

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**RESPUESTA AL AGREGADO DE POTASIO EN SOJA
DE SEGUNDA**

por

**Julián ARCAUS CAMINADA
Joaquín ECHEVERRÍA DELL'OCA
Álvaro FERRARI FORISCHI**

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

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2012**

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. Esteban Hoffman

Ing. Agr. Mónica Barbazán

Ing. Agr. Sebastián Mazzilli

Fecha: 3 de febrero del 2012

Autor:

Julián Arcaus Caminada

Joaquín Echeverría Dell'Oca

Álvaro Ferrari Forischi

AGRADECIMIENTOS

Al Director de la presente Tesis, Ing. Agr. Esteban Hoffman por su dedicación y apoyo en todas las etapas de esta tesis.

A la Ing. Agr. Mónica Barbazán por su invaluable ayuda y al Ing. Agr. Sebastián Mazzilli por participar como tercer integrante del tribunal.

A las empresas que auspician este proyecto: BARRACA ERRO, ISUSA y TAFILAR S.A.

A la empresa ASP, por haber colaborado en el proyecto, mediante la donación de fertilizante.

A la empresa LAVSA, por su apoyo y dedicación en la etapa final de análisis.

A los funcionarios del Laboratorio de Suelos de Facultad de Agronomía Paysandú, por la ayuda recibida.

A nuestros padres por el apoyo y la comprensión que nos brindaron en todo momento.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRAFICA</u>	3
2.1 <u>INTRODUCCIÓN</u>	3
2.2 <u>DINÁMICA DEL K EN EL SUELO</u>	4
2.2.1 <u>Formas del K en el suelo</u>	4
2.2.2 <u>Disponibilidad de K para las plantas</u>	5
2.3 <u>DINÁMICA DEL K EN LA PLANTA</u>	6
2.3.1 <u>Funciones de K en las plantas</u>	6
2.3.2 <u>Requerimientos de K para las planta</u>	7
2.3.3 <u>Extracción de K del suelo</u>	8
2.3.4 <u>Respuesta vegetal al agregado de K</u>	9
2.3.5 <u>Niveles críticos para las plantas</u>	9
2.4 <u>DINAMICA EN SISTEMA SUELO/PLANTA</u>	12
2.4.1 <u>Balace de K en el suelo</u>	12
2.4.2 <u>Retorno del K desde el rastrojo</u>	12
2.4.3 <u>Extracción de K por las plantas</u>	13
2.5 <u>NECESIDADES DE AGUA POR EL CULTIVO DE SOJA</u>	14
2.6 <u>COMPONENTES DEL RENDIMIENTO EN GRANO</u>	14
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	15
3.1 <u>CARACTERÍSTICAS DE LOS ENSAYOS</u>	17
3.2 <u>ANÁLISIS ESTADÍSTICO</u>	18
3.2.1 <u>Modelo estadístico</u>	18
3.2.2 <u>Análisis de la varianza</u>	19
3.2.3 <u>Análisis de los factores en determinar el rendimiento</u>	19
3.3 <u>HIPOTESIS DEL TRABAJO</u>	20
3.4 <u>OBJETIVOS DEL TRABAJO</u>	20
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	21
4.1 <u>CARACTERIZACION CLIMATICA</u>	21
4.1.1 <u>Escenario climático verano 2010/2011</u>	21
4.1.2 <u>Caracterización climática de los ensayos</u>	22

4.2	RENDIMIENTO Y COMPONENTES.....	26
4.2.1	<u>Rendimiento en grano</u>	26
4.2.2	<u>Componentes del rendimiento</u>	28
4.2.3	<u>Factores determinantes del rendimiento</u>	29
4.3	RENDIMIENTO EN GRANO EN RESPUESTA AL AGREGADO DE K.....	37
4.4	INDICADORES DE SUELO.....	39
4.4.1	<u>K intercambiable en suelo a siembra</u>	39
4.4.2	<u>K intercambiable en suelo 30, 60 y 90 dps</u>	41
4.5	<u>K DISPONIBLE EN EL RASTROJO DEL CULTIVO DE INVIERNO PREVIO</u>	41
4.6	<u>EVOLUCION DE K EN SUELO</u>	44
4.7	<u>CONCENTRACION DE K EN PLANTA</u>	52
5.	<u>CONCLUSIONES</u>	56
6.	<u>RESUMEN</u>	58
7.	<u>SUMMARY</u>	59
8.	<u>BIBLIOGRAFIA</u>	60
9.	<u>ANEXOS</u>	65

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Caracterización de los sitios.....	16
2. Características de los ensayos.....	17
3. Rendimiento medio por tratamiento (kg ha^{-1}) según sitio experimental.....	28
4. Cantidad de rastrojo y contenido de K para siembra y 60 dpf por sitio	42
Figura No.	
1. Formas de K en el suelo.....	4
2. Ubicación de cada sitio experimental.....	15
3. Ubicación de los sitios experimentales en mapas INIA-GRAS: (a) precipitaciones acumuladas desde diciembre 2010 a febrero 2011, (b) ocurrencia de precipitaciones para el mismo período en comparación con la media histórica 1961-2000.....	21
4. Rendimiento potencial según precipitaciones (mm) para el total del período del cultivo (siembra-R8).....	22
5. Distribución de las precipitaciones a lo largo del ciclo del cultivo, incluyendo el período crítico R3-R6.....	24
6. Relación entre el rendimiento del cultivo de soja y precipitaciones en el período crítico (PC) R3-R6 (a), y en el final del ciclo R6-R8 (b).....	25
7. Rendimiento promedio por tratamiento para cada sitio de investigación, incluyendo el resultado de comparación de medias de LSD Fisher al 5 % (a, b, c) y el desvío estándar (δ).....	27

8. Rendimiento en función del número de granos (a), en función del PG (b), y PG en función del número de granos (c). Outliers (símbolos rellenos) no fueron considerados al momento de realizar las regresiones.....	29
9. Árbol de partición de los factores que explican los rendimientos potenciales, siendo las flechas y los porcentajes el impacto individual de cada factor.....	30
10. Impacto del nivel de K a la siembra, en el rendimiento potencial.....	31
11. Partición del rendimiento potencial en función de los años de agricultura.....	32
12. Efecto conjunto del nivel de K a la siembra y “edad de chacra” en el rendimiento potencial. Gráficas de rutina SAS. JMP 8.2, Contour Plot.....	32
13. Efecto de la fecha de siembra en el rendimiento potencial.....	33
14. Árbol de partición de los factores que explican los rendimientos del testigo, siendo las flechas y los porcentajes impacto individual de cada factor.....	35
15. Impacto del nivel de K a la siembra (a) y la edad de chacra (b), en el rendimiento del testigo.....	36
16. Rendimiento en grano según dosis de K aplicado.....	38
17. Relación entre rendimiento relativo y cantidad de K intercambiable en suelo al momento de la siembra. Nivel crítico publicado por Barbazán <i>et al.</i> (2011) 0,34 meq/100g suelo.....	40
18. Relación entre RR y K int. a (a) 30, (b) 60 y (c) 90 dpf.....	41
19. Relación entre K en rastrojo al momento de la siembra (kg ha^{-1}) y K en rastrojo a los 60 días post siembra (kg ha^{-1}).....	43
20. Relación entre el aporte de rastrojo y el cambio de K int. en suelo para los 60 días posteriores a la siembra.....	44

21. Relación entre K int. al momento de siembra y K a los 90 después de la fertilización, para diferentes situaciones: (a) Sin cultivo con rastrojo, (b) Sin cultivo y sin rastrojo, (c) Con cultivo sin fertilizar con K y (d) Con cultivo y fertilizado con K. (b) Se tomaron 9 valores ya que en cuatro de los sitios en estudios no se extrajeron muestras de la parcela sin cultivo y sin rastrojo. (- - -) Relación 1:1 para los niveles estudiados..... 45
22. K int. en suelo para tratamientos sin fertilizar, con y sin cultivo (con y sin rastrojo para este último) por sitio. (a) Sitios que mantienen el nivel de K en suelo, (b) sitios que disminuyen los niveles de K en suelo y (c) sitios que aumentan los niveles de K en suelo..... 46
23. K int. en suelo para tratamientos con y sin fertilizar, con y sin cultivo (con y sin rastrojo para este último) por sitio y las precipitaciones acumuladas por período (0-30, 30-60, 60-90 días post-fertilización). (a) Sitios que mantienen el nivel de K en suelo, (b) sitios que disminuyen los niveles de K en suelo y (c) sitios que aumentan los niveles de K en suelo..... 48
24. Relación entre K int. en suelo al momento de la siembra y RR% para cada grupo de sitios según tipo de evolución: sin cambios (rombos), aumento del K en suelo (cuadrados) y disminución del K en suelo (puntos)..... 49
25. (a) Relación entre el cambio de K int. en suelo para el tratamiento 4 (agregado de 60UP y 60UK) 0-90 días y el cambio de K intercambiable para el tratamiento 3 (agregado de 60UP) durante el mismo período, y (b) relación entre el cambio de K intercambiable 0-90 días para el tratamiento 1 (testigo sin fertilizar) y el cambio de K int. en suelo para el tratamiento 4 (fertilizado con KCl) para el mismo período. Outliers (puntos dentro del círculo punteado). Línea punteada indica $y=x$ 50
26. Relación entre el cambio de K int del testigo sin cultivo (sin rastrojo) y el tratamiento 4 (agregado de 60UP y 60UK). Cuadrados sin relleno corresponden a los sitios 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 13 y 14 (están fuera de la regresión los sitios 9, 10, 11 y 12 ya que no se les quitó el 50% del rastrojo del tratamiento 6); Punto negro Outlier. Línea de tendencia para el total de los

puntos	51
27. Niveles de K en hoja para cada tratamiento a los 60 días pos siembra (R1-R2). Tratamiento 1: 0, tratamiento 3: 60P, tratamiento 4: 60P+60K y tratamiento 5: 60P+60K+10S. CV%: Coeficiente de variación, n: número total de valores utilizados y n.s.: valores sin deferencia estadísticamente significativa ($p=0,05$).....	53
28. K foliar en R2-R3 según contenido de K int en suelo (a) al momento de la siembra y (b) 60 después de la fertilización para los sitios en estudio.....	54

1. INTRODUCCIÓN

El potasio (K) es el nutriente mineral que es absorbido por las plantas en mayor cantidad a excepción del N. La concentración total de K en los suelos por lo general suele ser superior a las cantidades que extrae un cultivo durante una estación de crecimiento (Hernández, 1988). Los suelos del país presentan una gran variación de contenido de K y tradicionalmente la agricultura se ha ubicado en zonas donde estos niveles han sido lo suficientemente altos como para cubrir los requerimientos de los cultivos. También es de destacar que mientras se mantenía la agricultura bajo sistema de laboreo convencional y rotación con pasturas no se recomendaba la fertilización con K (Barbazán et al., 2011b).

A partir del año 2000 comienzan a ocurrir cambios en la agricultura de secano en Uruguay, transformando la estructura productiva y con nuevos actores que pasan a realizar la actividad. Esto se traduce en un aumento del área de cultivos de secano, siendo la superficie sembrada en la zafra 2002/03 548.500 hectáreas, mientras que en la zafra 2010/2011 fue de 1.440.300 hectáreas, según la Dirección de Estadísticas Agropecuarias (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2011).

Según URUGUAY. MGAP. DIEA (2011) la intensificación agrícola en el país corresponde a 1,3 cultivos por año. Esta intensificación, sumada a una falta adecuada de reposición de los nutrientes del sistema, ha producido un empobrecimiento progresivo de la fertilidad de los suelos. Barbazán et al. (2011b), sostienen que cerca del 20% del área del país mantiene cierta probabilidad de responder a la fertilización potásica.

La expansión de los cultivos oleaginosos es el factor principal de este dinamismo basado en cambios del entorno económico doméstico e importantes transformaciones ocurridas en la base productiva. Bajo este contexto, el cultivo de soja, pasa de ser un cultivo marginal a ser uno de los principales productos de exportación, desplazando a otros cultivos tradicionales y extendiéndose rápidamente por la región litoral oeste del país y otras áreas con menos tradición agrícola como el centro, noreste y este del país (Arbeletche y Carballo, 2008). Podría decirse que este aumento de exportación en grano también se traduce en K exportado, dando como resultado un balance negativo para este nutriente (Barbazán et al., 2011b).

La realidad de la agricultura en Uruguay hace que dependiendo del año, gran parte del área de soja se haga de "segunda". El coeficiente primera/segunda está regido principalmente por los precios internacionales de la soja y el trigo. En la Encuesta Agrícola DIEA del 2009, este coeficiente fue 40/60, mientras que para la siguiente zafra, el mismo se invirtió.

Debido a la escasa información y a la incertidumbre existente a nivel nacional sobre la respuesta a la fertilización potásica en el cultivo de soja de segunda, sumado a la importancia creciente de este cultivo que se siembra bajo esta forma surge la necesidad de ajustar los niveles de fertilización y generar las bases de dinámica de este nutriente en el suelo, que permitan mejorar la estrategia de uso de los fertilizantes. A nivel nacional (especialmente a nivel de empresas de gran escala), la proporción del área de soja de segunda con muestreo de suelo y fertilización basal es muy baja.

2. REVISION BIBLIOGRÁFICA

2.1. INTRODUCCION

La creciente expansión agrícola e intensificación anteriormente mencionada (1,3 cultivos por año según URUGUAY. MGAP. DIEA, 2011), sumado a innovaciones tecnológicas tales como la adopción de sistemas sin laboreo del suelo y utilización de cultivos transgénicos (Arbeletche y Carballo, 2008); han determinado que se comience a tener evidencias de la necesidad de incluir nutrientes para cubrir ciertos déficits que no estaban siendo cubiertos por el uso de fertilizantes actualmente utilizados.

La rotación agrícola predominante en Uruguay corresponde a un cultivo de soja seguida por trigo. Luego de cosechado el trigo se siembra nuevamente soja, denominada de segunda. Este término hace referencia a un cultivo sembrado inmediatamente después de la cosecha de un cultivo de invierno. Posteriormente le sigue un período sin cultivo o barbecho hasta la primavera siguiente donde se reinicia la rotación. De esta manera, se priorizan las medidas de manejo para el cultivo de soja y trigo, siendo los cultivos que permiten obtener los máximos beneficios económicos de la rotación. Para la mayoría de los casos, el rendimiento de una soja de segunda puede ser comprometido por la escasa reserva de agua en el suelo y su fecha de siembra que en la mayoría de los casos es tardía. A su vez la fertilización en soja de segunda es muy escasa debido a que existe la creencia de que el efecto residual del fertilizante del cultivo predecesor es suficiente para compensar los requerimientos de la soja¹.

Este hecho concuerda con lo que sucede en la región, donde se utilizan cultivares que poseen un mayor potencial de rendimiento y se realiza un manejo de dosis limitadas de fertilizantes con el objetivo de minimizar los costos de producción, siendo el balance de nutrientes en el suelo negativo ya que se incrementa la extracción de los mismos como consecuencia de un incremento de los rendimientos (Gerster y Novello, 2002).

La actividad agrícola en nuestro país se ha realizado tradicionalmente sobre suelos que tienen la particularidad de presentar niveles de K intercambiable medios a altos (Hernández et al., 1988). Esta es la principal causa de que los estudios sobre fertilización potásica en cultivos extensivos sean escasos (Almada 2006, Cano et al. 2007, Barbazán et al. 2007b).

¹ Hoffman, E. 2011. Com. personal.

2.2. DINÁMICA DEL K EN SUELO

El contenido de K en el suelo está estrechamente relacionado con el tipo de material parental y la pedogénesis (Mengel y Rahmatullah, citados por Conti, 2002); esto implica que la gran mayoría del K que existe en el suelo es de origen inorgánico.

2.2.1. Formas del K en el suelo

El K se encuentra en los suelos de varias formas, en la solución de suelo, en forma intercambiable, en forma no intercambiable y en la forma menos disponible para el vegetal, la mineral.



Figura 1: Formas de K en suelo (Conti, 2002).

El K edáfico se encuentra formando parte de diferentes pools, de distinta disponibilidad para las plantas. La de rápida disponibilidad corresponde al K de la solución del suelo. La forma química en la que se encuentra este nutriente es como ión K^+ , el cual se mueve fundamentalmente por difusión. Este K^+ se halla en equilibrio dinámico con el K adsorbido en las arcillas, denominado K intercambiable y con las formas de escasa accesibilidad: K fijado al complejo arcilloso y K estructural o de reserva (Hernández et al., 1988). Según Hernández et al. (1988) en suelos contrastantes de Uruguay los rangos encontrados para cada una de estas fracciones de 0 a 20 cm de perfil sin historia agrícola ni fertilización potásica fueron: K solución: 0,0038-0,311 meq/100g, K intercambiable: 0,11⁻¹,5 meq/100g y K no intercambiable: 0,13-3,35 meq/100g.

Según Black (1975), Melgar y Castro (2005) la mayor parte del K de los suelos se halla en los minerales clasificados como feldespatos y micas y, entre ellos, los más importantes son los feldespatos ortoclasas y microclina, las micas biotita y muscovita, y las arcillas micáceas conocidas como illitas.

Los feldespatos existen casi exclusivamente en las fracciones limo y arena de los suelos, pero se encuentran a veces en la arcilla gruesa. Los feldespatos pueden ser de origen primario o secundario pero se cree que cuando son de origen secundario no se han formado durante el desarrollo del suelo sino que provienen directamente del material madre (Hernández et al., 1988).

La illita que es el principal mineral portador de K en la fracción arcilla de los suelos, es de origen secundario.

2.2.2. Disponibilidad de K para las plantas

El contenido en suelo de K intercambiable de 0 a 20 cm. al momento de la siembra es el indicador utilizado para estimar el contenido de K asimilable de un suelo y la necesidad de fertilización con K (Tisdale et al., 1985).

La velocidad a la cual el K se vuelve disponible para las raíces es afectada por la cantidad de K intercambiable, no intercambiable y por la velocidad de movimiento del K a través del suelo. A medida que la raíz absorbe K, el K intercambiable próximo a las raíces disminuirá. Al disminuir la concentración de K intercambiable, éste se moverá desde zonas más enriquecidas y distantes de la raíz hasta restablecer nuevamente el equilibrio. La velocidad con que se moviliza o difunde el K, dependerá de los materiales constituyentes del suelo y las condiciones ambientales, siendo más alta en suelos húmedos. Bajo condiciones de baja humedad las películas de agua de alrededor de las partículas de suelo son más delgadas y discontinuas dando como resultado un camino más tortuoso para el movimiento del K. Esto disminuye el movimiento de K por difusión a las raíces.

Según Conti (2002) la disponibilidad de K para las plantas está fuertemente asociada con el tipo de arcillas que existen en el suelo donde tres grupos de éstas tienen distinto poder de ceder K. El primer grupo corresponde a los minerales caoliníticos (bilaminares 1:1, no expansivos) las cuales tienen la capacidad de mantener el K débilmente retenido en su superficie y en sus bordes rotos o quebrados, además de presentar baja CIC, y por lo tanto bajos niveles de K intercambiable. En segundo lugar, merecen atención las illitas (trilaminares 2:1, no expansivos) las cuales son las que presentan los mayores niveles de K en su estructura, ya que lo presentan adsorbido en su superficie y bordes, además de ubicarse entre sus intercapas. Por último las esmectitas (trilaminar 2:1, expansivos), mantienen el K en forma intercambiable en superficie y también profundamente entre las capas expansibles cuando el suelo está húmedo. Cuando estas capas se cierran, al volverse las condiciones ambientales más secas, el espacio intercapas se contrae, atrapando y "fijando" el K que es dificultosamente liberado nuevamente a la solución del suelo.

La tasa de pasaje de formas de K más estables a más lábiles está determinada por factores ambientales (humedad y temperatura de suelo) y por la capacidad buffer del suelo. Suelos de texturas medias a arcillosos poseen mayor capacidad buffer que los de texturas gruesas. Por lo tanto, en estos últimos la concentración de K^+ en solución varía significativamente ante cambios en factores ambientales, mientras que en suelos arcillosos, el rango de

concentración se mantiene relativamente constante. Asimismo, el agregado de K vía fertilizante en suelos de texturas gruesas incrementa rápidamente el nivel de este nutriente inmediatamente disponible, mientras que en suelos de texturas medias a finas, parte del mismo pasa a formas menos lábiles (K intercambiable o fijado) (Conti, 2002).

Suelos de texturas arenosas, con baja capacidad de intercambio y formado sobre materiales pobres en K no serán capaces de mantener adecuados aportes de K bajo sistemas de elevada extracción en el tiempo (Casanova, 1996). Inversamente, suelos con textura fina tienen generalmente mayores valores de CIC y pueden retener mayores cantidades de K intercambiable. De esta manera, Casanova (1996) establece que altos niveles de K en forma intercambiable no mantienen altos niveles de K en solución. Por lo general el K en solución en suelos de textura fina (limosos y franco-limosos) suele ser considerablemente más bajo que en suelos de textura gruesa (arenosos) para un mismo nivel de K en forma intercambiable.

2.3. DINÁMICA DEL K EN LA PLANTA

2.3.1. Funciones del K en las plantas

El K es un macronutriente esencial para el crecimiento y funciones fisiológicas, incluyendo la regulación del pasaje de agua e intercambio gaseoso, síntesis proteica, activación enzimática, fotosíntesis y traslado de carbohidratos, de los cultivos (Marschner, 1998). Otra función básica es la de regular la entrada de dióxido de carbono (CO_2) en las plantas a través de los estomas, donde las células guarda a cada lado del estoma acumulan grandes cantidades de K si el suministro es adecuado, forzándolas a que se abran. En las plantas bien provistas de K se incrementa el número y tamaño de estomas por unidad de área, facilitando de esta manera el intercambio de CO_2 y oxígeno (O_2) del tejido de la hoja (Taiz y Zeiger, 2006)

Las plantas con deficiencias de este nutriente, a menudo presentan crecimiento lento, baja resistencia a sequía, niveles de debilidad y mayor susceptibilidad a las enfermedades (Millswell, 1980). Posiblemente la explicación a esto sea que la deficiencia de K generalmente resulta en acumulación en las plantas de compuestos solubles de N y azúcares que pasan a ser una adecuada fuente de alimento para los parásitos. Cuando un adecuado suministro de K da como resultado tejidos más fuertes y paredes celulares más gruesas que son resistentes a la penetración de enfermedades, el N tiene el efecto opuesto (Taiz y Zeiger, 2006).

Los síntomas visuales de deficiencia de K se presentan de distintas formas. En soja se ha observado que la sintomatología de deficiencia de K se

manifiesta en las hojas jóvenes mientras que el “quemado” o clorosis marginal de las hojas maduras aparece primero en estas, ya que el K es un nutriente muy móvil dentro de la planta (Taiz y Zeiger, 2006). Bautés et al. (2009) encontraron que plantas de maíz con síntomas presentaron niveles de 0,5 % de K, mientras que en plantas sin síntomas los valores encontrados fueron 1% de K.

Por otra parte, en leguminosas ha sido observado un aumento en la concentración de N cuando aumenta la disponibilidad de K. La tasa de fijación simbiótica de N está asociada a una buena nodulación; esta puede decrecer con inadecuada disponibilidad de K, ya que se reduce la actividad enzimática. Este descenso en la fijación de N es una posible respuesta secundaria de la reducción de la fotosíntesis, cuando el crecimiento de los brotes es restringido por bajos niveles de K en el suelo (Lanyon et al., 1988).

En lo que refiere a la eficiencia de uso del agua, las plantas que tienen alto K requieren menos agua para producir un rendimiento dado. Se puede obtener más rendimiento con solamente un pequeño incremento en el suministro de agua. Las respuestas del cultivo a adiciones de K son a menudo más altas cuando el agua es deficiente o excesiva (Taiz y Zeiger, 2006).

Entre los efectos relacionados con el mejoramiento de la eficiencia del uso del agua y la resistencia a la sequía, cuando se agrega K, se mencionan los siguientes: se incrementa en la exploración radicular, decrece la tasa de transpiración, el follaje se incrementa y se acelera la cobertura del suelo y se puede disminuir el estrés hídrico en épocas críticas de crecimiento.

2.3.2. Requerimientos de K para las plantas

Para cultivos anuales, los requerimientos de K son bajos al inicio del ciclo cuando las plantas son pequeñas. A medida que el cultivo crece las necesidades de K se incrementan particularmente durante la etapa vegetativa hasta floración. Nelson, Mills y Jones, citados por Nelson et al. (2005), reportan que la mayor demanda de K de la mayoría de las plantas, es temprano en la fase de rápido crecimiento inicial. También se necesitan cantidades adecuadas de K durante las etapas tardías de crecimiento vegetativo y reproductivo. Polizotto (2008) demuestra que el cultivo de soja presenta una gran demanda de K aproximadamente 40 días post emergencia (estadio V4-V5). A partir de ese momento no resulta eficiente realizar la corrección de los niveles de K mediante el agregado del mismo al suelo, lográndose la mayor eficiencia mediante la incorporación de este nutriente al momento de la siembra, ya que de esta manera el cultivo tiene el tiempo suficiente para realizar su extracción. Esto coincide con lo que Nelson et al. (2005) reportan en Missouri, EEUU. Los autores encontraron que el rendimiento en soja se incrementó con la aplicación

foliar de K en los estadios V4 y R1-R2 (con dosis de 9, 18 y 36 kgK ha⁻¹), en cambio las mismas aplicaciones realizadas en R3-R4 no incrementaron los rendimientos en la misma magnitud. Posteriormente los tratamientos se ranquearon según la relación costo-efectividad, donde el agregado de K a la siembra (con dosis de 140, 280 y 560 kg K ha⁻¹) fue mayor que las aplicaciones foliares en V4 y R1-R2.

Existen también diferencias entre híbridos y/o variedades de una misma especie. Los híbridos o cultivares difieren mucho en su potencial de rendimiento y en el requerimiento de K. En la mayoría de los casos, el híbrido o cultivar con el más alto potencial de rendimiento responde mejor al agregado de K cuando este es el factor limitante. En un estudio realizado con tres variedades de soja (A, B y C) variando la aplicación de K, se encontró que el testigo de la variedad C cultivada sin K dio los rendimientos más bajos. Con el agregado de K esta misma variedad fue la que obtuvo el más alto rendimiento, y por lo tanto este cultivar fue el de mayor respuesta vegetal al agregado (INPOFOS, s.f.)

2.3.3. Extracción de K del suelo

Se ha reconocido ampliamente que los cultivos difieren en su capacidad de absorber K del suelo para un nivel determinado de K, donde el cultivo de soja, es la segunda especie que presenta los mayores niveles de extracción de K por tonelada de grano producido en comparación con el resto de leguminosas y oleaginosas, y la que extrae más en cantidad cuando la extracción la expresamos en kg de nutriente por kg de grano cosechado por hectárea (Ciampitti y García, 2009).

En el cultivo de soja el K es el nutriente que se extrae en mayor cantidad (19,5 kg) luego del nitrógeno (N) (60 kg) por tonelada de grano producido por hectárea. Sin embargo existe una gran diferencia en cuanto al índice de cosecha para los nutrientes anteriormente mencionados, siendo de 59% y 75% para K y N respectivamente según García (2006). El dato de índice de cosecha indica qué proporción del K tomado del suelo se “exporta en grano” luego de cada cosecha. Lanyon et al. (1988), encontraron en soja que la mayoría de los nutrientes tienen se concentran en las hojas, a excepción del K, el cual se presenta más concentrado en los tallos.

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

2.3.4. Respuesta vegetal al agregado de K

En Uruguay los estudios de dinámica de K y de respuesta al agregado de K son escasos. Por ejemplo, Marella et al. (1981), Colombo y Collares (1982) realizaron un trabajo de tesis en el noreste uruguayo, en el cual concluyeron que la soja no respondió significativamente a las dosis aplicadas.

Hernández (1983) evaluó la capacidad de suministro de K de 13 suelos diferentes y la respuesta de raigrás en producción de materia seca frente al agregado de K. El autor encontró un grupo de suelos en los que el cultivo experimentó alta respuesta y otro grupo sin respuesta al agregado de tres dosis diferentes de K. Los grupos se diferenciaron básicamente por la mineralogía y niveles iniciales de K.

Más recientemente, Cano et al. (2007), en maíz, encontraron respuesta significativa al agregado de fertilizante potásico en crecimiento vegetal, concentración de K en planta y rendimiento en grano, en una situación en la que el testigo sin fertilizar no llegó en condiciones de ser cosechado por una cosechadora convencional debido al quebrado de plantas. Estas respuestas se encuentran entre 3652 y 3829 kg ha⁻¹ para las dosis de 125 y 225 kg de cloruro de K (KCl) ha⁻¹, respectivamente. La eficiencia de uso del K que experimentó el maíz en estos ensayos varió entre 48,7 y 28,4 kg de grano kg KCl⁻¹. Sin embargo, Almada (2006) realizó una serie de ensayos en maíz sobre tres tipos de suelos en Durazno, en los cuales no obtuvo respuesta significativa ($p=0,05$) en rendimiento cuando fue aplicado K.

Bautes et al. (2009) reportan que existió respuesta al agregado inicial como residual de K en cultivos de invierno y verano. Los niveles de respuesta rondaron en 1253 y 1715 kg ha⁻¹ para cebada, y en cultivos de verano si bien se encontró una tendencia de aumento de los rendimientos frente al agregado de K, sólo en uno de los nueve sitios existió respuesta significativa, donde el cultivo de soja de segunda incrementó 1472 y 1206 kg ha⁻¹ para los tratamientos con 60 y 120 kgKCl ha⁻¹ agregados, frente al testigo (1260 kg ha⁻¹). También García et al. (2009) encontraron niveles de respuesta en torno a 8 kg de grano kg KCl⁻¹ aplicado en trigo.

La escasa información generada en este nutriente amerita continuar investigando en este tema.

2.3.5. Niveles críticos de K para las plantas

Casanova (1996), Bordoli (1996), Mallarino y Bordoli (1998), Barbazán et al. (2011b) indican que los niveles críticos (el valor por encima del cual la probabilidad de respuesta al agregado de K es baja y viceversa) necesarios

para cubrir los requerimientos metabólicos y osmóticos, son diferentes entre los cultivos, por lo que hay que considerar los siguientes factores: sistema radicular, tipo de cultivo, población, rendimiento y sistema de cultivo.

La Universidad de Arkansas (EEUU) agrupa a los niveles de K en el suelo en tres rangos: bajos (0,16 a 0,23 meq/100g), medios (0,23 a 0,33 meq/100g) y óptimo (0,33 a 0,45 meq/100g) medidos con la técnica de Mehlich-3 y convertidos de ppm a meq/100g. Es esperable que exista una pequeña o ninguna respuesta a la aplicación de K cuando los resultados de análisis de suelo son medios u óptimos, recomendándose aplicar pero 60 kg de K_2O ha^{-1} año⁻¹ (Slaton et al., 2009). Sin embargo la Universidad de Iowa (EEUU) en el año 2002 actualizó las interpretaciones de los análisis de suelos y las recomendaciones de fertilización ya que fueron necesarios mayores niveles de K en suelo para obtener elevados rendimientos de los cultivos (Mallarino et al., 2005). De esta manera, Mallarino et al. (2005) establecen que se cambiaron los rangos utilizados hasta este momento, donde por ejemplo el rango óptimo (para el cual es recomendada la fertilización con K de mantenimiento) pasó a ser clasificado como bajo donde se recomienda agregar altos niveles de K. Además, estos rangos son manejados de manera diferencial según el nivel de K en el subsuelo (Barbagelata et al., 2007).

Ensayos realizados en la localidad de Marcos Juárez, Córdoba, Argentina, Baigorri (1999) reportó que el nivel crítico para el K es de 0,33 meq/100g. En Uruguay, Oudri et al. (1976) sugirieron valores de 0,15 meq/100g, como valor bajo, entre 0,15 a 0,30 meq/100g como rango medio y 0,30 meq/100g como valor alto, sin discriminar por cultivos o tipos de suelos. Estos valores son mencionados como de referencia ya que no se había encontrado respuesta al agregado de K.

Estos valores han sido tomados de otras regiones que estaban respaldados por una amplia serie de experimentos, como los realizados en EEUU, que arrojan una nula o baja respuesta al agregado de fertilizante potásico por encima de 0,23-0,33 meq/100g, en soja y maíz para sistemas de producción con laboreo convencional (Voss, 1982).

Para Uruguay, Hernández, citado por Casanova (1996) sugieren niveles de suficiencia de K superiores a 0,25 meq/100g de suelo. En suelos de textura arenosa incluso se pueden fijar niveles superiores a 0,15 meq/100g de suelo como adecuados sin necesidad de fertilizaciones. En una serie de experimentos en chacras de producción comercial en los departamentos de Soriano y Flores, Bautés et al. (2007) detectaron niveles de respuesta importantes en rendimiento y calidad de grano, parámetros de calidad, etc. frente a la incorporación de KCl

en cultivos de invierno y verano, en suelos con niveles de K en suelo en el entorno de 0,18 – 0,37 meq/100g sobre Areniscas Cretácicas.

Productores y técnicos han observado que el valor de análisis de K intercambiable no siempre es consistente con la respuesta al nutriente, generando la necesidad de profundizar acerca de si el nivel crítico de referencia no podría ser superior a 0,3 meq/100g de suelo. Garcia et al. (2009) encontraron en el año 2008, respuesta al agregado de KCl en trigo en suelos con 0,32 y 0,44 meq/100g. Además concluyen que el nivel crítico (0,30 meq/100g) puede haber sido un débil indicador del K intercambiable para predecir la posible respuesta al nutriente y maximizar el rendimiento en grano para las condiciones de sequía de ese año, a causa de que algunos suelos bajo estudio tuvieron respuesta al agregado de K teniendo niveles en suelo mayores a 0,30 meq/100g.

Por otra parte, Barbazán et al. (2011a), Barbazán et al. (2011b) resumió resultados de varios experimentos (Almada 2006, Cano et al. 2007, 2009, Barbazán et al. 2007b, García et al. 2009) en chacras comerciales y bajo condiciones de cero laboreo en Uruguay para cultivos de invierno y cultivos de verano de primera (en su mayoría). Estos resultados fueron relacionados con el análisis de suelo a la siembra encontrando como nivel crítico orientativo de K en el suelo el valor de 0,34 meq/100g, aunque se ha encontrado respuesta en algunos cultivos por encima de este valor, mientras que también se vio lo opuesto, que por debajo de este nivel de referencia algunos cultivos alcanzaron el 90% del rendimiento máximo, sin agregado de K.

Probablemente estos resultados han sido consecuencia de la realización de cultivos bajo siembra directa lo que posiblemente lleve a una exploración radicular más superficial (mayor susceptibilidad a la absorción de K) y una acumulación superficial de residuos y nutrientes (Gomar et al. 1996, Bordoli 2001). Las condiciones de baja humedad hacen que las raíces sean más dependientes de la aplicación de fertilizante. Por el contrario, en situaciones de mayor humedad (ya sea por la infiltración del agua de lluvias o por la mantención de una cobertura vegetal que impide las pérdidas por evaporación), habría una mayor exploración radicular en el perfil del suelo, y por lo tanto, una menor o nula respuesta al agregado de K. De acuerdo con estas hipótesis, varios trabajos (Bordoli 1996, Bordoli y Mallarino 1998, Borges y Mallarino 2000, Yin y Vyn 2003) reportan respuesta a la aplicación subsuperficial de K.

Esta información indica que se necesita profundizar en el conocimiento de la dinámica de este nutriente en nuestras condiciones de producción y en cultivos de segunda para poder elaborar pautas de recomendación racionales.

2.4. DINÁMICA EN SISTEMA SUELO/PLANTA

2.4.1. Balance de K en el suelo

Según Barbazán et al. (2011a) el balance de K estimado como entradas menos salidas ha sido siempre negativo para los sistemas de cultivos extensivos del Uruguay, debido a que la fertilización potásica ha sido casi nula.

Considerando lo anteriormente mencionado y desde una perspectiva de manejo racional de los fertilizantes, interesa saber cuáles son las entradas y salidas de K en el sistema suelo-planta. De esta manera, la estrategia de fertilización sustentable debería tener como meta maximizar el aprovechamiento del K agregado, y al mismo tiempo minimizar las pérdidas del K fuera del sistema.

Las entradas de K al sistema suelo-planta provienen básicamente de la fertilización. En cuanto a las pérdidas, la principal vía corresponde a la extracción por parte de los cultivos y de no existir erosión, la otra vía a monitorear es la lixiviación de K. Este proceso adquiere más relevancia en suelos de texturas gruesas, y está determinado por una serie de factores: ocurrencia de eventos de lluvia o uso de riego, profundidad del sistema radicular de los cultivos, presencia de flujos preferenciales de agua en el perfil, grado de cobertura, dosis de fertilizante, etc. Considerando las pérdidas y como contrapartida a lo anterior, el agregado de cal a los suelos ácidos puede disminuir mucho la pérdida de K por lixiviación. Saw y Robinson, citados por Black (1975), comprobaron en el estado de Tennessee, EE.UU., que la lixiviación del K de un suelo franco disminuyó con el efecto de una intensa aplicación de caliza dolomítica. Este efecto en la pérdida de K se puede explicar por las propiedades de intercambio catiónico. El agregado de cal a los suelos ácidos ejerce dos efectos sobre las propiedades de intercambio que retardan el descenso del K en el perfil. En primer lugar, provocan la sustitución de aluminio intercambiable por calcio. En soluciones diluidas, el K desplaza al calcio intercambiable con más facilidad que al aluminio intercambiable. En segundo lugar, el tratamiento con cal aumenta la capacidad de intercambio catiónico y por ende, aumenta la retención de K en forma intercambiable por efecto de una acción másica.

2.4.2. Retorno del K desde el rastrojo

La disponibilidad de K para un cultivo puede verse afectada por la cantidad de rastrojo que el cultivo predecesor haya dejado en superficie. La mayor parte del K que contiene este rastrojo es liberada hacia el suelo, mientras

que la velocidad por la cual es liberada está asociada al régimen hídrico y al tipo de cultivo. Según menciona Schomberg y Steiner (1999), las prácticas de manejo como enfardado, afecta la distribución del K en el tiempo y en el espacio. En algunos cultivos se han observado colores más oscuros y zonas más amarillentas el cual podría deberse a la acumulación de restos de rastrojos distribuidos heterogéneamente en la cola de trilla (Barbazán et al., 2011a).

Estudios realizados en EE.UU. para los cultivos de maíz y alfalfa indican que el mayor nivel de liberación de K del rastrojo hacia el suelo se dio en los primeros 34 días luego de colocados los residuos de cosecha (Schomberg y Steiner, 1999). Esto también fue corroborado en Uruguay por Barbazán et al. (2011a), donde constató que la mayor liberación de K ocurrió en los primeros días de realizado el estudio, encontrando una fuerte relación con el tipo de cultivo y las lluvias.

Schomberg y Steiner (1999) reportan que la velocidad de pérdidas de K en los residuos varían según el grado de madurez de estos, siendo las pérdidas más rápidas en los restos frescos y más lentas en los de bajo contenido de humedad. Por otra parte, el contenido de K en los residuos sometidos a riego, mostraron concentraciones menores de K que los que no fueron regados.

2.4.3. Extracción de K por las plantas

El contenido de K en la solución del suelo suele ser pequeña en comparación con las cantidades de K que absorben los cultivos, de ahí que sea necesaria la renovación durante el periodo de crecimiento para que las plantas puedan obtener el K necesario de la solución del suelo (Conti, 2002).

Las plantas extraen K de la solución del suelo y de la forma intercambiable, que constantemente se aproxima al estado de equilibrio con la solución del suelo. Si hay amplio suministro de K en esta forma es posible satisfacer la demanda total derivada del crecimiento vegetal. Si la solución del suelo y los sitios de intercambio catiónico han disminuido por el efecto de la absorción de K, este se libera rápidamente de la forma no intercambiable.

La difusión es el mecanismo más importante de suministro de K a las plantas. Este movimiento a través del agua depende del gradiente de concentración, siendo la dirección del K desde zonas de alta concentración hacia zonas de baja concentración. La difusión está limitada a tan solo unos pocos milímetros a la raíz, por lo que toda condición que afecte el estado del suelo, ya sea humedad, temperatura, compactación, etc. estará afectando directamente la disponibilidad de este nutriente. La absorción de K mediante el mecanismo de flujo masal depende de la cantidad de agua absorbida por el

cultivo; este mecanismo es de menor relevancia para este nutriente en comparación con el de difusión (Conti, 2002).

2.5. NECESIDADES DE AGUA POR EL CULTIVO DE SOJA

El consumo de agua de un cultivo es el valor de la transpiración acumulada a lo largo de su ciclo (Enrico et al., 2010). Las necesidades de agua del cultivo de soja de primera y segunda varían de 500 a 600 mm y de 400 a 500 mm, respectivamente (Enrico et al., 2010).

Andriani et al. (1991) señala que el período reproductivo es el más sensible a la falta de agua. La intensidad de la deficiencia va a depender de la disponibilidad del agua existente en el suelo, capaz de ser explorado por las raíces, y de la capacidad de las mismas para extraerla. Internacionalmente se ha establecido, para la mayoría de las plantas cultivadas y diferentes ambientes, el 50% de agua útil en el suelo como límite por debajo del cual comienzan a producirse deficiencias hídricas que afectan la producción (Andriani et al., 1991).

2.6. COMPONENTES DEL RENDIMIENTO EN GRANO

El rendimiento en grano consta de en dos grandes componentes: número de granos/m² y peso de grano (PG). El primero de ellos es el que está más influenciado por las prácticas de manejo que se apliquen mientras que el segundo tiene un gran componente genético que rige sus variaciones frente a cambios en el ambiente. Por lo tanto, estos componentes del rendimiento pueden ser modificados por el genotipo, el ambiente y el manejo afectando el rendimiento final. El grado de sensibilidad de cada componente a los factores ambientales varía con el estado de desarrollo del cultivo (Andrade et al., 2000).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos fueron realizados en la zafra de verano 2010/2011, en 20 sitios pertenecientes a chacras comerciales de productores. Se reportaron 14 sitios debido a que los restantes fueron descartados por problemas de emergencia del cultivo, como consecuencia de déficit hídrico.

Las chacras se seleccionaron en base a niveles de P en el suelo al momento de la siembra de la soja de segunda. Se optó por chacras que preferentemente tuvieran niveles bajos de P ya que se evaluó el rendimiento frente al agregado de 2 dosis de P en forma conjunta con el agregado de K.

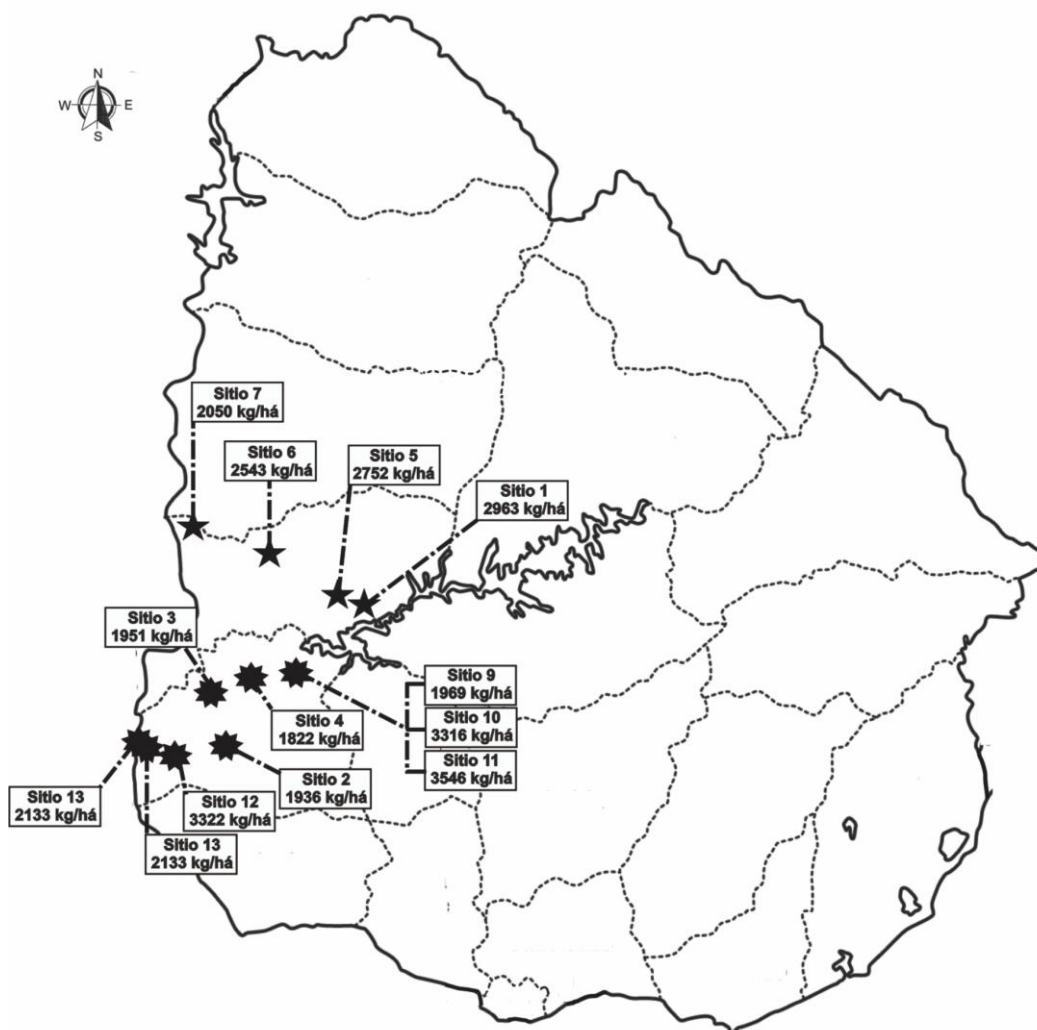


Figura 2: Ubicación de cada sitio experimental.

Cuadro 1: Caracterización de Sitios.

Zona	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S9	S10	S11	S12	S13	S14
CONEAT	Young Sur 11.5	Mercedes 11.5	Soriano, Noreste 11.5	Soriano, Noreste 10.1	Young Sur 11.5	Young Norte 11.4 y 11.5	Young Norte 10.9	Palmitas 10.2 y 9.1	Palmitas 10.2 y 9.1	Palmitas 10.2 y 9.1	Dolores 11.2	La Concordia 11.2	La Concordia 11.2
Unidad de suelo	Young	Fray Bentos	Bequelo	Bequelo	Young	Young	San Manuel	Bellaco	Bellaco	Bellaco	Fray Bentos	Fray Bentos	Fray Bentos
Años en agricultura	1	+8	+8	+8	7	2	2	4	4	4	+8	+8	+8
Nros de cultivos	2	5	7	8	11	4	3	6	6	6	14	14	15
Nro Sojas previas	1	7	5	6	6	1	2	3	3	3	5	6	6
Antecesor inmediato	Cebada	Raigras	Raigras	Trigo	Trigo	Trigo	Trigo	Trigo	Trigo	Trigo	Cebada	Trigo	Trigo
Fecha de siembra	20-nov	15-dic	16-dic	17-dic	17-dic	14-dic	21-dic	18-dic	21-dic	19-dic	15-dic	12-dic	14-dic
VARIEDAD	DM 5.1i	A 6411	A 6411	DM 6.2i	DM 5.5i	A 5009	A 5009	A 5909	A 5909	A 5909	DM 6.2i	DM 5.5i	DM 5.5i
P (ppm)*	12,2	4,9	8,5	5,6	8	15,3	19,7	16,9	11	7,6	15,9	24,8	9,3
K (meq/100 g)*	0,74	0,50	0,47	0,74	0,53	0,87	0,32	0,59	0,53	0,58	0,61	0,55	0,35
% MO*	5,6	3,7	5,1	5	5,6	5,7	4,6	3,9	4,8	3,7	3,7	4,3	4,3
pH H ₂ O*	5,98	5,5	5,48	5,38	5,55	5,74	5,3	5,3	5,7	6,1	5,7	5,78	5,8
Ca (meq/100g)*	26,6	20,1	22,6	13,4	14,8	15,9	12,4	22,6	23,8	25,4	27,7	14,8	11,7
Mg (meq/100g)*	1,72	1,96	2,68	1,2	2,43	3,79	2,16	1,61	3,41	2,3	2,54	1,76	2,14

*Dato promedio para el lugar de intalación del ensayo a siembra – S: Sitio

Todos los sitios se cultivaron bajo siembra directa, y el manejo recibido fue el aplicado por el productor a excepción de la fertilización.

Al momento de la instalación de los ensayos se realizó un muestreo de suelo por bloque de 0 a 20 cm de profundidad. Las muestras fueron secadas con estufa durante 48 horas a 60°C y luego molidas hasta un tamaño menor a 2 mm.

En cada muestra se midió pH en agua y KCl, materia orgánica (MO) por el método de Walkley y Black (1982), P extractable por el método de Bray¹ (Bray y Kurtz, 1945) y bases intercambiables (Ca, Mg, K y Na) por el método de extracción simple con acetato de amonio al 1 M. El contenido de Ca y Mg se determinó por espectrometría de absorción atómica y el de K y Na por espectrometría de emisión (Isaac y Kerber, 1971).

3.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS ENSAYOS

Los tratamientos fueron un total de seis, con tres repeticiones por sitio, siendo el diseño experimental de bloques completos al azar. El tamaño de las parcelas fue de 4 x 8 m.

Los tratamientos consistieron en: dos testigos (uno sin agregado de fertilizante con presencia de cultivo y otro sin fertilización sin cultivo con y sin rastrojo), y cuatro con diferentes dosis y nutrientes agregados (P, K y S) en superficie.

Cuadro 2: Características de los ensayos

Tratamiento		P (kg P ₂ O ₅ /há)	K (kg K ₂ O/há)	S (kg SO ₄ /há)	Fuente
1	Con cultivo	0	0	0	--
2	Con cultivo	30	0	0	0-46-46-0
3	Con cultivo	60	0	0	0-46-46-0
4	Con cultivo	60	60	0	0-46-46-0 y 0-0-60
5	Con cultivo	60	60	10	0-23-0 5S y 0-0-60
6*	Sin cultivo	0	0	0	--

*A los 30 días post-fertilización se le quitó el rastrojo al 50% de la parcela.

Para el resto de los muestreos de suelo (30, 60, 90 días post fertilización (dpf) y a la cosecha) se realizaron solo análisis de P Bray No. 1 y K a 0-20 cm.

Por su parte se extrajeron muestras de rastrojo a la siembra y 60 dpf para estimar el aporte de K por parte de este al suelo. Éstas se realizaron extrayendo la paja del cultivo antecesor (trigo, cebada o raigrás) que quedaba dentro de un cuadrado de 30 cm de lado lo cual permitió inferir la cantidad de K que el rastrojo devolvió al suelo en ese lapso de dos meses.

Para hacer las estimaciones de aporte de K del rastrojo, se calculó como la diferencia entre el K final (a los 60 días) menos el inicial (a la siembra). Por lo tanto se asumió que esta diferencia fue lo que aportaron de K los residuos.

En el estadio R2-R3 del cultivo se midió el contenido de P y K en hoja (la última hoja completamente desarrollada), tomándose 20 hojas por parcela.

En todos los ensayos, se cosecharon 2,28 m² en forma manual para cada tratamiento donde también se contaron las plantas a cosecha. La cosecha consistió en colocar una cinta métrica de 2 m de longitud entre la fila y cortar las dos filas de plantas. Este método se repitió 3 veces en cada tratamiento.

El rendimiento de grano se ajustó a un 13% de humedad.

3.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

3.2.1. Modelo estadístico

El modelo estadístico corresponde al diseño experimental en bloques completos al azar, el cual se presenta a continuación.

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} : Rendimiento en grano (kg ha⁻¹)

μ : Media general del ensayo

α_i : Efecto del tratamiento

β_j : Efecto del bloque

ε_{ij} : Error experimental

i : 1, 2, ..., 5.

j : 1, 2, 3.

Se consideraron los siguientes supuestos:

- Material experimental heterogéneo en un sentido, agrupable en bloques.
- Bloques homogéneos y diferentes entre ellos.

- Se asignan, por bloque, todos los tratamientos en un proceso completamente aleatorio.
- Igual número de repeticiones por tratamiento.

3.2.2. Análisis de la varianza

Se utilizó el test de LSD Fisher al 5% para la comparación de medias de los rendimientos de todos los tratamientos y por otra parte las medias de los rendimientos de los tratamientos sólo con fertilizante potásico. También se compararon los niveles de K en suelo entre momentos de muestreo y entre diferentes tratamientos, cantidad de rastrojo en superficie según cultivo y contenido de K en los residuos.

3.2.3. Análisis de los factores en determinar el rendimiento

Con el fin de analizar qué factores pudieron estar asociados con la variación del rendimiento observada (en la medida que el agua total durante el ciclo y el período crítico no fue relevante), se utilizó la rutina Partitioning del SAS JMP 8.2. Esta rutina realiza particiones recursivas de datos de acuerdo a una relación entre los valores X (factores) e Y (rendimiento), para la creación de un árbol de particiones o divisiones. Mediante una búsqueda exhaustiva de todas las agrupaciones de valores posibles, se encuentra aquella agrupación de valores (X) que mejor predicen el valor (Y).

Estas divisiones se realizan de forma recursiva hasta generar un árbol de particiones que permite detectar en qué orden se ubican los factores de producción y variables de mayor peso relativo. Los factores y variables de cada sitio (valores X) incluidas en el análisis fueron: Localidad, Grupo CONEAT, Unidad de Suelos, Años de Agricultura, No. de Cultivos y Sojas Previas, Sistema de Laboreo, Topografía, Antecesor, Fecha de Siembra, Variedad, Población, P Bray No. 1 (ppm) siembra, K (meq/100g) siembra, Fertilización Basal, Lluvias totales y por período (R3-R6, R6-R8), P Bray No. 1 (ppm) invierno anterior, etc.

Como valor Y, se tomó el rendimiento potencial general de todos los sitios. Éste se realizó tomando en cuenta 38 valores (n=38), los cuales se corresponden con el tratamiento de máximo rendimiento de cada bloque para cada sitio (a excepción del Bloque 2 del sitio 14 el cual presentó problemas de implantación y por ende fue eliminado). A medida que el árbol desciende de categoría, el valor “n” disminuye, ya que el número de datos que cumplen con la clasificación estipulada es menor.

3.3. HIPOTESIS DEL TRABAJO

El cultivo de soja de segunda responde al agregado de K, cuando los niveles en suelos están por debajo de los niveles críticos de referencia.

3.4. OBJETIVOS DEL TRABAJO

Analizar la respuesta al agregado de K a la siembra y su relación con el nivel de K en suelo de soja de segunda.

Generar información que permita conocer y describir la evolución del K en el suelo y su relación con el aporte de K por los residuos.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

4.1.1. Escenario climático verano 2010/2011

El verano 2010/2011 se caracterizó por presentar condiciones más secas respecto a lo normal para la totalidad del territorio nacional (fenómeno “La Niña”) (URUGUAY. MDN. DNM, 2010).

A continuación se ubican los sitios, donde se encontraban los ensayos, en un Mapa de Precipitación Acumulada INIA GRAS (Figura 3a), para el período diciembre 2010 - febrero 2011. Como puede observarse, en forma general al norte del país, las precipitaciones acumuladas en dicho período fueron mayores. Las chacras ubicadas en Soriano Norte y Río Negro son aquellas que recibieron mayor cantidad de precipitaciones acumuladas en el período mencionado.

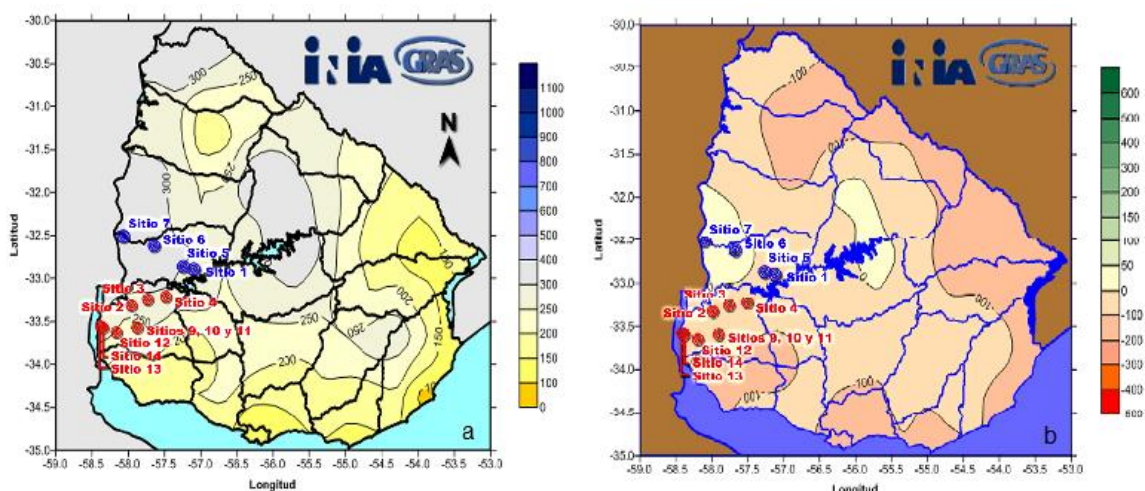


Figura 3: Ubicación de los sitios experimentales en mapas INIA-GRAS: (a) precipitaciones acumuladas desde diciembre 2010 a febrero 2011, (b) ocurrencia de precipitaciones para el mismo período en comparación con la media histórica 1961-2000.

En azul se indican los sitios ubicados al norte del Río Negro y en rojo los que se encuentran al sur del mismo.

Asimismo se puede realizar una comparación de las precipitaciones ocurridas en el período diciembre 2010 - febrero 2011 (Figura 3b), con el mismo período pero para la serie histórica 1961-2000. Esto se presenta a modo de desvío de las precipitaciones en el período y permite “cuantificar” el déficit o

exceso del año en particular, con respecto a la media histórica. Para este caso en particular se puede ver que en 11 de las 13 chacras se encuentran ubicadas en zonas donde llovió menos que la media histórica 1961-2000. El déficit para el período en cuestión fue entre 0 y 100 mm en Soriano. En cambio, para los sitios ubicados en el norte de Rio Negro (Sitios 1, 5, 6 y 7) las precipitaciones se encontraron entre 0 y 50 mm por encima de la media. Esto afirma lo anteriormente mencionado, es decir, en general, los sitios ubicados hacia el norte del país recibieron mayor cantidad de lluvias.

4.1.2. Caracterización climática de los ensayos

Si bien es importante haber descripto el panorama general de la situación climática de la zafra de verano 2010/2011, es necesaria la discusión de la situación particular de cada sitio y evaluar su impacto en el rendimiento.

En base a Gil et al. (1998), Enrico et al. (2010) se podría esperar que exista una correlación entre las precipitaciones acumuladas durante el ciclo del cultivo y el rendimiento potencial de la chacra. Es importante mencionar que el concepto de rendimiento potencial refiere, en este caso, al rendimiento del tratamiento de máximo rendimiento en cada sitio experimental.

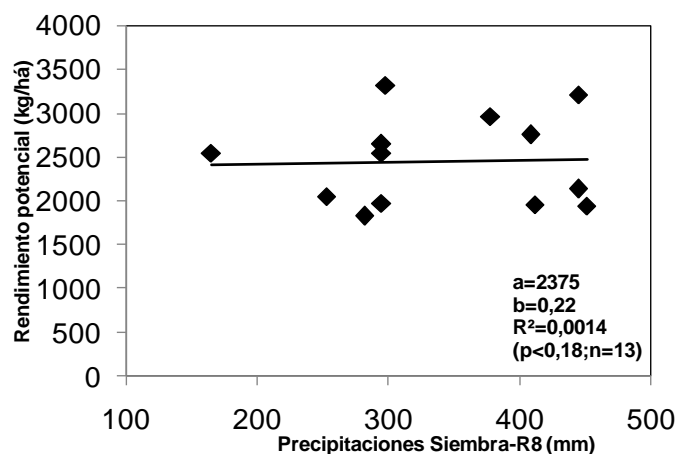


Figura 4: Rendimiento potencial según precipitaciones (mm) para el total del período del cultivo (siembra-R8).

A nivel de rendimientos potenciales obtenidos en los ensayos, se observa que existe una variabilidad muy alta, y en ausencia de relación con el total de precipitaciones durante el ciclo del cultivo, evidenciado por el bajo valor de R^2 (Figura 4). Igualmente en casos donde las precipitaciones totales no fueron una limitante para el cultivo (450-500 mm en el período), la variabilidad en rendimiento fue muy alta, por lo que hay otras variables que explican la variación de rendimiento observada.

Podría pensarse que la información anterior esté condicionada por la distribución de las precipitaciones durante el ciclo del cultivo, ya que si bien en términos absolutos las lluvias no fueron escasas, podrían no haber ocurrido cuando el cultivo realmente las necesita para construir y concretar rendimiento. En la figura 5 se presenta con mayor detalle la distribución de las precipitaciones, y el total de agua durante el período crítico (R3-R6).

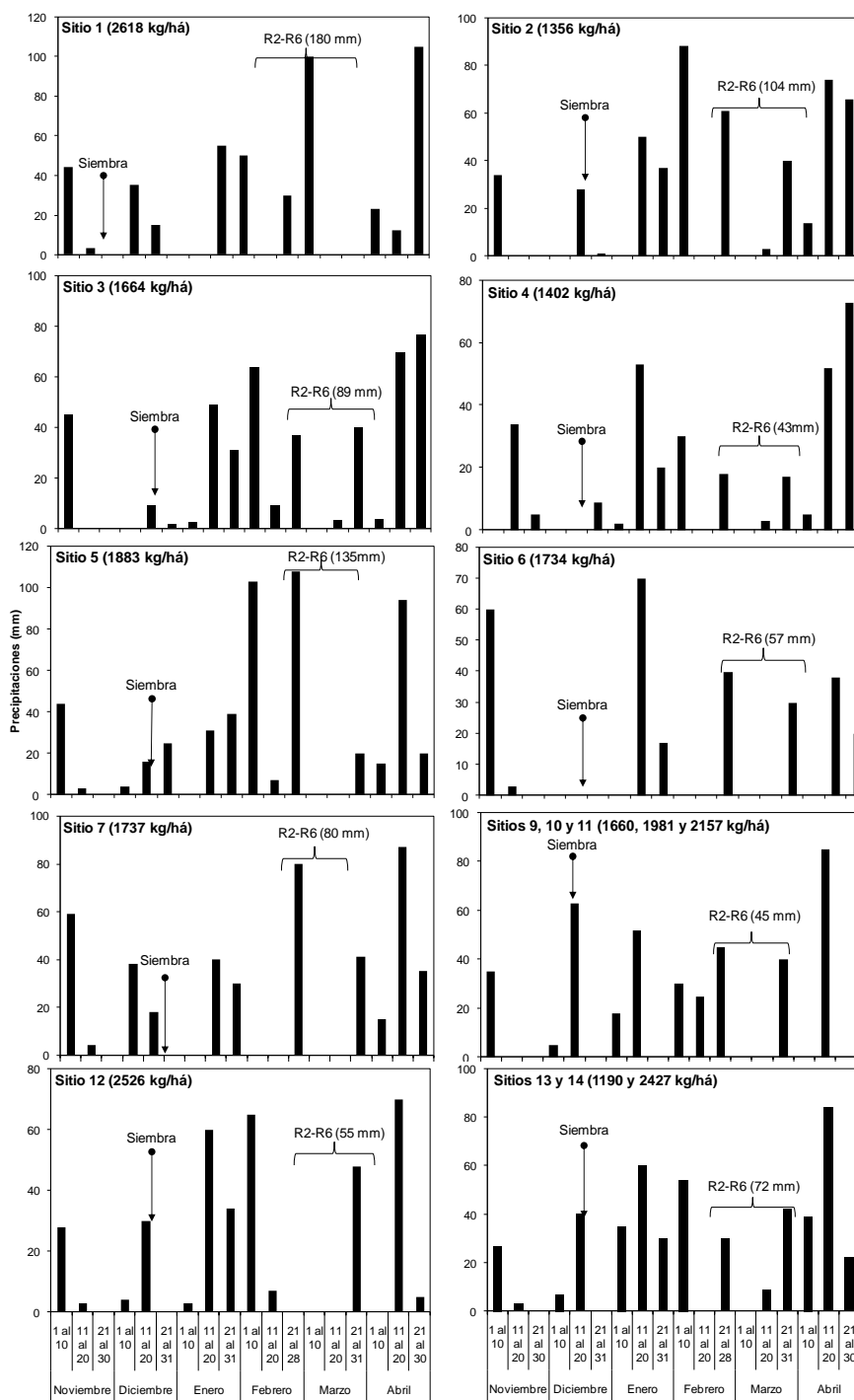


Figura 5: Distribución de las precipitaciones a lo largo del ciclo del cultivo, incluyendo el período crítico R3-R6.

En primer lugar se puede ver que existe amplia variabilidad en las lluvias sitio a sitio. Por otra parte hay sitios en donde no se diferencia la lluvia total y por ende fueron representados en un mismo grafico. Tal es el caso de los sitios 9, 10 y 11 que se encuentran dentro del establecimiento “Santa Maruja” y del sitio 13 y 14 que ambos se encuentran muy próximos.

En la Figura 6 se muestra la relación entre la lluvia en el período crítico y fase final de llenado de grano, con el rendimiento en grano.

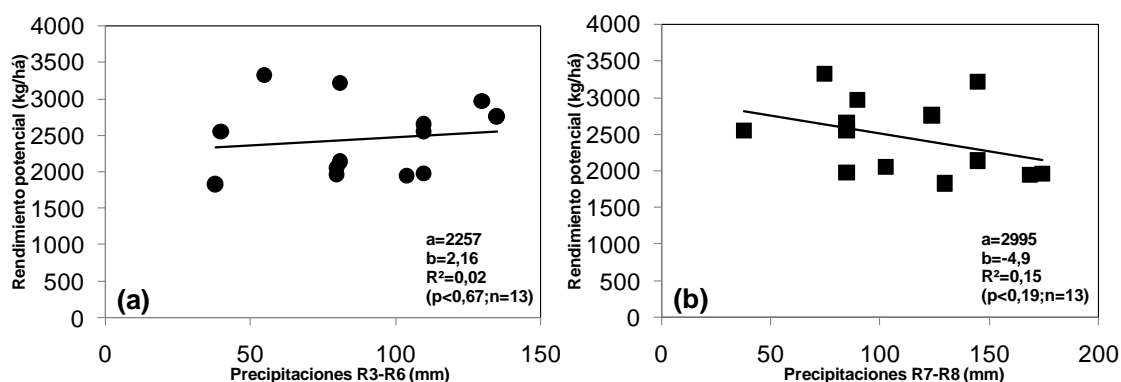


Figura 6: Relación entre el rendimiento del cultivo de soja y precipitaciones en el período crítico (PC) R3-R6 (a), y en el final del ciclo R6-R8 (b).

Como se puede ver (Figura 6a), si bien la correlación es levemente mejor, si comparamos con la correlación que existía entre el rendimiento con las lluvias en el período siembra-R8, ésta es demasiado baja y no significativa como para catalogarla como un factor importante asociado a la variación de los rendimientos en este trabajo.

En la Figura 6b se observa una amplia dispersión ($R^2 = 0,15$), sin embargo existe cierta tendencia negativa del exceso de lluvias a fin de ciclo sobre el rendimiento. Por encima de 150 mm en fin de ciclo los rendimientos no superan los 2000 kg. Esto podría deberse a que mayores lluvias se asocian a mayor nubosidad, menor radiación, menor TCC (Tasa de Crecimiento del Cultivo) y menor rendimiento (Andrade et al., 2000).

En resumen y para este año en particular, se puede ver que la correlación que existe entre el rendimiento del cultivo, con las lluvias totales en el cultivo y en el período crítico son bajas. Ello lleva a suponer que pueden existir otros factores más importantes en cuanto a la variación de rendimiento observada y no a cuestionar la relación entre el agua disponible en el PC y rendimiento en grano (Andrade et al., 2000).

4.2. RENDIMIENTO Y COMPONENTES

4.2.1. Rendimiento en grano

El rendimiento promedio de soja de segunda varió entre 3322 y 786 kg ha⁻¹, a través de todos los sitios. Estos valores promediaron en 1880 kg ha⁻¹, posicionándose cercanos a los rendimientos obtenidos a nivel nacional para soja de segunda 1960 kg ha⁻¹. A continuación se presentan los resultados obtenidos para los diferentes tratamientos en cada sitio experimental.

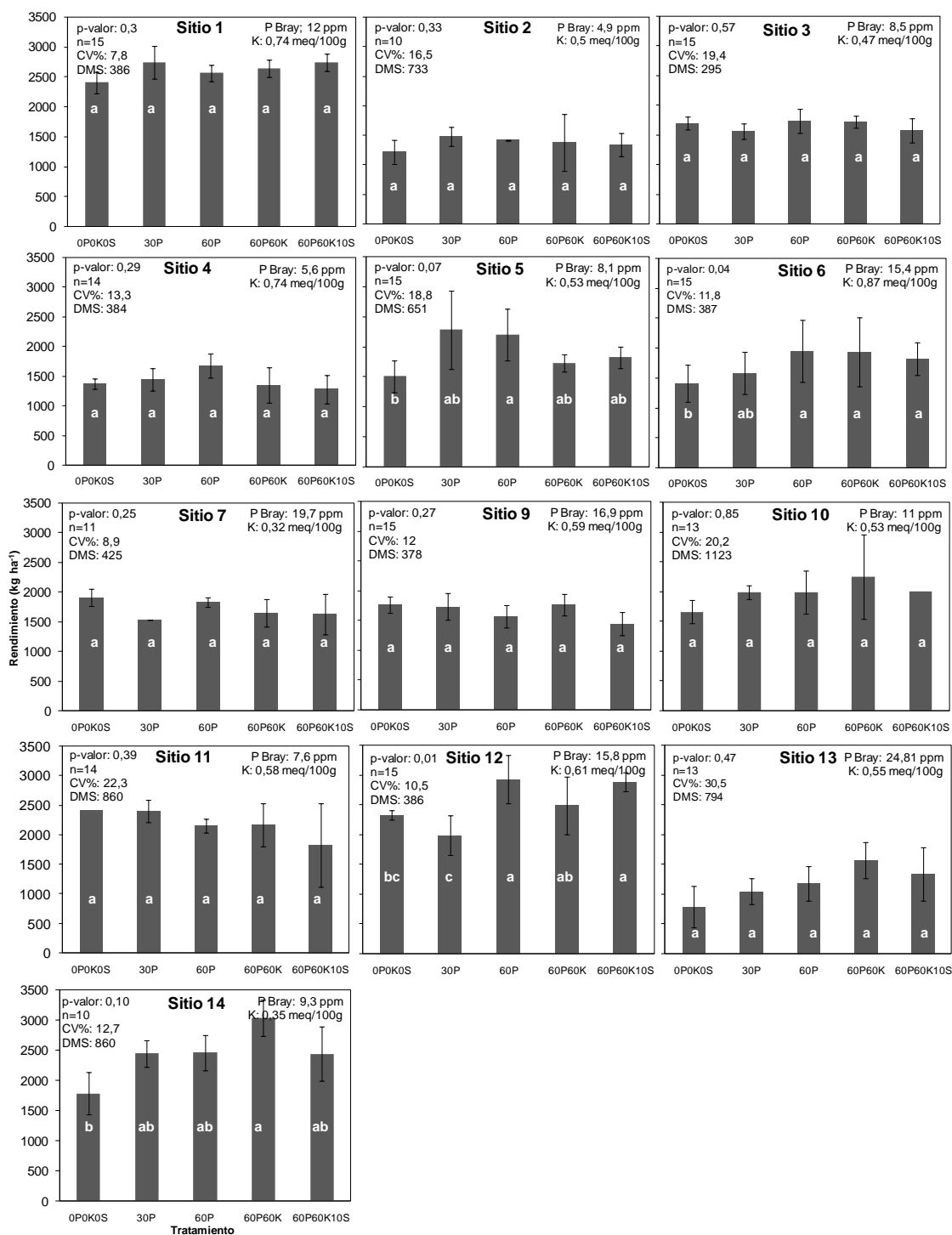


Figura 7: Rendimiento promedio por tratamiento para cada sitio de investigación, incluyendo el resultado de comparación de medias de LSD Fisher al 5 % (a, b, c) y el desvío estándar (σ).

En primer orden se puede apreciar que en ninguno de los sitios se obtuvo respuesta al Azufre (S).

Por otra parte, en sólo 4 sitios se observó respuesta a la fertilización con P, siendo la significancia de esta diferencia menor del 5% (p -valor $<0,05$) para dos sitios, 6 y 12, y menor del 10% (p -valor $<0,10$) para los dos restantes, 5 y 14 (Erro et al., 2012).

Se puede observar en el Cuadro 3 que en ninguno de los sitios en estudio hubo diferencias significativas entre el tratamiento 60P y 60P60K, es decir que no hubo diferencias entre los tratamientos frente al agregado de K. Cabe destacar que en este caso el p -valor del análisis de medias de LSD Fisher tiene en cuenta la variabilidad de todos los tratamientos, por ende se deben analizar sólo los tratamientos 0P0K, 60P0K y 60P60 K (ver capítulo 4.3).

Cuadro 3. Rendimiento promedio por tratamiento (kg ha^{-1}) según sitio experimental.

Sitio	Rendimiento medio por tratamiento (kg ha^{-1})			p -valor	CV (%)
	0P0K	60P0K	60P60K		
1	2406	2562	2641	0,0013	1
2	1223	1418	1382	0,87	29
3	1704	1739	1721	0,83	4
4	1363	1676	1342	0,25	11
5	1507	2203	1729	0,03	11
6	1401	1947	1935	0,09	15
7	1909	1829	1648	0,21	5
9	1772	1569	1771	0,4	11
10	1660	1990	2251	0,33	16
11	2410	2151	2168	0,71	11
12	2331	2928	2494	0,18	12
13	792	1183	1571	0,58	47
14	1774	2457	3028	0,15	47

4.2.2. Componentes del rendimiento

Como se puede observar en la Figura 8a hay una estrecha relación entre el número de granos y el rendimiento, es decir, a medida que el número de granos aumenta también lo hace el rendimiento, esto coincide con trabajos de Kantolic (2003). A su vez se puede ver una zona de “outliers” que presenta una línea de tendencia diferente, de mayor rendimiento y con una pendiente mayor. Es importante señalar que estos valores no se consideran en la regresión. Esto último ocurre en el sitio 12 (“Media Lucha”) pudiendo asociarse

a la variedad utilizada (DM 6.2i) dado que a un mismo número de granos presenta un PG mayor, Figura 8c.

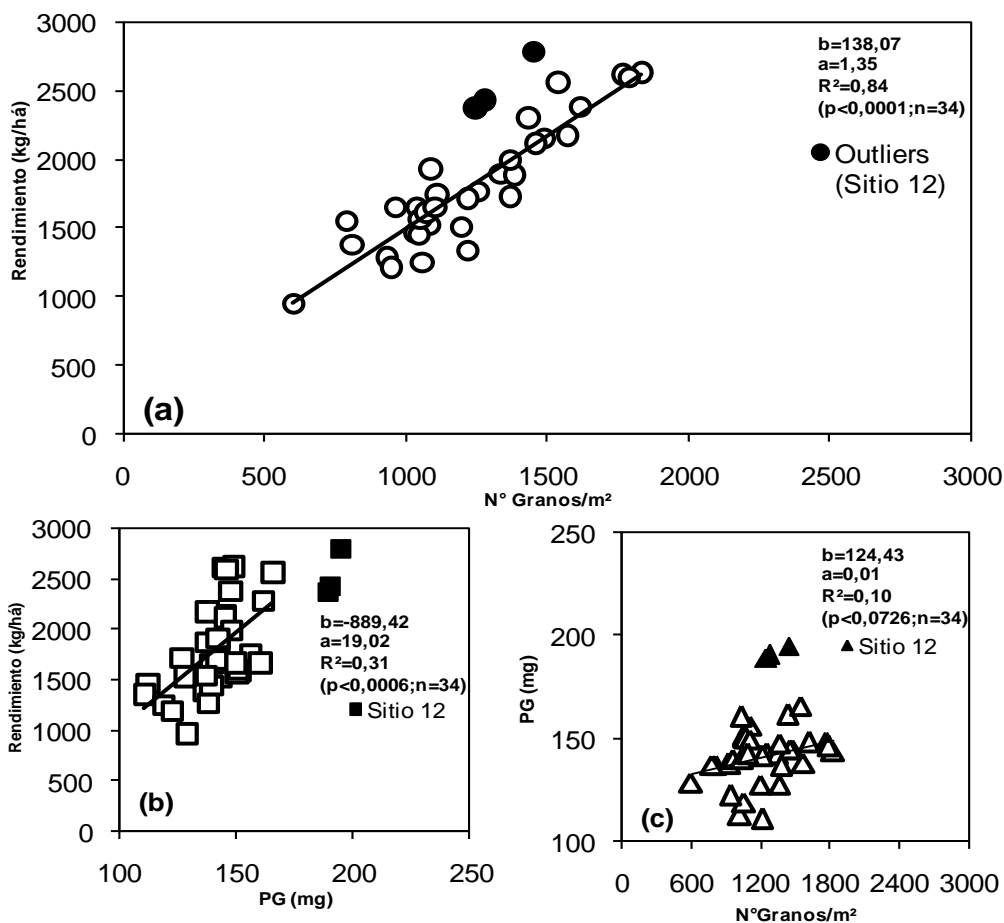
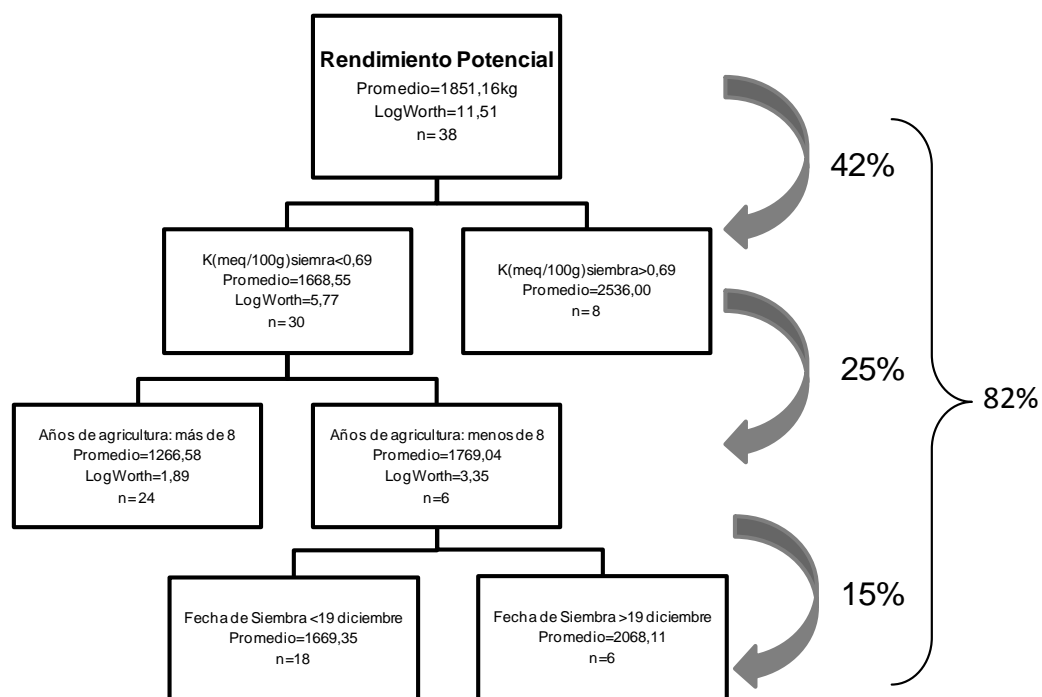


Figura 8: Rendimiento en función del número de granos (a), en función del PG (b), y PG en función del número de granos (c). Outliers (símbolos rellenos) no fueron considerados al momento de realizar las regresiones.

La Figura 8b muestra la relación existente entre el PG y el rendimiento, si bien el coeficiente de correlación es bajo ($R^2= 0,31$) la tendencia marca que en los sitios de bajo número grano se asociaron a los menores rendimientos, los cuales también presentaron menor PG (Figura 8c). Por tanto el ambiente que limitó al número de granos también imposibilitó la compensación por PG.

4.2.3. Factores determinantes del rendimiento

La agrupación de los factores que explicaron el rendimiento, se presenta en un árbol en la siguiente figura.



*Cabe destacar que el LogWorth sería el $-\log_{10}$ de p valor (0,05), siendo en este caso 1,3. Valores mayores a este último indican que la significancia es superior al 5% por ende justifica otro agrupamiento en el nivel inferior.

Figura 9: Árbol de partición de los factores que explican los rendimientos potenciales, siendo las flechas y los porcentajes el impacto individual de cada factor.

Como puede observarse en la Figura 9, el 82% de la variación en rendimiento potencial fue explicado por 3 factores ($R^2 = 0,82$). Es importante mencionar que factores que a priori se hubiera esperado que estén en mayor correlación con el rendimiento, tales como Población (pl/m^2) y precipitaciones en el período crítico resultaron no tener significancia para este año en particular.

El primer factor que se destaca como más importante explicando el 42% de la variación del rendimiento, es el nivel de K a la siembra. Según este análisis el nivel de K a la siembra que determina la agrupación en dos grandes grupos es 0,69 meq/100g suelo. El rendimiento promedio en chacras con más de 0,69 meq/100g es de 2536 kg ha^{-1} , el cual se destaca por ser el rendimiento promedio más elevado dentro de las agrupaciones obtenidas, mientras que el rendimiento promedio de chacras que está por debajo de 0,69 meq/100g a la siembra es de 1668 kg ha^{-1} , lo cual es una diferencia muy importante entre ambos grupos (34%).

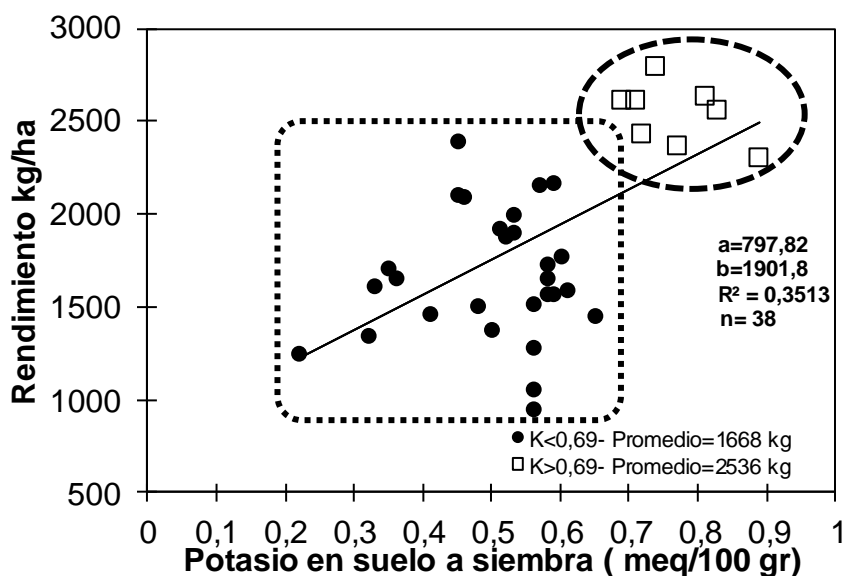


Figura 10: Impacto del nivel de K a la siembra, en el rendimiento potencial.

En la Figura 10 se puede observar que 0,69 meq/100g a la siembra, sería el nivel que separa ambos grupos, con un rendimiento promedio mayor del grupo de chacras con más de 0,69 meq/100g, el cual es muy similar al rendimiento superior del grupo de chacras que presenta menos de 0,69 meq/100g suelo.

Las chacras que para este caso se destacaron teniendo mayores niveles de K y mayor rendimiento, son el Sitio 1 (Young), 12 (Dolores) y 14 (La Concordia). Es importante aclarar que si bien el factor que separa altos y bajos rendimientos en este caso es el nivel de K a la siembra, puede ser que no todo se deba a este factor sino por otras características edáficas asociadas. De las variables incluidas en este tipo de análisis, el K fue la más relacionada al tipo de suelo, lo cual se vincula no sólo con características químicas sino también físicas (profundidad, compactación, contenido de materia orgánica, estructura, drenaje, etc).

Por otra parte para aquellos sitios que presentaban menos de 0,69 meq/100g suelo a la siembra, destacó como segundo factor de importancia en la variación del rendimiento, la historia de chacra o edad de la chacra. Con el mismo criterio subclasificó a aquellas chacras que tenían menos de 8 años de agricultura, y por fecha de siembra, explicando el 82% del rendimiento potencial (Figura 11).

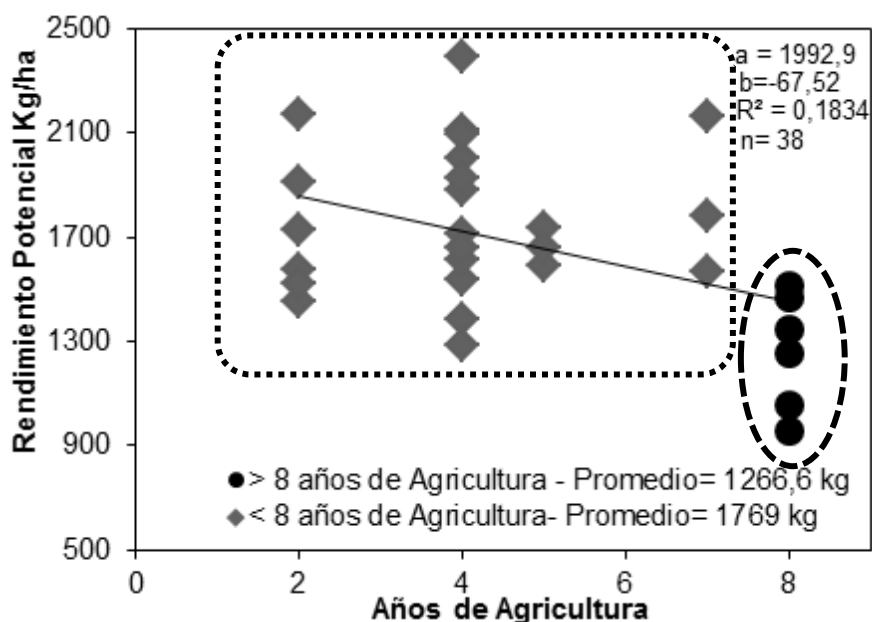


Figura 11: Partición del rendimiento potencial en función de los años de agricultura.

A mayor cantidad de años de agricultura los rendimientos potenciales son menores (900 kg ha^{-1}), siendo el promedio para estas chacras 1266 kg ha^{-1} , esto dado porque conjuga rendimientos máximos y mínimos muy bajos. Por otra parte se puede observar que con menos de 8 años de agricultura el promedio de los rendimientos potenciales aumenta 500 kg , situándose en 1769 kg ha^{-1} . Esta tendencia reafirma lo comentado por Mazzilli², para una serie de chacras de trigo de productores CREA en Uruguay, en donde sostiene que luego de cuatro años de agricultura continua se pierde el “efecto pastura” y los rendimientos máximos caen. Esta depresión del rendimiento podría estar asociada al “empeoramiento” de las propiedades físicas y químicas del suelo lo que limitaría el desarrollo radicular, capacidad de almacenaje de agua, CIC (menor disponibilidad de K, entre otras bases), etc.

² Mazzilli, S. 2011. Com. personal.

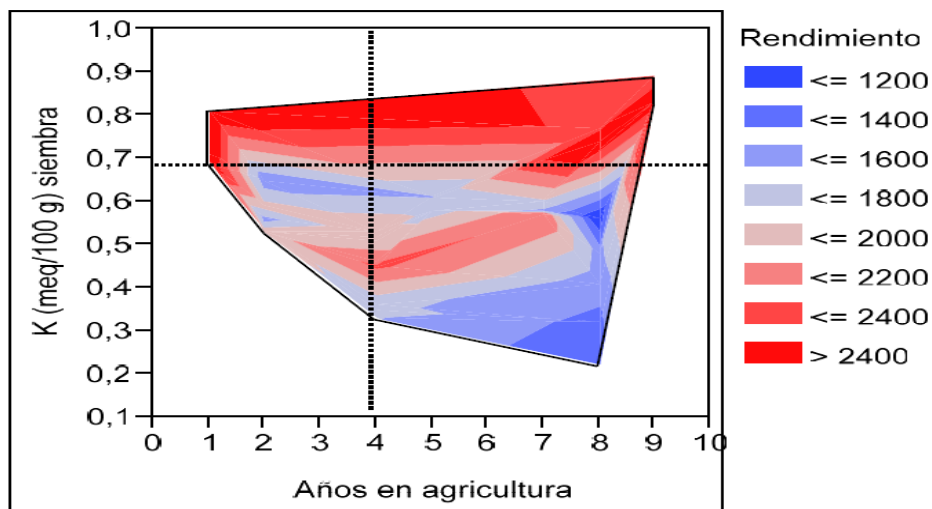


Figura 12: Efecto conjunto del nivel de K a la siembra y “edad de chacra” en el rendimiento potencial. Gráficas de rutina SAS. JMP 8.2, Contour Plot.

Independientemente de los años de agricultura, en la medida que el nivel de K a la siembra se encuentra por encima de 0,69 meq/100g los rendimientos tienden a ser elevados ($>2000 \text{ kg ha}^{-1}$). Puede observarse una relación entre los años de agricultura y el nivel de K a la siembra. En la medida que los sitios presentan menos años bajo el sistema de agricultura continua baja la frecuencia de sitios con bajos niveles de K. Además puede apreciarse que la edad de chacra tiene un efecto individual sobre los rendimientos potenciales dado que en la medida que aumentan los años bajo agricultura continua caen los rendimientos potenciales. Los mínimos rendimientos potenciales se obtienen con la combinación de bajos niveles de K a la siembra y mayor cantidad de años en agricultura continúa.

A posteriori el SAS. JMP 8.2 destacó como tercer variable en explicar los rendimientos a la fecha de siembra. Se puede observar que en siembras posteriores al 19 de diciembre se obtuvieron rendimientos potenciales mayores (2068 kg ha^{-1}) en comparación con las sembradas previo a esa fecha de siembra (1669 kg ha^{-1}).

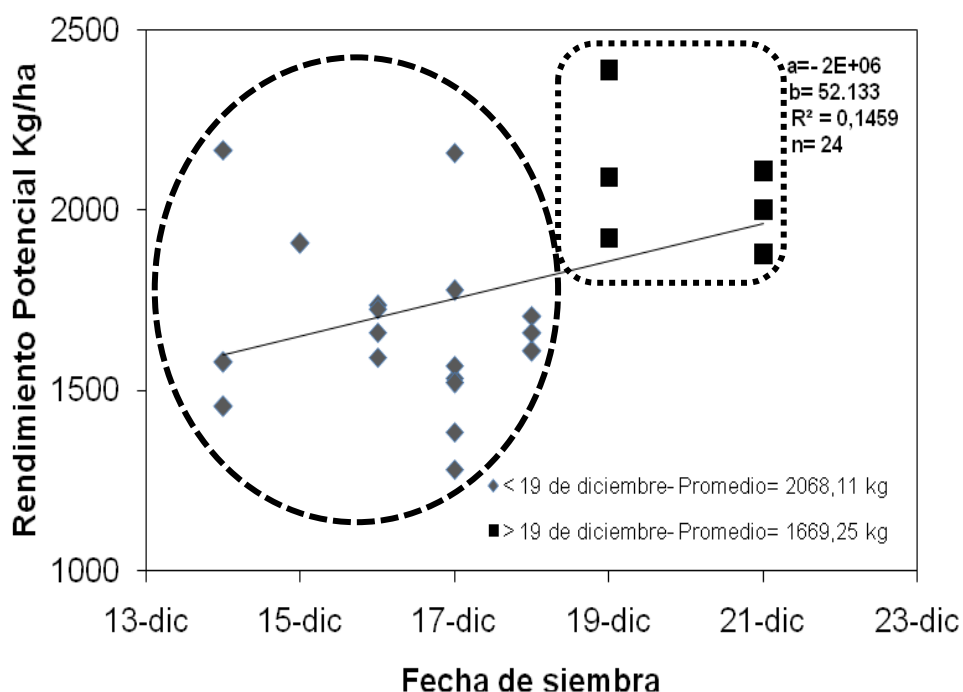


Figura 13: Efecto de la fecha de siembra en el rendimiento potencial.

Para este año en particular, puede verse que en siembras tardías (sobre el final de la estación de siembra) se obtuvieron rendimientos elevados. Este efecto estaría relacionado con las lluvias en las diferentes etapas fenológicas.

Si comparamos el promedio de lluvias para el ciclo del cultivo (siembra-R8), en fechas de siembra previas al 19 de diciembre vs. fechas de siembra posteriores al 19 de diciembre, se puede ver que no existieron diferencias importantes (423 vs. 431 mm, respectivamente) en el período mencionado (Figura 13).

Por otra parte para siembras posteriores al 19 de diciembre, en donde los rendimientos fueron superiores, las lluvias promedio en el período crítico R3-R6 fueron mayores (130 vs. 90 mm). A su vez para ese mismo conjunto de fechas de siembra las lluvias promedio para el período R6-R8 fueron menores (76 vs. 104 mm). Esto reafirma lo explicado en la caracterización climática, en donde se encontró que a mayor cantidad de lluvias en el período R6-R8 los rendimientos tendían a ser menores.

Este mismo análisis se hizo con el rendimiento del testigo, con el objetivo de corroborar si los factores que explican la variabilidad de rendimientos son los mismos que para los rendimientos potenciales.

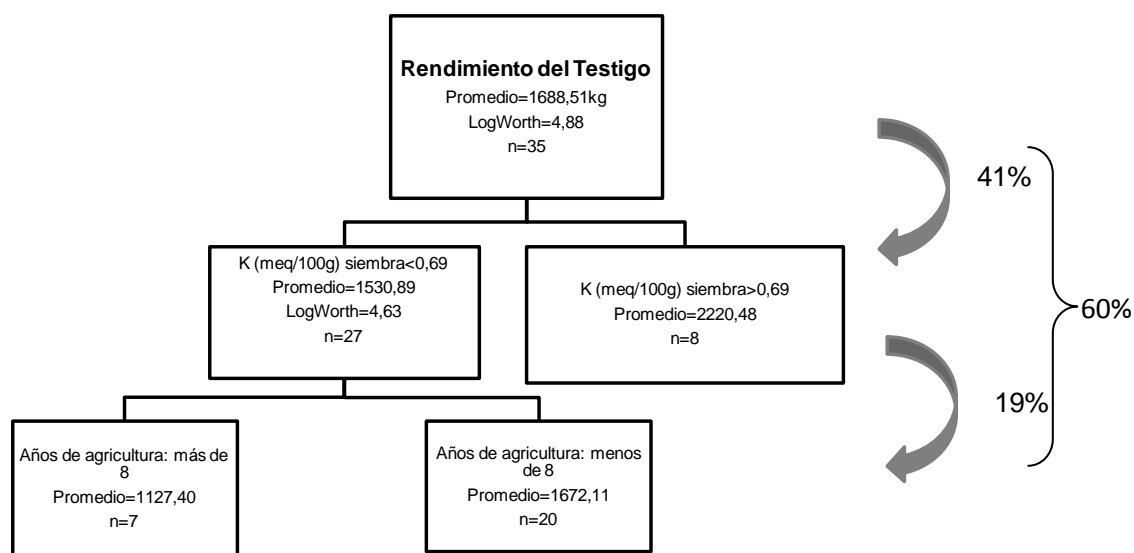


Figura 14: Árbol de partición de los factores que explican los rendimientos del testigo, siendo las flechas y los porcentajes impacto individual de cada factor.

Como se puede observar, los mismos dos factores que en el otro caso explicaban el 67%, acá explican el 60% de la variación de rendimiento observada, es decir que no varió la importancia relativa de ambos factores a pesar de la fertilización.

Se podría deducir que el agregado de P o K, si bien tiene un efecto de respuesta sitio a sitio, que más adelante se discutirá, no levantaría restricciones impuestas tales como años de agricultura y condiciones de suelo separado por el nivel de K a la siembra.

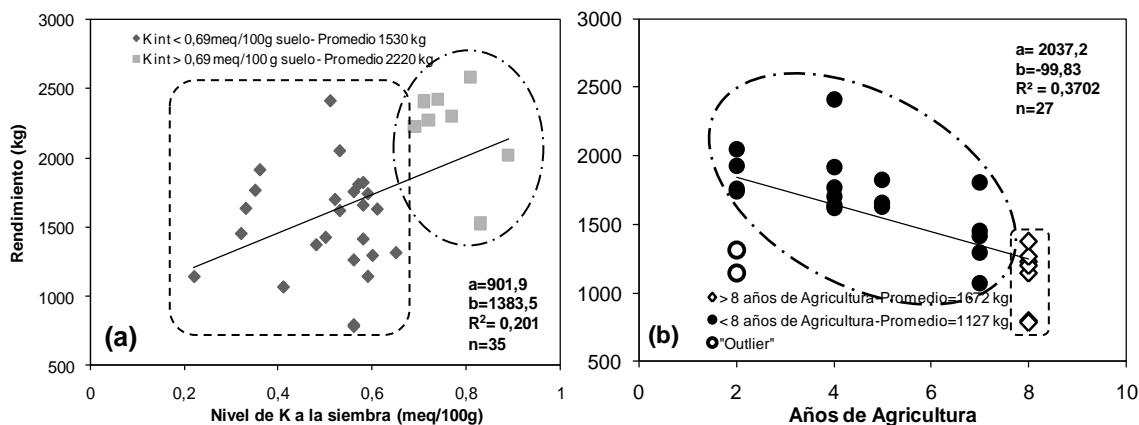


Figura 15: Impacto del nivel de K a la siembra (a) y la edad de chacra (b), en el rendimiento del testigo.

La primer variable que explica los rendimientos del testigo, al igual que el rendimiento potencial, es el nivel de K a la siembra (Figura 15a). A su vez puede observarse que el mismo nivel de K a la siembra que separaba dos grupos contrastantes de rendimiento potencial (0,69 meq/100g), es el que separa dos grupos de rendimiento testigo. Es importante destacar como niveles de K a la siembra por encima de 0,69 meq/100g suelo, sitúan los rendimientos del testigo aproximadamente un 42% por encima de aquellas chacras que poseen menores niveles de K a la siembra.

Por otra parte de aquellas chacras que se encuentran por debajo de 0,69 meq/100g suelo, se generan dos subgrupos teniendo como criterio de clasificación la edad de chacra.

Al graficar el rendimiento del testigo según años de agricultura (Figura 15b), si bien se puede observar amplia variabilidad, se pudo determinar que la tendencia es similar a lo que ocurre con el rendimiento potencial, es decir a medida que aumentan los años de agricultura el rendimiento tiende a disminuir. En aquellos sitios con más de 8 años de agricultura el rendimiento promedio se encuentra en 1127 kg ha^{-1} , mientras que en aquellos con menos de 8 años de agricultura es de 1672 kg ha^{-1} , habría dos sitios que si bien tienen poca historia de chacra (2 años), el rendimiento del tratamiento testigo es bajo, por lo que fueron considerados como “outliers”, pudiendo explicarse este comportamiento por un error en la información proporcionada por el arrendatario del sitio, dado que seguramente presentaban más años bajo agricultura continua.

4.3. RENDIMIENTO EN GRANO EN RESPUESTA AL AGREGADO DE K

A continuación se muestran los gráficos que representan los niveles de rendimiento en grano para cada sitio experimental. Se compararon los tratamientos 1, 3 y 4 (testigo, 60UP y 60UP+60UK respectivamente) para visualizar los efectos de la fertilización potásica en el rendimiento obtenido.

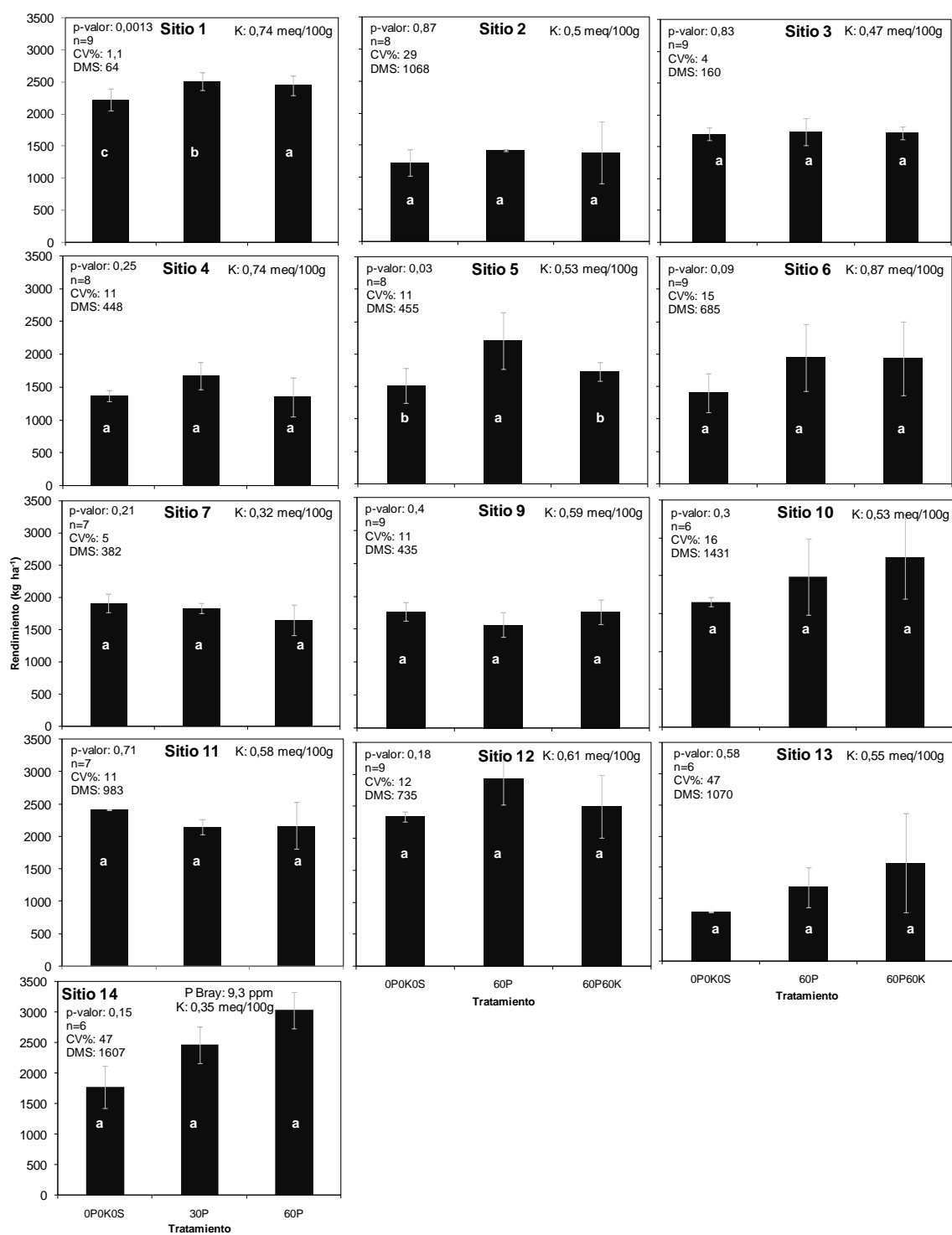


Figura 16: Rendimiento en grano de soja según dosis de K aplicado.

De los 13 sitios en estudio sólo se observó respuesta significativa al agregado de K en el sitio 1, al 5%. En los 12 sitios restantes las diferencias en rendimiento no tuvieron significancia entre los tratamientos a excepción del sitio 5, donde el tratamiento con 60 UP presentó respuesta significativa al agregado de P (figura 16). El sitio con respuesta (Sitio 1) presentó 0,74 meq/100g de K en suelo al momento de la siembra, lo que no concuerda con lo establecido por la bibliografía, la cual establece que, para cultivos de primera, es probable encontrar incremento en el rendimiento cuando se siembra en suelos que se encuentran con K por debajo de 0,34 meq/100g (Barbazán et al., 2011a). Numerosos trabajos (Howard et al., Ketcheson, Shear y Moschler, citados por Buah et al. (2000), Bordoli (2001), Fernández et al. (2008) establecen que los nutrientes menos móviles (P y K) en los sistemas de agricultura bajo cero laboreo, presentan una dinámica diferente frente a la agricultura convencional. Esto afecta la distribución vertical de estos nutrientes, la materia orgánica, la actividad microbiana, y raíces de los cultivos. Cuando se asocia a un régimen hídrico deficiente durante el cultivo, es esperable encontrar respuesta significativa al agregado de K independientemente de los valores de K int a la siembra. Lo anteriormente mencionado concuerda con las condiciones particulares del año en el que se instalaron los ensayos, donde se dio un año en donde las precipitaciones estuvieron por debajo de la media histórica. A esto se le suma que la mayoría de los sitios analizados presentaban una serie de por lo menos cuatro años de agricultura continua, pudiendo existir una distribución vertical de estos nutrientes en superficie estando inaccesible para el sistema radical del cultivo. Esto pudo ser la explicación por la que no existió respuesta al agregado de fertilizantes en los sitios donde los niveles de K int a la siembra estuvieron entorno al nivel crítico teórico (sitios 7 y 14).

En el sitio 14 además de las condiciones ya mencionadas, se eliminó uno de los tres bloques en estudio (ya que este se perdió por problemas de implantación) y las diferencias de los tratamientos entre los dos bloques restantes fueron muy grandes por lo que el programa estadístico utilizado (Infostat) no encontró diferencias significativas (DMS: 1607 kg) aunque sí se puede ver una clara tendencia en incremento de rendimiento frente al agregado de K.

4.4. INDICADORES DE SUELO

4.4.1. K intercambiable en suelo a siembra

El análisis de los datos obtenidos demuestra que la variación en los rendimientos no son consecuencia del contenido de K en el suelo, ya que se ve una amplia variabilidad entre éstos para los diferentes contenidos de K int.

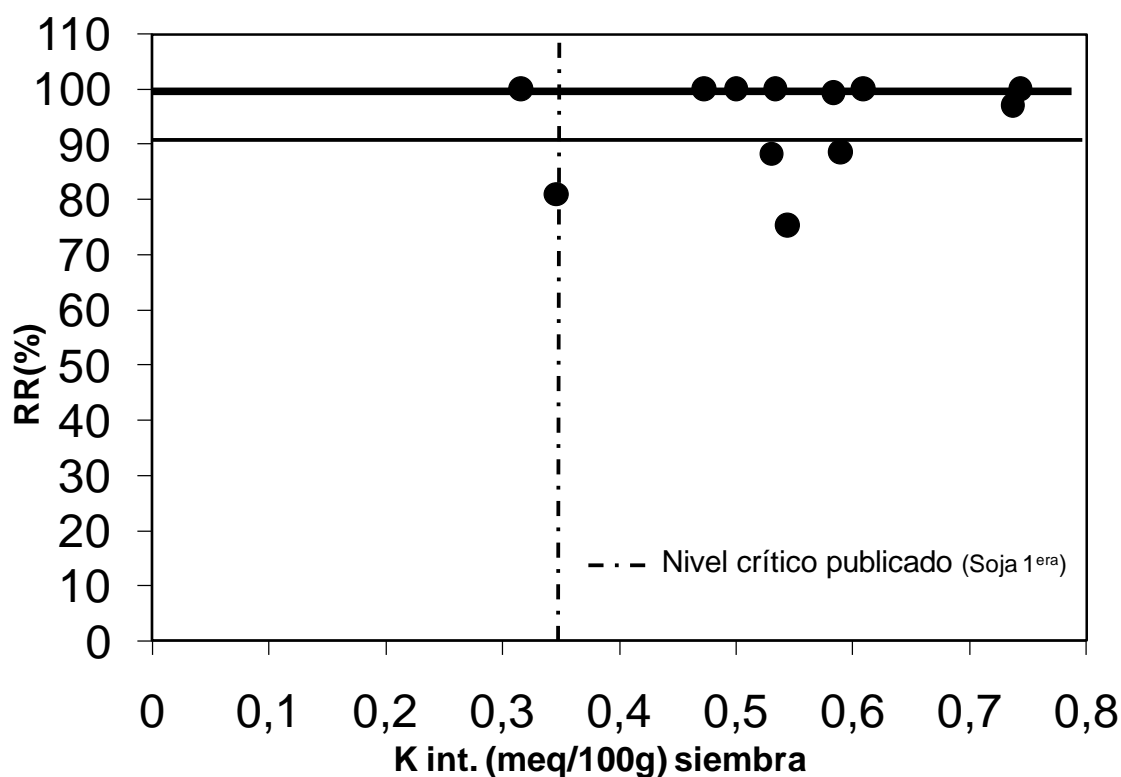


Figura 17: Relación entre rendimiento relativo y cantidad de K intercambiable en suelo al momento de la siembra. Nivel crítico publicado por Barbazán et al. (2011a) 0,34 meq/100g suelo.

Para un nivel de respuesta del 10%, considerando el rendimiento relativo entre el tratamiento 3 (testigo sin agregado de K) y 4 (agregado de 60 unidades de K_2O), se ve que por encima del nivel crítico publicado por Barbazán et al. (2011a), existieron niveles de respuesta iguales o por encima al 10%. De manera contraria se encontró un sitio (sitio 7) que no experimentó respuesta estando por debajo de 0,34 meq/100g se suelo al momento de la siembra, no siendo así para el sitio 14, el cual estando sobre el nivel crítico presentó una respuesta en grano cercana al 20%. Vale destacar que estas respuestas no pueden ser consideradas como tal ya que estos sitios no presentaron significancia en las diferencias entre los rendimientos

Por su parte, el sitio 1 presentó un incremento del 3% en rendimiento frente al agregado de K, la cual es insignificante en términos agronómicos.

En el gráfico no aparecen puntos que se encuentren por debajo del nivel crítico para cultivos de primera publicado por Barbazán et al. (2011a), que presenten un nivel de respuesta mayor a 10%. De esta manera, cuando se trata

de cultivos de segunda, hay que tener en cuenta la existencia de una reserva potencial de K que se encuentra en el rastrojo del cultivo antecesor, donde el K puede ser liberado durante el ciclo del cultivo.

Por lo tanto se acepta la hipótesis formulada para la realización de este trabajo de tesis ya que no se encontró respuesta significativa en rendimiento frente agregado de fertilizante cuando los niveles de K al momento de la siembra se encuentran por debajo del nivel crítico publicado por Barbazán et al. (2011a). Por otra parte, estos datos confirman la validez del análisis de suelos como indicador de la necesidad de realizar o no aplicaciones de K, aunque no es perfecto.

4.4.2. K intercambiable en suelo 30, 60 y 90 dps

De la misma manera que en el capítulo anterior, se relacionó el rendimiento relativo (tratamiento 3 y 4) y el contenido de K int. para 30, 60, 90 días post fertilización.

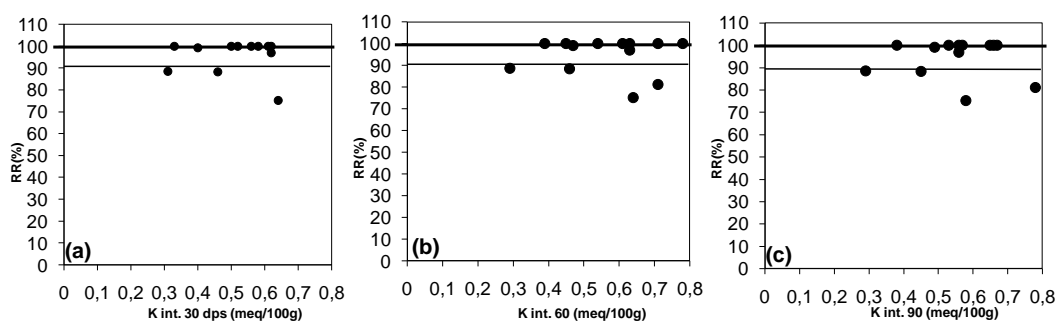


Figura 18: Relación entre RR y K int. a (a) 30, (b) 60 y (c) 90 dpf.

Los datos muestran que no existió relación entre el contenido de K en el suelo a los 30, 60 o 90 días de instalado el cultivo y el RR. De esta manera concluimos que lo que ocurre con el K en suelo posterior a la siembra no es condicionante de la respuesta. Al no encontrarse relación entre los niveles de K en suelo posterior a la siembra y el RR. Por lo tanto el indicador que debe tenerse en cuenta para decidir cuánto se debe fertilizar, es el K a la siembra tal como lo establece la bibliografía (Nelson et al. 2005, Polizotto 2008).

4.5. K DISPONIBLE EN EL RASTROJO DEL CULTIVO DE INVIERNO PREVIO

Existió gran variabilidad en las cantidades de rastrojo estimadas al momento de la siembra y a los 60 dpf (CV=35,7 y 39,9% respectivamente), al igual que en los contenidos de K en los mismos (CV=31,8 y 21,4% respectivamente).

En tanto se correlacionó el contenido de K en el rastrojo en kg ha^{-1} a los 60 días después de la fertilización con el K int. en suelo a los 60 y 90 días post fertilización. No se encontró relación significativa ($p=0,28$; 0,076 y 0,21 respectivamente) entre las variables en las dos regresiones. Esto determina que las variaciones en los niveles de K en suelo en los 60 días posteriores a la siembra no se explican por la cantidad de K en rastrojo (ver ANEXO No. 14 y 15).

Cuadro 4: Cantidad de rastrojo y contenido de K para siembra y 60 dpf por sitio

Sitio	Rastrojo	Siembra			60 días post-fertilización			$\Delta\text{kg K}$
		kgMS ha^{-1}	% K	kg K	kgMS ha^{-1}	% K	kg K	
1	Cebada	7024	0,56	39,3	6400	0,15	9,6	29,7
2	Raigrás	7088	0,19	13,5	6991	0,1	7	6,5
3	Raigrás	4955	0,15	7,4	4426	0,12	5,3	2,1
4	Trigo	5671	0,16	9,1	5548	0,13	7,2	1,9
5	Trigo	7817	0,15	11,7	6900	0,12	8,3	3,4
6	Trigo	9119	0,19	17,3	6689	0,09	6	11,3
7	Trigo	7546	0,26	19,6	5626	0,09	5,1	14,6
9	Trigo	2277	0,4	9,1	1939	0,1	1,9	7,2
10	Trigo	8586	0,29	24,9	2564	0,08	2,1	22,8
11	Trigo	8481	0,19	16,1	2395	0,09	2,2	14
12	Cebada	7256	0,4	29	6500	0,13	8,5	20,6
13	Trigo	3898	0,2	7,8	2474	0,16	4	3,8
14	Trigo	3827	0,17	6,5	3135	0,13	4,1	2,4
Promedio		6427	0,25	16,3	4737	0,11	5,5	10,8

Si bien también existe una amplia variación entre los aportes de K por parte de los diferentes residuos ($\text{CV}=62,8\%$), aquellos provenientes de cebada fueron los que significativamente aportaron mayor cantidad de K (25,2 vs. 9 y 4,3 kgK ha^{-1} para cebada, trigo y raigrás, respectivamente). En tanto no existió significancia entre los aportes de los residuos de trigo y raigrás (ver ANEXO No. 15).

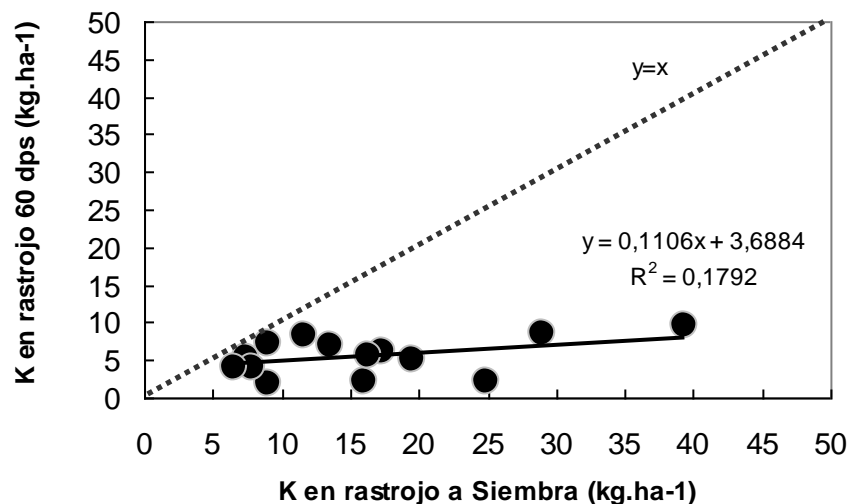


Figura 19: Relación entre K en rastrojo al momento de la siembra (kg ha^{-1}) y K en rastrojo a los 60 días post siembra (kg ha^{-1}).

Independientemente del contenido de K en el rastrojo al momento de la siembra, luego de 60 días de descomposición del mismo, no se encontraron diferencias significativas en las cantidades de K en rastrojo estimadas. Por lo que a medida que aumenta el valor de K en el residuo a la siembra, la disminución de la concentración del nutriente post 60 días en el mismo es mayor, por lo tanto el aporte de K por parte del rastrojo es mayor cuando se parte de altos valores iniciales. Los sitios 1, 7, 10, 11 y 12 fueron los aquellos sitios que presentaron mayor liberación de K de los rastrojos respecto a la media de todos los sitios. De estos sólo el sitio 1 fue el que experimentó diferencias significativas en rendimiento cuando se agregó K y además el que tuvo mayor liberación de K por parte del rastrojo. Por lo tanto, quizás la liberación de K por parte del rastrojo haya acotado el nivel de respuesta obtenido. El sitio 7 el cual parte con $0,32 \text{ meq}/100\text{g}$ de K int. al momento de la siembra (cercano al NC), no presentó diferencias significativas en los rendimientos obtenidos así como tampoco en las variaciones del K en suelo durante el período de investigación. Esto, sugiere que la liberación de K por parte del residuo de trigo, entre otras variables, podría explicar el nivel de rendimiento y evolución de K obtenidos. Los sitios 10 y 12, fueron los sitios que recibieron mayor cantidad de K por parte del rastrojo ($22,8$ y $20,6 \text{ kgK ha}^{-1}$ respectivamente). Si bien presentaron tendencias opuestas en lo que refiere a evolución del K en suelo, estos no presentaron respuesta frente al agregado de K.

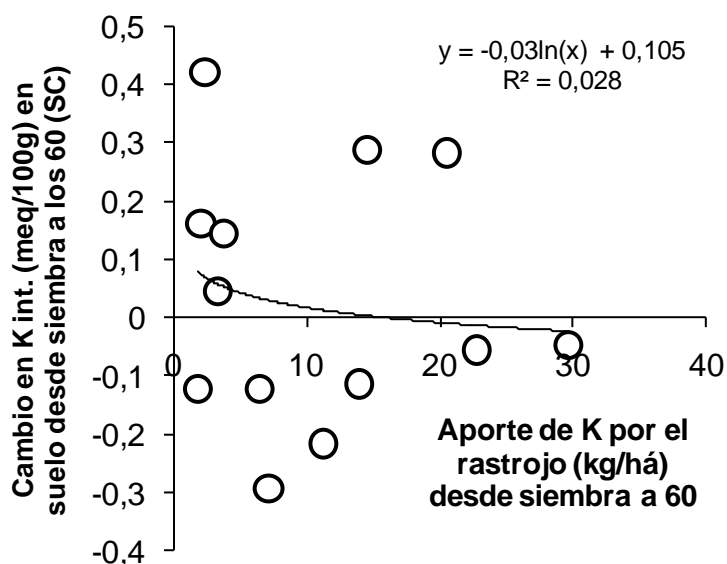


Figura 20: Relación entre el cambio de K int en suelo para los 60 días posteriores a la siembra y el aporte de rastrojo.

Si se trata de relacionar el aporte de K por parte del rastrojo con la dinámica del nutriente posterior a la siembra no se encuentra relación entre las mismas, es decir la evolución de K en el suelo no fue afectada por el K liberado por los residuos (Figura 8). Esto en gran medida es razonable, ya que si se necesita agregar $117 \text{ kg de K}_2\text{O ha}^{-1}$ por cada $0,1 \text{ meq/100g}$ por debajo del nivel crítico de referencia, $30 \text{ kg de K ha}^{-1}$ ($36 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$) modificarían muy poco los niveles de K en suelo.

4.6. EVOLUCIÓN DEL K EN EL SUELO

En esta sección se tratará de comprender y analizar cómo fue el comportamiento del K en suelo para un período de 90 días posterior a la siembra.

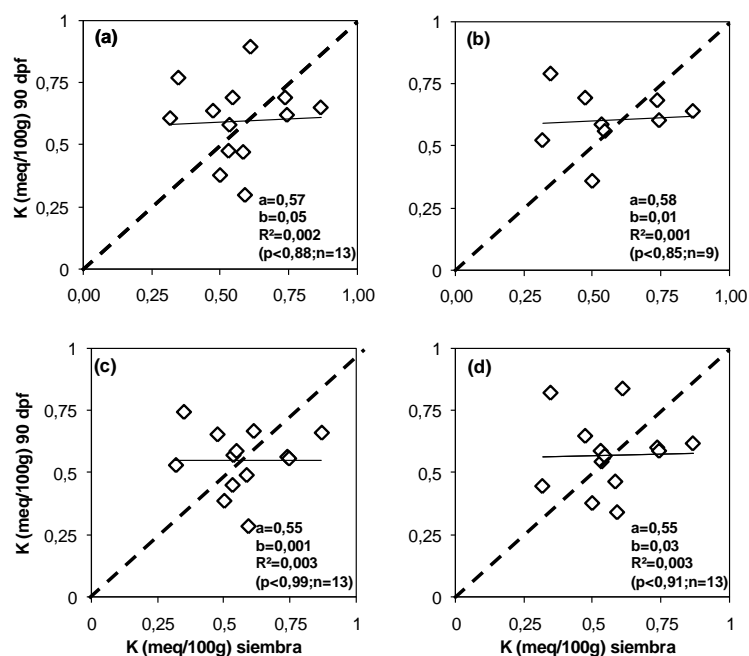


Figura 21: Relación entre K int. al momento de siembra y K a los 90 después de la fertilización, para diferentes situaciones: (a) Sin cultivo con rastrojo, (b) Sin cultivo y sin rastrojo, (c) Con cultivo sin fertilizar con K y (d) Con cultivo y fertilizado con K. (b) Se tomaron 9 valores ya que en cuatro de los sitios en estudios no se extrajeron muestras de la parcela sin cultivo y sin rastrojo. (- - -) Relación 1:1 para los niveles estudiados.

Para las cuatro situaciones no existe una relación clara entre el K int. al momento de la siembra y 90 días de aplicado el fertilizante ya que independientemente del valor inicial de K, a los 90 días el valor aumentó o disminuyó sin establecer una tendencia. Por su parte el p-valor de las regresiones son cercanas a 1 lo que nos indica que no existe significancia en el ajuste de los valores tomados.

De esta forma se procederá a analizar la variación del K en el suelo para cada sitio a lo largo del tiempo, agrupados por la tendencia de variación promedio que presentaron.

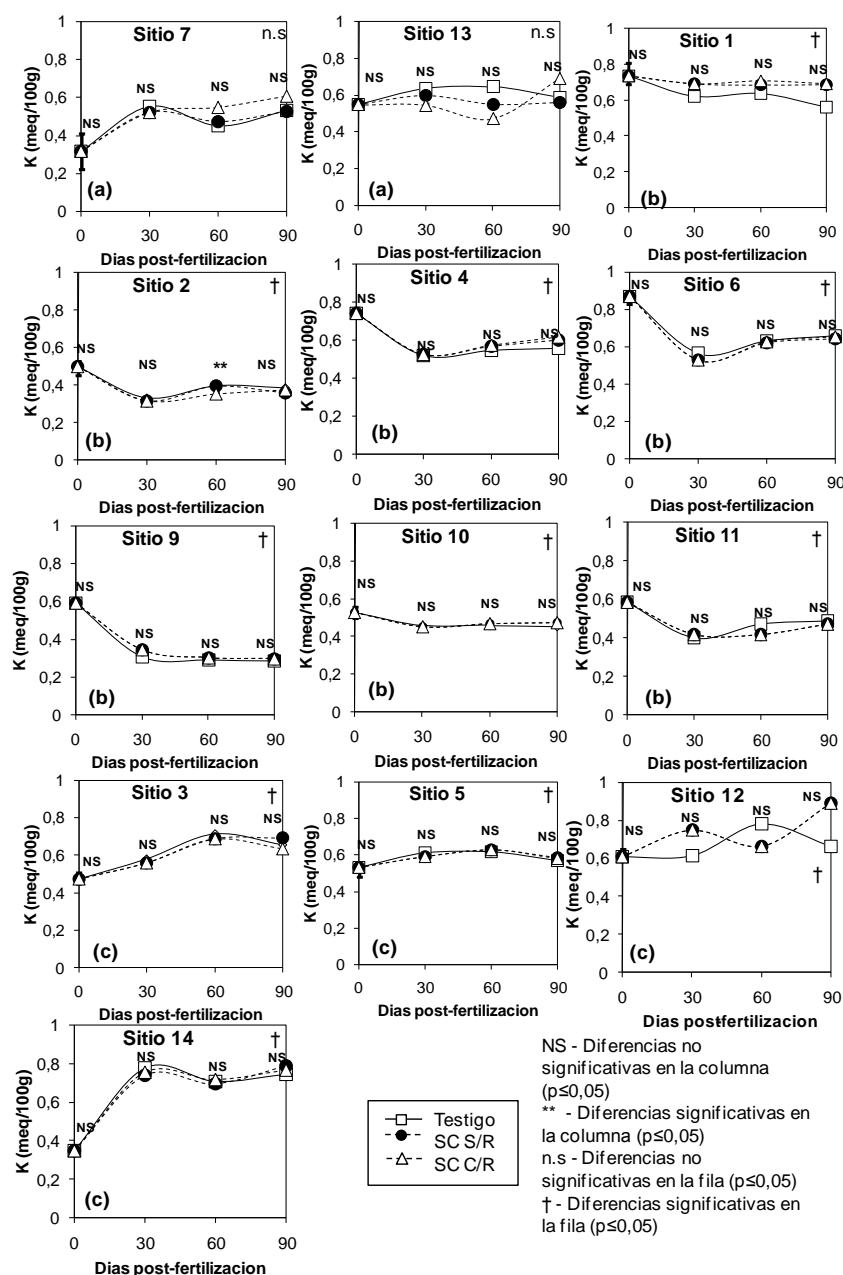


Figura 22: K int. en suelo para tratamientos sin fertilizar, con y sin cultivo (con y sin rastrojo para este último) por sitio. (a) Sitios que mantienen el nivel de K en suelo, (b) sitios que disminuyen los niveles de K en suelo y (c) sitios que aumentan los niveles de K en suelo

El nivel de K en suelo al día 0 resulta del valor promedio del análisis de los diferentes bloques, asumiendo que este valor fue representativo para los diferentes tratamientos.

Como se ve en el conjunto de gráficos, se clasifican los sitios en tres grupos. El primero corresponde a aquellos sitios que mantienen estable el nivel de K en suelo durante el período de tiempo estudiado. Si bien parecería que los niveles de K en suelo tienen cierta tendencia al alza, no puede ser tomada como tal ya que no existió significancia en las diferencias de las medias comparadas ($p \leq 0,05$).

El segundo grupo corresponde a los sitios experimentales que disminuyeron el nivel de K. Estos sitios presentaron un importante descenso (14%) en el primer período (0-30 dpf) lo que puede deberse a que el cultivo extrajo parte del K en suelo. Si bien existieron diferencias en el contenido de K el suelo a medida que transcurrió el tiempo, no lo fue cuando se compararon los tratamientos en un momento dado (excepto el sitio 2, donde a los 60 dpf el testigo sin cultivo superó al testigo sin fertilizar ($p \leq 0,05$)).

El tercer y último grupo hace referencia a los sitios que aumentaron los niveles de K durante los 90 días. Estos sitios si bien incrementaron el nivel de K durante el período en consideración, la magnitud de este incremento es diferente para los mismos, donde el sitio 3 presenta un incremento constante de 0,18 meq/100g para los primeros 30 días. Sin embargo el sitio 14 incrementa el valor inicial a 0,80 meq/100g para los tres tratamientos y luego los mantiene por los restantes 60 días en torno al valor anteriormente mencionado. El sitio 12 experimentó cambios en los niveles que si bien fueron al alza, los tratamientos, para una u otra fecha de muestreo, presentaron tasas de incremento diferentes para cada período de análisis.

A modo de tratar de explicar las variaciones de K int. se presentan a continuación los gráficos por sitio incluyendo las precipitaciones acumuladas por período (0-30, 30-60, 60-90 días post-fertilización) y el tratamiento 4 (agregado de 60UP y 60UK) ya que es sabido que tanto la evolución de K en suelo y la liberación de K por parte del rastrojo depende en gran medida de la disponibilidad de agua y el tipo de residuo (Schomberg y Steiner, 1999).

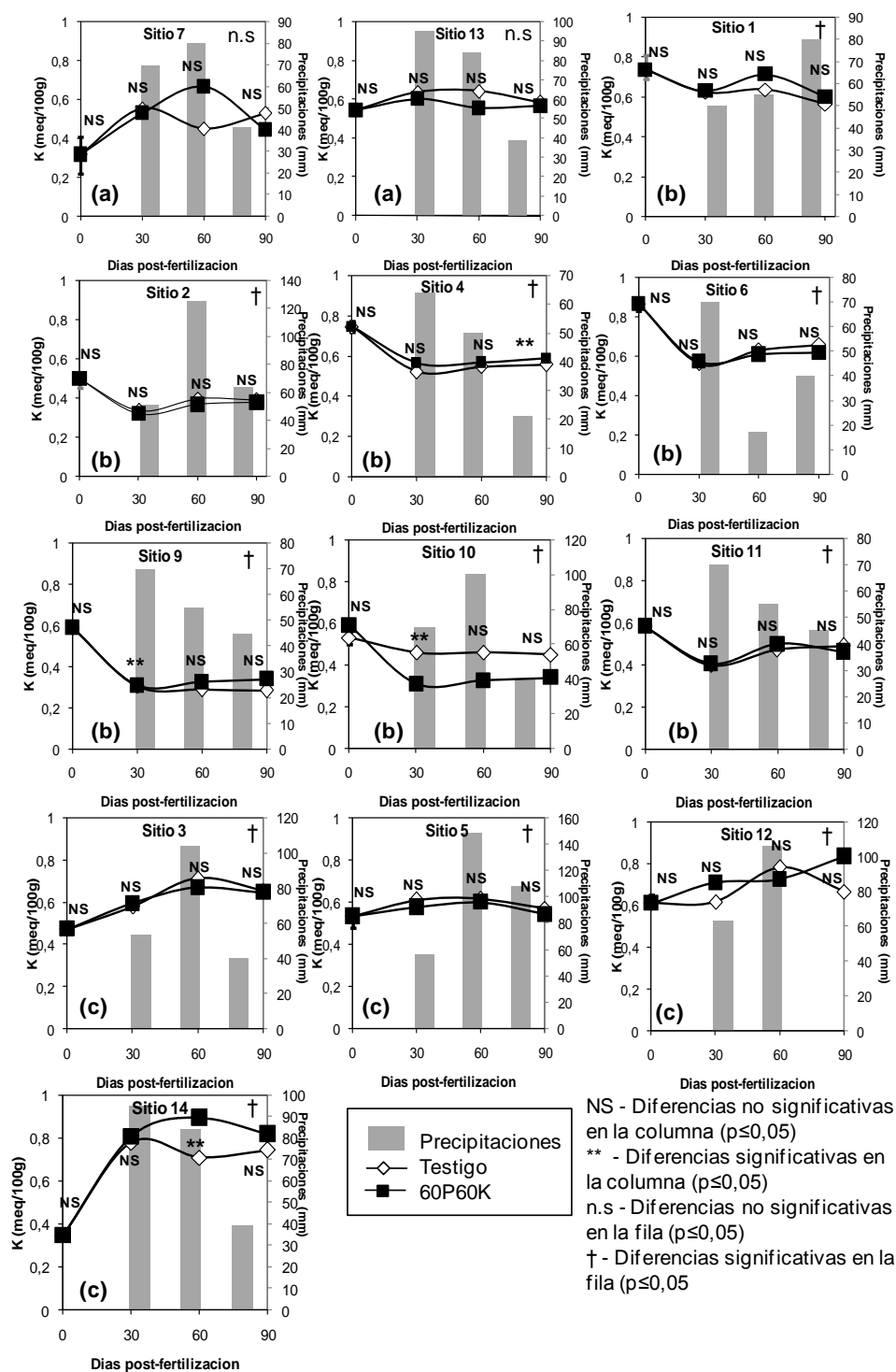


Figura 23: K int. en suelo para tratamientos con y sin fertilizar, con y sin cultivo (con y sin rastrojo para este último) por sitio y las precipitaciones acumuladas

por período (0-30, 30-60, 60-90 días post-fertilización). (a) Sitios que mantienen el nivel de K en suelo, (b) sitios que disminuyen los niveles de K en suelo y (c) sitios que aumentan los niveles de K en suelo.

En los sitios 7 y 13, en los cuales no se encontró significancia entre las diferencias de K en suelo para el período, se puede observar cierta tendencia que indica que los niveles de K en suelo aumentan, cuando la acumulación de precipitaciones es mayor.

Para el caso de los sitios que presentan descenso en el nivel de K en el suelo, la caída mencionada puede asociarse a las lluvias ocurridas ya que éstas pueden haber reducido en parte la limitante hídrica, lo que quizás haya incrementado la extracción de K en suelo. Igualmente el régimen de precipitaciones para la mayoría de los sitios fue similar.

Por último en los sitios 3, 12 y 14 parecería existir interacción entre la lluvia y los niveles de K en suelo. Donde para el período que presentó la mayor acumulación de precipitaciones, se registró el valor máximo de K en suelo para todos los tratamientos.

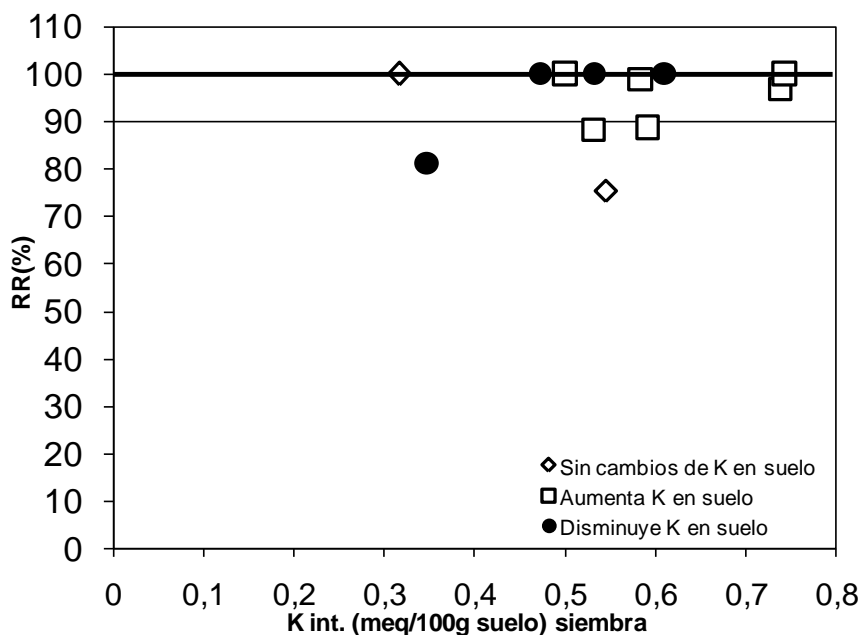


Figura 24: Relación entre K int. en suelo al momento de la siembra y RR% para cada grupo de sitios según tipo de evolución: sin cambios (rombos), aumento del K en suelo (cuadrados) y disminución del K en suelo (puntos).

En lo que refiere al agregado de fertilizante, resulta difícil poder predecir con certeza qué sucede realmente en el suelo luego que se agrega el fertilizante. Esto claramente se refleja en las diferentes evoluciones encontradas en el tratamiento que recibió la aplicación de 60UK. En la figura 24 se muestra la relación entre el K int. en suelo y el RR obtenido para cada tipo de evolución encontrada. Independientemente del tipo de evolución que se haya encontrado, se desprende de los gráficos que en la mayoría de los sitios no se encontró respuesta (>10%) a la fertilización, ya que si bien los niveles presentaron cambios a lo largo del tiempo, éstos no determinaron que la cantidad de K necesaria para el cultivo fuera limitante. Por lo tanto, si bien los niveles de K pueden cambiar a lo largo del tiempo, el cultivo detectará estos cambios en la medida que los mismos se expresen por debajo de sus requerimientos en las etapas fenológicas de mayor exigencia por el nutriente.

En la Figura 25 se presenta la relación entre el cambio de K en el testigo sin fertilizar con K y el tratamiento fertilizado con K a los 90 días post-fertilización.

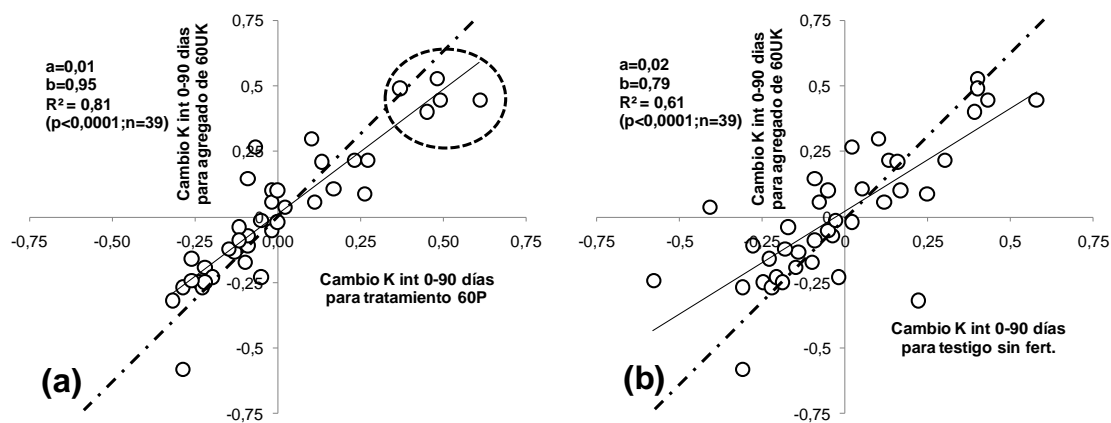


Figura 25: (a) Relación entre el cambio de K int. en suelo para el tratamiento 4 (agregado de 60UP y 60UK) 0-90 días y el cambio de K intercambiable para el tratamiento 3 (agregado de 60UP) durante el mismo período, y (b) relación entre el cambio de K intercambiable 0-90 días para el tratamiento 1 (testigo sin fertilizar) y el cambio de K int. en suelo para el tratamiento 4 (fertilizado con KCl) para el mismo período. Outliers (puntos dentro del círculo punteado). Línea punteada indica $y=x$.

Como se visualiza en los gráficos anteriores existe una clara relación entre las variaciones de K int. en suelo cuando no se le agrega fertilizante

potásico y cuando éste es aplicado. En la Figura 25a se observa que cuando los niveles de K en suelo disminuyen con el tiempo, el agregado de K, no incrementa los valores de K int. en suelo. Por su parte cuando se compara el tratamiento sin fertilizar y el fertilizado (Figura 25b) se ve que la tendencia se mantiene, aunque la pendiente de la recta es menor, lo que significa que a medida que aumentan los valores de K en suelo, el incremento de este es menor por cada unidad de K agregado. Por lo tanto, a los 90 días con el agregado de K, los incrementos de K int fueron del orden de -0,60 a 0,5 (se considera incremento negativo para los casos en que descendió el K int. en suelo) ya que existe un porcentaje de retención diferencial del K proveniente del fertilizante según la capacidad de fijación de cada suelo. De esta manera se presenta la misma comparación anterior pero tomando en cuenta el cambio que existe en el testigo sin cultivo.

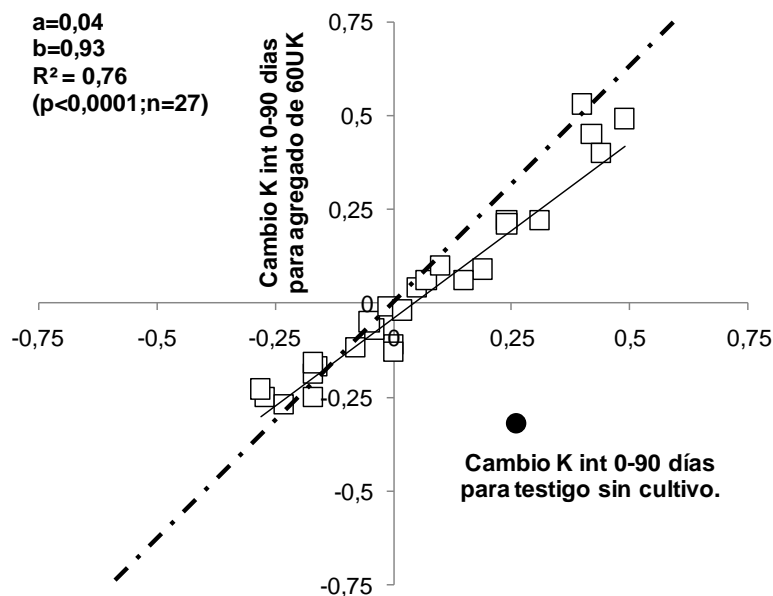


Figura 26: Relación entre el cambio de K int del testigo sin cultivo (sin rastrojo) y el tratamiento 4 (agregado de 60UP y 60UK). Cuadrados sin relleno corresponden a los sitios 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 13 y 14 (están fuera de la regresión los sitios 9, 10, 11 y 12 ya que no se les quitó el 50% del rastrojo del tratamiento 6); Punto negro Outlier. Línea de tendencia para el total de los puntos.

Cuando se considera como variable independiente el cambio de K int. teniendo en cuenta el testigo sin fertilizar para un lapso de 90 días, se puede ver que independientemente del cambio que haya tenido el K en el suelo en el tratamiento sin cultivo y sin rastrojo, cuando se agrega fertilizante, el cambio en

el nivel de K en el suelo para este tratamiento es similar al que ocurrió en el testigo sin cultivo.

El modelo es significativo y el R^2 es 0,73 lo que significa que el 73% de la variación en el K int. se explica por el agregado de K. El 27% restante, podría estar explicado por otras características del suelo que determinan la capacidad de amortiguar los cambios de K int., tales como: contenido y tipo de arcilla, CIC, relación entre otros cationes y K no intercambiable, que no fueron analizados en este estudio. Por otro lado, el valor de equivalente fertilizante sugiere que hay un aumento de K int. suponiendo que no hay fijación por arcillas ni lixiviación y que todo el K del fertilizante ocupará instantáneamente todas las posiciones de intercambio, dado que se supone la existencia de un contacto íntimo entre el fertilizante y el suelo en los primeros 20 cm con una densidad aparente promedio de 1,25 g/cm³. En condiciones de campo y en sistemas de laboreo reducido, el fertilizante agregado queda en superficie, por lo cual se minimiza el contacto suelo-fertilizante. Además el análisis de suelos realizado en los 20 cm no detecta la variación producida en los primeros cm del perfil.

Probablemente esta forma de localización del fertilizante (en el sentido estricto de la localización: minimizar el contacto fertilizante suelo), reducirían los procesos de fijación del K por parte del suelo y entonces el agregado de K para la planta puede ser más eficiente.

4.7. CONCENTRACIÓN DE K EN PLANTA

En el siguiente conjunto de gráficos se muestra el contenido de K foliar expresado como porcentaje de tejido seco en función de los diferentes tratamientos (1, 3, 4 y 5). De los trece sitios en estudio, tan solo se pudo evaluar los niveles de K en hoja en ocho de estos (1, 6, 9, 10, 11, 12, 13 y 14) ya que las muestras de hoja de los sitios 2, 3, 4, 5 y 7 no llegaron en buen estado de conservación al día del procesamiento en el laboratorio.

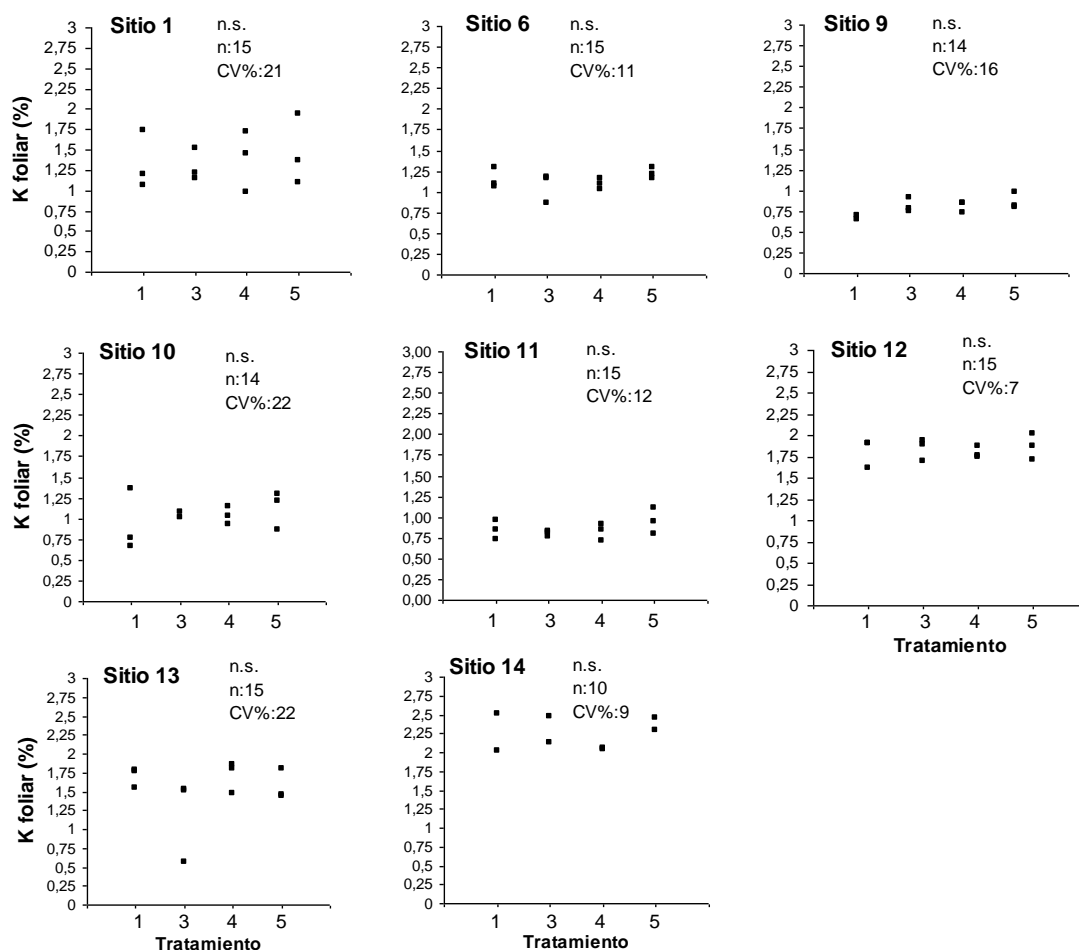


Figura 27: Niveles de K en hoja para cada tratamiento a los 60 días pos siembra (R1-R2). Tratamiento 1: 0, tratamiento 3: 60P, tratamiento 4: 60P+60K y tratamiento 5: 60P+60K+10S. CV%: Coeficiente de variación, n: número total de valores utilizados y n.s.: valores sin deferencia estadísticamente significativa ($p=0,05$).

El contenido de K (%) en hoja varió dependiendo del sitio, en forma significativa ($p<0,0001$). De la información obtenida para cada sitio puede decirse que este hecho no se correlacionó con los años de agricultura, número de sojas previas, antecesor inmediato. Sin embargo, se pudo apreciar cierta dependencia del nivel de K en hoja con el tipo de suelo, donde se pudo diferenciar dos grupos de acuerdo al nivel de K en hoja: los que presentaron los mayores niveles de K (niveles entre 1,50 y 2,27% de K) y el grupo con niveles menores a 1,14% de K en hoja.

Dentro del primer grupo se ubican los sitios 1, 12, 13 y 14, siendo el sitio 1 el de nivel menor de K (1,50%) para este grupo, y el sitio 14 el de nivel más alto de todos los sitios (2,27%). Este grupo se encuentra ubicado sobre suelos de textura franco arcillosa a franco arcillo limosa, de fertilidad natural alta, pertenecientes al grupo de suelo CONEAT 11.2 y 11.5 de la unidad Fray Bentos y Young (escala 1:1.000.000). Los sitios con valores promedios menores a 1,14% de K (sitios 6, 9, 10, y 11) se ubican en su mayoría sobre la unidad Bellaco de la carta a escala 1:1.000.000, y los grupos de suelos CONEAT para estos sitios son 10.2 y 9.1, conformados por sedimentos limo arcillosos, con arena en cantidades significativas.

El contenido de K foliar promedio de todos los tratamientos varió según el sitio. En los diferentes sitios analizados no hubo efecto significativo de la fertilización, aunque sí se pudo apreciar cierta tendencia al incremento en los niveles de K foliar con el tratamiento 5 (60P+60K+10S) respecto al testigo sin fertilizar. Estos incrementos en los niveles de K significaron un aumento promedio en porcentaje de 13, 8, 7, 20, 13 y 5 para los sitios 1, 6, 9, 10, 11 y 14, respectivamente. En los sitios 12 y 13 no existió aumento en los niveles de K foliar frente al agregado de este nutriente. En los sitios 1, 6, 9, 10, 11 y 13 la concentración promedio de K fue inferior al valor crítico sugerido para soja (1,76%) según Reuter y Robinson (1997), indicando que aún con el agregado de K no se llegó a los niveles de concentración publicado. En cambio, en los sitios 13 y 14, todos los valores de K en hoja, incluyendo el testigo, fueron superiores a este nivel.

Por otra parte se estudió la relación entre K en suelo y el % de K foliar para los sitios en estudio, la cual se presenta a continuación.

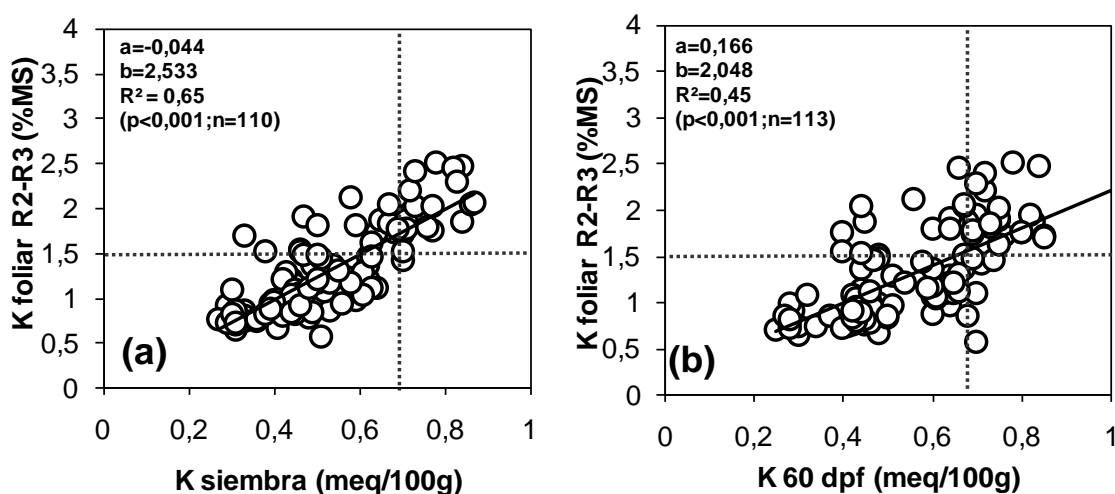


Figura 28: K foliar en R2-R3 según contenido de K int en suelo (a) al momento de la siembra y (b) 60 después de la fertilización para los sitios en estudio.

A medida que aumenta el nivel de K int. en suelo, el %K foliar se incrementa consistentemente, lo que no quiere decir que los niveles de K en suelo no se relacionan con la concentración de K en planta tal como lo establecen Barbagelata et al. (2007).

En cuanto a la relación que existe en la Figura 28a, ésta se explica en mayor medida por la variable K a siembra, el cual, para estos casos en particular, determina en un 65% el contenido de K en hoja al momento del período crítico. Lo mismo sucede en la Figura 28b, aunque el K en suelo a los 60 días post-fertilización (el cual coincide en promedio con el K int. en suelo al momento de R2-R3) explica o determina en menor medida el contenido foliar del nutriente (45%).

No se encontró relación entre el contenido de K en hoja y el rendimiento relativo, lo que concuerda con lo reportado por Barbagelata et al. (2007). Sin embargo se pudo observar que, en general, los sitios con rendimientos extremos (máximos y mínimos) coinciden con los valores de K en hoja promedios máximos y mínimos (sitio 9). Lo contrario se dió en los sitios 12 y 14, sitios que presentaron el mayor rendimiento, coincidiendo con el mayor nivel promedio de K en hoja. Para los demás sitios analizados la tendencia no es clara, y no puede establecerse una correlación entre nivel de K en hoja y rendimiento.

Seguramente cuando se analizan los casos extremos anteriormente mencionados, cabe la posibilidad de que la diferencia (en promedio 816 kg ha^{-1}) que hubo entre estos sitios (12 y 14 vs. 9), esté atribuida a otros factores y no exclusivamente a la fertilización potásica realizada ya que en términos de evolución de K en suelo, los sitios 12 y 14 incrementaron significativamente los niveles de K en suelo en el periodo de 60 días (R2-R3), en cambio sucedió lo contrario con el sitio 9. Ésto puede haber permitido una mejor absorción y utilización del K por la planta y así conseguir mejorar los niveles de K en hoja.

5. CONCLUSIONES

1. Considerando las particularidades del año en donde las precipitaciones estuvieron por debajo de la media histórica, es de suma importancia destacar que el componente de mayor peso a la hora de explicar la variación del rendimiento fue el nivel de K int a la siembra. Los niveles de K int a la siembra seguramente sean coincidentes con otras propiedades de los suelos que en este trabajo no fueron evaluadas (propiedad física del suelo, contenido de materia orgánica, otras propiedades químicas, profundidad del suelo, textura).
2. En segundo lugar aparece la edad de chacra, como años post-pastura (8 años, R^2 0,67) en determinar los niveles de rendimiento máximos y mínimos obtenidos. De esta manera aquellas chacras que presentaron niveles de K int > 0,69 meq/100g de suelo a siembra rindieron en promedio 2536 kg ha⁻¹, mientras que las que se posicionaron por debajo de 0,69 meq/100g promediaron en 1668 kg ha⁻¹. Este grupo de menor rendimiento se dividió en dos grupos tomando como criterio la edad de chara, donde aquellos sitios que se encontraban con más de 8 años post-pastura o agricultura continua rindieron en promedio 1266 kg ha⁻¹, en contraposición a aquellos sitios con menor historia agrícola que se encuentran 503 kg ha⁻¹ (37 %) por encima de los anteriores.
3. Por su parte cuando se realizó este mismo análisis para los rendimientos sin agregado de fertilizante, nuevamente las mismas variables tomaron la misma relevancia. Esto determina que si bien el agregado de fertilizante (en la medida que sea necesario) permite mejorar los rendimientos, no elimina las restricciones impuestas por la historia agrícola.
4. Solamente en el 8% de los sitios, el cultivo experimentó incrementos significativos al 5%, en el rendimiento cuando se le agregó 60 unidades de K₂O.
5. El incremento de rendimiento (3% respecto al tratamiento con agregado de 60UP y 60UK) por agregado de K no era esperable para el sitio 1, ya que este sitio presentaba valores de K int a la siembra (0,74 meq/100g suelo) por encima del nivel crítico manejado por la bibliografía, mientras que en los sitios 7 y 14 era esperable encontrar respuesta al agregado de K ya que estos sitios presentaron valores de K int a la siembra en torno a los niveles críticos de referencia manejados en el trabajo (0,32 y 0,35 meq/100g suelo respectivamente). Esto permite aceptar la hipótesis planteada al inicio del trabajo ya que el 85% de los sitios se encontraban por encima de los niveles críticos.
6. Tampoco se encontró relación entre el K int. en suelo a los 30, 60 y 90 dpf, y el RR. Esto permitiría descartar la idea de intentar explicar la falta de

respuesta en rendimiento, por la evolución que el K presente en los posteriores 90 días de realizado el análisis de suelo ya que la evolución del K en el suelo posterior a la siembra no condiciona los niveles de respuesta.

7. Específicamente al K int. en el suelo posterior a la siembra, existieron tres tipos de evolución: niveles de K que bajan (en torno a un 20%), aumentan (en torno a un 41%) y se mantienen a lo largo del tiempo (19%). Las mismas son independientes de la fertilización y respuesta vegetal además de no relacionarse con el pool de K en el rastrojo ni con el aporte de los mismos. Las variaciones podrían explicarse básicamente por la capacidad del suelo de retener K dependiendo del tipo de arcilla que presenta, régimen hídrico, estructura física del suelo. Esto evidenciaría que es necesario realizar más estudios de dinámica de este nutriente en suelo, considerando otras propiedades del suelo y además del clima.

8. El K a nivel foliar dependió del nivel inicial de K en el suelo, no encontrándose diferencias significativas con el agregado de K. Aunque si se pudo observar que los niveles de K en hoja coinciden con los diferentes tipos de suelos en que se encontraban los ensayos.

9. El % de K en hoja al momento de plena floración puede ser considerado como indicador del estado nutricional del cultivo. El nivel crítico manejado por la bibliografía no sería utilizado en este caso como un criterio de decisión para corregir posibles deficiencias ya que no existió relación entre el contenido de K en hoja y la respuesta a la fertilización. Además el momento más oportuno para corregir posibles deficiencias de K es al momento de la siembra.

6. RESUMEN

En Uruguay la agricultura se ubicó tradicionalmente en zonas donde los niveles de K en suelo se encontraban por encima de los requerimientos de los diferentes cultivos. Este hecho llevó a que los estudios realizados para este nutriente en el país sean aún relativamente escasos a los realizados en otros nutrientes. Sin embargo, en los últimos años, se han incrementado los trabajos tendientes al estudio de la respuesta al K en diferentes cultivos y ambientes, como consecuencia del incremento en la frecuencia de situaciones de deficiencia. A su vez los cultivos de segunda han recibido muy poca atención en relación a las necesidades de ajuste de la fertilización, ya que existe en general el concepto de aprovechar la residualidad de fertilizaciones del cultivo de invierno que lo precede. Con el objetivo de contestar las diferentes interrogantes sobre dinámica y respuesta al agregado de K en cultivos de segunda de soja, se instaló una red de ensayos en diferentes chacras comerciales ubicadas en Soriano y Río Negro. Dentro de los sitios analizados, sólo se pudo encontrar respuesta significativa al agregado de K en uno de los trece sitios, aunque en el 30% de ellos existió respuesta al agregado de P. La zafra 2010/2011 se caracterizó por un verano seco, lo que determinó que no exista una relación consistente entre las lluvias totales durante el ciclo del cultivo o el período crítico (R3-R6) y los rendimientos obtenidos. Se estudiaron los factores más importantes en explicar la variación de los rendimientos tanto a nivel potencial como a nivel de los testigos. En este sentido, el 67% del rendimiento potencial se explicó por: el nivel de K a la siembra (42%) como posible indicador de calidad del suelo y la historia de chacra (25%). Ambos explican en similar medida (62%) la variación del rendimiento en grano para el rendimiento testigo. Esto evidenciaría que las restricciones edáficas, a determinado nivel ya no pueden ser corregidas por la fertilización. En cuanto a la evolución del K int. en el suelo, fueron identificadas tres evoluciones contrastantes del K desde la siembra a los 90 días post-siembra. No fue posible relacionar la respuesta al agregado de K a la siembra, ni con la cantidad de K en el rastrojo a la siembra, ni con los grupos de evolución de este nutriente en suelo posterior a la siembra. Las variaciones en la evolución del nutriente en el suelo durante los primeros 90 días de ciclo del cultivo de soja, se asociaron en un 23% con la fertilización. Por último, el agregado de K no incrementó la concentración de K foliar a R2-R3, ni esta se asoció con la respuesta al agregado de K.

Palabras clave: K en suelo; K planta; Fertilización en soja de segunda; Respuesta vegetal a la fertilización; Historia de chacra.

7. SUMMARY

In Uruguay, agriculture has been traditionally placed in areas where soil K levels were above the requirements of different crops. This fact prompted to studies of this nutrient is still relatively limited to those made in other nutrients in the country. However, due to the increase of the frequency of deficiency symptoms, in recent years have increased the studies of the response to K in different crops and environments. In turn, the response of a crop following a winter crop has received little attention, as there is in general the concept of taking advantage of the residual fertilization of winter crop that precedes it. In order to answer different questions about the dynamics and response to K in the soybean following a winter crop, was installed a set of trials in different commercial sites located in Soriano and Rio Negro. Within sites analyzed, only in one of the 13 sites there was a significant response to K, although at 30% of them there was significant response to P. The 2010/2011 harvest was characterized by a dry summer, which determined that there was no consistent relationship between total rainfall during the crop cycle and the critical period (R3-R6) and yields. We studied the most important factors in explaining the variation in the crop yield. In this regard, 67% of potential yield was explained by: the level of K at planting (42%) as an indicator of soil quality and site history (25%). Both explained in a similar extent (62%) the variation of the grain yield in the control. This would indicate that edaphic constraints, after a certain level could not be corrected only by fertilization. Regarding the evolution of the exchangeable K revealed the existence of three contrasting evolutions of K from 0 to 90 days after planting. It was not possible to relate the response to the addition of K at planting, or the amount of K in the crop residues, or with groups of evolution of this nutrient in the soil after planting. Variations in the evolution of the nutrient in the soil during the first 90 days of soybean crop cycle, were associated in 23% with fertilization. Finally, the addition of K did not increase foliar K concentration at R2-R3 and this was not associated with the addition of K.

Keywords: Soil K level; Plant K level; Soybean fertilization; Plant response to fertilizer; Farm history.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. ALMADA, P. 2006. Fertilización P y K de maíz en 3 suelos de durazno. Tesis de Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 67 p.
2. ANDRADE, F.; AGUIRREZÁBAL, L.; RIZALLI, R. 2000. Crecimiento y rendimiento comparados. In: Andrade, F.; Sadras, V. eds. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Balcarce, Buenos Aires, Editorial Médica Panamericana. pp. 61-90.
3. ARBELETTCHE, P.; CARBALLO, C. 2008. La expansión Agrícola en Uruguay; alguna de sus principales consecuencias. In: Congreso Regional de Economía Agraria (2º.), Reunión Anual de la AAEA (39ª., Montevideo, 2008). Trabajos presentados. Montevideo, s.e. 1 disco compacto.
4. BARBAGELATA, P.; CLOVER, M.; MALLARINO, A. 2007. Corn and soybean grain yield and concentration of potassium in plant tissues and soil as affected by potassium fertilization. In: North Central Extension-Industry Soil Fertility Conference (2007, Des Moines). Proceedings. Des Moines, s.e. v. 23, pp. 119-125.
5. BARBAZÁN, M.; BAUTES, C.; BEUX, L. 2007b. Fertilización potásica inicial y residual en cultivos de secano en suelos sobre areniscas cretácicas y transicionales. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. no. 41: 1-8.
6. _____.; _____.; _____.; BORDOLI, M.; CANO J.; ERNST O.; GARCÍA A., GARCÍA, F.; QUINCKE A. 2011a. Fertilización potásica en cultivos de secano sin laboreo en Uruguay: rendimiento según análisis de suelos. *Agrociencia*. 15 (2): 93-99.
7. _____.; DEL PINO, A.; BORDOLI, J.; MAZZILLI, S.; ERNST, O. 2011b. 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.
8. BENTANCOR, M.; KEEL, W. 2003. Efecto de la refertilización P-S-K y macronutrientes en alfalfa. Tesis. Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 78 p.
9. BLACK, C. 1975. Relación suelo planta. Buenos Aires, Argentina, Hemisferio Sur. 717 p. (Colección de textos de agronomía y veterinaria no. 12.)

10. BORDOLI, J.; MALLARINO, A. 1998. Deep and shallow bonding of phosphorus and potassium as alternatives to broadcast fertilization for no-till corn. *Agronomy Journal*. 90: 27-33.
11. _____. 2001. Dinámica de nutrientes y fertilización en siembra directa. In: Díaz, R. coord. *Siembra directa en el Cono Sur*. Montevideo, PROCISUR. pp. 289-297 (Documentos).
12. BORGES, R.; MALLARINO, A. 2003. Broadcast of phosphorus and potassium for soybean managed with ridge tillage. *Soil Science Society of American Journal*. 67:1920–1927.
13. BORGHI, E.; WORNICOV, G. 1998. Evaluación de la capacidad predictiva de distintos indicadores de suelo y planta para el ajuste de la refertilización nitrogenada en el cultivo de maíz. Tesis de Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 53 p.
14. BUAH, S.; POLITO, T.; KILLORN, R.; 2000. No-tillage soybean response to banded and broadcast and direct and residual fertilizer phosphorus and potassium applications. *Agronomy Journal*. 92:657–662.
15. CANO, J.; ERNST, O.; GARCIA, F. Respuesta a la fertilización potásica en maíz para grano en suelos del noroeste de Uruguay. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. no. 36: 9-12.
16. CIAMPITTI, I.; GARCIA, F. 2009. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de micronutrientes y nutrientes secundarios. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. no. 11: 13-16.
17. COLOMBO, M.; COLLARES, J. 1982. Efecto del encalado y fertilización PK en suelos arenosos ácidos. Tesis. Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. pp. 118-121.
18. CONTI, M. 2002. Dinámica de liberación y fijación de Potasio en el suelo. Buenos Aires, Argentina, UBA. Facultad de Agronomía. Cátedra de Edafología. 14 p.
19. FERNANDEZ, F.; BROUDER, S.; CRAIG, B.; VOLENEC, J.; HOYUM, R. 2008. Assessment of plant-available potassium for no-till, rainfed soybean. *Soil Science Society of America Journal*. 4:1085-1095.

20. GARCIA, A.; QUINCKE, A.; PEREYRA, S.; ACKERMANN, M. 2011. Respuesta a Cloruro de Potasio (KCl) en Trigo y Cebada. In: Jornada de Divulgación (2011, La Estanzuela). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 37-42 (Actividades de Difusión no. 646).
21. GIL, R; MICUCCI, F.; TABOADA, M. 1998. El agua en los sistemas extensivos. II Consumo y eficiencia de uso del agua de los cultivos. Archivo Agronómico INPOFOS. no. 7: 1-7.
22. GOMAR, E.; GARCIA, F.; MARCHESI, C. 1996. Manejo de suelos arenosos. In: Morón, A.; Martino, D.; Sawchik, J. eds. Manejo y fertilidad de suelos. Montevideo, INIA. pp. 81-86 (Serie Técnica no. 76).
23. HERNANDEZ, J. 1983. Capacidad de suministro de Potasio en suelos del Uruguay. Tesis. Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 240 p.
24. HOWARD, D.; ESSINGTON, M.; TYLER, D.; 1999. Vertical phosphorus and potassium stratification in no-till cotton soils. *Agronomy Journal*. 91:266-270.
25. INSTITUTO DE LA POTASA Y FOSFORO DE CANADA. s.f. Potasa; uso y necesidades en agricultura moderna. s.l. s.p.
26. KANTOLIC, A, 2003. Bases funcionales de la determinación del rendimiento y manejo del cultivo de soja. In: Satorre, E. ed. El libro de la Soja. Buenos Aires, Argentina. Servicios y Marketing Agropecuario. pp. 31-44.
27. MALLARINO, A. s.f. Manejo de la fertilización con fósforo y potasio para maíz y soja en el centro-oeste de los Estados Unidos. Ames, Iowa, Iowa, Estados Unidos. Iowa State University. Department of Agronomy. 9 p.
28. MARELLA, G.; CROSA, A.; BORDABERRY, J. 1981. Respuesta de la soja a la fertilización fosfatada y potásica. Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 300 p.
29. MELGAR, R.; CASTRO, L. 2005. Potasio. Pergamino, Argentina, INTA Pergamino. 73 p.

30. MORON, A.; BAETTHGEN, W. 1996. Relevamiento de la fertilización de los suelos bajo producción lechera en Uruguay. Montevideo, INIA. 15 p. (Serie Técnica no. 73).
31. NELSON, K.; MOTAVALLI, P.; NATHAN, M. 2005. Response of no-till soybean to timing of preplant and foliar applications in a claypan soil. *Agronomy Journal*. 97:832–838.
32. REUTER, D.; ROBINSON, J. 1997. Plant analysis; an interpretation manual. Victoria, Australia. CSIRO. 572 p.
33. SCHOMBERG, H.; STEINER, J. 1999. Nutrient dynamics of crop residues decomposing on a fallow no-till soil surface. *Soil Science Society American Journal*. 63:607-613.
34. SLATON, N.; DELGONG, R.; MAZAFFARI, M.; SHAFER, J.; GOLDEN, B.; MASCHAMAN, E.; BRANSON, J. 2008. Soybean response to phosphorus and potassium fertilization. (en línea). AAES Research Series. 569:51-56. Consultado 07 oct. 2011. Disponible en <http://arkansasagnews.uark.edu/569.pdf>
35. _____.; GOLDEN, B.; DELONG, R.; MOZAFFARI, M. 2010. Correlation and calibration of soil potassium availability with soybean yield and trifoliolate potassium. *Soil Fertility and Plant Nutrition*. 74:1642-1651.
36. TAIZ, L., ZEIGER, E. 2006. Plant physiology. 3rd. ed. Sunderland, Massachusetts, Sinauer. 707 p.
37. URUGUAY. MINISTERIO DE GANADERÍA, AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCION DE ESTADISTICAS AGROPECUARIAS. 2011. Anuario estadístico agropecuario 2011. (en línea). Montevideo. 246 p. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/portal/hgxpp001.aspx?7,5,352,O,S,0,MNU;E;39;15;MNU;,>
38. YIN, X.; VYN, J. 2002a. Residual effects of potassium placement and tillage systems for corn on subsequent no-till soybean. *Agronomy Journal*. 94:1112–1119.
39. _____.; _____. 2002b. Soybean responses to potassium placement and tillage alternative following no-till. *Agronomy Journal*. 94:1367–1374.

40. _____.; _____. 2003. Potassium placement effects on yield and seed composition of no-till soybean seeded in alternate row widths. *Agronomy Journal*. 95:126–132.

9. ANEXOS

ANEXO No. 1: ANAVA de regresión rendimiento según precipitaciones de siembra a R8.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	490044.38	1	490044.38	2.03	0.1825
PP S-R8	490044.38	1	490044.38	2.03	0.1825
Error	2661946.39	11	241995.13		
Total	3151990.77	12			

ANEXO No. 2: ANAVA de regresión rendimiento según precipitaciones de R3 a R6

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	171239.44	1	171239.44	0.63	0.4443
PP R2-R6	171239.44	1	171239.44	0.63	0.4443
Error	2992328.26	11	272029.84		
Total	3163567.69	12			

ANEXO No. 3: ANAVA de regresión rendimiento según precipitaciones de R7 a R8

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1368390.05	1	1368390.05	8.38	0.0146
R7-R8	1368390.05	1	1368390.05	8.38	0.0146
Error	1795177.65	11	163197.97		
Total	3163567.69	12			

ANEXO No. 4: ANAVA para rendimiento en grano de soja según dosis de P y K aplicada.

Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
1	Modelo.	235384.23	6	39230.70	0.93	0.5199
	Tratamiento	234063.12	4	58515.78	1.39	0.3192
	Bloque	1321.11	2	660.55	0.02	0.9844
	Error	336210.23	8	42026.28		
	Total	571594.46	14			
Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
2	Modelo.	440377.04	6	73396.17	1.46	0.4058
	Tratamiento	363521.39	4	90880.35	1.81	0.3262
	Bloque	76855.65	2	38427.83	0.77	0.5383
	Error	150358.97	3	50119.66		

	Total	590736.01	9			
Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
3	Modelo.	128401.19	6	21400.20	0.87	0.5533
	Tratamiento	76764.58	4	19191.15	0.78	0.5670
	Bloque	51636.61	2	25818.31	1.05	0.3926
	Error	196125.79	8	24515.72		
	Total	324526.98	14			
Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
4	Modelo.	384065.36	6	64010.89	1.75	0.2400
	Tratamiento	217411.74	4	54352.93	1.49	0.3030
	Bloque	166653.63	2	83326.81	2.28	0.1728
	Error	255891.45	7	36555.92		
	Total	639956.81	13			
Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
5	Modelo.	1686145.69	6	281024.28	2.35	0.1309
	Tratamiento	786890.23	4	196722.56	1.64	0.2543
	Bloque	899255.47	2	449627.73	3.76	0.0706
	Error	956846.67	8	119605.83		
	Total	2642992.37	14			
Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
6	Modelo.	2133280.43	6	355546.74	8.43	0.0041
	Tratamiento	683089.18	4	170772.30	4.05	0.0440
	Bloque	1450191.24	2	725095.62	17.19	0.0013
	Error	337527.59	8	42190.95		
	Total	2470808.02	14			
Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
7	Modelo.	440838.73	6	73473.12	3.06	0.1492
	Tratamiento	197699.88	4	49424.97	2.06	0.2507
	Bloque	243138.85	2	121569.42	5.07	0.0801
	Error	96003.84	4	24000.96		
	Total	536842.57	10			
Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
9	Modelo.	272978.50	6	45496.42	1.13	0.4258
	Tratamiento	249341.58	4	62335.39	1.54	0.2785
	Bloque	23636.92	2	11818.46	0.29	0.7541
	Error	323280.62	8	40410.08		
	Total	596259.12	14			

Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
10	Modelo.	453673.25	6	75612.21	0.28	0.9260
	Tratamiento	353423.36	4	88355.84	0.33	0.8495
	Bloque	100249.89	2	50124.95	0.19	0.8345
	Error	1612760.36	6	268793.39		
	Total	2066433.62	12			
Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
11	Modelo.	1843668.77	6	307278.13	1.44	0.3203
	Tratamiento	868680.69	4	217170.17	1.02	0.4599
	Bloque	974988.08	2	487494.04	2.28	0.1724
	Error	1494453.98	7	213493.43		
	Total	3338122.75	13			
Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
12	Modelo.	2377851.75	6	396308.62	5.64	0.0144
	Tratamiento	1854092.35	4	463523.09	6.59	0.0119
	Bloque	523759.40	2	261879.70	3.72	0.0719
	Error	562529.55	8	70316.19		
	Total	2940381.30	14			
Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
13	Modelo.	1517405.56	6	252900.93	1.88	0.2310
	Tratamiento	543680.34	4	135920.08	1.01	0.4710
	Bloque	973725.22	2	486862.61	3.62	0.0931
	Error	807342.89	6	134557.15		
	Total	2324748.45	12			
Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
14	Modelo.	1744513.96	5	348902.79	3.64	0.1175
	Tratamiento	1577303.19	4	394325.80	4.11	0.0999
	Bloque	167210.76	1	167210.76	1.74	0.2573
	Error	383896.25	4	95974.06		
	Total	2128410.21	9			

ANEXO No. 5: ANAVA de regresión rendimiento según número de granos por m²

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5856896.11	1	5856896.11	102.98	<0.0001
No. Gr/m ²	5856896.11	1	5856896.11	102.98	<0.0001
Error	1990552.32	35	56872.92		
Total	7847448.43	36			

ANEXO No. 6: ANAVA de regresión rendimiento según peso de grano

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	3414492.09	1	3414492.09	26.96	<0.0001
PG	3414492.09	1	3414492.09	26.96	<0.0001
Error	4432956.35	35	126655.90		
Total	7847448.43	36			

ANEXO No. 7: ANAVA de regresión peso de grano según número de granos por m²

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	996.85	1	996.85	3.01	0.0917
No. Gr/m ²	996.85	1	996.85	3.01	0.0917
Error	11602.17	35	331.49		
Total	12599.03	36			

ANEXO No. 8: ANAVA de rendimiento de grano de soja según dosis de K aplicado

Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
1	Modelo.	85984,27	2	42992,13	1,8	0,2442
	tratamiento	85984,27	2	42992,13	1,8	0,2442
	Error	143344,4	6	23890,73		
	Total	229328,67	8			
Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
2	Modelo.	57959,48	2	28979,74	0,26	0,7785
	tratamiento	57959,48	2	28979,74	0,26	0,7785
	Error	550346,53	5	110069,31		
	Total	608306,01	7			
Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
3	Modelo.	1883,58	2	941,79	0,04	0,9573
	tratamiento	1883,58	2	941,79	0,04	0,9573
	Error	128642,85	6	21440,47		
	Total	130526,42	8			
Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
4	Modelo.	157131,99	2	78566	1,67	0,2778
	tratamiento	157131,99	2	78566	1,67	0,2778
	Error	234848,01	5	46969,6		
	Total	391980	7			
Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
5	Modelo.	208808,97	2	104404,48	2,88	0,1329
	tratamiento	208808,97	2	104404,48	2,88	0,1329
	Error	217554,29	6	36259,05		
	Total	426363,26	8			
Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
6	Modelo.	582935,1	2	291467,55	1,26	0,3483
	tratamiento	582935,1	2	291467,55	1,26	0,3483
	Error	1383707,21	6	230617,87		
	Total	1966642,3	8			
Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
7	Modelo.	82772,63	2	41386,31	1,54	0,319
	tratamiento	82772,63	2	41386,31	1,54	0,319
	Error	107412,11	4	26853,03		
	Total	190184,73	6			

Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
9	Modelo.	81946,23	2	40973,11	1,38	0,3209
	tratamiento	81946,23	2	40973,11	1,38	0,3209
	Error	177912,63	6	29652,11		
	Total	259858,86	8			
Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
10	Modelo.	351257,41	2	175628,7	0,85	0,4911
	tratamiento	351257,41	2	175628,7	0,85	0,4911
	Error	822752,31	4	205688,08		
	Total	1174009,72	6			
Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
11	Modelo.	54181,64	2	27090,82	0,37	0,7101
	tratamiento	54181,64	2	27090,82	0,37	0,7101
	Error	290186,91	4	72546,73		
	Total	344368,55	6			
Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
12	Modelo.	571443,17	2	285721,58	2,1	0,2033
	tratamiento	571443,17	2	285721,58	2,1	0,2033
	Error	815482,53	6	135913,76		
	Total	1386925,7	8			
Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
13	Modelo.	606921,8	2	303460,9	1,24	0,4049
	tratamiento	606921,8	2	303460,9	1,24	0,4049
	Error	733884,69	3	244628,23		
	Total	1340806,49	5			
Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
14	Modelo.	1576553,29	2	788276,65	7,9	0,0637
	tratamiento	1576553,29	2	788276,65	7,9	0,0637
	Error	299235,75	3	99745,25		
	Total	1875789,04	5			

ANEXO No. 9: ANAVA de contenido de K (%MS) según cultivo generador del residuo (extracción a siembra).

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,12	2	0,06	9,51	0,0049
Rastrojo	0,12	2	0,06	9,51	0,0049
Error	0,07	10	0,01		
Total	0,19	12			

ANEXO No. 10: ANAVA de cantidad de rastrojo (kg/ha) según cultivo generador del residuo (extracción a siembra).

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1388444,73	2	694222,37	0,13	0,8777
Rastrojo	1388444,73	2	694222,37	0,13	0,8777
Error	52520106,50	10	5252010,65		
Total	53908551,23	12			

ANEXO No. 11: ANAVA de contenido de K (%MS) según cultivo generador del residuo (extracción a 60 dpf).

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1,5E-03	2	7,6E-04	1,27	0,3227
Rastrojo	1,5E-03	2	7,6E-04	1,27	0,3227
Error	0,01	10	6,0E-04		
Total	0,01	12			

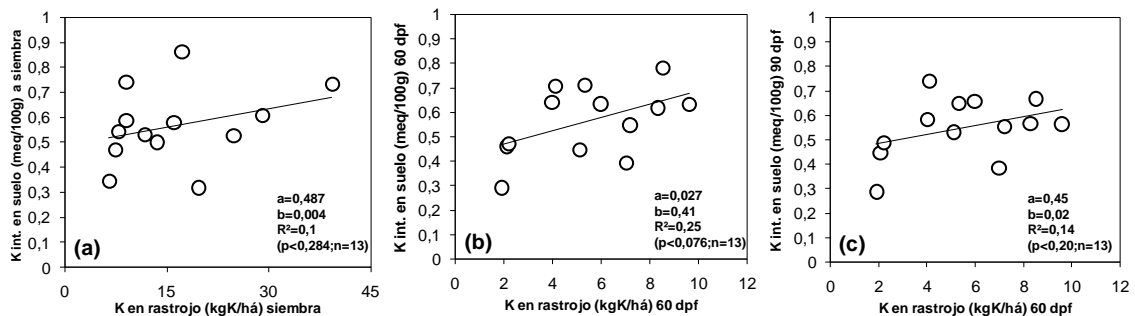
ANEXO No. 12: ANAVA de cantidad de rastrojo (kg/ha) según cultivo generador del residuo (extracción a 60 dpf).

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	10952111,84	2	5476055,92	1,53	0,2629
Rastrojo	10952111,84	2	5476055,92	1,53	0,2629
Error	35759045,39	10	3575904,54		
Total	46711157,23	12			

ANEXO No. 13: ANAVA de cantidad de K en rastrojo (kgK) según cultivo generador del residuo al momento de la siembra.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	772,90	2	386,45	10,08	0,0040
Rastrojo	772,90	2	386,45	10,08	0,0040
Error	383,43	10	38,34		
Total	1156,33	12			

ANEXO No. 14: Relación entre el K intercambiable en suelo a siembra y K en rastrojo a siembra (a), relación entre el K intercambiable en suelo a 60dpf y K en rastrojo a 60dpf (b) y relación entre el K intercambiable en suelo a 90dpf y K en rastrojo 60dpf



ANEXO No. 15: ANAVA de regresiones, relación entre el K intercambiable en suelo a siembra y K en rastrojo a siembra (kgK 0) (a), relación entre el K intercambiable en suelo a 60dpf y K en rastrojo a 60dpf (kgK 60) (b) y relación entre el K intercambiable en suelo a 90dpf y K en rastrojo 60dpf (c)

(a)	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
	Modelo.	0.03	1	0.03	1.27	0.2844
	kg K 0	0.03	1	0.03	1.27	0.2844
	Error	0.25	11	0.02		
	Total	0.28	12			
(b)	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
	Modelo.	0.06	1	0.06	3.84	0.0758
	kg K 60	0.06	1	0.06	3.84	0.0758
	Error	0.18	11	0.02		
	Total	0.24	12			

	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
(c)	Modelo.	0.03	1	0.03	1.81	0.2053
	kg K 60	0.03	1	0.03	1.81	0.2053
	Error	0.16	11	0.01		
	Total	0.18	12			

ANEXO No. 16: ANAVA de cantidad de K en rastrojo (kgK) según cultivo generador del residuo a 60 dpf.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	34,26	2	17,13	3,84	0,0578
Rastrojo	34,26	2	17,13	3,84	0,0578
Error	44,59	10	4,46		
Total	78,86	12			

ANEXO No. 17: ANAVA de diferencia en cantidad de K en rastrojo (Δ kgK) entre 60 dpf y siembra según cultivo generador del residuo.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	524,08	2	262,04	5,71	0,0222
Rastrojo	524,08	2	262,04	5,71	0,0222
Error	458,77	10	45,88		
Total	982,85	12			

ANEXO No. 18: ANAVA regresiones K int en suelo a siembra vs. K a 90 dpf, para diferentes situaciones: (a) sin cultivo con rastrojo, (b) sin cultivo y sin rastrojo, (c) sin fertilizar con K y (d) fertilizado con K. (b) Se tomaron 9 valores ya que en 4 de los sitios en estudios no se extrajeron muestras de la parcela sin cultivo y sin rastrojo.

(a)	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
	Modelo.	8.0E-04	1	8.0E-04	0.03	0.8694
	K0	8.0E-04	1	8.0E-04	0.03	0.8694
	Error	0.31	11	0.03		
	Total	0.31	12			
(b)	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
	Modelo.	6.1E-04	1	6.1E-04	0.04	0.8535
	K0	6.1E-04	1	6.1E-04	0.04	0.8535
	Error	0.12	7	0.02		
	Total	0.12	8			
(c)	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
	Modelo.	5.8E-06	1	5.8E-06	3.4E-04	0.9856
	K0	5.8E-06	1	5.8E-06	3.4E-04	0.9856
	Error	0.19	11	0.02		
	Total	0.19	12			
(d)	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
	Modelo.	3.3E-04	1	3.3E-04	0.01	0.9086
	K0	3.3E-04	1	3.3E-04	0.01	0.9086
	Error	0.26	11	0.02		
	Total	0.26	12			

ANEXO No. 19: Cuadro de comparación de niveles de K para los tratamientos sin fertilizar con cultivo (0K), con agregado de 60K (60K) y sin cultivo con y sin rastrojo (SC C/R Y SC S/R) para siembra, 30, 60 y 90 dpf.

Sitio	K int. (meq/100g) siembra	K int. (meq/100g) 30 dpf			K int. (meq/100g) 60 dpf			K int. (meq/100g) 90 dpf			C. V (%)		
		K int. (meq/100g) 30 dpf			K int. (meq/100g) 60 dpf			K int. (meq/100g) 90 dpf					
		0K 30	60K 30	SC C/R 30	0K 60	60K 60	SC C/R 60	0K 90	60K 90	SC C/R 90			
1	0,74a	0,62cde	0,63abcd	0,69abc	0,64bcde	0,71ab	0,71abc	0,68abcd	0,56e	0,6de	0,69abc	0,68abcd	7,59
2	0,5a	0,33b	0,32b	0,32b	0,4ab	0,37b	0,35b	0,39b	0,39b	0,38b	0,38b	0,36b	16,03
3	0,47d	0,58bc	0,59bc	0,47d	0,71a	0,59bc	0,56cd	0,69a	0,65ab	0,67ab	0,69a	0,69a	9
4	0,74a	0,52e	0,56bcde	0,53de	0,55cde	0,57bcde	0,58bcde	0,57bcde	0,56cde	0,59bcd	0,62b	0,6bc	6,07
5	0,53c	0,61a	0,58abc	0,59abc	0,62a	0,6ab	0,6ab	0,63a	0,57abc	0,54bc	0,58abc	0,59abc	6,4
6	0,87a	0,56ef	0,57de	0,53f	0,63bc	0,61cd	0,63bc	0,62bc	0,66b	0,62c	0,65bc	0,64bc	3,64
7	0,32b	0,55a	0,53a	0,52ab	0,43ab	0,67a	0,55a	0,46ab	0,51ab	0,47ab	0,61a	0,52ab	25,87
9	0,59a	0,31bc	0,31bc	0,59a	0,29c	0,33bc	0,3bc		0,29c	0,33b	0,3bc		5,28
10	0,51ab	0,46bc	0,43c	0,45bc	0,46bc	0,43bc	0,47bc		0,45bc	0,59a	0,46bc		8,59
11	0,58a	0,4b	0,41b	0,42b	0,47ab	0,5ab	0,42b		0,49ab	0,46ab	0,47ab		14,87
12	0,61d	0,62d	0,71cd	0,75bc	0,78abc	0,73bcd	0,68cd		0,67cd	0,84ab	0,89a		9,99
13	0,51ab	0,64ab	0,6ab	0,54ab	0,64a	0,56ab	0,47b		0,55b	0,57ab	0,69a	0,56ab	17,6
14	0,35e	0,78bcd	0,81abc	0,76bcd	0,71d	0,89a	0,72cd		0,74bcd	0,82ab	0,77bcd	0,79abcd	8,22

ANEXO No. 20: ANAVA de cuadro de comparación de niveles de K para los tratamientos sin fertilizar con cultivo (0K), con agregado de 60K (60K) y sin cultivo con y sin rastrojo (SC C/R Y SC S/R) para siembra, 30, 60 y 90 dpf.

Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
1	Modelo.	0,19	15	0,01	4,78	0,0002
	bloque	0,07	2	0,04	13,59	0,0001
	tratamiento	0,12	13	0,01	3,42	0,0037
	Error	0,07	26	2,60E-03		
	Total	0,25	41			
Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
2	Modelo.	0,28	15	0,02	4,75	0,0003
	bloque	0,12	2	0,06	15,41	<0,0001
	tratamiento	0,16	13	0,01	3,11	0,0067
	Error	0,1	26	3,90E-03		
	Total	0,38	41			
Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
3	Modelo.	0,31	16	0,02	6,52	<0,0001
	bloque	0,02	2	0,01	3,57	0,0415
	tratamiento	0,29	14	0,02	6,94	<0,0001
	Error	0,08	28	3,00E-03		
	Total	0,4	44			
Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
4	Modelo.	0,25	15	0,02	12,25	<0,0001
	bloque	5,30E-04	2	2,70E-04	0,2	0,8215
	tratamiento	0,25	13	0,02	14,11	<0,0001
	Error	0,04	26	1,30E-03		
	Total	0,28	41			
Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
5	Modelo.	0,04	15	2,80E-03	2,04	0,0542
	bloque	1,50E-03	2	7,50E-04	0,54	0,5877
	tratamiento	0,04	13	3,10E-03	2,26	0,0368
	Error	0,04	26	1,40E-03		
	Total	0,08	41			

Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
6	Modelo.	0,04	15	2,80E-03	2,04	0,0542
	bloque	1,50E-03	2	7,50E-04	0,54	0,5877
	tratamiento	0,04	13	3,10E-03	2,26	0,0368
	Error	0,04	26	1,40E-03		
	Total	0,08	41			
Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
7	Modelo.	0,5	15	0,03	2,11	0,0543
	bloque	0,05	2	0,03	1,72	0,203
	tratamiento	0,45	13	0,03	2,17	0,0527
	Error	0,35	22	0,02		
	Total	0,85	37			
Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
9	Modelo.	0,63	13	0,05	105,88	<0,0001
	bloque	3,10E-03	2	1,50E-03	3,34	0,056
	tratamiento	0,63	11	0,06	124,52	<0,0001
	Error	0,01	20	4,60E-04		
	Total	0,64	33			
Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
10	Modelo.	0,09	13	0,01	3,96	0,0055
	bloque	0,03	2	0,01	8,32	0,0033
	tratamiento	0,06	11	0,01	3,17	0,0181
	Error	0,03	16	1,70E-03		
	Total	0,12	29			
Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
11	Modelo.	0,16	13	0,01	2,43	0,0319
	bloque	4,60E-03	2	2,30E-03	0,44	0,6468
	tratamiento	0,16	11	0,01	2,79	0,0193
	Error	0,11	22	0,01		
	Total	0,28	35			
Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
12	Modelo.	0,28	13	0,02	4,4	0,0016
	bloque	0,03	2	0,01	2,83	0,0829
	tratamiento	0,25	11	0,02	4,68	0,0014
	Error	0,1	20	4,90E-03		
	Total	0,38	33			

Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
13	Modelo.	0,27	16	0,02	1,64	0,1294
	bloque	0,14	2	0,07	6,81	0,0043
	tratamiento	0,13	14	0,01	0,9	0,5667
	Error	0,26	25	0,01		
	Total	0,53	41			
Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
14	Modelo.	1,34	16	0,08	26,94	<0,0001
	bloque	0,02	2	0,01	2,56	0,0959
	tratamiento	1,33	14	0,09	30,42	<0,0001
	Error	0,08	27	3,10E-03		
	Total	1,43	43			

ANEXO No. 21: ANAVA de cuadro de comparación de niveles de K para los tratamientos sin fertilizar con cultivo (0K) y sin cultivo con y sin rastrojo (SC C/R Y SC S/R) en cada momento de muestreo (siembra, 30, 60 y 90 dpf).

Sitio		F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
1	30 días pos-fertilización	Modelo.	0,02	4	4,40E-03	2,32	0,2172
		Tratamiento	0,01	2	4,00E-03	2,15	0,2318
		Bloque	0,01	2	4,70E-03	2,49	0,1983
		Error	0,01	4	1,90E-03		
		Total	0,02	8			
	60 días pos-fertilización	Modelo.	0,03	5	0,01	1,58	0,2963
		Tratamiento	0,01	3	3,60E-03	1,02	0,4486
		Bloque	0,02	2	0,01	2,41	0,1702
		Error	0,02	6	3,60E-03		
		Total	0,05	11			
	90 días pos-fertilización	Modelo.	0,06	5	0,01	2,3	0,1702
		Tratamiento	0,04	3	0,01	2,18	0,1911
		Bloque	0,03	2	0,01	2,47	0,165
		Error	0,03	6	1,00E-02		
		Total	0,09	11			

Sitio		F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
2	30 días pos-fertilización	Modelo.	0,05	4	0,01	93,5	0,0003
		Tratamiento	4,70E-04	2	2,30E-04	1,75	0,2844
		Bloque	0,05	2	0,02	185,25	0,0001
		Error	5,30E-04	4	1,30E-04		
		Total	0,05	8			
	60 días pos-fertilización	Modelo.	0,09	5	0,02	87,31	<0,0001
		Tratamiento	4,00E-03	3	1,30E-03	6,25	0,0282
		Bloque	0,09	2	0,04	208,89	<0,0001
		Error	1,30E-03	6	2,10E-04		
		Total	0,09	11			
	90 días pos-fertilización	Modelo.	0,07	5	0,01	44,28	0,0001
		Tratamiento	1,10E-03	3	3,70E-04	1,13	0,4097
		Bloque	0,07	2	0,04	109	<0,0001
		Error	2,00E-03	6	3,20E-04		
		Total	0,07	11			
Sitio		F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
3	30 días pos-fertilización	Modelo.	0,01	4	2,20E-03	1,01	0,4972
		Tratamiento	1,70E-03	2	8,40E-04	0,38	0,705
		Bloque	0,01	2	3,60E-03	1,63	0,303
		Error	0,01	4	2,20E-03		
		Total	0,02	8			
	60 días pos-fertilización	Modelo.	0,01	5	1,70E-03	0,34	0,8722
		Tratamiento	2,90E-03	3	9,60E-04	0,19	0,8978
		Bloque	0,01	2	2,80E-03	0,56	0,5989
		Error	0,03	6	5,00E-03		
		Total	0,04	11			
	90 días pos-fertilización	Modelo.	0,02	5	4,20E-03	1,11	0,4436
		Tratamiento	0,01	3	1,90E-03	0,49	0,699
		Bloque	0,02	2	0,01	2,03	0,2122
		Error	0,02	6	3,70E-03		
		Total	0,04	11			

Sitio		F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
4	30 días pos-fertilización	Modelo.	0,01	4	2,70E-03	2,64	0,185
		Tratamiento	3,30E-03	2	1,60E-03	1,61	0,3075
		Bloque	0,01	2	3,70E-03	3,67	0,1243
		Error	4,10E-03	4	1,00E-03		
		Total	0,01	8			
	60 días pos-fertilización	Modelo.	0,01	5	1,40E-03	1,4	0,343
		Tratamiento	1,50E-03	3	5,00E-04	0,5	0,6934
		Bloque	0,01	2	2,70E-03	2,75	0,1422
		Error	0,01	6	9,90E-04		
		Total	0,01	11			
	90 días pos-fertilización	Modelo.	0,01	5	1,70E-03	1,54	0,3055
		Tratamiento	0,01	3	2,20E-03	1,95	0,2229
		Bloque	2,10E-03	2	1,00E-03	0,92	0,448
		Error	0,01	6	1,10E-03		
		Total	0,02	11			
Sitio		F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
5	30 días pos-fertilización	Modelo.	3,00E-03	4	7,60E-04	2,32	0,2173
		Tratamiento	1,70E-03	2	8,40E-04	2,58	0,191
		Bloque	1,40E-03	2	6,80E-04	2,07	0,2417
		Error	1,30E-03	4	3,30E-04		
		Total	4,40E-03	8			
	60 días pos-fertilización	Modelo.	0,01	5	1,50E-03	1,2	0,4089
		Tratamiento	1,40E-03	3	4,60E-04	0,37	0,7777
		Bloque	0,01	2	3,00E-03	2,44	0,1673
		Error	0,01	6	1,20E-03		
		Total	0,01	11			
	90 días pos-fertilización	Modelo.	0,01	5	1,70E-03	3,17	0,0961
		Tratamiento	3,30E-03	3	1,10E-03	2,05	0,2081
		Bloque	0,01	2	2,60E-03	4,85	0,0557
		Error	3,20E-03	6	5,30E-04		
		Total	0,01	11			

Sitio		F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
6	30 días pos-fertilización	Modelo.	0,01	4	1,60E-03	1,23	0,4215
		Tratamiento	3,60E-03	2	1,80E-03	1,42	0,3425
		Bloque	2,70E-03	2	1,30E-03	1,05	0,4294
		Error	0,01	4	1,30E-03		
		Total	0,01	8			
	60 días pos-fertilización	Modelo.	1,50E-03	5	3,10E-04	0,89	0,5421
		Tratamiento	8,90E-04	3	3,00E-04	0,86	0,5127
		Bloque	6,50E-04	2	3,30E-04	0,94	0,4428
		Error	2,10E-03	6	3,50E-04		
		Total	3,60E-03	11			
	90 días pos-fertilización	Modelo.	4,20E-03	5	8,40E-04	0,98	0,4973
		Tratamiento	3,10E-03	3	1,00E-03	1,2	0,3857
		Bloque	1,10E-03	2	5,60E-04	0,65	0,555
		Error	0,01	6	8,60E-04		
		Total	0,01	11			
Sitio		F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
7	30 días pos-fertilización	Modelo.	0,01	4	2,40E-03	0,57	0,7008
		Tratamiento	1,80E-03	2	8,80E-04	0,21	0,8189
		Bloque	0,01	2	3,90E-03	0,93	0,4665
		Error	0,02	4	4,20E-03		
		Total	0,03	8			
	60 días pos-fertilización	Modelo.	0,16	5	0,03	0,64	0,6841
		Tratamiento	0,07	3	0,02	0,5	0,7031
		Bloque	0,08	2	0,04	0,86	0,4895
		Error	0,2	4	5,00E-02		
		Total	0,36	9			
	90 días pos-fertilización	Modelo.	0,06	5	0,01	4,14	0,0967
		Tratamiento	0,03	3	0,01	3,63	0,1227
		Bloque	0,03	2	0,01	4,92	0,0836
		Error	0,01	4	2,90E-03		
		Total	0,07	9			

Sitio		F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
9	30 días pos-fertilización	Modelo.	4,40E-03	4	1,10E-03	0,5	0,7393
		Tratamiento	2,00E-03	2	1,00E-03	0,46	0,6624
		Bloque	2,40E-03	2	1,20E-03	0,55	0,6162
		Error	0,01	4	2,20E-03		
		Total	0,01	8			
	60 días pos-fertilización	Modelo.	0,01	4	1,50E-03	1,29	0,4064
		Tratamiento	2,20E-03	2	1,10E-03	0,93	0,4665
		Bloque	3,80E-03	2	1,90E-03	1,65	0,3009
		Error	4,60E-03	4	1,20E-03		
		Total	0,01	8			
	90 días pos-fertilización	Modelo.	4,50E-03	4	1,10E-03	10,03	0,0928
		Tratamiento	3,50E-03	2	1,70E-03	15,24	0,0616
		Bloque	1,10E-03	2	5,40E-04	4,81	0,1722
		Error	2,30E-04	2	1,10E-04		
		Total	4,80E-03	6			
Sitio		F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
10	30 días pos-fertilización	Modelo.	0.01	4	1.8E-03	14.03	0.0277
		Tratamiento	1.4E-03	2	6.9E-04	5.55	0.0981
		Bloque	0.01	2	2.8E-03	22.5	0.0156
		Error	3.7E-04	3	1.3E-04		
		Total	0.01	7			
	60 días pos-fertilización	Modelo.	1.9E-03	4	4.7E-04	0.52	0.7304
		Tratamiento	3.3E-04	2	1.7E-04	0.18	0.8402
		Bloque	1.6E-03	2	7.8E-04	0.86	0.5057
		Error	2.7E-03	3	9.0E-04		
		Total	4.6E-03	7			
	90 días pos-fertilización	Modelo.	0.05	4	0.01	2.97	0.1986
		Tratamiento	0.03	2	0.02	3.49	0.1647
		Bloque	0.02	2	0.01	2.46	0.2335
		Error	0.01	3	4.4E-03		
		Total	0.07	7			

Sitio		F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
11	30 días pos-fertilización	Modelo.	0,01	4	2,30E-03	1	0,5
		Tratamiento	4,20E-04	2	2,10E-04	0,09	0,9157
		Bloque	0,01	2	4,50E-03	1,91	0,2616
		Error	0,01	4	2,30E-03		
		Total	0,02	8			
	60 días pos-fertilización	Modelo.	0,03	4	0,01	0,63	0,6678
		Tratamiento	0,01	2	0,01	0,46	0,6611
		Bloque	0,02	2	0,01	0,8	0,5108
		Error	0,05	4	1,00E-02		
		Total	0,08	8			
	90 días pos-fertilización	Modelo.	2,20E-03	4	5,60E-04	0,07	0,9868
		Tratamiento	1,20E-03	2	5,80E-04	0,08	0,9289
		Bloque	1,10E-03	2	5,40E-04	0,07	0,9328
		Error	0,03	4	1,00E-02		
		Total	0,03	8			
Sitio		F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
12	30 días pos-fertilización	Modelo.	0,04	4	0,01	0,87	0,5502
		Tratamiento	0,03	2	0,01	1,28	0,3728
		Bloque	0,01	2	0,01	0,47	0,6539
		Error	0,04	4	1,00E-02		
		Total	0,08	8			
	60 días pos-fertilización	Modelo.	0,02	4	4,60E-03	0,56	0,7095
		Tratamiento	0,02	2	0,01	1,03	0,4572
		Bloque	1,60E-03	2	8,10E-04	0,1	0,9095
		Error	0,02	3	1,00E-02		
		Total	0,04	7			
	90 días pos-fertilización	Modelo.	0,09	4	0,02	4,19	0,1343
		Tratamiento	0,07	2	0,04	7,05	0,0735
		Bloque	0,01	2	0,01	1,33	0,3855
		Error	0,02	3	1,00E-02		
		Total	0,1	7			

Sitio		F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
13	30 días pos-fertilización	Modelo.	0.17	5	0.03	3.95	0.0624
		Tratamiento	0.01	3	4.5E-03	0.53	0.6767
		Bloque	0.15	2	0.08	9.07	0.0153
		Error	0.05	6	0.01		
		Total	0.22	11			
	60 días pos-fertilización	Modelo.	0.10	5	0.02	3.16	0.0970
		Tratamiento	0.05	3	0.02	2.41	0.1657
		Bloque	0.05	2	0.03	4.28	0.0699
		Error	0.04	6	0.01		
		Total	0.14	11			
	90 días pos-fertilización	Modelo.	0.12	5	0.02	4.76	0.0419
		Tratamiento	0.03	3	0.01	2.13	0.1984
		Bloque	0.09	2	0.05	8.72	0.0168
		Error	0.03	6	0.01		
		Total	0.15	11			
Sitio		F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
14	30 días pos-fertilización	Modelo.	0,02	5	4,70E-03	1,69	0,2699
		Tratamiento	0,01	3	2,50E-03	0,9	0,4945
		Bloque	0,02	2	0,01	2,88	0,1331
		Error	0,02	6	2,80E-03		
		Total	0,04	11			
	60 días pos-fertilización	Modelo.	0,06	5	0,01	2,25	0,1968
		Tratamiento	0,06	3	0,02	3,49	0,1058
		Bloque	4,30E-03	2	2,20E-03	0,39	0,6956
		Error	0,03	5	1,00E-02		
		Total	0,09	10			
	90 días pos-fertilización	Modelo.	0,01	5	2,90E-03	0,89	0,5399
		Tratamiento	0,01	3	3,10E-03	0,96	0,4684
		Bloque	0,01	2	2,60E-03	0,79	0,4979
		Error	0,02	6	3,30E-03		
		Total	0,03	11			

ANEXO No. 22: ANAVA de cuadro de comparación de niveles de K para los tratamientos sin fertilizar con cultivo (0K), con agregado de 60K (60K) y sin cultivo con y sin rastrojo (SC C/R Y SC S/R) en cada momento de muestreo (siembra, 30, 60 y 90 dpf).

Sitio		F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
1	30 días pos-fertilización	Modelo.	0,02	5	4,90E-03	2,05	0,2039
		Tratamiento	0,01	3	2,90E-03	1,21	0,385
		Bloque	0,02	2	1,00E-02	3,31	0,1072
		Error	0,01	6	2,40E-03		
		Total	0,04	11			
	60 días pos-fertilización	Modelo.	0,04	6	0,01	1,67	0,2449
		Tratamiento	0,01	4	3,40E-03	0,83	0,54
		Bloque	0,03	2	0,01	3,35	0,0878
		Error	0,03	8	4,10E-03		
		Total	0,07	14			
	90 días pos-fertilización	Modelo.	0,07	6	0,01	2,65	0,1018
		Tratamiento	0,04	4	0,01	1,96	0,1942
		Bloque	0,04	2	0,02	4,02	0,0618
		Error	0,04	8	4,50E-03		
		Total	0,11	14			

Sitio		F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
2	30 días pos-fertilización	Modelo.	0,07	5	0,01	75,26	<0,0001
		Tratamiento	2,10E-03	3	6,90E-04	3,49	0,0899
		Bloque	0,07	2	0,04	182,92	<0,0001
		Error	1,20E-03	6	2,00E-04		
		Total	0,08	11			
	60 días pos-fertilización	Modelo.	0,12	6	0,02	53,28	<0,0001
		Tratamiento	4,40E-03	4	1,10E-03	3,08	0,0821
		Bloque	0,11	2	0,06	153,69	<0,0001
		Error	2,90E-03	8	3,60E-04		
		Total	0,12	14			
	90 días pos-fertilización	Modelo.	0,08	6	0,01	30,82	<0,0001
		Tratamiento	1,30E-03	4	3,20E-04	0,7	0,6126
		Bloque	0,08	2	0,04	91,06	<0,0001
		Error	3,60E-03	8	4,50E-04		
		Total	0,09	14			
Sitio		F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
3	30 días pos-fertilización	Modelo.	0,01	5	2,40E-03	1,3	0,3741
		Tratamiento	3,60E-03	3	1,20E-03	0,64	0,6146
		Bloque	0,01	2	4,20E-03	2,29	0,1827
		Error	0,01	6	1,80E-03		
		Total	0,02	11			
	60 días pos-fertilización	Modelo.	0,01	6	1,50E-03	0,41	0,8543
		Tratamiento	2,90E-03	4	7,20E-04	0,19	0,9358
		Bloque	0,01	2	3,10E-03	0,84	0,4659
		Error	0,03	8	3,70E-03		
		Total	0,04	14			
	90 días pos-fertilización	Modelo.	0,03	6	4,20E-03	1,37	0,3322
		Tratamiento	0,01	4	2,80E-03	0,93	0,4929
		Bloque	0,01	2	0,01	2,24	0,1687
		Error	0,02	8	3,10E-03		
		Total	0,05	14			

Sitio		F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
4	30 días pos-fertilización	Modelo.	0,02	5	3,60E-03	3,11	0,1001
		Tratamiento	1,00E-02	3	1,90E-03	1,68	0,2701
		Bloque	0,01	2	1,00E-02	5,25	0,0481
		Error	1,00E-02	6	1,10E-03		
		Total	0,02	11			
	60 días pos-fertilización	Modelo.	0,01	6	1,60E-03	1,52	0,2839
		Tratamiento	1,00E-02	4	1,40E-03	1,35	0,3308
		Bloque	3,90E-03	2	1,90E-03	1,86	0,2171
		Error	0,01	8	1,00E-03		
		Total	0,02	14			
	90 días pos-fertilización	Modelo.	0,02	6	3,10E-03	3,39	0,0573
		Tratamiento	0,01	4	3,70E-03	4,08	0,0432
		Bloque	3,60E-03	2	1,80E-03	2,01	0,1956
		Error	0,01	8	9,00E-04		
		Total	0,03	14			
Sitio		F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
5	30 días pos-fertilización	Modelo.	1,00E-02	5	1,40E-03	2,18	0,1853
		Tratamiento	1,70E-03	3	5,80E-04	0,93	0,4808
		Bloque	1,00E-02	2	2,50E-03	4,05	0,0771
		Error	3,70E-03	6	6,20E-04		
		Total	1,00E-02	11			
	60 días pos-fertilización	Modelo.	0,01	6	1,90E-03	1,35	0,3388
		Tratamiento	1,70E-03	4	4,20E-04	0,3	0,8683
		Bloque	0,01	2	4,80E-03	3,44	0,0837
		Error	0,01	8	1,40E-03		
		Total	0,02	14			
	90 días pos-fertilización	Modelo.	0,01	6	2,00E-03	4,25	0,0319
		Tratamiento	3,90E-03	4	9,80E-04	2,12	0,1695
		Bloque	0,01	2	3,90E-03	8,52	0,0104
		Error	3,70E-03	8	4,60E-04		
		Total	0,02	14			

Sitio		F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
6	30 días pos-fertilización	Modelo.	0,01	5	1,80E-03	1,21	0,4044
		Tratamiento	4,00E-03	3	1,30E-03	0,89	0,497
		Bloque	1,00E-02	2	2,50E-03	1,69	0,2614
		Error	0,01	6	1,50E-03		
		Total	0,02	11			
	60 días pos-fertilización	Modelo.	2,30E-03	6	3,80E-04	0,95	0,5094
		Tratamiento	9,30E-04	4	2,30E-04	0,58	0,6868
		Bloque	1,40E-03	2	6,90E-04	1,7	0,2421
		Error	3,20E-03	8	4,00E-04		
		Total	1,00E-02	14			
	90 días pos-fertilización	Modelo.	1,00E-02	6	8,80E-04	1,03	0,4717
		Tratamiento	3,30E-03	4	8,20E-04	0,95	0,4819
		Bloque	2,00E-03	2	1,00E-03	1,18	0,3569
		Error	0,01	8	8,60E-04		
		Total	0,01	14			
Sitio		F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
7	30 días pos-fertilización	Modelo.	0,02	5	4,70E-03	1,49	0,3174
		Tratamiento	1,00E-02	3	2,30E-03	0,72	0,5744
		Bloque	0,02	2	1,00E-02	2,65	0,1498
		Error	0,02	6	3,20E-03		
		Total	0,04	11			
	60 días pos-fertilización	Modelo.	0,16	6	0,03	0,71	0,6548
		Tratamiento	0,09	4	0,02	0,58	0,6913
		Bloque	0,07	2	0,04	0,98	0,4269
		Error	0,23	6	4,00E-02		
		Total	0,39	12			
	90 días pos-fertilización	Modelo.	0,07	6	0,01	5,08	0,0475
		Tratamiento	0,04	4	0,01	4,36	0,0689
		Bloque	0,03	2	0,02	6,52	0,0404
		Error	0,01	5	2,40E-03		
		Total	0,08	11			

Sitio		F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
9	30 días pos-fertilización	Modelo.	1,00E-02	5	1,10E-03	0,76	0,6088
		Tratamiento	2,40E-03	3	7,90E-04	0,53	0,6769
		Bloque	3,30E-03	2	1,60E-03	1,11	0,3902
		Error	0,01	6	1,50E-03		
		Total	0,01	11			
	60 días pos-fertilización	Modelo.	0,01	5	1,30E-03	1,53	0,3076
		Tratamiento	2,50E-03	3	8,30E-04	1,01	0,451
		Bloque	3,80E-03	2	1,90E-03	2,31	0,1803
		Error	4,90E-03	6	8,20E-04		
		Total	0,01	11			
	90 días pos-fertilización	Modelo.	1,00E-02	5	1,00E-03	13,14	0,0136
		Tratamiento	3,50E-03	3	1,20E-03	15	0,0121
		Bloque	1,60E-03	2	8,00E-04	10,35	0,0262
		Error	3,10E-04	4	7,80E-05		
		Total	1,00E-02	9			
Sitio		F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
10	30 días pos-fertilización	Modelo.	0,01	5	1,70E-03	19,16	0,0028
		Tratamiento	1,40E-03	3	4,70E-04	5,4	0,0501
		Bloque	0,01	2	3,50E-03	39,79	0,0008
		Error	4,40E-04	5	8,80E-05		
		Total	0,01	10			
	60 días pos-fertilización	Modelo.	8,30E-04	5	1,70E-04	0,16	0,9664
		Tratamiento	4,30E-04	3	1,40E-04	0,14	0,932
		Bloque	4,00E-04	2	2,00E-04	0,19	0,829
		Error	0,01	5	1,00E-03		
		Total	0,01	10			
	90 días pos-fertilización	Modelo.	0,05	5	0,01	2,04	0,2265
		Tratamiento	0,03	3	0,01	2,43	0,1805
		Bloque	0,01	2	0,01	1,45	0,3195
		Error	0,02	5	4,40E-03		
		Total	0,07	10			

Sitio		F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
11	30 días pos-fertilización	Modelo.	0,02	5	3,30E-03	0,78	0,5961
		Tratamiento	1,00E-02	3	2,70E-03	0,66	0,6077
		Bloque	0,01	2	4,10E-03	0,98	0,4295
		Error	0,03	6	4,20E-03		
		Total	0,04	11			
	60 días pos-fertilización	Modelo.	0,03	5	0,01	0,67	0,6598
		Tratamiento	0,01	3	3,70E-03	0,45	0,7293
		Bloque	0,02	2	0,01	1,01	0,4177
		Error	0,05	6	1,00E-02		
		Total	0,08	11			
	90 días pos-fertilización	Modelo.	2,50E-03	5	5,10E-04	0,08	0,9924
		Tratamiento	1,50E-03	3	5,00E-04	0,08	0,968
		Bloque	1,10E-03	2	5,30E-04	0,09	0,9192
		Error	0,04	6	1,00E-02		
		Total	0,04	11			
Sitio		F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
12	30 días pos-fertilización	Modelo.	0,04	5	0,01	0,89	0,5481
		Tratamiento	0,03	3	0,01	1,06	0,4428
		Bloque	0,01	2	0,01	0,64	0,5671
		Error	0,04	5	1,00E-02		
		Total	0,08	10			
	60 días pos-fertilización	Modelo.	0,06	5	1,00E-02	0,7	0,6453
		Tratamiento	0,03	3	0,01	0,62	0,6341
		Bloque	3,00E-02	2	1,00E-02	0,84	0,486
		Error	0,08	5	2,00E-02		
		Total	0,14	10			
	90 días pos-fertilización	Modelo.	0,11	5	0,02	2,53	0,166
		Tratamiento	0,1	3	0,03	4,03	0,0838
		Bloque	4,50E-03	2	2,30E-03	0,27	0,7742
		Error	0,04	5	1,00E-02		
		Total	0,15	10			

Sitio		F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
13	30 días pos-fertilización	Modelo.	0,14	6	0,02	1,84	0,2078
		Tratamiento	0,02	4	4,20E-03	0,34	0,8454
		Bloque	0,12	2	0,06	4,85	0,0417
		Error	0,1	8	1,00E-02		
		Total	0,24	14			
	60 días pos-fertilización	Modelo.	0,06	6	0,01	0,78	0,6074
		Tratamiento	0,05	4	0,01	0,84	0,5354
		Bloque	0,02	2	0,01	0,66	0,544
		Error	0,11	8	1,00E-02		
		Total	0,17	14			
	90 días pos-fertilización	Modelo.	0,1	6	0,02	2,4	0,1253
		Tratamiento	0,04	4	0,01	1,27	0,3576
		Bloque	0,07	2	0,03	4,66	0,0455
		Error	0,06	8	1,00E-02		
		Total	0,16	14			
Sitio		F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
14	30 días pos-fertilización	Modelo.	0,02	6	4,10E-03	1,59	0,2657
		Tratamiento	0,01	4	3,10E-03	1,19	0,3865
		Bloque	0,01	2	0,01	2,4	0,153
		Error	0,02	8	2,60E-03		
		Total	0,05	14			
	60 días pos-fertilización	Modelo.	0,08	6	0,01	2,95	0,0916
		Tratamiento	0,07	4	0,02	4,18	0,0483
		Bloque	4,00E-03	2	2,00E-03	0,47	0,6411
		Error	0,03	7	4,30E-03		
		Total	0,11	13			
	90 días pos-fertilización	Modelo.	0,02	6	3,20E-03	1,04	0,4671
		Tratamiento	0,01	4	2,40E-03	0,76	0,5775
		Bloque	0,01	2	4,90E-03	1,58	0,2635
		Error	0,02	8	3,10E-03		
		Total	0,04	14			

ANEXO No. 23: ANAVA de regresión entre el cambio de K intercambiable 0-90 días para el tratamiento 3 y el cambio de K int. en suelo para el tratamiento 4 (fertilizado con KCl) para el mismo periodo

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2.01	1	2.01	156.54	<0.0001
90-0 60P	2.01	1	2.01	156.54	<0.0001
Error	0.47	37	0.01		
Total	2.48	38			

ANEXO No. 24: ANAVA de regresión entre el cambio de K intercambiable 0-90 días para el tratamiento 1 y el cambio de K int. en suelo para el tratamiento 4 (fertilizado con KCl) para el mismo periodo.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1.52	1	1.52	58.06	<0.0001
90-0 T1	1.52	1	1.52	58.06	<0.0001
Error	0.97	37	0.03		
Total	2.48	38			

ANEXO No. 25: ANAVA de regresión entre el cambio de K intercambiable 0-90 días para el tratamiento 1 y el cambio de K int. en suelo para el tratamiento 4 (fertilizado con KCl) para el mismo periodo.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.58	1	0.58	11.28	0.0018
90-0 SC	0.58	1	0.58	11.28	0.0018
Error	1.90	37	0.05		
Total	2.48	38			

ANEXO No. 26: ANAVA de K (%MS) en hoja según tratamientos. Tratamiento 1: 0, tratamiento 3: 60P, tratamiento 4: 60P+60K y tratamiento 5: 60P+60K+10S.

Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
1	Modelo.	0.27	5	0.05	0.42	0.8180
	Bloque	0.22	2	0.11	0.86	0.4698
	tratamiento	0.05	3	0.02	0.13	0.9369
	Error	0.76	6	0.13		
	Total	1.03	11			
Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
6	Modelo.	0.10	5	0.02	2.17	0.1866
	Bloque	0.06	2	0.03	3.03	0.1229
	tratamiento	0.04	3	0.01	1.59	0.2868
	Error	0.06	6	0.01		
	Total	0.15	11			
Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
9	Modelo.	0.05	5	0.01	1.35	0.3763
	Bloque	1.5E-03	2	7.6E-04	0.10	0.9107
	tratamiento	0.05	3	0.02	2.18	0.2088
	Error	0.04	5	0.01		
	Total	0.09	10			
Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
10	Modelo.	0.24	5	0.05	1.05	0.4813
	Bloque	0.18	2	0.09	1.98	0.2326
	tratamiento	0.06	3	0.02	0.42	0.7457
	Error	0.23	5	0.05		
	Total	0.46	10			
Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
11	Modelo.	0.07	5	0.01	1.11	0.4435
	Bloque	0.03	2	0.01	1.15	0.3773
	tratamiento	0.04	3	0.01	1.08	0.4257
	Error	0.07	6	0.01		
	Total	0.14	11			

Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
12	Modelo.	0.02	5	4.1E-03	0.19	0.9557
	Bloque	0.01	2	0.01	0.27	0.7687
	tratamiento	0.01	3	2.9E-03	0.13	0.9367
	Error	0.13	6	0.02		
	Total	0.15	11			
Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
13	Modelo.	0.02	5	4.1E-03	0.19	0.9557
	Bloque	0.01	2	0.01	0.27	0.7687
	tratamiento	0.01	3	2.9E-03	0.13	0.9367
	Error	0.13	6	0.02		
	Total	0.15	11			
Sitio	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
14	Modelo.	0.24	4	0.06	2.30	0.2600
	Bloque	0.12	1	0.12	4.79	0.1164
	tratamiento	0.11	3	0.04	1.47	0.3798
	Error	0.08	3	0.03		
	Total	0.31	7			

ANEXO No. 27: ANAVA de contenido de K foliar según tratamiento y sitio.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	22.95	13	1.77	41.09	<0.0001
Tratamiento	0.35	4	0.09	2.04	0.0947
Bloque	0.24	2	0.12	2.82	0.0643
Sitio	22.35	7	3.19	74.34	<0.0001
Error	4.25	99	0.04		
Total	27.20	112			

ANEXO No. 28: ANAVA de regresión entre K en suelo a siembra y %K foliar R2-R3 (a), y K en suelo a 60 dpf y %K foliar R2-R3 (b).

	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
(a)	Modelo.	16.74	1	16.74	201.08	<0.0001
	K suelo Siembra	16.74	1	16.74	201.08	<0.0001
	Error	8.99	108	0.08		
	Total	25.73	109			
	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
(b)	Modelo.	11.97	1	11.97	90.23	<0.0001
	K suelo 60	11.97	1	11.97	90.23	<0.0001
	Error	14.72	111	0.13		
	Total	26.69	112			