65P- 132K. Las variables discretas medidas a campo tuvieron un comportamiento asociado a la zona y no a las fajas.

Palabras clave: Zonas de manejo; Variabilidad espacial del rendimiento; Agricultura de precisión; Potasio.

## 7. SUMMARY

The expansion of agriculture in Uruguay has been based, mainly, in the increase of soybean area. The high extraction of nutrients by the crop as well as the scarce fertilization except for phosphorus and nitrogen, have led to the display of nutrition deficiencies in crops. This is the case of potassium. The management of fertilization by means of the so called precision agriculture allows for a more efficient use of materials and diminishes their environmental impact. In a cash crop field an assay was carried out constituted by fertilization strips with different levels of potassium and phosphorus going through management zones previously established by the company with different expected performance regarding a production potential (zones A, B and D). Yield variability was registered by a combine harvester equipped with yield monitor and in geo-referenced sampling points variables associated with crop such as population, potassium difference symptomatology, plant height and both yield and soil components, such as penetration resistance, were registered. For the grain yield variable no connection between zones delimited by the company and zones resulting from spatial analysis was observed. When removing the spatial effect, a high yield strip corresponding to the fertilization strip 65P-132K, was observed. Discrete variables measured in the field showed a performance associated with the zones and not with the strips.

Keywords: Management zones; Within field yield variability; Precision agriculture technologies; Potassium.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. BARBAZÁN, M.; 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.
2. 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.
3. 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).
4. CONTI, M.E. 2000. Dinámica de la liberación y fijación de potasio en el suelo. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. no. 8: 1-14.
5. 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.
6. FERRERAS, L.; MAGRA, G.; BESSON, P.; KOVALEVSKI, E.; GARCÍA, F. 2007. Indicadores de calidad física en suelos de la Región Pampeana Norte de Argentina bajo siembra directa. (en línea). *Ciencia del Suelo*. 25 (2): 159-172. Consultado 12 feb. 2011. Disponible en <http://www.scielo.org.ar/pdf/cds/v25n2/v25n2a07.pdf>
7. HERNÁNDEZ, J. s.f. Potasio. Montevideo, Facultad de Agronomía. 35 p.
8. HERNANDEZ, J. A.; MULLA, D. J. 2002. Comparing classical and spatial statistical analysis methods for landscape scale experimental designs. In: International Conference on Precision Agriculture (6th., 2002, Minnesota). Proceedings. Madison, WI, American Society of

Agronomy/Crop Science Society of America/Soil Science Society of America. pp. 763-773.

9. HIRZEL, J. 2004. Fertilización del cultivo. In: Rojas, C. ed. Manejo tecnológico de trigo. Chile, INIA La Platina. cap.3, pp. 49-75.
10. INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA (INIA). 2011. Monitoreo mensual de la vegetación (NDVI). (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 21 mar. 2011. Disponible en <http://www.inia.org.uy/online/site/12850611.php>.
11. 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). Potasio en plantas y animales. Rehovot, s.e. pp. 263-279. Consultado 22 nov. 2010. Disponible en <http://www.ipipotash.org/udocs/Sesion%20V.pdf>
12. MANTOVANI, E. 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.
13. MORENO, J. 2009. Introducción a la geoestadística y su aplicación. Tesis Licenciatura. Ciudad de México, México. Universidad Autónoma de Chapingo. 151 p.
14. 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).
15. 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.
16. PLANT, R. 2001. Site-specific management; the application of information technology to crop production. Computers and Electronics in Agriculture. 30: 9–29.

17. 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.
18. SAS INSTITUTE. 2008. JMP users guide; versión 8.0 (para estudiantes). Cary, NC. 280 p.
19. URUGUAY. MINISTERIO DE GANADERÍA, AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCIÓN DE INVESTIGACIONES ESTADÍSTICAS AGROPECUARIAS. 2011. Anuario 2010. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 12 feb. 2011. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/portal/hgxpp001.aspx?7,5,352,O,S,0,MNU;E;27;6;MNU;>
20. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. PRENADER. 2010. Cartografía de suelos CONEAT. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 29 may. 2010. Disponible en <http://www.prenader.gub.uy/coneat>

9. ANEXOS

## BASE DE DATOS MUESTREO DE CAMPO

<b>Tratamiento</b>	<b>Trat</b>	<b>Sitio</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>
<b>Tratamiento</b>	<b>Trat</b>	<b>Sitio</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>
0k-0P	1	1	6348885.48	471964.21
0k-0P	1	2	6348910.14	471974.52
0k-0P	1	3	6348968.67	471979.54
0k-0P	1	4	6349039.55	471997.51
0k-0P	1	5	6349113.48	472007.68
0k-0P	1	6	6349190.51	472023.03
0k-0P	1	7	6349270.63	472040.97
0k-0P	1	8	6349353.82	472056.30
0k-0P	1	9	6349433.93	472071.64
0k-0P	1	10	6349510.96	472086.99
150kcl-80 (2-38)	3	1	6348947.21	472013.34
150kcl-80 (2-38)	3	2	6349030.39	472026.08
150kcl-80 (2-38)	3	3	6349156.73	472054.26
150kcl-80 (2-38)	3	4	6349233.75	472067.02
150kcl-80 (2-38)	3	5	6349307.70	472079.79
150kcl-80 (2-38)	3	6	6349390.89	472097.72
150kcl-80 (2-38)	3	7	6349467.91	472107.88
150kcl-80 (2-38)	3	8	6349625.06	472141.17
150kcl-80 (2-38)	3	9	6349625.05	472138.57
150kcl-80 (2-38)	3	10	6349702.07	472151.33
150kcl-80 (2-38)	3	1	6348962.71	472049.63
150kcl-80 (2-38)	3	2	6349039.74	472064.98
150kcl-80 (2-38)	3	3	6349116.78	472082.92
150kcl-80 (2-38)	3	4	6349190.72	472095.69
150kcl-80 (2-38)	3	5	6349267.75	472111.04
150kcl-80 (2-38)	3	6	6349350.94	472126.38
150kcl-80 (2-38)	3	7	6349421.79	472133.96
150kcl-80 (2-38)	3	8	6349517.30	472149.26
150kcl-80 (2-38)	3	9	6349594.34	472167.21
150kcl-80 (2-38)	3	10	6349655.93	472167.03

0kcl-80 (2-38)	2	1	6349042.89	472090.92
0kcl-80 (2-38)	2	2	6349126.09	472108.85
0kcl-80 (2-38)	2	3	6349196.92	472108.65
0kcl-80 (2-38)	2	4	6349240.07	472124.09
0kcl-80 (2-38)	2	5	6349273.97	472131.78
0kcl-80 (2-38)	2	6	6349344.83	472144.56
0kcl-80 (2-38)	2	7	6349424.94	472157.31
0kcl-80 (2-38)	2	8	6349505.05	472172.65
0kcl-80 (2-38)	2	9	6349579.01	472190.61
0kcl-80 (2-38)	2	10	6349714.55	472205.80
220 kcl-170n(2-38)	4	1	6349039.87	472111.69
220 kcl-170n(2-38)	4	2	6349119.98	472127.03
220 kcl-170n(2-38)	4	3	6349193.94	472144.99
220 kcl-170n(2-38)	4	4	6349258.64	472155.18
220 kcl-170n(2-38)	4	5	6349338.74	472167.93
220 kcl-170n(2-38)	4	6	6349397.28	472178.15
220 kcl-170n(2-38)	4	7	6349461.99	472190.94
220 kcl-170n(2-38)	4	8	6349526.69	472203.73
220 kcl-170n(2-38)	4	9	6349591.41	472221.71
220 kcl-170n(2-38)	4	10	6349656.12	472234.51
150kcl-80 (2-38)	3	1	6348956.77	472127.49
150kcl-80 (2-38)	3	2	6349036.89	472145.43
150kcl-80 (2-38)	3	3	6349123.16	472163.35
150kcl-80 (2-38)	3	4	6349221.76	472181.24
150kcl-80 (2-38)	3	5	6349295.70	472191.41
150kcl-80 (2-38)	3	6	6349357.32	472204.21
150kcl-80 (2-38)	3	7	6349428.19	472216.99
150kcl-80 (2-38)	3	8	6349492.89	472229.78
150kcl-80 (2-38)	3	9	6349585.33	472247.68
150kcl-80 (2-38)	3	10	6349650.05	472265.67

<b>Población promedio (1 mts)</b>	<b>Plantas con síntoma</b>	<b>% Plantas con síntoma</b>
<b>Plm</b>	<b>Plcs</b>	<b>PPlcs</b>
6	3	42
7	4	51
6	3	50
9	3	36
6	2	29
9	3	33
6	3	51
6	2	33
7	2	31
8	4	42
4	4	90
5	1	15
6	3	50
7	4	51
5	2	44
8	3	40
8	3	35
8	2	23
6	3	53
5	4	66
7	1	17
4	0	5
10	4	40
8	2	18
7	4	50
11	7	68
8	4	46
8	2	27
10	4	42
10	8	77
6	3	51

9	4	47
7	4	57
8	6	75
8	3	38
11	4	39
7	5	69
8	5	63
9	6	63
9	5	56
8	4	56
9	5	58
3	1	40
6	4	73
6	4	63
7	4	60
7	4	57
12	7	61
7	6	80
10	6	57
8	4	49
7	3	48
5	2	41
5	2	44
5	3	59
6	3	52
6	4	59
8	4	48
7	3	47
8	4	55

<b>Resistencia al Penetrómetro 1 (cm)</b>	<b>Resistencia al Penetrómetro 2 (cm)</b>
<b>Rp1</b>	<b>Rp2</b>
12,2	2,7
15,5	6,2
10,6	3,0
10,0	5,2
8,0	4,7
11,2	2,5
9,1	3,8
9,1	2,9
8,3	3,0
10,5	1,9
11,4	2,8
8,5	3,8
10,7	6,0
6,4	2,3
8,0	4,7
9,5	2,9
10,3	3,5
8,2	3,3
7,6	2,6
11,1	2,5
9,1	2,6
9,7	4,2
8,0	5,2
9,2	3,8
11,9	3,3
4,4	5,1
10,3	2,5
10,2	3,2
5,9	2,3
10,7	2,6
16,9	4,4

14,1	6,3
11,4	3,9
11,0	3,8
10,5	4,6
4,7	3,2
13,1	2,2
8,8	3,2
3,0	2,2
7,2	2,1
11,4	1,9
6,8	2,2
11,4	5,8
8,0	5,0
11,3	3,5
9,7	3,0
7,6	3,0
9,5	3,4
9,3	5,7
9,7	3,5
11,9	2,6
11,0	3,5
7,2	2,7
9,7	2,4
9,3	4,2
8,0	3,2
8,2	2,0
10,6	3,6
10,7	2,6
5,5	1,3

<b>Altura planta R3-R4</b>	<b>Altura planta R6</b>	<b>No. de ramas</b>	<b>Vainas</b>	<b>Granos</b>
<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>Ramas</b>	<b>Vainas</b>	<b>Granos</b>
76	101	5	104	209
76	88	6	133	280
59	83	7	116	246
62	102	6	155	337
76	90	6	97	210
79	88	5	101	275
78	103	4	101	209
102	128	6	65	124
95	103	5	85	103
86	117	6	90	188
66	81	5	95	217
77	100	10	102	227
51	107	5	86	196
75	113	6	107	250
86	115	7	98	228
88	121	5	54	123
79	109	5	76	145
96	134	4	34	70
95	114	6	92	207
95	132	7	97	229
66	88	6	95	187
68	92	5	70	144
73	106	6	74	165
69	104	4	51	101
83	93	5	54	110
83	118	4	63	135
86	112	5	65	138
91	114	5	38	82
89	121	7	73	159
116	123	5	68	153
74	94	5	73	151

78	103	5	74	178
61	94	6	91	174
78	96	7	78	171
64	78	5	141	354
93	109	6	126	282
78	109	6	102	275
91	119	7	123	332
89	126	6	95	208
90	123	5	56	125
72	85	6	95	207
77	88	7	108	197
57	119	4	50	96
67	97	4	69	145
93	117	7	108	108
98	118	5	134	176
86	120	4	58	114
94	122	5	75	159
97	133	6	83	170
93	128	5	47	97
100	106	6	47	94
72	91	7	92	181
66	108	6	71	148
58	80	7	91	197
57	76	6	94	201
88	117	7	74	170
83	111	6	123	262
73	102	6	74	154
96	133	5	117	256
89	125	4	84	178

## SEMIVARIOGRAMAS VARIABLES DISCRETAS

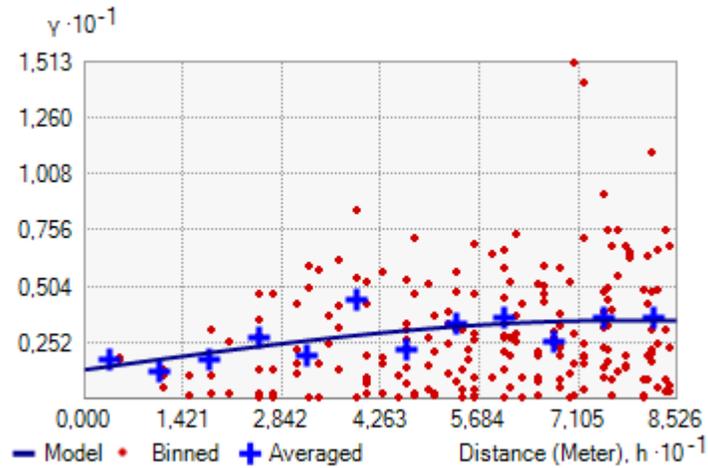


Figura: Semivariograma plantas por metro (Plm).

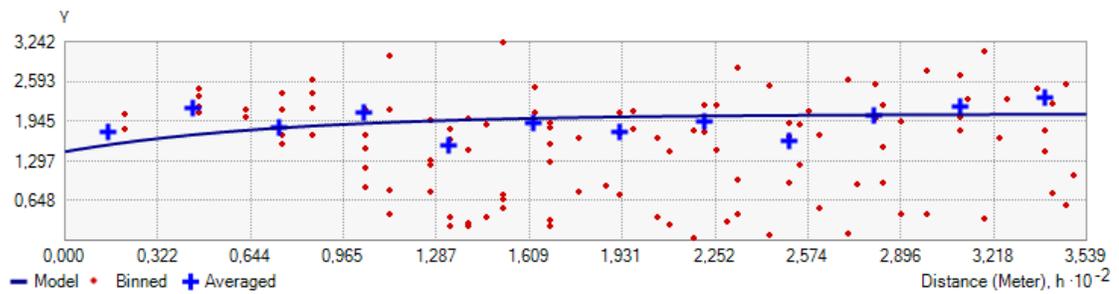


Figura: Semivariograma Plantas con síntomas (Plcs).

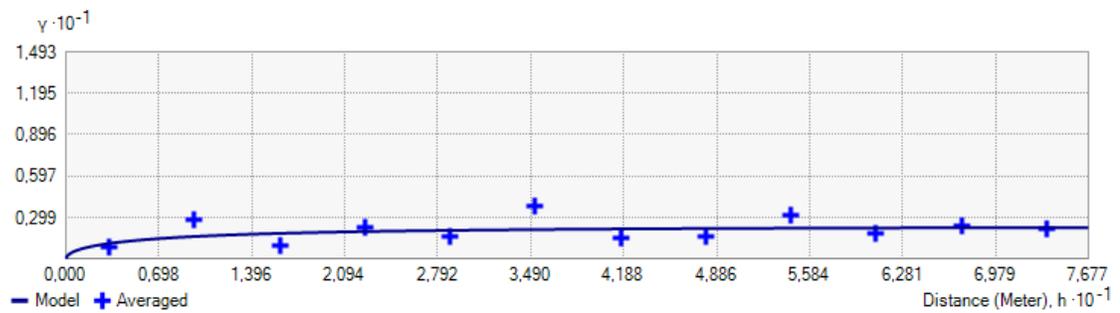


Figura: Semivariograma Planta con síntoma corregido por población.

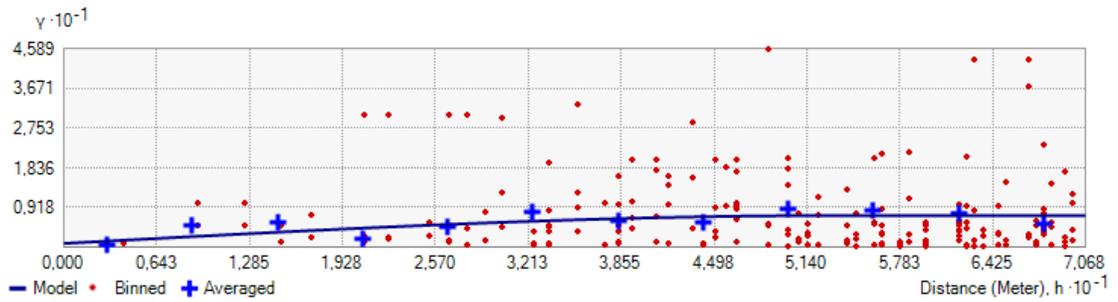


Figura: Semivariograma de los Residuos de plantas con síntoma corregidos por población.

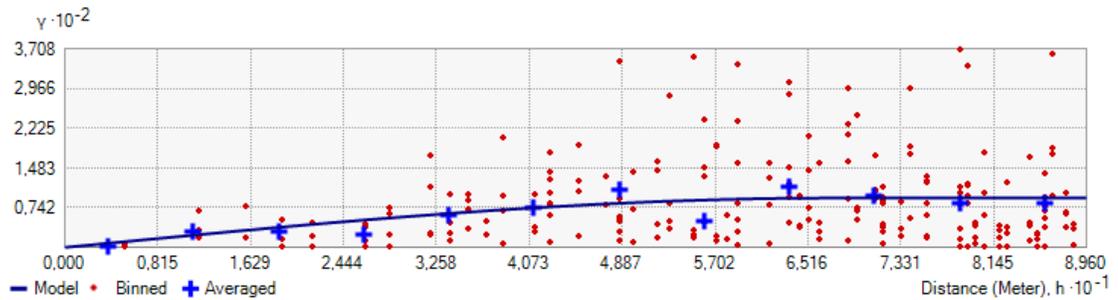


Figura: Semivariograma altura de plantas en R3-R4 (Altura 1).

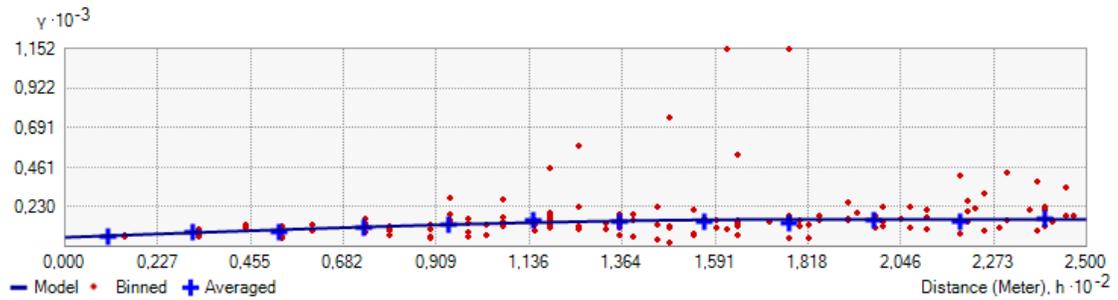


Figura: Semivariograma altura de plantas en R6 (Altura 2).

## REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS



DIRECCIÓN NACIONAL DE METEOROLOGÍA  
DIRECCIÓN DE CLIMATOLOGÍA Y DOCUMENTACIÓN  
DIVISIÓN SERVICIO PLUVIOMÉTRICO NACIONAL

Montevideo; 21 de Marzo de 2012.

IP061\_12

**Destinatario:** Estudiante de Agronomía.

**Información:** Precipitación Semanal en mm.

**Localidad:** El Aguila, Río Negro.

<i>Fechas</i>	<i>mm</i>	<i>Fechas</i>	<i>mm</i>
[01/09/2007,07/09/2007]	10,0	[21/06/2008,27/06/2008]	2,0
[08/09/2007,14/09/2007]	32,0	[28/06/2008,04/07/2008]	2,0
[15/09/2007,21/09/2007]	37,0	[05/07/2008,11/07/2008]	37,0
[22/09/2007,28/09/2007]	0,0	[12/07/2008,18/07/2008]	0,0
[29/09/2007,05/10/2007]	64,0	[19/07/2008,25/07/2008]	36,0
[06/10/2007,12/10/2007]	70,0	[26/07/2008,01/08/2008]	0,0
[13/10/2007,19/10/2007]	8,0	[02/08/2008,08/08/2008]	0,0
[20/10/2007,26/10/2007]	16,0	[09/08/2008,15/08/2008]	3,0
[27/10/2007,02/11/2007]	0,0	[16/08/2008,22/08/2008]	0,0
[03/11/2007,09/11/2007]	3,0	[23/08/2008,29/08/2008]	42,5
[10/11/2007,16/11/2007]	0,0	[30/08/2008,05/09/2008]	0,0
[17/11/2007,23/11/2007]	2,0	[06/09/2008,12/09/2008]	11,0
[24/11/2007,30/11/2007]	0,0	[13/09/2008,19/09/2008]	0,0
[01/12/2007,07/12/2007]	5,0	[20/09/2008,26/09/2008]	0,0
[08/12/2007,14/12/2007]	16,0	[27/09/2008,03/10/2008]	24,0
[15/12/2007,21/12/2007]	0,0	[04/10/2008,10/10/2008]	0,0
[22/12/2007,28/12/2007]	26,0	[11/10/2008,17/10/2008]	19,0
[29/12/2007,04/01/2008]	0,0	[18/10/2008,24/10/2008]	8,0
[05/01/2008,11/01/2008]	31,0	[25/10/2008,31/10/2008]	7,0
[12/01/2008,18/01/2008]	23,0	[01/11/2008,07/11/2008]	2,0
[19/01/2008,25/01/2008]	0,0	[08/11/2008,14/11/2008]	0,0
[26/01/2008,01/02/2008]	7,0	[15/11/2008,21/11/2008]	0,0
[02/02/2008,08/02/2008]	43,0	[22/11/2008,28/11/2008]	5,0
[09/02/2008,15/02/2008]	8,0	[29/11/2008,05/12/2008]	159,0
[16/02/2008,22/02/2008]	5,0	[06/12/2008,12/12/2008]	9,0

[23/02/2008,29/02/2008]	1,0	[13/12/2008,19/12/2008]	0,0
[01/03/2008,07/03/2008]	76,0	[20/12/2008,26/12/2008]	3,0
[08/03/2008,14/03/2008]	0,0	[27/12/2008,02/01/2009]	3,0
[15/03/2008,21/03/2008]	0,0	[03/01/2009,09/01/2009]	4,0
[22/03/2008,28/03/2008]	10,0	[10/01/2009,16/01/2009]	29,0
[29/03/2008,04/04/2008]	6,0	[17/01/2009,23/01/2009]	0,0
[05/04/2008,11/04/2008]	0,0	[24/01/2009,30/01/2009]	140,0
[12/04/2008,18/04/2008]	0,0	[31/01/2009,06/02/2009]	35,0
[19/04/2008,25/04/2008]	0,0	[07/02/2009,13/02/2009]	28,0
[26/04/2008,02/05/2008]	9,0	[14/02/2009,20/02/2009]	24,0
[03/05/2008,09/05/2008]	0,0	[21/02/2009,27/02/2009]	36,0
[10/05/2008,16/05/2008]	0,0	[28/02/2009,06/03/2009]	166,0
[17/05/2008,23/05/2008]	9,0	[07/03/2009,13/03/2009]	60,0
[24/05/2008,30/05/2008]	17,0	[14/03/2009,20/03/2009]	11,0
[31/05/2008,06/06/2008]	0,0	[21/03/2009,27/03/2009]	0,0
[07/06/2008,13/06/2008]	17,0	[28/03/2009,03/04/2009]	6,0
[14/06/2008,20/06/2008]	23,0	[04/04/2009,10/04/2009]	4,0



DIRECCIÓN NACIONAL DE METEOROLOGÍA  
DIRECCIÓN DE CLIMATOLOGÍA Y DOCUMENTACIÓN  
DIVISIÓN SERVICIO PLUVIOMÉTRICO NACIONAL

Montevideo; 21 de Marzo de 2012.  
IP061\_12

**Localidad: El Águila, Río Negro.**

<i>Fechas</i>	<i>mm</i>	<i>Fechas</i>	<i>mm</i>
[11/04/2009,17/04/2009]	2,0	[13/03/2010,19/03/2010]	57,5
[18/04/2009,24/04/2009]	2,0	[20/03/2010,26/03/2010]	75,0
[25/04/2009,01/05/2009]	0,0	[27/03/2010,02/04/2010]	0,0
[02/05/2009,08/05/2009]	0,0	[03/04/2010,09/04/2010]	0,0
[09/05/2009,15/05/2009]	38,0	[10/04/2010,16/04/2010]	50,0
[16/05/2009,22/05/2009]	0,0	[17/04/2010,23/04/2010]	16,0
[23/05/2009,29/05/2009]	15,0	[24/04/2010,30/04/2010]	0,0
[30/05/2009,05/06/2009]	24,0		
[06/06/2009,12/06/2009]	0,0		
[13/06/2009,19/06/2009]	0,0		

[20/06/2009,26/06/2009]	0,0
[27/06/2009,03/07/2009]	51,0
[04/07/2009,10/07/2009]	22,0
[11/07/2009,17/07/2009]	2,0
[18/07/2009,24/07/2009]	35,0
[25/07/2009,31/07/2009]	0,0
[01/08/2009,07/08/2009]	20,0
[08/08/2009,14/08/2009]	0,0
[15/08/2009,21/08/2009]	81,0
[22/08/2009,28/08/2009]	0,0
[29/08/2009,04/09/2009]	49,0
[05/09/2009,11/09/2009]	20,0
[12/09/2009,18/09/2009]	33,0
[19/09/2009,25/09/2009]	2,0
[26/09/2009,02/10/2009]	0,0
[03/10/2009,09/10/2009]	8,0
[10/10/2009,16/10/2009]	88,0
[17/10/2009,23/10/2009]	0,0
[24/10/2009,30/10/2009]	7,0
[31/10/2009,06/11/2009]	39,5
[07/11/2009,13/11/2009]	16,0
[14/11/2009,20/11/2009]	98,0
[21/11/2009,27/11/2009]	23,0
[28/11/2009,04/12/2009]	56,0
[05/12/2009,11/12/2009]	12,0
[12/12/2009,18/12/2009]	3,0
[19/12/2009,25/12/2009]	168,0
[26/12/2009,01/01/2010]	157,5
[02/01/2010,08/01/2010]	35,0
[09/01/2010,15/01/2010]	41,0
[16/01/2010,22/01/2010]	11,0
[23/01/2010,29/01/2010]	0,0
[30/01/2010,05/02/2010]	199,0
[06/02/2010,12/02/2010]	81,0
[13/02/2010,19/02/2010]	118,0
[20/02/2010,26/02/2010]	43,0
[27/02/2010,05/03/2010]	6,0
[06/03/2010,12/03/2010]	0,0