

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**APLICACIÓN TARDÍA DE POTASIO Y SU EFECTO EN EL RENDIMIENTO
Y CALIDAD DEL CULTIVO DE SOJA**

por

Maximiliano DINARDI QUEVEDO

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

MONTEVIDEO

URUGUAY

2017

Tesis aprobada por:

Director: -----
Ing. Agr. (PhD.) Mónica Barbazán

Ing. Agr. (PhD.) Amabelia del Pino

Ing. Agr. (Mag.) Marcelo Ferrando

Fecha: 29 de agosto de 2017

Autor: -----
Maximiliano Dinardi Quevedo

AGRADECIMIENTOS

A la Ing. Agr. (PhD.) Mónica Barbazán por la posibilidad de guiarme bajo su tutoría en la realización de este trabajo, por su apoyo y ayuda en cada momento.

Al personal de laboratorio, tanto del departamento de suelos y aguas en Montevideo como en la EEMAC; personal de biblioteca de Facultad de Agronomía por el aporte en la realización del trabajo. Sobre todo a la Lic. Sully Toledo por su labor en la corrección del presente trabajo.

A los productores, técnicos y empresas que colaboraron con el aporte de datos y permitieron la instalación de los ensayos en sus establecimientos.

A mi familia por el apoyo incondicional en el transcurso de esta etapa que se ve culminada con este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1. EFECTO DEL K EN LAS PLANTAS.....	3
2.2. REQUERIMIENTOS DE K POR EL CULTIVO DE SOJA.....	6
2.3. EFECTO DE K EN LA PROTEÍNA.....	7
2.4. RESPUESTA EN RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE SOJA AL AGREGADO DE K.....	8
2.5. FUENTES DE K.....	10
2.5.1. <u>Cloruro de K (KCl) o muriato de K (MOP)</u>	10
2.5.2. <u>Sulfato de K (SOP)</u>	11
2.5.3. <u>Nitrato de K (NOP)</u>	11
2.6. APLICACIÓN DE K Y SISTEMAS DE LABOREO DEL SUELO.....	11
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	14
3.1. DESCRIPCIÓN DE LOS EXPERIMENTOS.....	14
3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	15
3.3. DETERMINACIONES REALIZADAS.....	15
3.3.1. <u>Cosecha</u>	15
3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	16
3.4.1. <u>Modelo estadístico</u>	16
3.4.2. <u>Análisis de varianza</u>	16
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	17
4.1. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS.....	17
4.2. RENDIMIENTO EN GRANO.....	18
4.3. EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN POTÁSICA EN LA CONCENTRACIÓN DE N EN EL GRANO.....	20
4.4. EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN POTÁSICA EN EL SUELO.....	23
4.4.1. <u>Evolución del K en el suelo a la cosecha</u>	23
4.4.2. <u>Concentración de Ca, Mg y Na en el suelo a la cosecha</u>	24
4.4.2.1. Evolución del Ca en el suelo a la cosecha.....	24
4.4.2.2. Evolución del Mg en el suelo a la cosecha.....	25
4.4.2.3. Evolución del Na en el suelo a la cosecha.....	26
5. <u>CONCLUSIONES</u>	27
6. <u>RESUMEN</u>	28
7. <u>SUMMARY</u>	29
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	30

9. ANEXOS..... 34

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Características edáficas de los sitios.....	15
2. Rendimiento en grano para los sitios estudiados.....	19
3. Concentración de N en el grano de soja.....	21
4. Extracción de N con la cosecha del grano de soja en los sitios estudiados.....	22
5. Nivel del K en el suelo a la cosecha a la profundidad de 0 a 15 cm.....	23
6. Nivel del Ca en el suelo a la cosecha a la profundidad de 0 a 15 cm.....	25
7. Nivel del Mg en el suelo a la cosecha a la profundidad de 0 a 15 cm.....	25
8. Nivel del Na en el suelo a la cosecha a la profundidad de 0 a 15 cm.....	26
Figura No.	
1. Precipitaciones efectivas mensuales 2013/14 e histórica mensual.....	17

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de soja [*Glycine max.* (L.) Merr.] es uno de los principales cultivos producidos en el mundo, caracterizado por poseer altos contenidos de proteínas y valor energético. En su composición el grano de soja posee 40% de proteínas y 20% de aceite. En el año 2012, la cantidad producida a nivel mundial fue de aproximadamente 276 millones de toneladas de grano, en un área total sembrada de algo más de 111 millones de ha, originando un rendimiento promedio de 2,5 ton ha⁻¹ (FAO, 2013). El 34% de ese volumen total fue producido por EEUU, el 28 % por Brasil, el 17 % por Argentina, y entre el 10 y 11% por China e India. La productividad lograda por los dos primeros países fue de 2,9 ton ha⁻¹, siendo Turquía el país que registra la mayor productividad promedio, de 4,1 ton ha⁻¹.

En Uruguay, la soja fue el cultivo más sembrado en 2013, ocupando un área de 1,2 millones de ha. Sin embargo, hasta el año 2001, se sembraban solo unas 30000 ha, lo cual denota que en un período muy corto se ha producido en el país una notoria expansión de este cultivo. Esta expansión se explica no solo por el desplazamiento de cultivos tradicionales, sino también por la ocupación de suelos que históricamente no se destinaban a la agricultura, ya que presentan menor aptitud para cultivos de secano. Estos cambios han sido posible, además porque se generalizó la adopción de sistemas de laboreo del suelo conservacionistas, así como también la disponibilidad de nuevas variedades y manejo de cultivos. Todo esto originó la especialización de la agricultura e intensificación del uso del suelo. Según MGAP. DIEA (2015), en el año 2013 se realizaban 1,47 cultivos por hectárea y por año.

El rendimiento nacional promedio del cultivo de soja, fue para la zafra 2013/14, de 2,39 ton ha⁻¹ (MGAP. DIEA, 2015), el cual es algo inferior al promedio mundial, y muy inferior al producido a nivel experimental, ya que, para las condiciones del país, se puede obtener un rendimiento potencial de 7,2 ton ha⁻¹. Estas diferencias pueden ser en parte explicadas por el manejo nutricional del cultivo. Debido a la tradicionalmente escasa participación del cultivo en la agricultura nacional, la generación de conocimiento sobre su manejo tecnológico, en especial en relación a los nutrientes, se ha ido desarrollando conjuntamente con el cultivo en un corto periodo de tiempo.

Para producir una ton. de grano, el cultivo de soja requiere absorber aproximadamente 33 kg de potasio (K). Por lo tanto, para producir un rendimiento de 2,3 ton ha⁻¹, el cultivo requeriría absorber unos 76 kg ha⁻¹ de K. Este requerimiento es casi el doble de lo que requiere el cultivo de trigo, para producir una tonelada de grano (19 kg de K ton⁻¹ de grano). Por lo tanto, un cultivo de 4 ton ha⁻¹, requiere absorber 76 kg ha⁻¹ de K.

En los últimos años, mediante relevamientos nutricionales de cultivos y pasturas el K ha sido constatado como una de las limitantes de la producción de algunos cultivos realizados en el país.

Específicamente en soja, en un trabajo más reciente realizado por Bordoli et al. (2013) se encontró que el 28% de las chacras tenían niveles de K intercambiables por debajo de $0,30 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$. De las muestras de hoja con pecíolo, el 33% para soja de primera y el 41% para soja de segunda, presentó concentración de K inferior a la utilizada como referencia. Estos autores concluyeron que debería profundizarse en el manejo de este nutriente en soja.

En general, en cultivos anuales se recomienda la aplicación de K en momentos cercanos a la siembra. García (2013) menciona que las aplicaciones de K realizadas pre-siembra o a la siembra de cultivos anuales resultan más eficientes. Además, se aumenta la eficiencia cuando el K es aplicado e incorporado en forma localizada, aunque también puede ser aplicado en cobertura, con anticipación a la siembra. Estas recomendaciones se basan en que en cultivos anuales como maíz, cuando la deficiencia de K ocurre durante las etapas iniciales de crecimiento del cultivo, la aplicación de dosis más altas de K en etapas posteriores no llegaría a compensar completamente la deficiencia anterior. Sin embargo, en cultivos como el de soja, el cual absorbe altas cantidades de K en etapas avanzadas de su desarrollo, se podría decidir una aplicación de K más tardía cuando el cultivo se encuentra en pleno desarrollo.

El efecto del agregado de K puede incidir en el cultivo de soja no solo en la cantidad de grano producida, sino en la calidad, en especial en el contenido de proteína. Este aspecto ha sido poco estudiado en el país, y a nivel mundial los resultados son inconsistentes.

Dada la estrecha dependencia de la agricultura del país por los fertilizantes importados y los precios de los mismos, una de las inquietudes es conocer si el K puede ser aplicado en momentos avanzados del desarrollo del cultivo, sin perder rendimiento. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la aplicación de K en dos dosis agregadas en dos momentos del ciclo del cultivo de soja y estudiar su efecto tanto en rendimiento y calidad de grano como en el suelo.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. EFECTO DEL K EN LAS PLANTAS

El K es uno de los elementos esenciales para las plantas, requerido en grandes cantidades (Marschner, 1995). Se caracteriza por presentar alta movilidad dentro de la planta. Si hay una baja absorción de K, dentro de la planta se mueve hacia los órganos en crecimiento. Los síntomas de deficiencia se observan en las hojas más viejas, iniciándose como un amarillamiento o quemado en la punta de las hojas, avanzando hacia el centro de las mismas (Marschner, 1995).

Dentro de la planta, el K se mueve por medio del xilema y del floema, desplazándose fácilmente desde los órganos viejos hacia los diferentes órganos en desarrollo (Kant y Kafkafi, 2001).

Para ser absorbido por las plantas, debe estar disuelto como ion K (K^+) en la solución del suelo. El K llega a las raíces por flujo de masa y difusión. Cuando hay déficit de agua en el suelo el cultivo se hace más dependiente del desarrollo de su sistema radicular para acceder al K.

La asimilación de K por parte de las plantas está afectada por el tipo y densidad radicular. Las gramíneas poseen un sistema radicular de tipo fibroso, con ramificaciones laterales. En condiciones de bajos niveles de K en el suelo, cultivos como la alfalfa tienden a desarrollar un sistema radicular pivotante y menos ramificado. Por otro lado, cuando hay altos niveles de K en el suelo se estimula el desarrollo radicular, con desarrollo de ramificaciones y raíces laterales, tanto en alfalfa como en gramíneas (Hernández, 1992).

Hernández (1992) además menciona que la efectividad de los cultivos para hacer uso del K del suelo, está relacionada con las propiedades de intercambio catiónico de sus raíces, siendo los cultivos más eficientes en extraer K del suelo los que presentan raíces con baja capacidad de intercambio catiónico como gramíneas y cereales. Por lo cual estos cultivos responden menos al agregado de K debido a su alta capacidad de extraer K del suelo, en relación a leguminosas como los tréboles, con valores altos de intercambio catiónico.

El estado fenológico de la planta determina los requerimientos de K. En una planta de maíz recién emergida los requerimientos de K no son importantes, pero la absorción alcanza una tasa máxima a las tres semanas antes de la emisión de panojas. Por lo tanto, el K en el suelo debe cubrir los requerimientos durante los periodos de mayor absorción para obtener un adecuado desarrollo de la planta (Hernández, 1992).

En la etapa inicial del desarrollo (germinación), los nutrientes se transportan desde la semilla hacia otros órganos. Según Kant y Kafkafi (2001) en la mayoría de las semillas de los cultivos de grano el contenido de K en base seca es de entre 0,4 y 1,0 %.

Buckner, citado por Kant y Kafkafi (2001) observó que no todo el K presente al inicio del cultivo, en órganos como cotiledones del maíz y porotos, y tubérculos de papas, es redirigido posteriormente a las plántulas. El 45 % del K total aproximadamente quedó en los cotiledones no funcionales de plantines en poroto. Por otro lado las hojas y los tallos de los plantines contenían el 46 % de K, y el 9 % restante se encontraba en las raíces. En plántulas de maíz, por otro lado, se observó que los cotiledones no funcionales contenían el 20% del K original de la semilla. Las hojas contenían cerca del 35% del K y el restante estaba distribuido en similar proporción entre las raíces y el tallo.

En cultivos anuales, durante el período de crecimiento vegetativo se alcanza la máxima acumulación de materia seca. En trigo, la acumulación máxima de K en las partes aéreas fue encontrada cerca del momento de la floración, entre el fin del macollaje y el comienzo de la floración (Kant y Kafkafi, 2001). Este período se caracteriza también por importantes acumulaciones de elementos inorgánicos, especialmente de K. Cuando un cultivo anual crece, hay un aumento en la síntesis de tejidos, por lo que la concentración de K expresada como porcentaje de materia seca disminuye, pero la cantidad total de K en valor absoluto aumenta. En fases posteriores del cultivo, el K consumido durante este período, es distribuido desde los tejidos maduros a los tejidos en crecimiento ya sean vegetativos o reproductivos (Kant y Kafkafi, 2001).

Durante la floración se observa la distribución de elementos inorgánicos dentro de la planta. La disminución de la absorción de K del suelo durante la formación del fruto se debe principalmente a la disminución del suministro de carbohidratos a las raíces y a la absorción por parte de éstas (Lawon y Cook, citados por Kant y Kafkafi, 2001). La acumulación de K en hojas y tallos aumenta hasta la floración, después de floración la acumulación de K disminuye progresivamente en tallos y hojas y empieza a aumentar en la semilla.

El K dentro de la planta participa en diferentes funciones, como osmorregulación, síntesis de almidón, apertura y cierre de estomas, balance de cargas iónicas, síntesis de proteínas y activación de enzimas. Las enzimas están involucradas en diferentes procesos metabólicos como la síntesis de almidón, el uso de la energía, el metabolismo del nitrógeno y la respiración (Delly Veiga et al., 2010).

Los efectos de factores bióticos y abióticos, tales como sequías, salinidad, heladas, ataques de insectos o enfermedades, causantes de stress en los cultivos, se ven disminuidos con adecuada disponibilidad de K (Kant y Kafkafi, 2001). Plantas deficientes en K muestran menor síntesis de proteínas y acumulación de compuestos nitrogenados solubles como aminoácidos, amidas y nitrato (Delly Veiga et al., 2010).

Cabe destacar que el K influye principalmente en factores de calidad de los órganos cosechados, más que en el rendimiento. Una adecuada disponibilidad de K contribuye a factores de calidad como pueden ser más color, tamaño, sabor y mayor duración de los frutos luego de cosechados (Melgar y Castro, 2005).

En cuanto a la calidad de frutas y vegetales el efecto del K está relacionado con el ahorro de agua, el mantenimiento de la turgencia y el control del potencial osmótico de las células de la planta. Por lo tanto es fundamental un correcto suministro del K en las relaciones hídricas de la planta ya que afecta directamente en la calidad de los órganos cosechados (Lazcano-Ferrat, 2006).

Da Silva et al. (2001) mencionan un lento crecimiento y poco desarrollo radicular en plantas deficientes en K. Los tallos se vuelven quebradizos, y se retarda la maduración. Los granos producidos son generalmente de tamaño pequeño y deformados. Otro efecto observado en plantas deficientes en K es una mayor susceptibilidad a enfermedades. Estos efectos producidos por la deficiencia de K, se acentúan en situaciones donde el cultivo sufre prolongados períodos de estrés por falta de agua en el suelo.

Mediante un estudio donde se consultaron 2450 referencias bibliográficas Perrenoud, citado por Krauss (2001), concluyó que la aplicación de K disminuyó la incidencia de enfermedades de hongos en el 70% de los casos. Para bacterias la disminución observada fue del 69%, en insectos y ácaros el 63% y virus el 41%. Por otro lado, comprobó que el K aumentó la producción en plantas infestadas con enfermedades fúngicas en el 42%, con bacterias en el 57%, con insectos y ácaros el 36 %, y con virus el 78%.

Revisando diferentes trabajos donde se observó el efecto de la fertilización potásica en las relaciones huésped/patógeno para el cultivo de arroz, Krauss (2001) explica que se logró disminuir la incidencia de podredumbre del tallo y aumentar el rendimiento del cultivo con aplicación de K. En otras enfermedades del arroz, como la mancha marrón de la hoja, piricularia o tizón del cariopse, se encontraron relaciones inversas entre la incidencia de la enfermedad y la nutrición potásica de la planta. Para enfermedades en arroz causadas por bacterias como *Leaf blight* y *Xanthomonas oryzae*, se observó también el efecto de aplicar K, con diferentes grados de resistencia entre las variedades. También se observaron diferencias según las variedades de arroz en la incidencia de los efectos de insectos como *Sogatella furcifera*, donde logró reducirse la población de insectos con el agregado de K en la variedad resistente, pero no en la variedad susceptible (Krauss, 2001).

Sweeney et al., citados por Krauss (2001) observaron una reducción en la severidad de la roya de la hoja (*Puccinia triticina*) con la fertilización potásica, además de un aumento en el peso del grano, aunque parte del impacto positivo los autores se lo atribuyen al efecto del cloruro (KCl) aplicado como fertilizante.

Salvagiotti et al. (2005) mediante un experimento donde se estudió el efecto del K y el Cl por separado en la severidad de enfermedades en trigo, encontraron que el factor determinante fue el genético. No encontraron efecto significativo de la fertilización con K y Cl por separado ni con KCl dentro de cada variedad. Pero sí obtuvieron diferencias entre variedades, expresándose la enfermedad en la variedad susceptible.

2.2. REQUERIMIENTOS DE K POR EL CULTIVO DE SOJA

Cada cultivo requiere cantidades diferentes de K. Según el órgano cosechado y la producción promedio por unidad de área, las cantidades de K que se exportan con la producción agrícola son diferentes. Esto, sumado a la disponibilidad de K de los diferentes suelos, determinan necesidades diferentes de fertilización potásica (Melgar y Castro, 2005).

El movimiento de K en los suelos ocurre principalmente por difusión y, por lo tanto, la acumulación de K por la planta es altamente dependiente de la exploración radicular. Comparando con los sistemas radiculares de cereales, como maíz, trigo o cebada, la soja tiene una muy baja longitud de raíz y densidad en la superficie del suelo (0 a 15 cm de capa). Barber (1995) informó que la densidad de longitud radicular de la soja es 2 cm cm^{-3} para las plantas de 90 días de edad, mientras que otros estudios reportaron $4,1 \text{ cm cm}^{-3}$ para 79 días de edad en maíz; para las plantas de 94 días de edad, $3,3 \text{ cm cm}^{-3}$ para el trigo y $4,2$ para la cebada. Por lo tanto, dado un suelo con idéntico contenido de agua y K intercambiable, la mayor demanda de K para la absorción del cultivo de soja, en comparación con el maíz, podría traducirse en más del doble de la tasa de absorción por unidad de longitud de la raíz (Fernández et al., 2009).

Al igual que en otros cultivos de grano, se ha demostrado que las diferentes variedades de soja difieren en la absorción total de K. Estas diferencias en absorción de K se reflejan después en el potencial de rendimiento de cada variedad (Hanway y Weber, citados por Pettigrew, 2008).

La soja, dentro de los cultivos extensivos sembrados en el país, es el cultivo con mayor concentración de proteínas y aceite, especialmente en el grano. Estos contienen aproximadamente 40% de proteínas y 20% de aceite.

Para producir una ton. de grano el cultivo requiere 79 kg de N y 33 kg de K. Como toda leguminosa, la soja obtiene el N principalmente por fijación biológica (FBN). Sin embargo, el K se absorbe por las raíces.

Además de las exportaciones de K con el grano, deben ser consideradas las pérdidas por lixiviación y erosión. Casanova y Ferrando (2003) demostraron, mediante un experimento donde midieron el lavado de bases mediante lisímetro, que las pérdidas de K por lixiviación son altamente dependientes del régimen hídrico y no así del tipo de suelo y contenidos iniciales de K intercambiables. Además concluyeron que durante el período estudiado (3 años), las pérdidas por lixiviación de bases totales, superaron en la mayoría de los casos, la extracción que puede realizar un cultivo anual como la cebada con un rendimiento de 2000 kg ha^{-1} . Por lo tanto, la fertilización debe contemplar las diferentes maneras por las que se pierde el K del suelo, para poder mantener adecuados niveles del nutriente para los cultivos.

2.3. EFECTO DEL K EN LAS PROTEÍNAS

El K cumple diversas funciones dentro de las plantas, una de ellas es la que cumple como activador de enzimas, interviniendo de esta manera en la síntesis de proteínas y en la reducción del NO_3 (Hernández, 2010).

Existe relación directa e indirecta del K con el metabolismo de las proteínas en la plantas (Pettigrew, 2008). En primera instancia el K tiene efecto en la estimulación de la absorción del NO_3 y su transporte dentro de la planta. Mengel, citado por Pettigrew (2008) demostró que el transporte de aminoácidos se favorece con altos niveles de K, y principalmente el transporte de aminoácidos que son utilizados para el desarrollo del grano. Además, el K tiene un papel fundamental en la mayor parte del proceso de síntesis de proteínas, tanto en la activación de enzimas como en la síntesis de ribosomas y la rotación de ARNm (Pettigrew, 2008).

Por su parte, Blevins (1985) observó en cultivos que contenían altas concentraciones de proteínas en el grano, que estos además, tendían a tener alto índice de cosecha de K (cantidad de K en el grano a la cosecha / K totales en grano y rastrojo).

Usherwood, Yang et al., citados por Pettigrew (2008), obtuvieron efecto significativo de la fertilización con K, en el aumento del contenido de proteína en el grano de maíz. El primero obtuvo resultado al fertilizar con K el cultivo de maíz y el segundo al pasar de fertilizar con N y P a utilizar N-P-K como fertilizante.

Además del rendimiento, la calidad de grano contribuye en el valor económico de la producción. El mismo se puede definir por el contenido de proteína y aceite en el grano, el cual en soja es de 40 y 20%, respectivamente (Tanaka et al., 1995). En general, se observa una relación inversa entre el contenido de proteína y el contenido de aceite en el grano, pero difiere según los cultivos (Pettigrew, 2008).

Delly Veiga et al. (2010) mediante un experimento donde midieron el efecto de diferentes dosis de K en el contenido de proteína en el grano de soja, concluyeron que, a medida que la dosis de K aumenta, también aumenta el contenido de aceite, pero se reduce el contenido de proteína, alcanzando un contenido mínimo de proteínas con la dosis de 160 kg ha^{-1} de K_2O . Tanaka et al. (1995) mencionan que la fertilización potásica provocó un aumento del contenido de aceite en 2,2 puntos porcentuales en el grano de soja y una disminución en el contenido de proteína de entre 4,2 y 6,6 puntos porcentuales. Diferentes autores citados por Pettigrew (2008) obtuvieron resultados similares a los encontrados por DellyVeiga et al. (2010). Expresada por unidad de área, la producción de proteína en el grano aumentó debido al aumento en el rendimiento en granos de soja.

Por el contrario, Seguin y Zheng (2006) no encontraron resultados consistentes al realizar una fertilización potásica, en el contenido de aceite y proteínas en el grano de soja. Pettigrew (2008), cita a diferentes autores, los cuales no obtuvieron respuestas significativas al aplicar K en el contenido de proteínas en el grano de trigo. Por su parte,

en el país, Bautes et al. (2009) encontraron aumentos significativos en la calidad de granos de cebada. Fernández et al. (2009) tampoco encontraron un efecto significativo en el contenido de aceite y proteína en el grano de soja, con el agregado de K. Además los autores concuerdan con lo citado en la bibliografía, donde hay resultados contradictorios en cuanto al efecto del K en la calidad del grano, ya que menciona resultados de diferentes autores que coinciden en la falta de respuesta en el contenido de proteína y aceite en el grano a la fertilización potásica, pero también menciona trabajos donde se obtuvo respuesta en el contenido de aceite con el agregado de K, y un efecto contrario en el contenido de proteína en el grano de soja.

2.4. RESPUESTA EN RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE SOJA AL AGREGADO DE K

Para realizar recomendaciones de fertilización, la herramienta más usada es el análisis del suelo. En forma complementaria se puede usar el diagnóstico foliar, aunque la posibilidad de corregir deficiencias y obtener respuesta al agregado de nutrientes basado solo en un análisis foliar, es limitada.

Para el diagnóstico foliar, las muestras se deberían tomar del tercio superior en el inicio de floración. La concentración considerada adecuada está en el rango de 17,1 a 25,0 g kg⁻¹ de K en hoja (Da Silva et al., 2001).

Pettigrew (2008) menciona que la respuesta en rendimiento a la fertilización con K puede atribuirse al aumento en la mayoría de los componentes de rendimiento. El número de vainas por planta y el peso de semillas, aumentan en respuesta a la fertilización con K. Coale y Grove, citados por Pettigrew (2008) encontraron que el aumento de rendimiento del cultivo de soja fue debido al aumento de la producción de vainas por planta y más semillas por vaina.

Fernández et al. (2009) concluyen que el hecho de que el tratamiento mediante el cual se aplican bajos niveles de K haya arrojado menor rendimiento y mayor número de vainas pequeñas (desprovista de semillas contables) en el cultivo de soja en estado de R6, indica que el potencial inicial de vainas y semillas no es limitado por la fertilización con K. Por el contrario, baja disponibilidad de K reduce el potencial para llenar los granos formados dentro de las vainas.

Petter et al. (2014) mediante un trabajo realizado en la zona de Bom Jesus-PI (Brasil), durante la zafra de soja 2010/2011, sobre un suelo clasificado como Latosol Amarillo, con niveles iniciales de K en el suelo de entre 0,16 y 0,20 meq 100 g⁻¹ de suelo, donde se aplicaron cinco dosis (30, 60, 90, 120, 150) de K₂O y un tratamiento testigo; obtuvieron respuestas significativas en el rendimiento en grano de soja hasta dosis de 90 kg ha⁻¹. La falta de respuesta con mayores dosis fue atribuida a los altos niveles de K medidos en el suelo y al efecto que esto puede tener en la absorción de nutrientes como Mg y Ca.

A nivel nacional, en un experimento desarrollado sobre cultivos de maíz en la zafra 2006/07, sobre un suelo que contenía $0,16 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ de suelo a la siembra, el cual comparó diferentes dosis de K y un testigo, Cano et al. (2007) obtuvieron diferencias importantes entre los tratamientos fertilizados y el testigo. Mientras que el promedio de los tratamientos fertilizados fue de 6200 kg ha^{-1} , el testigo sin fertilizar rindió 2638 kg ha^{-1} . El experimento arrojó además un peso de mil granos significativamente menor en el testigo en comparación a los tratamientos fertilizados.

Durante la zafra 2007/2008, Bautes et al. (2009) realizaron ensayos que consistían en la aplicación de diferentes dosis de K en cebada, soja, maíz y sorgo. Los sitios se ubicaron sobre las Unidades Cuchilla de Corralito, Villa Soriano, Bequeló y Risso. Estos autores encontraron respuesta a la aplicación de K en cultivos de invierno y verano, para rendimiento en grano, parámetros de calidad y en K exportado. Estos efectos fueron observados en suelos con una concentración de entre $0,18$ y $0,37 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ de suelo de K intercambiable.

García et al. (2009) estudiaron la respuesta a K en nueve experimentos sobre trigo y cebada, instalados en el litoral sur del país, y encontraron que solo en uno de los sitios hubo incremento en el rendimiento con el agregado del fertilizante. Este sitio presentó, además, una concentración de K en planta de $3,04\%$ y un rendimiento de $5,7 \text{ ton ha}^{-1}$. Además, con la dosis más baja utilizada (100 kg ha^{-1} de KCl) ya se alcanzó el máximo rendimiento.

Mediante un relevamiento de datos correspondientes a experimentos de diferentes autores a nivel nacional, con el objetivo de llegar a un nivel crítico para K en el suelo, Barbazán et al. (2011a) obtuvieron en general una tendencia a incrementar el rendimiento con el agregado de K. En 10 de los 50 sitios se obtuvieron incrementos significativos ($P < 0.05$) y en 15 sitios ($P < 0.10$).

Bautes et al. (2009) en una serie de ensayos realizados con fertilización potásica sobre diferentes cultivos en la zafra 2007/2008, encontraron que en la mayoría de los sitios de soja, la fertilización potásica afectó positivamente el contenido de K en la hoja con pecíolo medidos en R2, con valores promedio entre $0,73\%$ y $1,69\%$ de K. Pero sin embargo, ese efecto no lo obtuvieron en el rendimiento, donde solo hubo diferencias significativas entre el tratamiento testigo y los tratamientos fertilizados, en uno de los sitios para soja.

Los niveles de K en suelos agrícolas de Uruguay, según comentan Barbazán et al. (2011b) han ido históricamente disminuyendo debido a la ausencia de fertilización con K. A esto se le suma el incremento en la producción del cultivo de soja, el cual se caracteriza como muy extractivo y de poca devolución de nutrientes en el rastrojo. Además, el cultivo pasó a ocupar diversas regiones del país y una amplia gama de suelos con diferentes contenidos de K.

Morón y Quincke (2010) informaron que los niveles de K en suelos bajo agricultura dentro del departamento de Soriano disminuyeron en un 40% (0 a 7,5 cm de profundidad) y 44% (7,5 a 15 cm de profundidad) con respecto a los niveles observados en los mismos suelos sin historia de agricultura.

El mencionado efecto que ha sufrido el K en los suelos del país, despertó el interés en los investigadores sobre el K y sus efectos en los cultivos utilizados. Barbazán et al. (2011a) mediante una serie de experimentos que incluyeron diferentes situaciones climáticas, cultivos y variables de manejo, donde se evaluaron los datos en conjunto para minimizar el efecto de estas variables, determinaron que el nivel crítico es de 0,34 meq K 100g⁻¹ de suelo. Este valor encontrado no está muy alejado del rango recomendado a partir de experimentos realizados en el cinturón maicero de EEUU a principios de los 80; dicho rango era de 0,23-0,33 meq K 100g⁻¹, el cual además, fue utilizado como referencia en Uruguay durante un tiempo debido a la escasa información sobre el tema a nivel nacional. Tampoco se aparta de los datos citados por García (2005) el cual menciona que en el sur de Brasil, los niveles críticos indicados son de 80-120 ppm K (0,2-0,3 meq 100g⁻¹).

Para realizar recomendaciones de fertilización, además de conocer el dato del análisis de suelo y disponer de un valor de referencia, es necesaria la información sobre qué efecto tiene el agregado de nutriente en el suelo (equivalente fertilizante). Teóricamente, se requieren 1170 kg ha⁻¹ de K₂O para aumentar 1 meq K 100g⁻¹ ha⁻¹ en un suelo con 1,25g cm⁻³ de densidad aparente en los primeros 20 cm del perfil (Hernández et al., 2010).

2.5. FUENTES DE K

Los fertilizantes potásicos utilizados son varios. Melgar y Castro (2005) mencionan como los principales fertilizantes potásicos: el cloruro (60 % K₂O), el sulfato (50 % K₂O) y el nitrato de K (46 % K₂O). En general la característica principal de las fuentes de K es su alta solubilidad. La elección de la fuente a utilizar está explicada por el costo, ya que las diferentes fuentes tienen similar disponibilidad para el cultivo. La fuente más económica es el cloruro de K (KCl). El sulfato de K (K₂SO₄) además aporta S. El nitrato de K tiene mayor costo de producción.

La fuente más usada de K es el KCl. El fertilizante proviene de la silvita mineral extraída principalmente de Canadá, Rusia y Bielorrusia (García y Quincke, 2012). Desde el punto de vista económico son importantes los sulfatos y cloruros de K, ya que su grado de disolución es mayor (Melgar y Castro, 2005).

2.5.1. Cloruro de K (KCl) o muriato de K (MOP)

El KCl se obtiene por refinación de la silvinita o extraído de los minerales carnalíticos o salmueras marinas. Los principales procesos de transformación son cristalización, molienda, flotación. El KCl se presenta en distinta granulometría, según su uso final: aplicación directa como fertilizante, mezclas fertilizantes con N y P, u otros usos

industriales. El KCl además de ser la fuente más común de K, es la más económica, tanto por peso como por unidad de K. La producción de este fertilizante representa, a nivel mundial, el 91 % de los fertilizantes potásicos.

2.5.2. Sulfato de K (SOP)

El SOP se produce de dos formas: como sulfato de K, o sulfato doble de K y magnesio (Mg). Proviene de la kainita, kieserita, langbeinita u otros minerales (producción primaria), o por conversión del MOP (producción secundaria). Contiene un 50 % de K_2O . Es soluble en agua y el de mayor precio por unidad de K. Se utiliza en cultivos que no toleran el Cl y aquellos que además requieran S; como también en regiones con problemas de acumulación de sales. El sulfato doble de K y Mg es usado cuando los cultivos requieren Mg además de K.

2.5.3. Nitrato de K (NOP)

A nivel mundial, la mayor producción de NOP se realiza a baja temperatura en una reacción de KCl con nitrato de Na (producción primaria). Chile es el mayor productor mundial de este fertilizante, con una producción de más de un millón de toneladas anuales. También puede fabricarse haciendo reaccionar KCl con ácido nítrico (producción secundaria). La concentración comercial varía entre 44 y 46 % de K_2O .

2.6. APLICACIÓN DE K Y SISTEMAS DE LABOREO DEL SUELO

El aporte de K mediante fertilizantes es necesario para reponer las posiciones de intercambio consumidas por los cultivos, en una agricultura cada vez más intensiva y extractiva que requiere rápidamente una reposición de K lábil a la solución del suelo (Conti, 2002).

Cubilla (2014) planteó para una secuencia de tres cultivos, diferentes formas de aplicar fertilizantes con P y K en Paraguay, dependiendo de los análisis de suelo iniciales. Cuando los análisis de suelos arrojan valores por debajo del nivel crítico, dentro de las categorías denominadas por el autor como “muy baja”, “baja” y “media” la opción planteada es de fertilización de corrección: total o gradual. Otra alternativa planteada por el autor es la fertilización de manutención, cuyo objetivo es mantener el nivel de P y K en el suelo por encima del nivel crítico, y consiste en reponer los nutrientes exportados por los granos y biomasa, además de otras pérdidas que ocurren en el sistema, que según menciona Cubilla (2014) son de 20 a 30%. Por último se menciona la fertilización por reposición, que consiste en reponer lo exportado por el cultivo en el grano y la biomasa, en condiciones de niveles de K en el suelo consideradas como “muy altas”.

Uno de los problemas más destacados de la adopción de siembra con laboreo reducido es la estratificación de nutrientes inmóviles, concentrados en la superficie del suelo. Randall (2001), al comparar formas de aplicación de nutrientes al voleo, en banda profunda o localización en líneas, no encontró diferencias significativas de rendimiento en el cultivo de soja. Este autor encontró escasa respuesta en rendimiento cuando el K fue

aplicado en bandas, pero esta práctica no compensaría el incremento en los costos de aplicación.

Este efecto ya había sido estudiado por Bordoli y Mallarino (1998) en 26 sitios en EEUU, donde fueron evaluadas tres formas de aplicación (al voleo superficial, bandeado profundo o bandeado 5 cm debajo y 5 cm al costado de la semilla) de P y K en maíz en sistemas de siembra directa. Como resultado obtuvieron que el bandeado profundo para K rindió más en los sitios donde, por lo menos durante 15 días, no se registraron precipitaciones y coincidió con la etapa de mayor absorción de K (entre 8 y 18 hojas del maíz). Al igual que Randall (2001), los autores plantean que estos aumentos en rendimiento del cultivo no justifican el mayor costo de estas aplicaciones de fertilizante en bandas profundas.

Otra variable que se tiene en cuenta a la hora de planificar la fertilización del cultivo, es el momento en el ciclo del cultivo que se debe realizar la aplicación de K. En un trabajo realizado durante la zafra 2010/2011, por Petter et al. (2014) en la zona de Bom Jesus-PI (Brasil), sobre un suelo con niveles de K de 0,20 meq 100 g⁻¹, se evaluaron diferentes tratamientos dosis-momento de aplicación de K en el cultivo de soja, no encontrando diferencias significativas en el rendimiento entre aplicar K a la siembra o a los 30 días post-siembra. Atribuyendo este resultado en parte al alto nivel de K medido a la siembra.

Por otro lado García (2013) menciona que las mayores eficiencias en aplicación de fertilizantes potásicos, se obtienen en aplicaciones pre-siembra o a la siembra de cultivos. Además explica que las aplicaciones foliares pueden ser una alternativa en algunos casos, debido a que la mayoría de los fertilizantes potásicos son muy solubles en agua.

García et al. (2009), mediante experimentos con diferentes dosis de K realizados en trigo y cebada en los departamentos de Soriano, Río Negro y Colonia encontraron que la dosis más baja utilizada (100 kg ha⁻¹ de KCl) fue suficiente para alcanzar el máximo rendimiento, lográndose con ella valores de K en plantas cercanos o mayores a 3 %. Es importante resaltar la relación que realizaron los autores para ese momento donde concluyeron que 100 kg ha⁻¹ era económicamente rentable obteniéndose 8 kg de grano por kg de KCl agregado, para una relación de precios insumo/ producto = 4.

Petter et al. (2014) pudieron determinar que la máxima eficiencia técnica fue de 3975 kg ha⁻¹, obtenida con una dosis de 98 kg ha⁻¹ de K₂O. Y la máxima eficiencia económica fue de 3967 kg ha⁻¹, obtenida con una dosis 90 kg ha⁻¹. Estos resultados se asemejan a los encontrados por Lana et al., citados por Petter et al. (2014). Por otro lado Gonçalves Júnior et al., citados por Petter et al. (2014) obtuvieron el mayor rendimiento en soja con la aplicación de 120 kg ha⁻¹ de K₂O en suelos con niveles medios de K.

Otro aspecto a estudiar para conocer la dinámica del K es cómo la aplicación de fertilizantes potásicos afecta el nivel de K intercambiable en el suelo a la cosecha. Bautes

et al. (2009) encontraron que en experimentos con dosis de 240 kg ha⁻¹ de K₂O, el análisis de K intercambiable en el suelo prácticamente no cambió en los sitios que presentaban inicialmente altos niveles de K intercambiable, Ca, Mg y Na. En cambio, en sitios con menor K intercambiable inicial la fertilización potásica aumentó el nivel de K (P<0,01), pero estos incrementos del K intercambiable fueron menores a 0,02 cmol kg⁻¹. Este reducido aumento, según explican los autores, podría deberse al efecto de la absorción de K total por el cultivo, estimado a partir del K medido en grano, así como al tipo de suelo que podría haber retenido K.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DESCRIPCIÓN DE LOS EXPERIMENTOS

Los experimentos fueron instalados durante la zafra de verano 2013/14, en dos sitios los cuales fueron denominados como: Los Ahogados (33°31'01.51" S, 56°56'51.51" O) y Los Fresnos (33°23'21.64" S, 57°13'25.08" O), ubicados en la 3^{ra} sección del departamento de Flores.

El sitio Los Ahogados se ubicó en una chacra nueva, que venía de campo bruto, en la cual se sembró una soja de la variedad 6411. El experimento se instaló sobre grupos CONEAT 10.3, donde predominan Brunosoles Éútricos Lúvicos, Brunosoles Éútricos Típicos y Vertisoles Rúpticos Lúvicos asociados a la Unidad Trinidad, según la Carta de reconocimiento de suelos 1:1.000.000 (MAP. DSF, 1976).

El sitio Los Fresnos se ubicó en una chacra cuya historia agrícola fue: soja 6411 en el verano 2011/12, barbecho en el invierno 2012, sorgo de primera en el verano 2012/13, barbecho en el invierno 2013. La variedad de soja sobre la cual se realizó el experimento fue 5909. Los grupos CONEAT de los suelos donde fue instalado el experimento son 9.1 y 9.5, con predominancia de Brunosoles Subéútricos Lúvicos y Brunosoles Subéútricos Típicos sobre unidad Paso Palmar, según la Carta de reconocimiento de suelos 1:1.000.000 (MAP. DSF, 1976).

La siembra fue realizada el 6 de noviembre de 2013. La instalación de los tratamientos fue realizada el 18 de noviembre. La segunda aplicación de K fue realizada en enero de 2014, al estado de R2-R3.

Ambos sitios fueron elegidos debido a que los datos del análisis de suelo del muestreo de suelos previo al realizado a la instalación de los experimentos presentaron valores cercanos o por debajo de los valores de referencia. Además, en ambos sitios se habían observado síntomas de deficiencias en K en cultivos anteriores.

Excepto por la fertilización potásica, las demás prácticas culturales fueron realizadas según las recomendaciones de manejo para cada sitio.

Cuadro 1. Características edáficas de los sitios estudiados.

Sitio	Prof. cm	K -----	Na cmol _e kg ⁻¹ -----	Ca	Mg	pH-H ₂ O	pH-KCl	P Bray 1 (mg kg ⁻¹)	C.Org. %
Los Ahogados	0-15	0,37	0,55	5,92	1,85	5,00	4,30	17	1,88
	15-30	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
Los Fresnos	0-15	0,15	0,46	5,86	1,27	4,64	3,94	46	1,41
	15-30	0,16	0,43	7,32	1,11	5,14	4,40	6	0,93

3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

Los dos experimentos fueron instalados en cultivos comerciales de soja, en secano. En ambos sitios se aplicaron cinco tratamientos siguiendo un diseño en bloques completos al azar (DBCA), con tres repeticiones. Los tratamientos fueron dos dosis de K (60 y 120 kg K₂O ha⁻¹) y dos momentos de fertilización (cerca a la siembra y a mitad de ciclo, R2-R3). Se dejó, además, un tratamiento testigo, sin aplicación de K. Las parcelas individuales fueron de tres metros de ancho por seis metros de largo.

3.3. DETERMINACIONES REALIZADAS

Previo a la aplicación de los tratamientos se tomó una muestra compuesta de suelos (10-15 tomas) por repetición, de 0-15 cm. Las muestras de suelo se llevaron al laboratorio, donde luego de secadas y molidas, se determinaron bases intercambiables (K, Na, Ca y Mg) mediante extracción con acetato de amonio 1M a pH 7, midiendo Ca y Mg por espectrofotometría de absorción atómica, K y Na por emisión. El P fue analizado mediante el método Bray 1. Además se determinó carbono orgánico y pH en H₂O y KCl.

3.3.1. Cosecha

La cosecha se realizó de forma manual, y consistió en tomar 6 m lineales por parcela. Para esto, se usó una medida de 1 m, ubicándolo al azar en los entresurcos y cortando la parte aérea de las plantas ubicadas a ambos lados, repitiendo este procedimiento 3 veces.

Las muestras se llevaron al laboratorio, donde se separó el grano de la planta mediante una trilladora fija. En cada muestra se determinó la humedad del grano cosechado y el peso. El rendimiento se corrigió posteriormente a la humedad del 13%. En grano se determinó la concentración de N por el método de Kjeldhal luego de la digestión de 0,5 g en ácido sulfúrico.

3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

3.4.1. Modelo estadístico

Para la instalación del experimento el modelo utilizado fue el de diseño en bloques completos al azar.

Modelo: $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$

$i = 1, 2, 3, 4, 5$

$j = 1, 2, 3$

Donde:

Y_{ij} corresponde a la variable estudiada en cada parcela (ej.: rendimiento de la unidad experimental (kg ha^{-1})).

μ corresponde a la media general.

τ_i el efecto del i -ésimo tratamiento.

β_j el efecto del j -ésimo bloque ($j=1, \dots, 3$) y

ε_{ij} es el error aleatorio asociado a la observación (error experimental de la unidad experimental).

Supuestos:

los ε_{ij} son independientes.

los ε_{ij} tienen distribución normal con esperanza cero y varianza común σ^2 .

3.4.2. Análisis de varianza

Mediante un análisis de varianza y contrastes ortogonales se realizó el estudio de la respuesta a la aplicación de los tratamientos en las variables medidas. El mismo se realizó mediante el uso del programa InfoStat, donde se evaluó cada sitio en forma individual. Se tomó la probabilidad de 0,05 como nivel de significancia.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

La figura 1 muestra la distribución mensual de las precipitaciones para el período julio 2013 - junio 2014, y el promedio histórico de precipitaciones mensuales para la localidad de Mercedes (estación más cercana a los sitios estudiados, INIA. GRAS, s.f.).

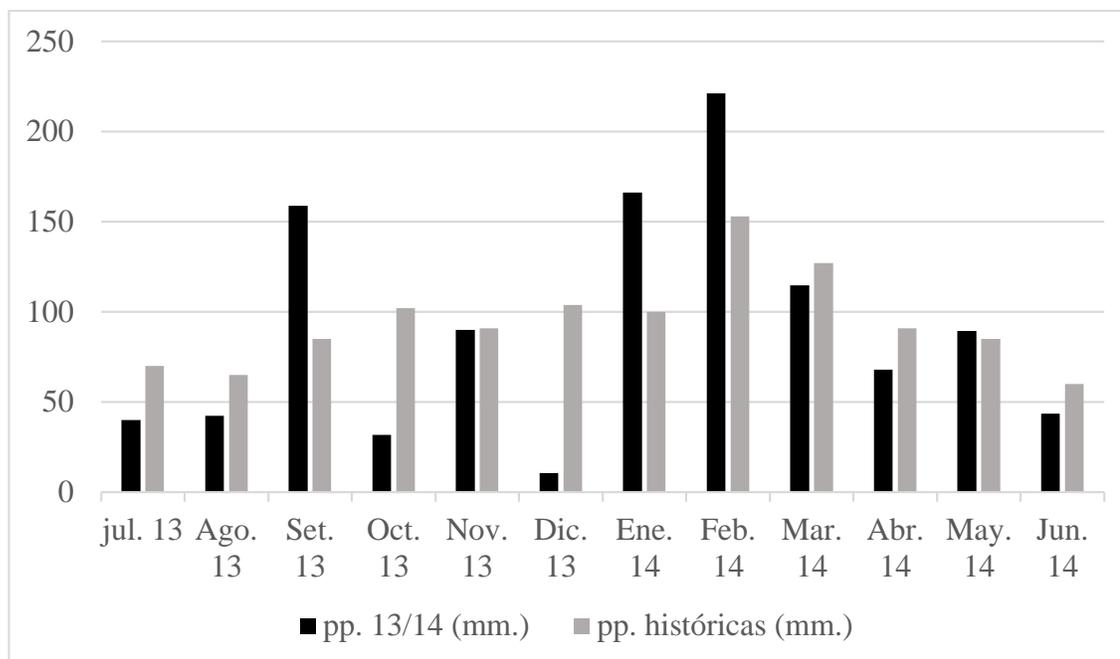


Figura 1. Precipitaciones efectivas mensuales 2013/14 e histórica mensual (mm).

Durante los meses previos a noviembre, mes en que se realizó la siembra, se observaron períodos de excesos y déficit de precipitaciones en relación a la media histórica. En setiembre las precipitaciones estuvieron muy por encima de dicha media, mientras que en el mes de octubre las precipitaciones fueron bastante inferiores a la misma. Esto indicaría que el perfil del suelo se mantuvo con un buen nivel de agua acumulada hasta la siembra.

En el mes de la siembra (noviembre) las precipitaciones fueron similares a las de la media histórica.

Luego de la siembra, en el mes de diciembre, se registraron valores de precipitaciones muy por debajo de la media histórica, pero durante enero y febrero estuvieron por encima de la misma. Esto permitió que el suelo llegara al período crítico del cultivo R4-R6 (fin de fructificación-llenado de grano, que para este grupo de madurez, sembrado el 6 de noviembre, se da a fines de febrero), con alto volumen de agua acumulada. Un dato a destacar es que durante los primeros diez días del mes de enero las

precipitaciones alcanzaron los 70 mm, coincidiendo con la fertilización que se realizó a mediados de ciclo.

4.2. RENDIMIENTO EN GRANO

El rendimiento promedio del sitio Los Ahogados fue de 3705 kg ha⁻¹, con un rango de 2749 a 4540 kg ha⁻¹, mientras que para el sitio Los Fresnos fue de 2913 kg ha⁻¹, con un rango de 1232 a 4014 kg ha⁻¹. El promedio de ambos sitios estuvo por encima de la media nacional para la zafra 2013/14, que fue 2393 kg ha⁻¹ (MGAP. DIEA, 2015).

En el sitio Los Ahogados el agregado de K tendió a aumentar el rendimiento, pero el aumento no fue significativo (P= 0,2188). En este sitio, los tratamientos fertilizados rindieron un 12% más que el tratamiento sin aplicar K, lo cual representa una diferencia de 415 kg ha⁻¹. La falta de respuesta a la fertilización potásica podría estar relacionada al alto nivel inicial de K encontrado en el suelo de 0,37 meq 100 g⁻¹ de suelo, el cual estuvo ligeramente por encima del nivel crítico 0,34 meq 100 g⁻¹, sugerido por Barbazán et al. (2011a). El incremento en el rendimiento de los tratamientos fertilizados a la siembra fue 214 kg ha⁻¹ sobre el logrado en los tratamientos fertilizados a mitad de ciclo. A su vez, con la dosis de 120 kg ha⁻¹ de K₂O se logró un rendimiento 22% superior al logrado con la dosis de 60 kg ha⁻¹ de K₂O (Cuadro 2).

En cambio, en el sitio Los Fresnos sí, se observó respuesta a la aplicación de fertilizante potásico (P<0,0001). En promedio, los tratamientos con K rindieron 3189 kg ha⁻¹, aproximadamente un 57% más que el testigo, el cual rindió 1810 kg ha⁻¹. La respuesta a la fertilización potásica es explicada por los bajos niveles de K intercambiable encontrados inicialmente en el suelo (0,15 meq 100 g⁻¹) y fue hasta la dosis de 60 kg ha⁻¹, ya que con mayor dosis de K el rendimiento no cambió significativamente. La interacción dosis-momento no fue significativa, es decir, no hubo efecto de aplicar el fertilizante a la siembra o a mitad de ciclo (Cuadro 2).

En Los Fresnos las diferencias entre repeticiones fue significativa (P< 0,0025). Para todos los tratamientos, en la repetición 3 se obtuvo mayor rendimiento. Estas diferencias entre las repeticiones en cada tratamiento se pueden atribuir a condiciones edáficas y ambientales que se dan dentro de una chacra con historia agrícola y que pudieron variar de una repetición a otra como en este caso. Estas diferencias también pueden deberse al error experimental dado en las mediciones y manejo del ensayo. Por otro lado, los tratamientos que rindieron menos presentaron mayor desvío estándar que los tratamientos que rindieron más (Cuadro 2).

En el sitio Los Ahogados, independientemente del tratamiento, la distribución de puntos que representa cada repetición, dentro de un mismo tratamiento, es muy estrecha. Dicho de otra manera, los rendimientos dentro de cada tratamiento fueron muy similares no hubo diferencias significativas entre repeticiones (P< 0.9851). Esta distribución podría deberse a que el experimento fue instalado sobre una chacra nueva, lo que podría indicar que hubo una menor perturbación del suelo y mejor distribución de los nutrientes en el

área donde se realizó el experimento. Los puntos más distantes se observan en los tratamientos 1 y 2, los cuales pueden ser producto de errores de medición o condiciones edáficas y ambientales particulares que afectan a la parcela (ver Anexo 9).

Cuadro 2. Rendimiento en grano para los sitios estudiados.

Tratamiento	Dosis de K ₂ O (kg ha ⁻¹)	Rendimiento en grano (kg ha ⁻¹)			
		Los Ahogados		Los Fresnos	
		Promedio	DE.	Promedio	DE.
Testigo	0	3375	597	1810	648
Siembra	60	3417	583	3223	402
Siembra	120	4374	155	3466	482
Mitad del ciclo	60	3409	263	3086	125
Mitad del ciclo	120	3953	364	2980	846
Contrastes ortogonales		p-valor			
Testigo vs. fertilizados		0,2188		0,0001	
Siembra vs. mitad de ciclo		0,4607		0,1042	
60 vs. 120		0,0265		0,6983	
Interacción dosis x momento		0,4771		0,3344	
Efecto dosis a la siembra		0,0402		0,3419	
Efecto dosis a mitad del ciclo		0,2016		0,6701	
60 a siembra vs. 60 mitad de ciclo		0,9842		0,5845	
120 a siembra vs. 120 mitad de ciclo		0,3136		0,0778	

DE: desvío estándar.

La falta de interacción dosis-momento observada en ambos sitios (Cuadro 2) podría estar explicada por lo mencionado por Fernández et al. (2009). El autor, tomando como referencia diferentes trabajos, comenta que en comparación con el maíz, el cual absorbe el 50% del K requerido a los 50 días del ciclo y el 100 % a los 80 días (R2), la soja acumula sólo el 50% de las necesidades de K a los 70 días (R4) y el 100% a los 110 días de ciclo, cuando el cultivo está al final del desarrollo reproductivo (R7). Esta absorción cuando el cultivo está en estado avanzado, podría estar explicando que una aplicación de K a mitad de ciclo permita mantener el rendimiento en relación a si la aplicación se realizara cercano a la siembra. INNP (2009) sostiene lo concluido, ya que en suelos con bajos niveles de K, realizando aplicaciones en las fases de llenado de vainas o de desarrollo tardío (R3 y R4), comentan que se puede recuperar entre 450 y 600 kg ha⁻¹ de grano, bajo condiciones hídricas adecuadas.

Si bien en el sitio Los Ahogados no se observaron diferencias significativas entre el tratamiento sin fertilizar y los fertilizados, en las parcelas que recibieron una dosis de 120 kg ha⁻¹ de K₂O los rendimientos fueron mayores que los obtenidos por los demás rendimientos.

En el sitio Los Fresnos, los tratamientos que rindieron menos presentaron mayor desvío estándar que los tratamientos que rindieron más. Estos resultados se podrían atribuir a características agronómicas propias de una chacra vieja, con diversos factores que influyen directa o indirectamente en el rendimiento.

En ambos sitios se observa que el tratamiento correspondiente a la dosis de 120 kg ha⁻¹ de K₂O aplicados a mitad de ciclo, aunque sin diferencias significativas, es donde se observó un rendimiento por encima de los demás tratamientos. En un principio se podría estimar que cuanto más alta la dosis aplicada, habría una mayor distribución de los gránulos de KCl dentro de la parcela y por lo tanto, las diferencias entre repeticiones serían menores. Esta tendencia no se ve reflejada en el desvío estándar de los tratamientos, lo que reafirma que el rendimiento puede ser influenciado por muchos factores controlables y no controlables; por lo tanto, cuantos más factores controlables se tengan en cuenta, más se va a influir en el resultado final.

4.3. EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN POTÁSICA EN LA CONCENTRACIÓN DE N EN GRANO

La concentración de N en el grano de soja para el total de los tratamientos instalados en Los Fresnos promedió 5,6 %, con un mínimo de 5,1 % y un máximo de 6,1 %. En el sitio Los Ahogados el promedio se ubicó en 5,4%, con un mínimo de 4,9 % y un máximo de 5,8 %. Comparando ambos sitios, se observó una mayor concentración de N en grano en el tratamiento sin fertilizar del sitio Los Fresnos que en Los Ahogados.

El agregado de K tendió a disminuir la concentración de N en el grano de soja en ambos sitios, pero las diferencias fueron significativas ($P < 0,0012$) solo en el sitio Los Fresnos.

En ambos sitios el valor mínimo se encontró en el tratamiento 3 (120 kg ha⁻¹ de K₂O aplicado a la siembra), mientras que el máximo se encontró para Los Fresnos en el tratamiento 1 (sin K) y para Los Ahogados en los tratamientos 4 y 5 (en las dosis 60 y 120 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente aplicadas a mitad del ciclo, Cuadro 3).

Además, la concentración tendió a disminuir cuando se aplicaron dosis más altas. Aunque los datos encontrados en la bibliografía con respecto al tema parecen contradictorios entre sí, las tendencias encontradas en el presente estudio coinciden con datos obtenidos por Delly Veiga et al. (2010). Estos autores concluyeron, que con mayores dosis de K aplicadas a la fertilización, el contenido de aceite en el grano de soja era mayor y se reducía el contenido de proteína, alcanzando un mínimo de aproximadamente 37,25 % de proteína (5,96% como N) con la dosis de 160 kg ha⁻¹ de K₂O. El K en el suelo en el sitio que menciona este autor antes de instalar el experimento fue de 0,20 meq 100g⁻¹ de suelo.

En cambio, en el sitio Los Ahogados los resultados no coinciden con lo observado en Los Fresnos, ya que la concentración de N en el grano en los tratamientos 4

y 5 fue mayor que en el testigo. Estos resultados contradicen los mencionados por Delly Veiga et al. (2010), pero se asemejan a lo obtenido por Usherwood, Yang et al., citados por Pettigrew (2008), quienes obtuvieron efecto significativo de la fertilización potásica, en el aumento del contenido de proteína en el grano para el cultivo de maíz.

Cuadro 3. Concentración de N en granos de soja en los sitios estudiados.

Tratamiento	Dosis de K ₂ O (kg ha ⁻¹)	Concentración de N (%)			
		Los Ahogados		Los Fresnos	
		Promedio	DE.	Promedio	DE.
Testigo	0	5,40	0,26	6,07	0,06
Siembra	60	5,33	0,23	5,80	0,20
Siembra	120	5,17	0,31	5,37	0,25
Mitad del ciclo	60	5,67	0,23	5,50	0,30
Mitad del ciclo	120	5,67	0,23	5,27	0,12
Contrastes ortogonales		p-valor			
Testigo vs. fertilizados		0,7621		0,0012	
Siembra vs. mitad de ciclo		0,0204		0,0867	
60 vs. 120		0,5468		0,0150	
Interacción dosis x momento		0,5921		0,2843	
Efecto dosis a la siembra		0,4256		0,0173	
Efecto dosis a mitad del ciclo		0,9611		0,2079	
60 a siembra vs. 60 a mitad de ciclo		0,1385		0,0597	
120 a siembra vs. 120 mitad de ciclo		0,0409		0,5849	

DE: desvío estándar.

En el sitio Los Ahogados no se observaron diferencias significativas, entre la concentración de N del tratamiento testigo y el promedio de los tratamientos fertilizados con K. Sin embargo, la aplicación de K a mitad de ciclo produjo una mayor concentración de N (P= 0,0204) que la aplicación a la siembra, pero no hubo diferencias significativas entre dosis. No hubo interacción dosis-momento en la concentración de N en el grano. Con la dosis 120 kg ha⁻¹, la concentración de N en grano fue significativamente (P=0,0409) mayor a mitad de ciclo en comparación a la concentración lograda con la misma dosis a la siembra.

El efecto diferencial en la concentración de N en este sitio se da por el momento de aplicación y no por la dosis. Como mencionan Fernández et al. (2009) la soja absorbe el 50% final de las necesidades de K entre los 70 días (R4) y los 110 días de ciclo (R7). En esta etapa del cultivo se da además la translocación hacia los órganos reproductivos,

lo que hace presumir que la fertilización a mitad de ciclo afecta directamente el contenido de proteínas en el grano, coincidiendo con lo observado por Blevins (1985), quien encontró que mayores concentraciones de N en el grano, coincidían con alto índice de cosecha de K con el grano de soja. Por otro lado, no se observa una relación clara entre la concentración de N y el rendimiento, ya que este último fue afectado principalmente por el efecto dosis y no por el momento de aplicación.

En el sitio Los Fresnos, la concentración de N en el grano fue significativamente mayor en el tratamiento testigo en relación al promedio de los tratamientos que recibieron K. No hubo efecto significativo en la concentración de N en el grano entre aplicar K a la siembra o a mitad de ciclo, pero las diferencias fueron agrónomicamente significativas cuando se comparó una dosis de 60 con la de 120 kg ha⁻¹ de K₂O. La interacción dosis/momento no arrojó diferencias significativas en la concentración de N en el grano de soja; pero sí se obtuvieron diferencias significativas en la concentración de N en el grano, al comparar entre ambas dosis a la siembra.

Cuadro 4. Extracción de N con la cosecha del grano de soja en los sitios estudiados.

Tratamientos	Dosis de K ₂ O (kg ha ⁻¹)	Extracción de N en el grano	
		Los Ahogados (kg de N ha ⁻¹)	Los Fresnos
Testigo	0	182	110
Siembra	60	182	187
Siembra	120	226	186
Mitad de ciclo	60	193	170
Mitad de ciclo	120	224	157

La extracción de N en el grano de soja, fue estimada a partir del rendimiento y de la concentración de N en el grano por parcela (Cuadro 4). Como era de esperar, las mayores cantidades de N extraídas se dieron en Los Ahogados, explicado fundamentalmente por los rendimientos obtenidos en este sitio y no tanto por la concentración de N en el grano. En relación a esto, Tanaka et al. (1995) durante la zafra 1988/89 encontraron que la producción de proteína por ha en el grano aumentó debido al incremento en el rendimiento en granos de soja, con el aumento de la dosis de K aplicada, más allá que, la mayor dosis de K disminuyó la concentración de proteína en el grano.

4.4. EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN POTÁSICA EN EL SUELO

4.4.1. Evolución de K en el suelo a la cosecha

En la instalación de los experimentos el valor de K inicial fue 0,15 meq 100 g⁻¹ en Los Fresnos y 0,37 meq 100 g⁻¹ en Los Ahogados, en los primeros 15 cm de profundidad.

En los tratamientos testigos estos valores disminuyeron en los dos sitios al momento de la cosecha, siendo 0,10 meq K 100 g⁻¹ para el sitio Los Fresnos y 0,31 meq 100 g⁻¹ para el sitio Los Ahogados.

En los tratamientos fertilizados con la dosis más alta usada se observó un aumento de 0,11 meq 100 g⁻¹ en el sitio Los Fresnos, mientras que en Los Ahogados se observó una disminución del orden de 0,05 meq 100 g⁻¹ respecto al testigo, a la cosecha.

Cuadro 5. Nivel de K en suelo a la cosecha a la profundidad de 0 a 15 cm.

Tratamientos	K ₂ O kg ha ⁻¹	----Los Ahogados----		-----Los Fresnos-----	
		meq K 100 g ⁻¹	DE.	meq K 100 g ⁻¹	DE.
Testigo	0	0,31	0,10	0,10	0,01
Siembra	120	0,25	0,11	0,22	0,15
Mitad de ciclo	120	0,26	0,12	0,19	0,13
Contrastes ortogonales			p-valor		
Testigo vs. fertilizados		0,6588		0,1385	
K a siembra vs. K a mitad de ciclo		0,9269		0,7010	

DE: desvío estándar.

Para Los Ahogados se observa un menor desvío estándar en los tratamientos fertilizados en relación a los obtenidos en Los Fresnos. El testigo del sitio Los Fresnos fue el que arrojó menor desvío estándar, coincidiendo con el tratamiento que presentó menor concentración de K en el suelo a la cosecha. Tanto la dispersión observada dentro de los tratamientos en cada sitio, como el contenido de K en el suelo medido a la cosecha, tienen relación con el tipo de chacra y el contenido de K que había en el suelo previo a la instalación de los experimentos (Cuadro 5).

Comparando los valores de K a la cosecha de los tratamientos testigos con el nivel inicial de K en el suelo, se observó en ambos sitios una disminución en el nivel de K, independientemente del sitio (ver Anexo 10). Esto podría atribuirse principalmente a la extracción del nutriente que realizó el cultivo, ya que otras pérdidas de K del suelo, como lixiviación y erosión, pueden ser consideradas en estas dos situaciones de escasa magnitud.

En el sitio Los Fresnos, el nivel de K en el suelo aumentó un 31,8% (0,07 meq 100 g⁻¹ de suelo) cuando el K se aplicó a la siembra y un 21,05% (0,04 meq 100 g⁻¹ de suelo) cuando el K se aplicó a mitad de ciclo. Esto podría indicar que esa dosis (120 kg ha⁻¹ de K₂O) cubrió los requerimientos del cultivo y además permitió aumentar el nivel de K en el suelo. En cambio, en el sitio Los Ahogados el nivel de K en el suelo a la cosecha disminuyó un 31,5 % (0,12 meq 100 g⁻¹ de suelo) y un 29,7 % (0,11 meq 100 g⁻¹ de suelo) respecto al testigo, cuando se aplicó el K a la siembra o a mitad de ciclo, respectivamente. Estas diferencias, sin embargo, no fueron estadísticamente significativas (Cuadro 5).

El análisis estadístico para determinar el efecto de la fertilización potásica en la concentración de K en el suelo a la cosecha, consistió en comparar el tratamiento testigo con el promedio de las máximas dosis aplicadas; y por otro lado, se comparó la dosis máxima (120 kg ha⁻¹ de K₂O) aplicada en ambos momentos.

En ambos sitios no se observaron diferencias significativas en el nivel de K del suelo a la cosecha, entre el tratamiento testigo y el promedio de los tratamientos fertilizados. Tampoco hubo efecto significativo del momento de la aplicación del fertilizante en el contenido de K en el suelo a la cosecha, tanto para Los Fresnos como para Los Ahogados.

Los escasos cambios observados en el K intercambiable en el suelo están en concordancia con lo que comentan otros autores. Para cambiar el nivel de K intercambiable en el suelo, la dosis teórica indica que a los 20 cm de profundidad se requieren 1170 kg ha⁻¹ de K₂O. Según Barbazán et al. (2011b) se estimó un promedio de 1730 kg ha⁻¹ de K₂O para cambiar en 1 el nivel de K intercambiable a los 15 cm de profundidad.

4.4.2. Concentración de Ca, Mg y Na en el suelo a la cosecha

Para el análisis del efecto de la fertilización potásica sobre la concentración de Ca, Mg y Na en el suelo, se comparó el tratamiento testigo (sin K) y los tratamientos con las máximas dosis aplicadas en ambos momentos.

4.4.2.1. Evolución del Ca en el suelo a la cosecha

Los datos de Ca en el suelo a la cosecha mostraron para Los Fresnos un valor promedio de 4,64 con un mínimo de 3,73 y un máximo de 5,41 (ver Anexo 11) y para Los Ahogados el promedio fue de 5,56 con un valor mínimo de 4,1 y un máximo de 7,52 (ver Anexo 12).

En Los Fresnos la concentración de Ca intercambiable a la cosecha para el tratamiento sin fertilizar disminuyó un 26,3% en relación a la concentración inicial en el suelo, que fue 5,86 meq 100g⁻¹, mientras que en el sitio Los Ahogados la concentración de Ca intercambiable a la cosecha prácticamente no aumentó respecto al valor inicial, que fue 5,92 meq 100g⁻¹.

Cuadro 6. Nivel de Ca en el suelo a la cosecha a la profundidad de 0 a 15 cm.

Tratamientos	K ₂ O kg ha ⁻¹	----Los Ahogados----		----Los Fresnos----	
		Promedio	DE.	Promedio	DE.
		meq 100g ⁻¹			
Testigo	0	6,27	0,88	4,30	0,64
Siembra	120	5,43	1,83	4,58	0,39
Mitad de ciclo	120	4,98	0,62	5,04	0,36
Media de fertilizados		5,20		4,81	
Contrastes ortogonales		p-valor			
Sin K ₂ O vs. fert. con K ₂ O		0,2992		0,0496	

DE: desvío estándar

Con el agregado de K el nivel de Ca en el suelo a la cosecha decreció (P<0,0496) en el sitio Los Fresnos mientras que para Los Ahogados ese efecto no fue significativo (P< 0,2992).

4.4.2.2. Evolución del Mg en el suelo a la cosecha

La concentración de Mg intercambiable a la cosecha en los tratamientos testigos disminuyó un 5% en el sitio Los Fresnos respecto al valor inicial que fue 1,27 meq 100g⁻¹ y un 16% en el sitio Los Ahogados respecto al valor de 1,85 meq 100g⁻¹.

Cuadro 7. Nivel de Mg en el suelo a la cosecha a la profundidad de 0 a 15 cm.

Tratamientos	K ₂ O kg ha ⁻¹	----Los Ahogados----		----Los Fresnos----	
		Promedio	DE.	Promedio	DE.
		meq 100g ⁻¹			
Testigo	0	1,74	0,31	1,11	0,08
Siembra	120	1,50	0,54	1,30	0,08
Mitad de ciclo	120	1,39	0,12	1,22	0,16
Media de fertilizados		1,45		1,26	
Contrastes ortogonales		p-valor			
Sin K ₂ O vs. fert. con K ₂ O		0,3427		0,0819	

DE: desvío estándar

En Los Ahogados el tratamiento testigo fue el que presentó la mayor concentración de Mg a la cosecha en el suelo. El promedio de los tratamientos fertilizados presentó una concentración de Mg a la cosecha 22 % menor que el valor inicial.

Según Tisdale et al., citados por Barbazán et al. (2008), para que se dé mayor probabilidad de deficiencias de Mg, la relación K:Mg intercambiable debería ser cercana a 1:1. En los sitios en estudio la relación K:Mg inicial fue 1:5 y 1:7 para el sitio Los Ahogados y Los Fresnos, respectivamente, mientras que a la cosecha, en las parcelas con K fue 1:5 y 1:6, respectivamente.

En el caso de Los Fresnos la concentración de Mg a la cosecha obtenida en los tratamientos fertilizados, fue muy similar a los valores obtenidos en el suelo a la siembra, por lo cual el efecto de la fertilización potásica no afectó el balance K:Mg intercambiable en el suelo.

En ambos sitios, el agregado de K no afectó el nivel de Mg a la cosecha.

4.4.2.3. Evolución del Na en el suelo a la cosecha

Cuadro 8. Nivel de Na en el suelo a la cosecha a la profundidad de 0 a 15 cm en los sitios estudiados.

Tratamientos	K ₂ O kg ha ⁻¹	Los Ahogados		Los Fresnos	
		Promedio	DE.	Promedio	DE.
Testigo	0	0,26	0,02	0,25	0
Siembra	120	0,29	0,04	0,27	0,02
Mitad de ciclo	120	0,27	0,02	0,27	0,02
Media de fertilizados		0,28		0,272	
Contrastes ortogonales			p-valor		
Sin K ₂ O vs. fert. con K ₂ O		0,3243		0,0633	

DE: desvío estándar.

No se observaron diferencias agronómicamente significativas, en la concentración de Na en el suelo a la cosecha del cultivo de soja por efecto de la fertilización con K, como era esperable.

5. CONCLUSIONES

El agregado de K aumentó el rendimiento en grano de soja en el sitio con 0,15 meq 100 g⁻¹, mientras que en el otro sitio, con un nivel de 0,37 meq 100 g⁻¹ de K intercambiable el rendimiento no cambió.

La respuesta a la aplicación de fertilizante potásico fue significativa hasta la dosis de 60 kg ha⁻¹. No hubo diferencias significativas entre aplicar el fertilizante potásico a la siembra o a mitad de ciclo, aunque en ambos sitios, el rendimiento en grano del cultivo de soja tendió a ser mayor en los tratamientos con la dosis de 120 kg ha⁻¹ de K₂O aplicada a mitad de ciclo.

Se observó una tendencia a disminuir la concentración de N en grano al fertilizar con K, pero esta disminución fue significativa (P < 0,0012) solo en el sitio Los Fresnos, con menor nivel de K en el suelo. En este sitio, se encontró además, que con el aumento del K agregado, la concentración de N en grano fue significativamente menor (P < 0,0150) en la dosis de 120 kg de K₂O ha⁻¹ respecto a la dosis de 60. No hubo efecto significativo en la concentración de N en el grano del momento de aplicación de K, ni interacción dosis/momento.

Las mayores cantidades de N extraídas con la cosecha del grano se dieron en Los Ahogados, explicado fundamentalmente por los rendimientos obtenidos en este sitio.

En ambos sitios se observó una disminución en el nivel de K en el suelo a la cosecha en las parcelas sin fertilizar; probablemente debido a la extracción del nutriente que realiza el cultivo.

No hubo efecto significativo de la dosis ni del momento de la aplicación del fertilizante en la concentración de K, Ca, Mg y Na en el suelo a la cosecha, ni en el balance de cationes en el suelo.

Los resultados encontrados ameritan continuar realizando trabajos en relación al efecto del K aplicado durante el ciclo del cultivo.

6. RESUMEN

En este trabajo se evaluó el efecto de dosis y momento de aplicación de K en el cultivo de soja y en los cationes intercambiables del suelo. Durante la zafra de soja 2013/14 se estableció un experimento en dos cultivos comerciales de soja, en suelos con 0,15 y 0,37 meq 100 g^{-1} de K intercambiable. Se usó un diseño de bloques completo con parcelas dispuestas al azar. Los tratamientos fueron un testigo (sin agregado de K), y dos dosis de 60 y 120 kg de $\text{K}_2\text{O ha}^{-1}$ aplicadas a la siembra y a mitad del ciclo. Durante los meses previos a la siembra, al igual que durante el ciclo del cultivo, el perfil del suelo se mantuvo con un buen nivel de agua acumulada, permitiendo llegar al período crítico del cultivo en buenas condiciones hídricas. La aplicación de K aumentó el rendimiento de soja en el sitio con menor nivel de K intercambiable, pero no hubo diferencias entre dosis ni momentos de aplicación. La concentración de N en el grano disminuyó con el agregado de K en el sitio con menor nivel de K en el suelo. No hubo efecto significativo de la fertilización potásica en los niveles en el suelo de K, Mg o Na a la cosecha ni en el balance de cationes.

Palabras clave: Cultivo de soja; Momento y dosis de K_2O ; Concentración Ca, Mg y Na en el suelo; Efecto de la fertilización potásica en planta y suelo.

7. SUMMARY

With the following work were evaluated dose and time of application of K and its effect not only on soybean but also in the soil's interchangeable cations. During the 2013/14 soybean harvest an experiment was established on two commercial farms in Flores department, in soils with 0,15 and 0,37 meq 100 g⁻¹ interchangeable K. A complete block design was used, with plots arranged randomly. There was a witness treatment (without addition of K) and two doses of 60 and 120 kg of K₂O applied at sowing time and in the middle of the cycle. During the previous months to the sowing time, as well as during the farming cycle, the soil profile was maintained with a good level of accumulated water, allowing to reach the critical period of the crop in good hydrological conditions. The application of K increased soybean yield at the site with lower exchangeable K level, but there was no difference between dose and application time. The concentration of N in the grain decreased with the addition of K in the site with lower level of K in the soil. There wasn't significant effect of potassium enrichment in the concentration of K, Mg or Na at harvest or on cation balance.

Keywords: Soybean farming; Moment and dose of K₂O; Concentration of Ca, Mg and Na in the soil; Effect of potassium enrichment on plant and soil.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Barbazán, M.; Ferrando, M.; Zamalvide, J. 2008. Diagnóstico nutricional de *Lotus corniculatus* L. en suelos del Uruguay. *Informaciones Agronómicas*. no. 39: 6-13.
2. _____.; Bautes C.; Beux, L.; 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* (Montevideo). 15(2): 93-99. B
3. _____.; del Pino, A.; Bordoli, J.; Califra, A.; Mazzilli, S.; Ernst, O. 2011b. La problemática del K en Uruguay; situación actual y perspectivas de corto y mediano plazo. *In: Simposio Nacional de Agricultura* (2º., 2011, Paysandú, Uruguay). Trabajos presentados. Paysandú, FA. EEMAC. pp. 21-33.
4. Barber, S. 1995. *Soil nutrient bioavailability; a mechanistic approach*. 2nd. ed. New York, Wiley. 278 p.
5. Baute, C.; Barbazán, M.; Beux, L. 2009. Fertilización potásica inicial y residual en cultivos de secano en suelos sobre areniscas cretácicas y transicionales. IPNI. Uruguay. *Información Agronómica*. no. 41: 1-8.
6. Blevins, D. 1985. Role of potassium in protein metabolism in plants. *In: Munson, R. D. ed. Potassium in agriculture*. Madison, WI, USA, ASA/CSSA/SSSA. pp. 413-424
7. Bordoli, J.; Mallarino, A. 1998. Deep and shallow banding phosphorus and potassium as alternatives to broadcast fertilization for no-till corn. *Agronomy Journal*. 90: 27-33.
8. _____.; Barbazán, M.; Rocha, L. 2013. Relevamiento nutricional del cultivo de soja en Uruguay. *Información Agronómica de Hispanoamérica (IAH)*. no. 11: 8-15.
9. Cano, J.; Ernst, O.; García, F. 2007. Respuesta a la fertilización potásica en maíz para grano en suelos del noroeste de Uruguay. *Información Agronómica*. no. 36: 9-12.

10. Casanova, O.; Ferrando, M. 2003. Cuantificación mediante lisímetro del lavado de bases en suelos, bajo dos regímenes hídricos. *Agrociencia* (Montevideo). 7(2): 39-48.
11. Conti, M. 2002. Dinámica de liberación y fijación de potasio en el suelo. Buenos Aires, AR, UBA. Facultad de Agronomía. Cátedra de Edafología. 14 p.
12. Cubilla, M. 2014. Manejo del suelo, fertilidad y nutrición de la soja para aumentar la capacidad productiva en la región oriental del Paraguay. *Información Agronómica de Hispanoamérica (IAH)*. no. 13: 2-6.
13. Da Silva, F.; Lantmann, A.; Boucas, J.; Aznar, B. 2001. Disponibilidad de K en suelos y productividad de soja en Brasil. *In: Simposio FAUBA/IPI/INTA* (1º., 2001, Buenos Aires, AR). Actas. Buenos Aires, INTA Pergamino. pp. 63-72.
14. Delly Veiga, A.; Vilela De Resende, E.; Dellyveiga, A.; Deandrade, P.; Carvalho De Oliveira, K.; Garcia Von Pinho, R. 2010. Influencia do potasio e da calagem na composição química, qualidade fisiológica e na actividade enzimática de sementes de soja. *Ciência e Agrotecnologia (Lavras)*. 34 (4): 953-960.
15. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, IT). 2013. FAOSTAT. (en línea). Roma. s.p. Consultado 21 set. 2016. Disponible en http://faostat.fao.org/beta/es/#rankings/countries_by_commodity
16. Fernández, F.; Brouder, S.; Volenec, J.; Beyrouthy, C.; Hoyum R. 2009. Root and shoot growth, seed composition, and yield components of no-till rainfed soybean under variable potassium. s.l., Springer. 126 p.
17. García, A.; Quincke, A.; Pereira, S.; Díaz De Ackermann, M. 2009. Respuesta a cloruro de potasio (KCl) en trigo y cebada. *In: Jornada Cultivos de Invierno* (2009, Mercedes, Soriano). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 13-18 (Actividades de Difusión no. 566).
18. _____.; _____. 2012. El potasio (K) en la producción de cultivos de invierno. *In: Jornada Cultivos de Invierno* (2012, Mercedes, Soriano). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 9-14 (Actividades de Difusión no. 677).
19. García, F. 2005. Soja; criterios para la fertilización del cultivo. *INPOFOS. Información Agronómica del Cono Sur*. no. 27: 1-6

20. _____. 2013. Manejo de la fertilización potásica fuentes y formas de aplicación. *In*: Simposio K en sistemas agrícolas de Uruguay (2013, Mercedes, Soriano). Trabajos presentados. Mercedes, IPNI. s.p.
21. Hernández, J. 1992. Potasio. Montevideo, Facultad de Agronomía. 36 p.
22. _____.; Barbazán, M.; Perdomo, C. 2010. Potasio. Montevideo, Facultad de Agronomía. s.p.
23. INIA. GRAS (Instituto Nacional De Investigación Agropecuaria. Grupo Agroclima y Sistemas de Información, UY). s.f. Banco de datos agroclimático. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 15 jul. 2014. Disponible en <http://www.inia.uy/gras>
24. INNP (Instituto Nacional de Nutrición de la Planta, MX). 2009. Deficiencia de potasio en la soya. (en línea). s.l. s.p. Consultado 21 may. 2016. Disponible en http://www.oleaginosas.org/art_264.shtml
25. Kant, S.; Kafkafi, U. 2001. Absorción de K por los cultivos en distintos estadios fisiológicos. *In*: Simposio FAUBA/IPI/INTA (1°, 2001, Buenos Aires, AR). Actas. Buenos Aires, INTA Pergamino. pp. 263-279
26. Krauss, A. 2001. El K y el stress biótico. *In*: Simposio FAUBA/IPI/INTA (1°, 2001, Buenos Aires, AR). Actas. Buenos Aires, INTA Pergamino. pp. 281-294.
27. Lazcano-Ferrat, I. 2006. El K y el concepto de la fertilización balanceada. *In*: Conferencia Regional para México y el Caribe (2006, México). Trabajos presentados. Ciudad de México, INPOFOS/PPI. s.p.
28. MAP.DSF (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Dirección de Suelos y Fertilizantes, UY). 1976. Carta de reconocimiento de suelos 1:1.000.000. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 10 jul. 2016. Disponible en http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/multimedia/1639_carta_de_reconocimiento_de_suelos_del_uruguay_1.1.000.000_imprimir_a0_0.pdf
29. Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. London, Academic Press. 889 p.
30. Melgar, R.; Castro, L. 2005. Potasio. Buenos Aires, INTA/Universidad de Buenos Aires. 73 p.

31. MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Estadísticas Agropecuarias, UY). 2015. Anuario estadístico agropecuario 2015. (en línea). Montevideo. 215 p. Consultado 15 ago. 2016. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/portal/page.aspx?2.diea.diea-anuario-2015,O,es,0>,
32. Morón, A.; Quincke, A. 2010. Avances de resultados en el estudio de la calidad de los suelos en agricultura en el Departamento de Soriano. *In*: Jornada Técnica el Efecto de la Agricultura en la Calidad de los Suelos y Fertilización de Cultivos (2010, Mercedes, Soriano). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 5-8 (Actividades de Difusión no. 605)
33. Petter, F.; Ursulino, A.; Alves Da Silva, J.; De Almeida, E.; Ferreira, T.; Fernandes A.; Pereira, L. 2014. Produtividade e qualidade de sementes de soja em função de doses e épocas de aplicação de potássio. *Ciências Agrárias (Londrina)*. 35(1): 89-100.
34. Pettigrew, W. 2008. Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. Stoneville, USDA. ARS. pp. 670–681.
35. Randall, G. 2001. Manejo de nutrientes en la producción de soja bajo siembra directa. *In*: Simposio FAUBA/IPI/INTA (1º., 2001, Buenos Aires. AR). Actas. Buenos Aires, INTA Pergamino. pp. 247-260.
36. Salvagiotti, F. 2005. Efecto de la fertilización con potasio y cloro sobre el rendimiento y severidad de las enfermedades foliares en trigo. *Información Agronómica*. no. 26: 16-19.
37. Seguin, P.; Zheng, W. 2006. Potassium, phosphorus, sulfur, and boron fertilization effects on soybean isoflavone content and other seed characteristics. *In*: Fertilization and Soybean Isoflavone (1st., 2006, Quebec, Canada). Proceedings. *Journal of Plant Nutrition*. 29: 681–698.
38. Tanaka, R.; Assuncao, H.; Mascarenhas, A.; Bismara, M.; Boller, P. 1995. Concentracao e produtividade de oleo e proteína de soja em funcao da adubacao potassica e da calagem. *In*: Reunión Brasileira de Fertilizacion de Suelos y Nutricion de Plantas (21ª., 1995, Petrolina). Trabalhos apresentados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 30 (4): 463-469.

9. ANEXOS

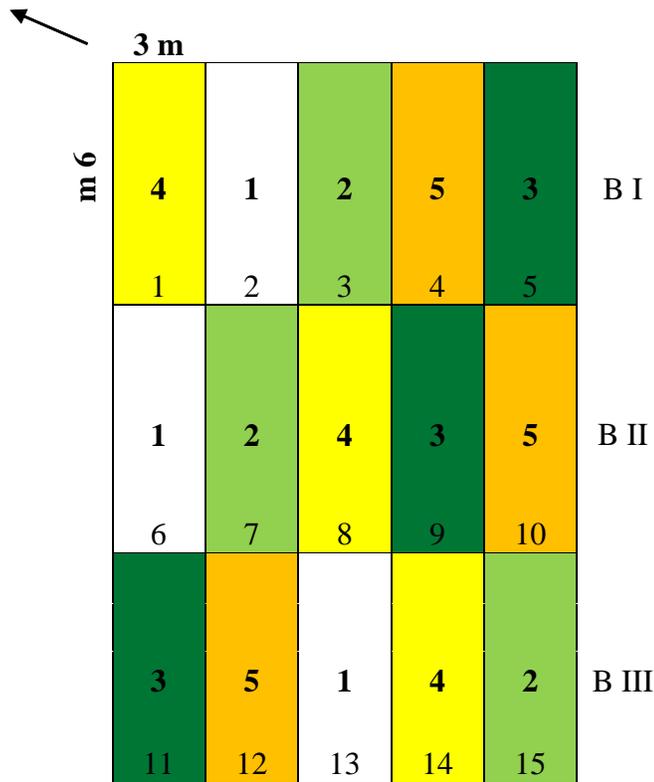
Anexo 1

Figura1. Ubicación de los sitios.



Anexo 2

Figura 2. Diseño del experimento.



Anexo 3

Cuadro 1. Tratamientos.

Trat.	KCl kg/ha	K ₂ O kg/ha	Momento	KCl kg/parcela
1	0	0		0
2	100	60	Siembra	0,18
3	200	120	Siembra	0,360
4	100	60	45 días	0,180
5	200	120	45 días	0,360

Anexo 4

Cuadro 2. Datos de análisis de suelo pre-siembra.

Sitio	Blq.	Prof.	K	Na	Ca	Mg	pH-H ₂ O	pH-KCl	P Bray1	C.Org.
----- cmol _e kg ⁻¹ -----									(mg kg ⁻¹)	%
Los Fresnos	I	0-15	0,15	0,39	7,51	1,53	4,62	3,97	43	1,37
Los Fresnos	II	0-15	0,14	0,54	4,92	1,05	4,70	3,97	48	1,4
Los Fresnos	III	0-15	0,16	0,44	5,16	1,22	4,60	3,89	47	1,45
Los Fresnos		0-15	0,15	0,46	5,86	1,27	4,64	3,94	46	1,41
Los Fresnos		15-30	0,16	0,43	7,32	1,11	5,14	4,40	6	0,93
Los Ahogados	I	0-15	0,37	0,63	5,32	1,65	4,94	4,29	17	1,78
Los Ahogados	II	0-15	0,34	0,47	5,77	1,75	5,02	4,26	17	1,76
Los Ahogados	III	0-15	0,41	0,54	6,68	2,16	5,03	4,35	16	2,11
Los Ahogados		0-15	0,37	0,55	5,92	1,85	5,00	4,30	17	1,88

Anexo 5

Cuadro 3. Datos de análisis de suelo a la cosecha (15/04/2014).

Sitio	Rep.	Trat.	K ₂ O	K	Na	Ca	Mg	pH-H ₂ O	pH-KCl
Los Fresnos	1	1	0	0,11	0,25	4,17	1,2	4,53	3,75
Los Fresnos	2	1	0	0,09	0,25	3,73	1,05	4,54	3,82
Los Fresnos	3	1	0	0,11	0,25	5	1,07	4,85	4,01
Los Fresnos	1	3	120	0,11	0,27	4,51	1,31	4,65	3,87
Los Fresnos	2	3	120	0,16	0,29	4,23	1,23	4,58	3,82
Los Fresnos	3	3	120	0,39	0,25	5	1,36	4,54	3,78
Los Fresnos	1	5	120	0,13	0,28	4,69	1,18	4,76	3,99
Los Fresnos	2	5	120	0,11	0,29	5,03	1,08	4,89	4,1
Los Fresnos	3	5	120	0,34	0,25	5,41	1,39	4,65	3,88
Los Ahogados	1	1	0	0,43	0,27	7,28	2,09	4,99	4,24
Los Ahogados	2	1	0	0,26	0,27	5,83	1,53	5,14	4,39
Los Ahogados	3	1	0	0,25	0,23	5,69	1,6	5,11	4,39
Los Ahogados	1	3	120	0,13	0,26	4,1	1,1	5,07	4,33
Los Ahogados	2	3	120	0,31	0,28	4,66	1,29	5	4,27
Los Ahogados	3	3	120	0,32	0,33	7,52	2,12	5,08	4,35
Los Ahogados	1	5	120	0,36	0,3	4,77	1,34	4,94	4,24
Los Ahogados	2	5	120	0,13	0,27	4,49	1,31	5,05	4,29
Los Ahogados	3	5	120	0,3	0,26	5,68	1,53	5,13	4,38

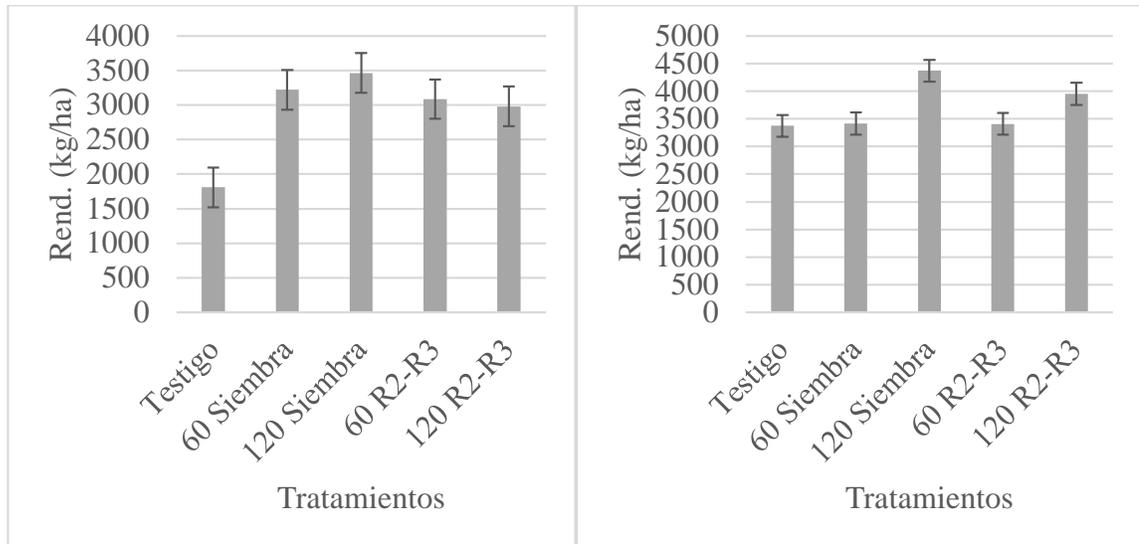
Anexo 6

Cuadro 4. Rendimiento, % de N y extracción de N con la cosecha.

Rep.	Trat.	K ₂ O	-----Los Ahogados-----			-----Los Fresnos-----		
			Rendimiento	% N	Extracción	Rendimiento	%N	Extracción
1	1	0	2983	5,6	167,1	1232	6	73,9
2	1	0	3081	5,5	169,5	1687	6,1	102,9
3	1	0	4062	5,1	207,2	2510	6,1	153,1
1	2	60	3826	5,2	198,9	3082	6	184,9
2	2	60	3675	5,6	205,8	2911	5,6	163,0
3	2	60	2749	5,2	142,9	3676	5,8	213,2
1	3	120	4540	4,9	222,5	3105	5,1	158,4
2	3	120	4348	5,1	221,8	3279	5,6	183,6
3	3	120	4233	5,5	232,8	4014	5,4	216,8
1	4	60	3651	5,8	211,8	3035	5,5	166,9
2	4	60	3446	5,8	199,9	2995	5,8	173,7
3	4	60	3129	5,4	168,9	3228	5,2	167,9
1	5	120	3538	5,8	205,2	2529	5,2	131,5
2	5	120	4103	5,8	237,9	2454	5,4	132,5
3	5	120	4218	5,4	227,8	3956	5,2	205,7

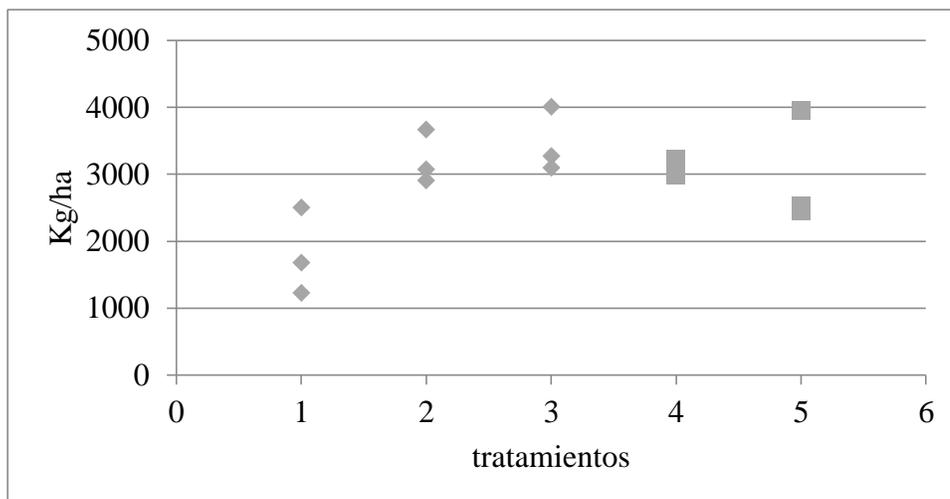
Anexo 7.

Figura 3. Rendimiento medio de cada tratamiento en Los Fresnos (izquierda), Los Ahogados (derecha).



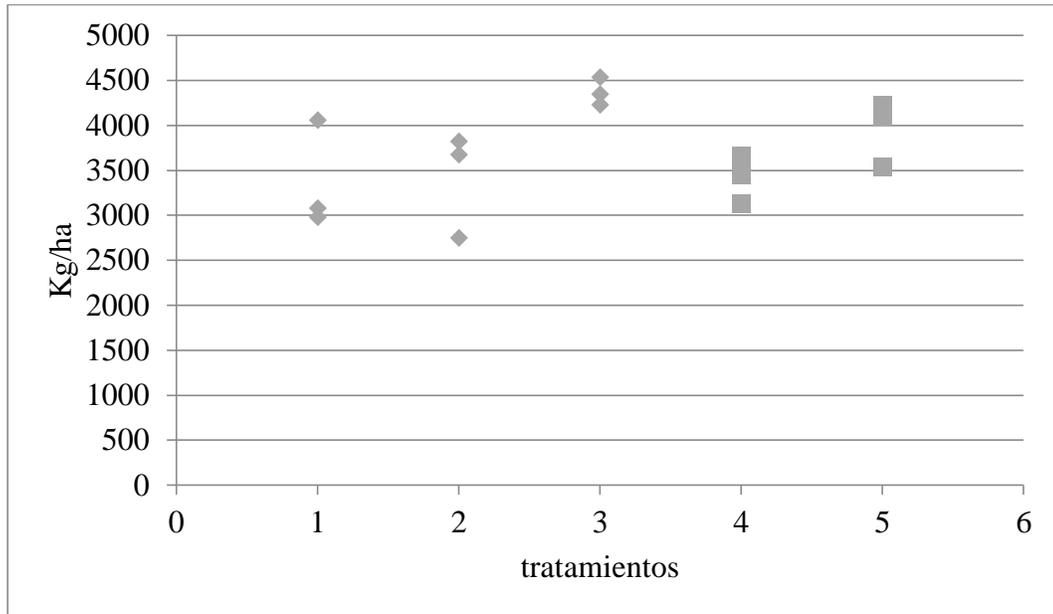
Anexo 8.

Figura 4. Rendimiento de cada parcela dependiendo de los tratamientos aplicados (Los Fresnos).



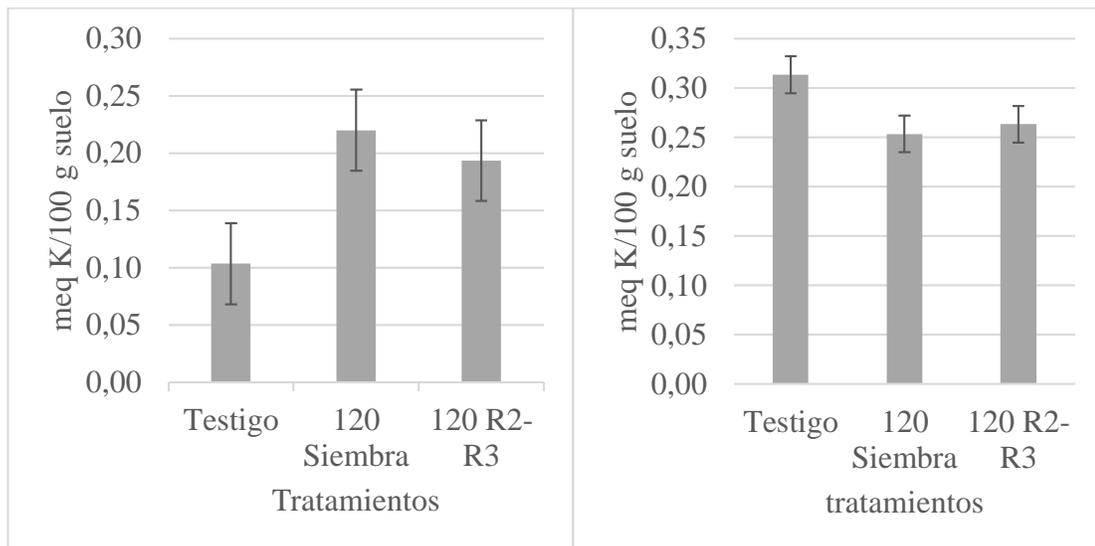
Anexo 9.

Figura 5. Rendimiento de cada parcela dependiendo de los tratamientos aplicados. (Los Ahogados)



Anexo 10.

Figura 6. Concentración promedio de K a la cosecha en suelo para Los Fresnos (izquierda) y Los Ahogados (derecha).



Anexo 11.

Cuadro 5. Concentración promedio de Ca, Mg y Na a la cosecha en el suelo para Los Fresnos.

	Tratamientos		
	1	3	5
Ca	4,3	4,58	5,04
Mg	1,11	1,3	1,22
Na	0,25	0,27	0,27

Anexo 12.

Cuadro 6. Concentración promedio de Ca, Mg y Na a la cosecha en el suelo para Los Ahogados.

	Tratamientos		
	1	3	5
Ca	6,27	5,43	4,98
Mg	1,74	1,5	1,39
Na	0,26	0,29	0,28