

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

ABSORCIÓN DE POTASIO EN TRIGO Y COLZA EN SUELOS DE LA ZONA
ESTE DE URUGUAY

por

Juan Manuel JABIEL MORINO

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

MONTEVIDEO
URUGUAY
2014

Tesis aprobada por:

Director:

Ing Agr. Amabelia del Pino

Ing. Agr. Mónica Barbazán

Ing. Agr. Omar Casanova

Fecha:

29 de septiembre de 2014

Autor:

Juan Manuel Jabel Morino

AGRADECIMIENTOS

A mi familia y pareja por el apoyo durante toda la carrera. A Amabelia del Pino por la guía y colaboración durante todo el trabajo final, Marcelo Ferrando por la colaboración en trabajo de campo y a todo el grupo de fertilidad por la amabilidad a la hora de realizar el trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>.....	1
1.1. <u>OBJETIVOS</u>	1
1.1.1. <u>Objetivos generales</u>	1
1.1.2. <u>Objetivos específicos</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>.....	3
2.1. <u>DINÁMICA DEL K EN SUELOS DEL URUGUAY</u>	3
2.2. <u>ABSORCIÓN DE K EN TRIGO Y COLZA</u>	3
2.3. <u>CURVAS DE ABSORCIÓN DE NUTRIENTES</u>	6
2.4. <u>CONSUMO DE LUJO</u>	10
2.5. <u>CONDICIONES DE ABSORCIÓN</u>	11
2.5.1. <u>Factores que afectan la absorción de potasio por las plantas</u>	11
2.5. <u>DISTRIBUCIÓN DE POTASIO EN EL PERFIL</u>	12
2.6. <u>RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN POTÁSICA EN URUGUAY</u>	12
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>.....	14
3.1. <u>CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS ENSAYOS</u>	14
3.1.1. <u>Descripción del sitio experimental</u>	14
3.1.2. <u>Características de los experimentos</u>	15
3.1.3. <u>Manejo del cultivo</u>	15
3.1.3.1. <u>Manejo del trigo</u>	15
3.1.3.2. <u>Manejo de colza</u>	15
3.1.4. <u>Determinaciones</u>	16
3.1.4.1 <u>Suelo y planta</u>	16
3.1.4.2. <u>Cálculos de rendimiento y absorción de nutrientes</u>	17
3.2. <u>ANÁLISIS ESTADÍSTICO</u>	18
3.2.1. <u>Análisis de varianza</u>	18
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>.....	19
4.1. <u>CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DEL AÑO</u>	19

4.1.1 <u>Precipitaciones</u>	20
4.1.2 <u>Temperatura</u>	20
4.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS.....	21
4.3. EVOLUCIÓN DEL CONTENIDO DE BASES INTERCAMBIABLES EN EL SUELO - EFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS Y EXTRACCIÓN POR EL CULTIVO.....	23
4.4. CULTIVOS.....	27
4.4.1 <u>Trigo</u>	27
4.4.1.1. Rendimiento de tratamiento vs testigo.....	27
4.4.1.2. Rendimiento de todos los tratamientos.....	28
4.4.1.3. Concentración de nutrientes en planta.....	28
4.4.1.4. Absorción de nutrientes por testigo y tratamiento fertilizado con potasio.....	29
4.4.1.5 Exportación de nutrientes con el grano de trigo.	32
4.4.2. <u>Colza</u>	34
4.4.2.1. Rendimiento.....	34
4.4.2.2. Concentración de nutrientes en planta.....	34
4.4.2.3. Absorción de nutrientes por testigo y tratamiento fertilizado con potasio.....	35
4.4.2.4. Exportación de nutrientes con el grano de canola (solo testigo).....	36
5. <u>CONCLUSIONES</u>	38
6. <u>RESUMEN</u>	40
7. <u>SUMMARY</u>	41
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	42

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Requerimientos, absorción extracción de nutrientes en trigo.....	5
2. Requerimientos, absorción extracción de nutrientes en colza.....	5
3. Tratamientos de fertilización.....	15
4. Niveles iniciales de nutrientes y caracterización del suelo. Sitio Piraraja.....	22
5. Niveles iniciales de nutrientes y caracterización del suelo. Sitio Lomas.....	22
6. Niveles iniciales de nutrientes y caracterización del suelo. Sitio las conchas.....	22
7. Contenido de bases intercambiables en el perfil de suelo testigo y fertilizado. Sitio Pirarajá, 2º muestreo.....	24
8. Contenido de bases en el perfil de suelo testigo y fertilizado. Sitio Lomas, 2º muestreo.....	24
9. Contenido de bases en el perfil de suelo y trigo fertilizado. Sitio Pirarajá, 3er muestreo.....	25
10. Rendimiento de trigo en función de los tratamientos.....	28
11. Concentración de nutrientes (K, Ca, Mg y Na) en planta de trigo en diferentes etapas de desarrollo (Escala Zadoks).....	28
12. Total de nutrientes absorbido y exportado en grano de trigo.....	31
13. Concentración de nutrientes (K, Ca, Mg y Na) en planta de canola en diferentes etapas de desarrollo (Escala Cetiom).....	34
14. Total de nutrientes absorbido y exportado en grano de trigo.....	36
15. Cuadro comparativo de trigo y colza en cuanto a extracción y exportación de nutrientes en grano para el tratamiento testigo.....	37

Figura No.

1. Esquema dinámica K en suelo.....	3
2. Curva de absorción de nutrientes en trigo.....	7
3. Curva de absorción de nutrientes en colza.....	7
4. Absorción de N, P y K durante el crecimiento del cultivo de trigo.....	8
5. Cantidades de N,P,K absorbidas en el cultivo de trigo.....	10
6. Absorción de potasio y crecimiento de las plantas a varios niveles de asimilable, ilustrando el consumo de lujo que tiene lugar en los niveles altos.....	11
7. Ubicación de cada sitio experimental.....	14
8. Muestreos realizados en los cultivos de trigo y canola.....	18
9. Precipitaciones mensuales medias para el año 2013 en relación a la serie histórica de Pirarajá (1980-2009).....	19
10. Precipitaciones mensuales medias para el año 2013 en relación la serie histórica de Rocha (1980-2009).....	20
11. Temperaturas mensuales medias para el año 2013 en relación a la serie histórica de Pirarajá (1980-2009)..	20
12. Temperaturas mensuales medias para el año 2013 en relación a la serie histórica de Rocha (1980-2009).....	21
13. Contenido de K intercambiable en el suelo a las profundidades de 0-15 y 0-20 cm en dos muestreos sucesivos (M2 y M3) en el suelo bajo cultivo de trigo. Tratamientos: testigo y fertilizado con 240 kg/ha K ₂ O.....	26
14. Rendimiento trigo para testigo y tratamiento fertilizado con 240 kg/ha de K ₂ O.....	27
15. Absorción de K por testigo y tratamiento fertilizado con 240 kg/ha de K ₂ O en cultivo de trigo.....	30

16. Absorción de Ca por testigo y tratamiento fertilizado con 240 kg/ha de K ₂ O en cultivo de trigo.....	31
17. Absorción de Mg por testigo y tratamiento fertilizado con 240 kg/ha de K ₂ O en cultivo de trigo.....	31
18. Absorción de Na por testigo y tratamiento fertilizado con 240 kg/ha de K ₂ O en cultivo de trigo.....	32
19. Absorción de nutrientes por testigo y tratamiento fertilizado con 240 kg/ha de K ₂ O en cultivo de colza a) K, b) Ca, c) Mg y d) Na.....	35

1. INTRODUCCIÓN

El potasio (K) es un macronutriente debido a que la planta lo absorbe en grandes cantidades. Es el catión más importante por su relación en funciones fisiológicas y bioquímicas (Melgar, 2011), a pesar de no formar parte de compuestos ni estructuras orgánicas, (Mullins y Burmester 1999, Johnston 2007)

Dentro de los procesos a los cuales es vinculado se encuentra la fotosíntesis y translocación de carbohidratos, ajuste osmótico y movimiento estomático, metabolismo del N en la síntesis proteica, neutralización de ácidos orgánicos, crecimiento de tejidos meristemáticos, resistencia a enfermedades y la activación de más de 60 enzimas (Melgar, 2011).

Los suelos presentan grandes cantidades de K, siendo el contenido total generalmente mucho mayor a las cantidades necesarias para el cultivo, si bien por lo general se encuentra en abundancia en los suelos, solo una pequeña parte es asimilable para las plantas (Casanova, 1996). Esta pequeña proporción asimilable por las plantas varía según factores como textura y mineralogía, que determinan la existencia de una dinámica diferente del nutriente según el tipo de suelo y sistema de producción.

A nivel nacional existe muy poca información sobre la dinámica de K en suelos que son atípicos para el desarrollo de la agricultura; básicamente la información existente pertenece al litoral oeste del país. Aun así, los esfuerzos han sido escasos en comparación con los trabajos realizados en N y P.

Para la elaboración de recomendaciones racionales de manejo de este nutriente se necesita no solo conocer como es su comportamiento en el suelo, sino también en la planta, para lo cual es necesario conocer los patrones de absorción de K en los cultivos.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivos generales

Estudiar el efecto de la disponibilidad de potasio (K) sobre la absorción de trigo y colza en suelos del este de Uruguay.

1.1.2. Objetivos específicos

- Estudiar la respuesta del trigo y colza a la aplicación de K en suelos no tradicionalmente agrícolas de Uruguay.
- Establecer la curva de absorción de K para trigo y colza en relación a la disponibilidad de K en los suelos.

- Estudiar la dinámica de K en los suelos, especialmente relacionada a la estratificación luego de su aplicación en cobertura.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. DINÁMICA DEL K EN SUELOS DE URUGUAY

Las plantas obtienen el K del suelo que proviene de la alteración de minerales portadores de K, de la mineralización de los residuos orgánicos o el que proviene de los abonos y fertilizantes. Varias investigaciones confirmaron que el sistema agrícola no tiene otra vía de ingreso natural para el balance de K que la reposición primaria proveniente de la liberación de los minerales primarios y secundarios, siendo preponderante la participación de la fracción arcilla. Los minerales arcillosos son la fuente principal de K en el suelo (Sardi y Debreczeni, 1992).

Desde el punto de vista de su asimilabilidad para las plantas, el K se ha clasificado en cuatro categorías. En orden creciente de asimilabilidad se ubica:

K mineral: constituye el 90-98% del K total; se encuentra en estructuras de minerales primarios (feldespatos y micas) y no se encuentra disponible para las plantas en un ciclo.

K no intercambiable: constituye el 1-10% del K total, se encuentra en la intercapa de minerales secundarios de las arcillas tipo mica y es lentamente disponible

K intercambiable: retenido electrostáticamente en coloides del suelo cargados en forma negativa.

K en solución: bajo forma de ion K^+ , junto con el K intercambiable constituyen el 0,1-2% del K total y se encuentra rápidamente disponible por las plantas (Figura 1).

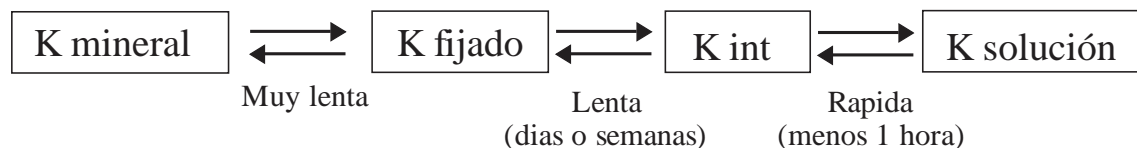


Figura 1. Esquema dinámica K en suelo

El K en solución está inmediatamente disponible y puede ser absorbido por las plantas en forma inmediata. Las cantidades presentes en esta forma son muy pequeñas, apenas una mínima porción del K total. Las plantas en crecimiento rápidamente extraen el K de la solución del suelo, pero a medida que el K es absorbido y extraído, su concentración es renovada y restituida inmediatamente por formas menos accesibles y retenido por coloides del suelo, denominada - K intercambiable-.

El K intercambiable se encuentra como ion K^+ unido electrostáticamente a los materiales que componen la fase sólida coloidal y orgánica. A medida que la

concentración de K de la solución desciende, el K intercambiable es liberado a la solución del suelo. La situación inversa se da si la concentración de K de la solución de suelo aumenta por la aplicación de fertilizantes potásicos, parte de éste dejará la solución y se unirá electrostáticamente al material coloidal de la fase sólida. Existe un equilibrio entre las dos fracciones (Conti, 2000). La importancia del K en solución para la nutrición vegetal está influenciada por la presencia de otros cationes, particularmente Ca y Mg. En suelos ácidos puede influir también Al y en suelos salinos el Na.

Por último existen formas de K que están fuertemente unidas a la fase sólida mineral, las cuales se denominan "K no intercambiable o fijado" y "K mineral o estructural". Ambas constituyen el K de reserva o de reposición de los suelos. El K no intercambiable es el que se ubica en el espacio hexagonal de las láminas de silicio y el K mineral que es el que está químicamente combinado con los elementos en la estructura de los minerales del suelo.

Se produce un equilibrio entre el K intercambiable y estas formas no-intercambiables. El proceso para alcanzar el estado de equilibrio es mucho más lento que el de K de la solución del suelo-K intercambiable (Conti, 2000).

2.2. ABSORCIÓN DE K EN TRIGO Y COLZA

El término absorción hace referencia cantidad total de nutrientes absorbidos por el cultivo durante su ciclo de desarrollo, mientras que el término extracción refiere a la cantidad total de nutrientes en los órganos cosechados, grano, forraje u otro.

En los Cuadros 1 y 2 se muestran los requerimientos nutricionales de los principales nutrientes para el cultivo de trigo y colza así como la cantidad extraída cada 1000 kg de grano. Estos datos son tomados de la publicación on-line Requerimientos nutricionales (IPNI, 2013). El término extracción en este caso hace referencia a la cantidad de nutrientes en el grano.

Cuadro 1. Requerimientos, absorción extracción de nutrientes en trigo

TRIGO	Requerimientos kg/ton	Absorción kg/ton	Extracción kg/ton
N	30	26	18
P	5	4	3
K	19	16	3
Ca	3	3	0.4
Mg	4	3	2
S	5	4	1,5
B	0.025		
Cu	0.010		
Fe	0.137		
Mn	0.070		
Mo	.		
Zn	0.052		

Cuadro 2. Requerimientos, absorción extracción de nutrientes en colza

COLZA	Requerimientos Kg /ton	Absorción kg/ton	Extracción Kg/ton
N	60	52	33
P	15	13	9
K	65	56	24
Ca	33	29	.
Mg	10	9	.
S	12	10	6,1
B	0.09		
Cu	0.05		
Fe	0.21		
Mn	0.43		
Mo	0.012		
Zn	0.15		
Ni	0		

Según Hocking (1999) en comparación con la mayoría de los cultivos cerealeros, la colza tiene mayores necesidades nutritivas para lograr altos rendimientos, del orden de 25 % más de N, P y K.

En trigo la acumulación de nutrientes en la biomasa aérea se concentra entre Z30 y antesis, siendo mayor durante el encañado (Hewstone, 1999). Existen correlaciones significativas entre la tasa de producción de MS y la absorción de nutrientes en los diferentes periodos hasta antesis, con excepción de K, Cu y B.

Bertic et al. (1986) mencionan que el porcentaje de K en la planta de trigo generalmente disminuye mientras ésta crece y que una vez que se alcanza la cantidad máxima de K en la planta, tal cantidad empieza a disminuir, lo cual no ocurre con N y P, cuya extracción se mantiene al igual que la acumulación de materia seca. Por otra parte, la literatura señala que por lo menos 75 % del K que absorbe la planta lo acumula en la antesis y que en esta etapa son los tallos los que acumulan la mayor proporción de este elemento (Hocking, 1994).

Trabajos realizados por Gonzales et al. (2000) indicaron que en promedio el 41% del K se pierde, es decir abandona la planta después de que esta alcanza su máxima acumulación y que la espiga acumula en promedio solo 26% del total acumulado por la planta, estos valores son menores que los que informa la literatura para N y P (González et al., 1997, 1998)

Van Ruymbeke y Ossemerct (1972) comprobaron que la cantidad de K extraída por los cultivos depende mucho de la precipitación durante las últimas tres semanas anteriores a la cosecha. Los autores estudiaron cereales en diversos estadios de crecimiento y observaron contenidos máximos de K, del orden de 166 a 208 kg/ha, en el estadio de floración. La lluvia lavaba de 79 a 145 kg de K de las plantas antes de la cosecha. El potasio se lava fácilmente de los tejidos muertos porque no puede unirse a moléculas orgánicas.

Walch y Flaney (1985) demostraron que la aplicación de K en gramíneas es cada vez más necesaria debido al mayor potencial de rendimiento de las nuevas variedades. Por otro lado Dixit y Sharma (1993) fundamentan no usar fertilizante potásico a menos que sea indispensable ya que puede provocar deficiencias de otros nutrientes como Ca y Mg

2.3. CURVAS DE ABSORCIÓN DE NUTRIENTES

Una curva de absorción es la representación gráfica de la extracción de un nutriente y representa las cantidades de este elemento extraídas por la planta durante su ciclo de vida.

En las Figura 2 y 3 se presenta información generada por el Ministerio francés de Agricultura y Pesca en la Estación Científica SCPA en Aspach le Bas en Francia. Tanto el cultivo de trigo como el de colza se evaluaron por un año, con rendimientos de 8,8 y 2,8 toneladas por hectárea respectivamente.

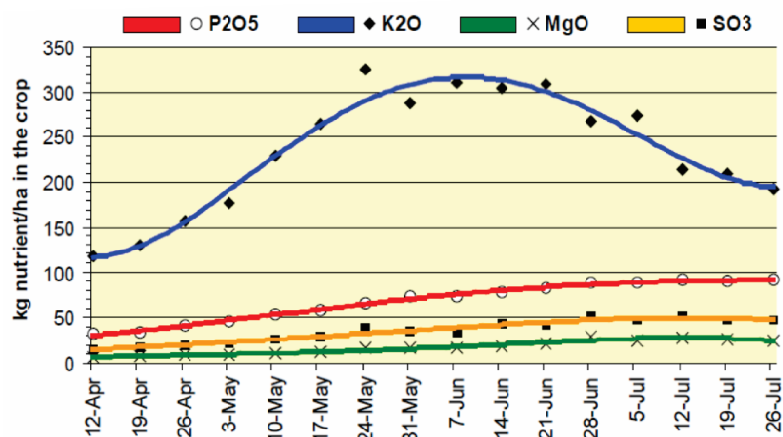


Figura 2. Curva de absorción de nutrientes en trigo (Ministerio Francés de Agricultura y Pesca, citado por PDA, 2011)

Las cantidades de P_2O_5 , MgO y SO_3 aumentaron en forma constante durante toda la estación de crecimiento del trigo, llegando a un máximo a los 85-90 días. Por el contrario la cantidad de K_2O es mucho mayor alcanzando un máximo a los 55-60 días y luego disminuye debido a las pérdidas de hojas y lavado.

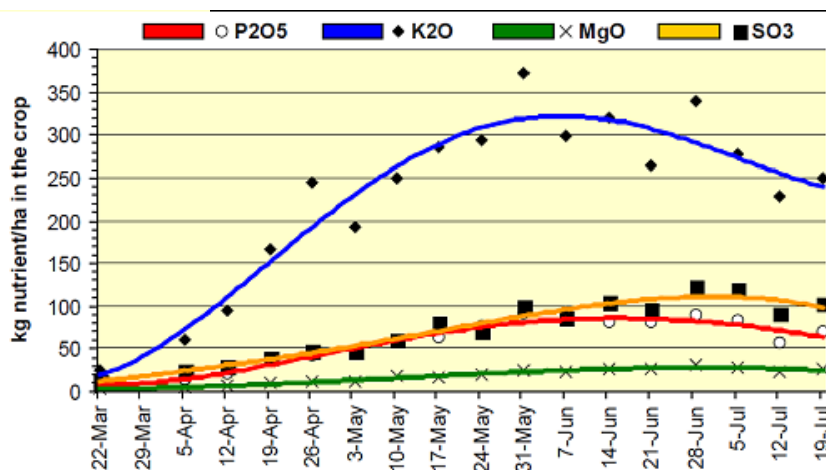


Figura 3. Curva de absorción de nutrientes en colza (Ministerio Francés de Agricultura y Pesca, citado por PDA, 2011)

Las cantidades de P_2O_5 , MgO y SO_3 se incrementan en todo el período de crecimiento de la colza, y se produce una pérdida de P_2O_5 y SO_3 antes de la cosecha probablemente debido a la pérdida de hojas. Al igual que en trigo, la cantidad de K_2O es mucho mayor, acumulando un máximo a los 65-70 días.

El K se absorbe durante las etapas tempranas del crecimiento de los cultivos de grano, mucho más que el nitrógeno o el fósforo. Los requerimientos de K necesarios para alcanzar un óptimo crecimiento cambian con la etapa de desarrollo del cultivo (Welch y Flannery, 1985).

La absorción de K generalmente precede la producción de materia seca (Figura 4).

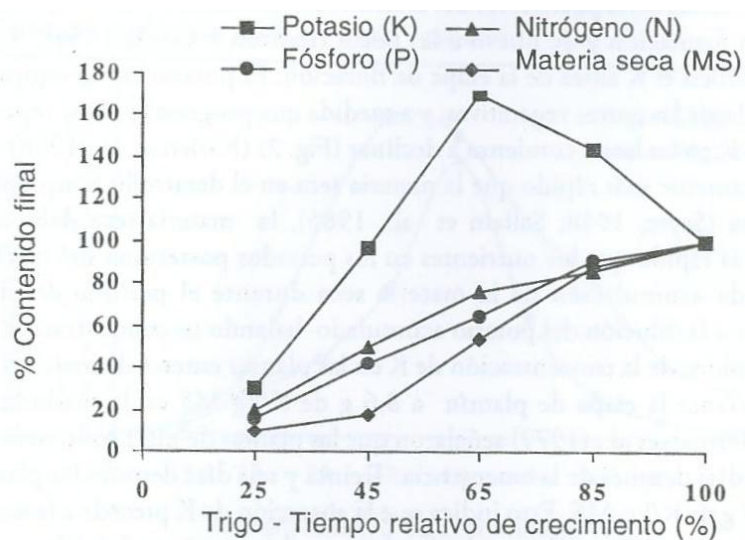


Figura 4. Absorción de N, P y K durante el crecimiento del cultivo de trigo (Kant y Kafkafi, 2005)

La descripción de los requerimientos de K durante el crecimiento se discutirá a continuación de acuerdo al período de desarrollo del cultivo.

Crecimiento inicial

La mayoría de las semillas de los cultivos de grano contienen entre 0,4 y 1,0 % de K en base materia seca. Esta cantidad es suficiente para la germinación y el establecimiento inicial pero no es suficiente para mantener el crecimiento por un período más largo (Van-Slyke, 1932). La raíz emergente tiene que absorber K para lograr el crecimiento vegetal adicional (Buckner, 1915).

Período de crecimiento vegetativo

En los cultivos anuales este período se caracteriza por alcanzar la máxima acumulación de materia seca y una progresiva acumulación de elementos inorgánicos en cantidades importantes, especialmente K.

La removilización de nutrientes minerales desde las hojas maduras a los nuevos tejidos en crecimiento es de importancia clave para la finalización del ciclo de vida en las plantas anuales de grano. Con el aumento de la síntesis de materiales orgánicos, la

concentración del K expresada en porcentaje de la materia seca disminuye, aunque la cantidad total de K en valor absoluto aumenta. El consumo de K durante este período es seguido generalmente por la translocación de K en las fases posteriores del crecimiento desde los tejidos más maduros a las semillas nuevas en formación y de nuevo a las raíces. Los cereales generalmente absorben el K antes de la etapa de floración. El potasio en las espigas proviene vía translocación desde las partes vegetativas, y a medida que progresa la etapa reproductiva la concentración del K en las hojas comienza a declinar (Karlen et al., 1988).

El K se acumula relativamente más rápido que la materia seca en el desarrollo temprano de varias partes de la planta (Sayre 1948, Sallam et al. 1985) citado por Kant y Kafkafi. s.f; la materia seca debe acumularse necesariamente más rápido que los nutrientes en los periodos posteriores del crecimiento. Esta rápida acumulación de la materia seca durante el período de crecimiento vegetativo da lugar a la dilución del potasio acumulado bajando su concentración, (Sallam et al., 1985).

La remoción de K por el trigo puede variar de 40 kg/ha a más de 200 kg ha⁻¹ dependiendo del nivel de rendimiento (Beaton y Sekhon, 1985). Niveles de absorción de hasta 500 kg K/ha fueron reportados al comienzo de la floración en trigo en Israel (Kafkafi y Halevy, 1974) citado por Kant y Kafkafi. s.f.

La acumulación máxima de K en las partes aéreas de trigo fue encontrada cerca del momento de floración. La curva sigmoidea característica (Figura 5) muestra los mayores niveles de absorción entre fin de macollaje y comienzo de la floración. Luego comienza a reducirse, lo cual es un proceso opuesto a la acumulación de materia seca total, N y P. Las tasas máximas de absorción ocurren al comienzo de la elongación del macollo principal cuando todo o la mayor parte de las hojas están todavía verdes y expandiéndose.

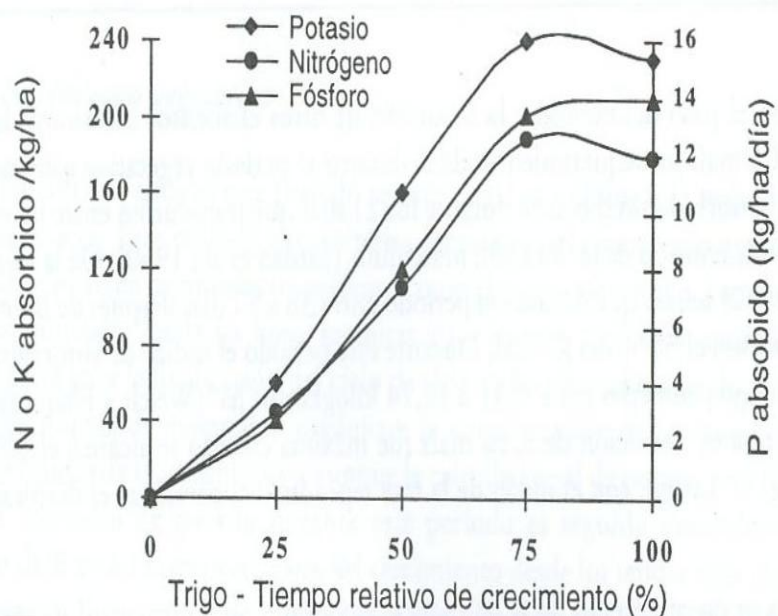


Figura 5. Cantidades de N,P,K absorbidas en el cultivo de trigo (Kant y Kafkafi, 2005)

Período reproductivo

El principal cambio fisiológico en esta etapa implica la removilización de reservas orgánicas e inorgánicas a las partes reproductivas.

Tanto los cereales como las oleaginosas (colza) muestran que la absorción de K aumenta hasta floración y luego declina hacia la madurez (Bailev y Soper, 1985).

En la madurez solo entre el 50 y 60 % del K queda en la planta debido a la pérdida desde las hojas envejeciendo, senescencia de hojas, así como también por la exudación de las raíces maduras (Russell y Clarkson 1971, Kemmler 1983).

2.4. CONSUMO DE LUJO

La adición de fertilizante potásico a un suelo deficiente de potasio aumenta los rendimientos de los cultivos. Al principio la cantidad de potasio absorbido es prácticamente proporcional al crecimiento del cultivo. Pero cuando éste comienza a disminuir su crecimiento la absorción de potasio sigue creciendo (Figura 6), con lo cual aumenta el porcentaje de potasio en la planta. Esa absorción, superior a lo que la planta necesita recibe el nombre de consumo de lujo. Esta tendencia a tomar más de lo necesario puede observarse en cualquier nutriente pero resulta evidente en el caso del potasio.

En cultivos para grano, cuando existe consumo de lujo la mayor parte del potasio permanece en los residuos vegetales, de los cuales no tarda en lavarse para

volver al suelo en forma de potasio asimilable. Sin embargo cuando se cosecha la planta entera ya sea para henificar, ensilar o cualquier otro aprovechamiento, todo el potasio absorbido resulta exportado y no vuelve al suelo.

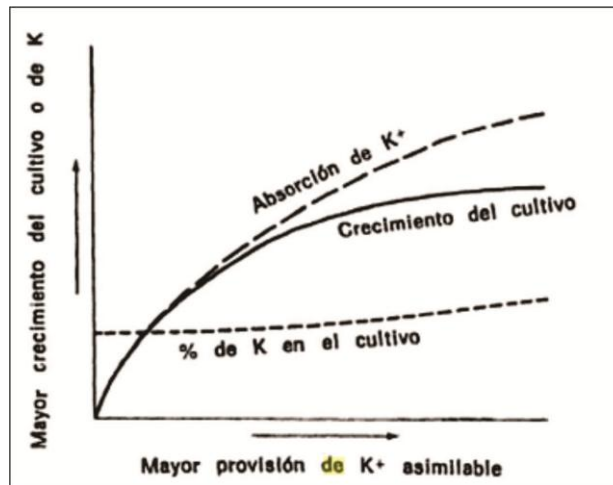


Figura 6. Absorción de potasio y crecimiento de las plantas a varios niveles de potasio asimilable, ilustrando el consumo de lujo que tiene lugar en los niveles altos (Thompson y Troeh, 1988)

2.5. CONDICIONES DE ABSORCIÓN

El potasio requerido por las plantas es transportado hasta la raíz por tres mecanismos: contacto, flujo de masas y difusión .

Se calcula que menos del 10% del total requerido de este nutriente es absorbido por intercambio con la micela coloidal (contacto). El flujo de masas solo aporta una parte que depende de la concentración de potasio y del agua transpirada por la planta. La mayor parte del K se absorbe por difusión, es decir el gradiente de concentración que es generado por la raíz en la solución del suelo.

2.5.1. Factores que afectan la absorción de potasio por las plantas

Las características generales de cada suelo en particular determinan la eficiencia con la que cada cultivo absorberá potasio. Según PPI (1997) es afectado por diferentes factores como:

- aireación del suelo. Afecta principalmente la absorción de K más que la de cualquier otro nutriente. La compactación del suelo limitan la oxigenación del suelo por lo que incrementan los problemas de deficiencia, debido a que a su vez limita el crecimiento de las raíces.

- contenido de K en el suelo. A medida que éste es limitante en el suelo, la absorción disminuye.
- fijación. En suelos con alto contenido de arcillas 2:1 el K que es atrapado en su estructura, reteniéndolo y no dejándolo disponible, por lo cual disminuye la absorción por la planta.
- CIC. Los suelos con una alta CIC tienen una mayor capacidad de almacenamiento de K y de intercambio con la planta.
- temperatura del suelo. La baja temperatura reduce la disponibilidad del K y por ende la absorción. Esto se debe a que gran parte del K llega a la raíz por el mecanismo de difusión, el cual depende de la temperatura. Es así que a mayor temperatura hay más disponibilidad de los nutrientes que llegan a la raíz por difusión, como ocurre con el P y el K.
- humedad del suelo. El agua es necesaria para el movimiento de difusión del K a la raíz. La sequía y los anegamientos reducen la absorción de K por la planta.

2.5. DISTRIBUCIÓN DE POTASIO EN EL PERFIL

El K no puede ser considerado un nutriente móvil en el suelo debido a que es retenido en el proceso de intercambio catiónico; sin embargo presenta cierta movilidad en el suelo, pudiendo ser redistribuido en el perfil por el flujo de agua, por absorción y reciclaje por las plantas.

Jobbagy y Jackson (2001) han demostrado el importante rol de la vegetación en la redistribución vertical (como estratificación) de nutrientes menos móviles como P y K. Asimismo la variabilidad vertical y horizontal de los tenores de K normalmente es menor que la de P (Amado et al., 2006). Por otra parte es factible que bajo sistemas de siembra directa se produzca un movimiento ascendente de K hacia el horizonte superficial. La continua deposición de residuos en la superficie, sumado a la reducción de pérdidas por erosión y lixiviación induce a una mayor concentración de K próximo a la superficie.

2.6. RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN POTÁSICA EN URUGUAY

Las situaciones de mayor respuesta al agregado de K probablemente sean las de sistemas extractivos y suelos arenosos con baja CIC, formados sobre materiales pobres generadores de K (Casanova, 1996). El nivel crítico propuesto por Barbazán et al. (2010) se encuentra dentro del rango de 0,33 a 0,43 meq/100g, recomendado para el cinturón maicero de EEUU.

Barbazán et al. (2011) estudiando experimentos de diversos autores nacionales en trigo, cebada, girasol, maíz y soja, en un total de 50 sitios encontró respuesta en 15 de ellos ($P < 0,10$), presentando éstos niveles de K intercambiable en el rango de 0,15 a 0,44 meq/100g. Concluyen que la posibilidad de respuesta al agregado de potasio es

dependiente no solo del nivel de K intercambiable en el suelo, sino también de la textura y mineralogía predominante de la fracción arcilla.

Por otro lado la intensificación de la agricultura con cultivos cada vez más extractivos (mayor potencial) o con una velocidad de rotación de 1,5 cultivos por superficie y por año (MGAP. DIEA, 2010), pueden haber producido cambios en la capacidad de reserva de K en los suelos del país que podrían llevar a un replanteo de las estrategias de fertilización potásica. Un suelo que ha perdido K debido a reiteradas y elevadas extracciones, además de poder agotar sus reservas de K, aún en suelos originalmente altos, la eficiencia de utilización del K agregado puede llegar a ser relativamente baja (Hernández, s.f.).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS EXPERIMENTOS

3.1.1. Descripción del sitio experimental

Los experimentos fueron realizados en el periodo de otoño – invierno del año 2013 en chacras ubicadas en diferentes puntos del país.

El cultivo de trigo se realizó en la chacra nombrada como “Pirarajá”, ubicada en el departamento de Lavalleja, sobre la ruta 8 km 228, coordenadas W54 40 21,1 S33 39 11,5. El cultivo de canola se realizó en la chacra nombrada como “Lomas” ubicada en el departamento de Rocha, cercano a la ruta 15, coordenadas W54 11 12,8 S34 33 15. La Figura 7 muestra la ubicación de los sitios experimentales.

El Sitio Pirarajá corresponde a la Unidad Itapebí - Tres Árboles y pertenece al Grupo CONEAT 12.11, en tanto que el Sitio Lomas corresponde a la Unidad Lascano y pertenece al Grupo CONEAT 3.54.



Figura 7. Ubicación de cada sitio experimental

En ambas situaciones los experimentos se ubicaron en zonas lo más homogéneas posibles. Los experimentos fueron instalados el 3 de julio de 2013.

3.1.2. Características de los experimentos

En los experimentos se evaluaron diferentes dosis de fertilización de los cultivos, 30 - 60 - 120 - 240 kg de K_2O /ha que se compararon con un testigo (sin agregado de K). Se realizaron tres repeticiones por tratamiento siendo el diseño experimental en bloques completos al azar. El tamaño de las parcelas fue de 6x3 m en los dos experimentos.

Para el estudio de la presente tesis se seleccionaron dos tratamientos: uno con dosis 0 y otro con dosis de 240 kg K_2O /ha (Cuadro 3). Ambos tratamientos recibieron una fertilización de base de P a los efectos de que este nutrientes no fuera limitante.

Cuadro 3. Tratamientos de fertilización

Tratamiento	KCl	K20
	(kg/ha)	
Testigo	0	0
K 240	400	240

3.1.3. Manejo del cultivo

3.1.3.1. Manejo del trigo

El cultivo de trigo fue sembrado en la primer quincena de junio (variedad Klen nutria) con una distancia entre fila de 16,5cm.

Respecto al manejo de la fertilización en agosto de 2013 se aplicaron 90 kg/ha de urea y Herbicida Tronador Max (para controlar malezas de hoja ancha); el 13 de setiembre se aplicaron 124 kg/ha de urea y el 10 de octubre se aplicó fungicida Stringer 350g/ha + 0,5 litros de aceite mineral. La cosecha se realizó el 5 de diciembre.

3.1.3.2. Manejo de colza

El cultivo de colza fue sembrado el 11 de junio (variedad i granola 103) con una distancia entre fila de 18 cm y una densidad de siembra de 3,5 kg/ha, y la cosecha se realizó a principios de diciembre.

Respecto al manejo se aplicaron el día antes de la siembra 3 litros de round up full con 0,3 L de Starane. Se fertilizó con 120 kg de 7-40; luego se colocaron 100 kg de sulfato de amonio en 2 hojas y 80 kg de urea en elongación. Se controló lagarta con Rhino y se cortó e hileró el 8/11 y se cosechó 6 días después.

3.1.4. Determinaciones

3.1.4.1. Suelo y planta

Durante el desarrollo de los cultivos de trigo y canola se siguió la evolución del contenido de bases (Ca, Mg, K y Na) tanto en suelo como en planta (Figuras 15, 16, 17, 18 y 19).

Muestreos de suelo: en el cultivo de trigo se realizaron un total de cuatro muestreos, el primero por bloque al momento de la instalación del experimento y los tres restantes por parcela. Los muestreos de suelo se realizaron a una profundidad de 20 cm estratificado cada 3 cm hasta los 15 cm y 5 cm de los 15 cm a los 20 cm (0-3, 3-6, 6-9, 9-12, 12-15, 15-20).

Los muestreos de suelo se realizaron con un calador que permitía una estratificación precisa de la muestra cada 3 cm. En el cultivo de canola se realizó un muestreo de las mismas características a la instalación del experimento.

Las muestras de suelo fueron secadas en estufas durante 48 horas a 40°C y luego molidas.

Análisis de suelo: a cada muestra se le midió pH en agua y KCl, materia orgánica por el método de Walkey y Black y bases intercambiables (Ca, Mg, K, Na) por el método de extracción con acetato de amonio.

Muestreo de plantas: en el cultivo de trigo se realizaron tres muestreos, en el primer muestreo se cortaron 2 m lineales por parcela lo más cercano al suelo posible, en tanto que en los muestreos siguientes se cortaron 4 m lineales. En el cultivo de colza se pudo realizar solamente el muestreo inicial de suelos y el de suelo y planta en estado D1, ya que luego por un error en el manejo se cosechó el experimento en conjunto con el resto de la chacra.

Las muestras de planta fueron secadas en estufa durante 48 horas a 60°C y se molieron finamente.

Análisis de planta: las muestras se calcinaron en una mufla durante 5 horas a 550°C, se disolvieron las cenizas con HCl y se realizó el análisis de Ca y Mg por absorción atómica, en tanto que la absorción de K y Na se analizó por emisión.

Fecha	Estado del cultivo	Tipo de muestreo
Trigo		
3/07/2013	Implantación	Muestreo suelo x bloque
28/8/2013	Z22-z23	Muestreo suelo x parcela
28/8/2013	Z22-z23	Muestreo planta x parcela
23/10/2013	Z65	Muestreo planta
05/12/2013	Cosecha	Muestreo suelo x parcela
05/12/2013	Cosecha	Muestreo planta x parcela
Colza		
3/07/2013	Estado B (escala Cetiom)	Muestreo suelo x bloque
28/8/2013	Estado D1 (escala Cetiom)	Muestreo suelo x parcela
28/8/2013	Estado D1 (escala Cetiom)	Muestreo planta x parcela
8/11/2013	Cosecha comercial	Muestreo de planta del testigo.

Figura 8. Muestreos realizados en los cultivos de trigo y colza

3.1.4.2. Cálculos de rendimiento y absorción de nutrientes

Para la estimación de rendimiento de trigo se cortaron 4 metros lineales de cada parcela (testigo y tratamiento), luego se separaron los granos en forma manual y se pesaron. Para realizar los cálculos se corrigieron por la humedad.

Para el cultivo de colza el valor de rendimiento fue proporcionado por el encargado del predio el cual fue de 1100 kg/ha; este valor fue tomado como testigo.

El cálculo de la absorción de nutrientes a la cosecha de la colza se realizó a partir de muestras de planta tomadas a la cosecha, las cuales se fraccionaron en tres partes: paja (tallos y hojas), chauchas y grano. Se calculó la proporción de grano de esas plantas y a partir de ese dato la biomasa de parte aérea (paja y chauchas).

3.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El modelo estadístico utilizado corresponde al diseño en bloques completos al azar presentado a continuación.

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

$i = 1, 2$ (tratamientos)

$j = 1, 2, 3$, (bloques)

Y_{ij} : rendimiento (kg MS/ha)

μ : media general de la población

τ_i : Efecto del i -ésimo tratamiento

β_j : Efecto del j -ésimo bloque

ε_{ij} : Error experimental

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.

3.2.1. Análisis de varianza

Para el análisis de varianza se utilizó el software Infostat. Para realizar las comparaciones de medias de los tratamientos tanto para el contenido de bases en suelo (cada 3 cm) y los parámetros de planta (rendimiento, concentración de nutrientes, nutrientes absorbidos) se eligió el test de Tukey al 5%.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DEL AÑO

4.1.1. Precipitaciones

En las Figuras 9 y 10 se presentan las lluvias registradas durante el año 2013 en comparación con su media histórica.

Durante los meses de los cultivos (junio a diciembre) las mayores precipitaciones se registraron en los meses de setiembre y noviembre, donde prácticamente se duplicaron los valores respecto a la serie histórica y en el mes de octubre las menores. Estos meses de excesos hídricos pudieron haber afectado la dinámica de los nutrientes.

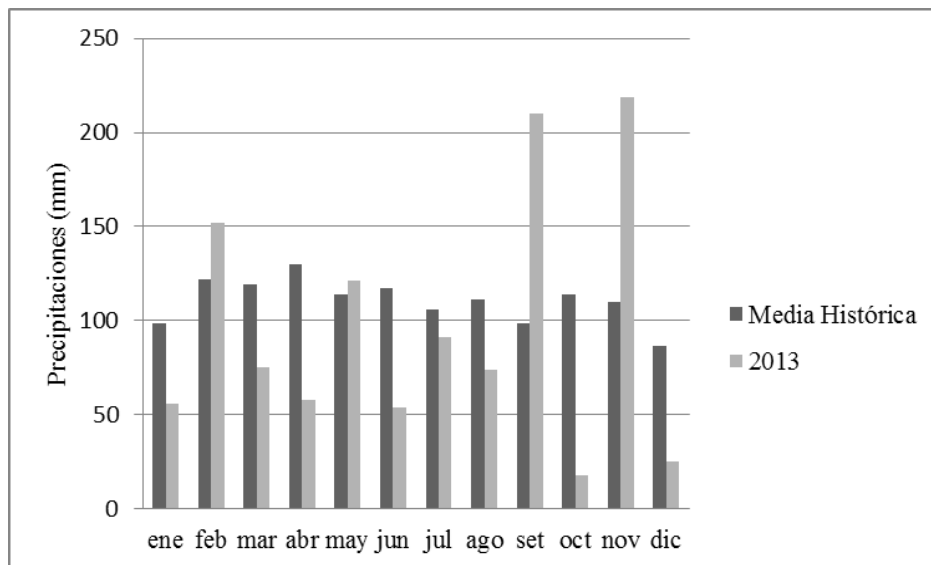


Figura 9. Precipitaciones mensuales medias para el año 2013 en relación a la serie histórica de Pirarajá (1980-2009)

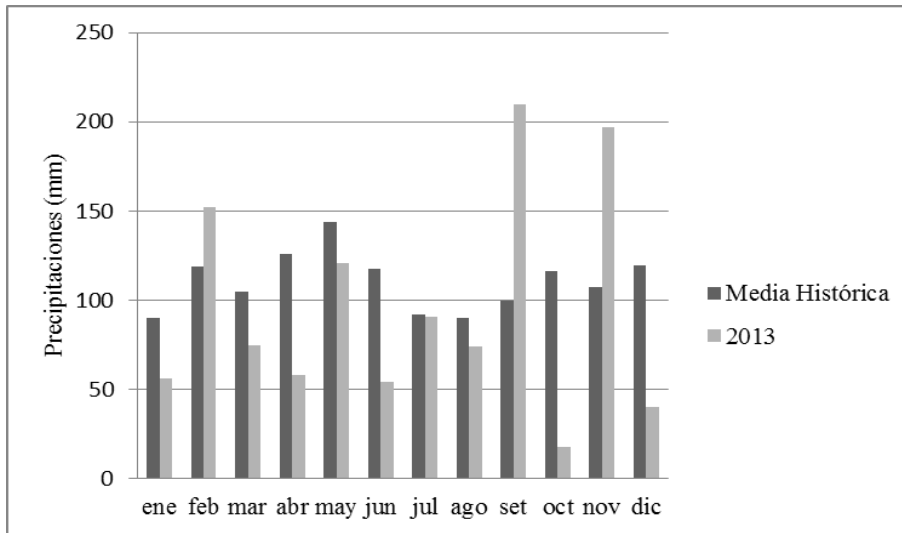


Figura 10. Precipitaciones mensuales medias para el año 2013 en relación a la serie histórica de Rocha (1980-2009)

4.1.2 Temperatura

En cuanto al régimen térmico (Figuras 11 y 12), en general se registraron temperaturas por debajo de la media histórica caracterizándose como un año más “frío”. Esto es favorable si consideramos la curva crecimiento para cultivos de invierno que requiere bajas tasas de crecimiento en las primeras etapas.

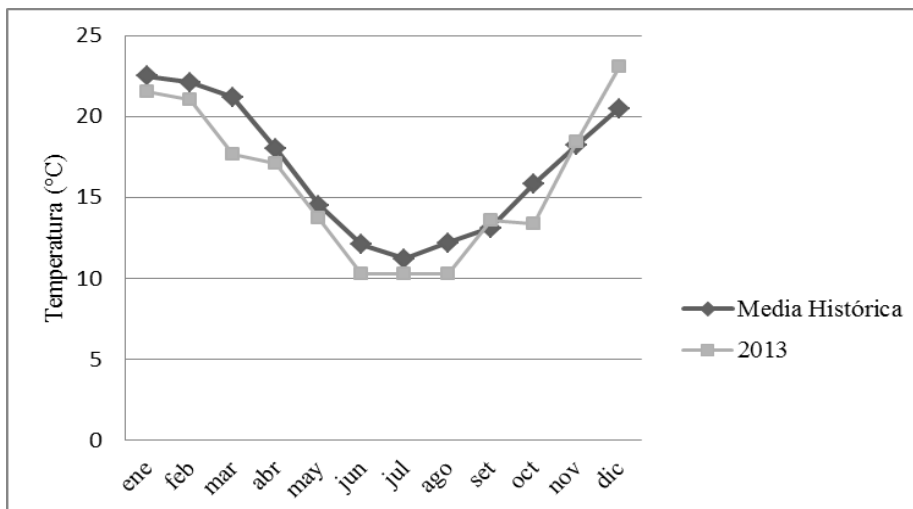


Figura 11. Temperaturas mensuales medias para el año 2013 en relación a la serie histórica de Pirarajá (1980-2009)

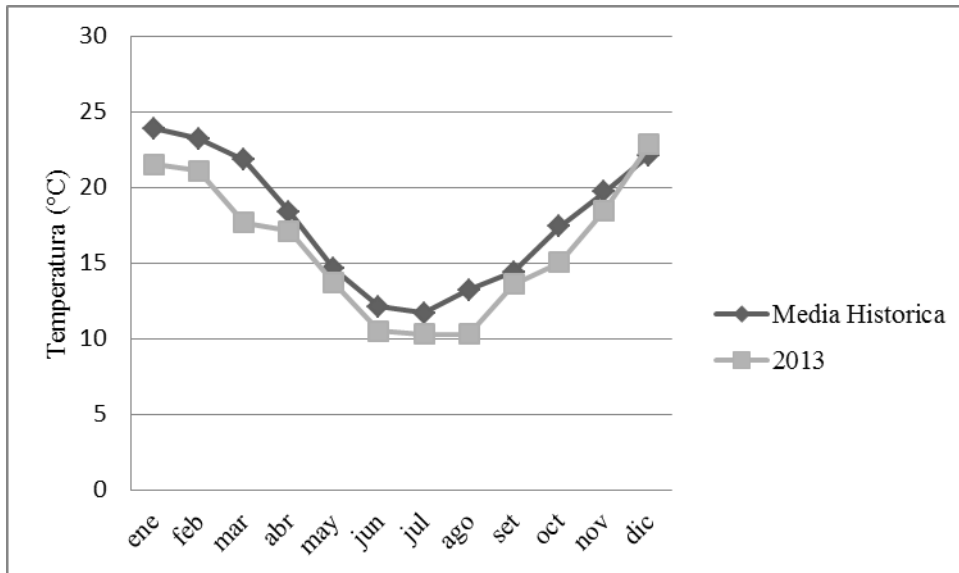


Figura 12. Temperaturas mensuales medias para el año 2013 en relación a la serie histórica de Rocha (1980-2009)

En definitiva, las condiciones climáticas no presentaron mayores dificultades en las etapas iniciales de los cultivos; sin embargo los meses de excesos hídricos (setiembre y noviembre) pudieron haber afectado el desarrollo de los cultivos.

4.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS

En los Cuadros 4, 5 y 6 se presentan a modo de caracterización los niveles iniciales de nutrientes y características de los suelos donde se realizaron los experimentos.

Se debe aclarar que en el sitio nombrado como “Las Conchas” ubicado en Rocha solo figura la caracterización inicial en este trabajo, ya que no se pudo continuar con el experimento en ese predio por problemas técnicos.

Cuadro 4. Niveles iniciales de nutrientes y caracterización del suelo. Sitio Pirarajá (trigo)

Prof (cm)	MO	pH H ₂ O	pH KCl	K	Ca	Mg	Na
	%			----- cmol _c kg ⁻¹ -----			
0-3	3,5	5,39	4,44	1,04	9,59	3,58	0,36
3-6	2,5	5,12	3,81	0,60	7,23	2,89	0,38
6-9	1,4	5,25	3,32	0,44	7,20	2,97	0,52
9-12	1,6	5,40	3,50	0,38	7,64	3,09	0,49
12-15	1,4	5,52	3,46	0,39	7,75	3,12	0,51
0-15	2,1	5,36	3,07	0,57	7,88	3,13	0,45

Cuadro 5. Niveles iniciales de nutrientes y caracterización del suelo. Sitio Lomas (colza)

Prof (cm)	MO	pH H ₂ O	pH KCl	K	Ca	Mg	Na
	%			----- cmol _c kg ⁻¹ -----			
0-3	4,9	5,20	5,05	1,17	6,00	3,24	0,72
3-6	2,8	5,23	4,02	0,85	4,33	2,99	0,89
6-9	1,8	5,52	3,66	0,79	4,79	3,60	1,04
9-12	1,6	5,77	3,69	0,86	4,87	3,73	1,09
12-15	1,2	6,10	3,65	0,88	6,45	5,33	1,72
0-15	2,5	5,56	4,01	0,91	5,29	3,78	1,09

Cuadro 6. Niveles iniciales de nutrientes y caracterización del suelo. Sitio las Conchas (trigo)*

Prof (cm)	MO	pH H ₂ O	pH KCl	K	Ca	Mg	Na
	%			----- cmol _c kg ⁻¹ -----			
0-3	3,7	5,13	4,41	0,83	6,18	2,55	0,38
3-6	2,4	5,03	3,72	0,58	4,82	2,87	0,51
6-9	1,6	5,00	3,30	0,50	4,37	2,07	0,42
9-12	1,4	5,09	3,25	0,40	4,23	2,01	0,42
12-15	1,3	5,23	3,26	0,39	4,19	2,16	0,56
0-15	2,0	5,09	3,59	0,54	4,76	2,33	0,46

* El cultivo se implantó muy pobremente por lo que no se continuó el experimento

Los niveles de MO en general fueron medios-bajos, presentando valores entre 2 y 2,5% en los diferentes sitios para los primeros 15 cm de suelo. Los mayores valores se presentan en superficie, como es de esperar.

Los valores de pH se encuentran dentro de un rango aceptable y por lo tanto se considera que no fueron limitantes para el correcto desarrollo de los cultivos.

Se observa una clara estratificación para K presentando los mayores niveles en superficie; este comportamiento no es tan claro para los demás cationes intercambiables aunque en Ca y Mg generalmente la mayor concentración se ubica en los primeros 3 cm de suelo.

Comparando los niveles de K en los 0-15 cm de suelo se puede observar en los tres sitios que los valores iniciales de K son mayores al nivel crítico propuesto por Barbazán et al. (2010) destacándose el Sitio “Lomas”, con niveles que superan el doble del nivel crítico, por lo tanto no serían esperables respuestas por parte del cultivo.

4.3. EVOLUCIÓN DEL CONTENIDO DE BASES INTERCAMBIABLES EN EL SUELO - EFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS Y EXTRACCIÓN POR EL CULTIVO

En la Cuadro 7 se presentan los valores de cationes intercambiables para el Sitio Pirarajá, bajo el cultivo de trigo, en el 2^{do} muestreo realizado el 28/8/2013, luego de 25 días de aplicado el fertilizante. Como era de esperar, los valores de K para el tratamiento fertilizado fueron superiores en los primeros 9 cm de suelo, destacándose los valores de estrato superior (0-3cm) donde se registraron valores superiores al doble respecto al testigo.

Para Ca y Mg se registraron valores superiores en el estrato superior, esto se puede deber al reciclaje de cationes a partir de los residuos de cultivos, los cuales en sistemas de siembra directa, así como en pasturas se depositan en la superficie del suelo.

Debido a que estos cationes no se lixivian rápidamente en profundidad tienden a acumularse en la capa de 0-3 cm. Otra posible causa del aumento en Ca en superficie podría ser que en el tratamiento además de potasio se agregó superfosfato de calcio, aunque las pequeñas cantidades agregadas con el fertilizante no podrían explicar la mayor parte de las diferencias.

Cuadro 7. Contenido de bases intercambiables en el perfil de suelo testigo y fertilizado. Sitio Pirarajá, 2° muestreo. Letra diferente indica diferencia significativa entre tratamientos para la profundidad considerada

Profundidad (cm)	K intercambiable		Ca intercambiable		Mg intercambiable	
	Testigo	Tratamiento	Testigo	Tratamiento	Testigo	Tratamiento
	cmol_c/kg					
0-3	0.76 b	1.62 a	7.77 b	8.30 a	2.78 b	3.03 a
3-6	0.37 b	0.81 a	5.52 a	7.23 a	2.66 a	2.89 a
6-9	0.36 b	0.42 a	6.28 a	6.18 a	2.46 a	2.54 a
9-12	0.48 a	0.36 a	6.00 a	7.18 a	2.77 a	2.93 a
12-15	0.27 a	0.29 a	7.01 a	6.59 a	2.79 a	2.69 a
15-20	0.48 a	0.66 a	7.85 a	6.63 a	3.85 a	3.96 a
0-20	0.45	0,69	6,84	6,98	2,98	3,10

Resultados similares se obtuvieron para el Sitio Lomas bajo cultivo de colza, muestreado en la misma fecha; se registraron valores de K mayores en el tratamiento con agregado de K respecto al testigo en los primeros 6 cm de suelo (Cuadro 8).

Los valores de K para el testigo fueron altos, si se compara con el Sitio en Pirarajá fueron un 52% superiores, Los valores de Ca fueron 16 % menores y los de Mg 26 % mayores.

Cuadro 8. Contenido de bases en el perfil de suelo testigo y fertilizado. Sitio Lomas, 2° muestreo. Letra diferente indica diferencia significativa entre tratamientos para la profundidad considerada

Profundidad (cm)	K intercambiable		Ca intercambiable		Mg intercambiable	
	Testigo	Tratamiento	Testigo	Tratamiento	Testigo	Tratamiento
	cmol_c/kg					
0-3	1,16 b	1,65 a	6,38 a	7,17 a	2,91 a	2,99 a
3-6	0,84 b	1,05a	3,94 a	5,52 a	2,56 a	3,87 a
6-9	0,70 a	0,68 a	4,97 a	5,55 a	2,93 a	3,10 a
9-12	0,81 a	0,74 a	5,32 a	4,99 a	4,11 a	3,42 a
12-15	0,91 a	0,80 a	6,17 a	6,15 a	4,96 a	4,45 a
15-20	0,74 a	0,69 a	6,99 a	5,81 a	4,56 a	3,26 a
0-20	0,85	0,91	5,76	5,86	3,76	3,49

El tercer muestreo de suelos, realizado el 5/12/2013 para el Sitio Pirarajá a la cosecha del trigo se presenta en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Contenido de bases en el perfil de suelo y trigo fertilizado. Sitio Pirarajá, 3er muestreo. Letras diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos para una profundidad considerada

Prof. (cm)	K intercambiable		Ca intercambiable		Mg intercambiable		Na intercambiable	
	Testigo	Trat.	Testigo	Trat.	Testigo	Trat.	Testigo	Trat.
	cmol_c/kg							
0-3	0,64 b	0,95 a	8,24 a	7,65 a	3,31 a	3,44 a	0,38 a	0,59 a
3-6	0,38 b	0,70 a	7,65 a	6,87 a	3,50 a	3,13 a	0,54 a	0,41 a
6-9	0,35 a	0,49 a	7,15 a	7,41 a	3,26 a	3,62 a	0,45 a	0,55 a
9-12	0,31 a	0,64 a	7,01 a	7,18 a	2,95 a	3,30 a	0,56 a	0,45 b
12-15	0,25 a	0,37 a	7,21 a	7,70 a	3,36 a	3,47 a	0,62 a	0,65 a
15-20	0,26 a	0,47 a	7,14 a	7,51 a	3,22 a	3,68 a	0,61 a	0,52 a
0-20	0,35	0,59	7,37	7,40	3,27	3,46	0,53	0,53

Los niveles de K del tratamiento fueron superiores en los primeros 6 cm de suelo respecto al testigo. Al observar la disminución de potasio del 3^{er} muestreo con respecto al 2^{do} se puede ver que para el caso del testigo la disminución de K en los primeros 3 cm de suelo fue de 16 % mientras que el tratamiento disminuyó un 41%, esto podría explicarse por un mayor absorción del cultivo en el tratamiento con respecto al testigo, como se discutirá más adelante (Figura 16). En esta figura se puede ver claramente que la mayor diferencia se observa al momento de la cosecha con una diferencia en torno a los 7 kg/ha de K.

También podría deberse al efecto de “consumo de lujo”, es decir al agregar fertilizante el cultivo puede absorber más de lo que necesita lo que aumenta el porcentaje de K en planta y si se observan los datos de concentración de nutrientes en planta si bien las diferencias no fueron significativas, en las primeras dos fechas hay una tendencia a un mayor % de K en el tratamiento fertilizado con respecto al testigo. En la Fecha 3 hubo diferencias en la paja de trigo, con una concentración 47% superior respecto al testigo.

Como resumen en la Figura 13 se presenta el contenido de K intercambiable en suelo medido a dos profundidades 0-15 y 0-20 para el testigo y el tratamiento fertilizado con 240kg/ha de K₂O en dos momentos; M2 corresponde al 28/8/13 con el cultivo de trigo en Z23 y M3 corresponde al 5/12/13 con la cosecha del cultivo. Estos valores

resultan de los promedios ponderados del contenido de K en cada una de las capas de suelo presentados en los Cuadros 7 y 9. Comparando el testigo y el tratamiento se observa en éste último tuvo mayores concentraciones de K en suelo para ambos momentos no solo al comparar los estratos, sino también cuando se compara la profundidad de suelo a las cuales se acostumbra a tomar las muestras compuestas. Tanto para el testigo como para el tratamiento los niveles de K en suelo fueron menores en M3 que en M2: esto, como se mencionó, puede deberse a la absorción por el cultivo. También se puede ver una leve mayor cantidad de K en la profundidad de 0 -15 que en la de 0-20, (aunque sin diferencias significativas); esto es esperable ya que las mayores concentraciones se dan en los estratos superiores. La escasa diferencia entre los resultados de concentración de K intercambiable en el suelo, obtenidos a partir de las muestras tomadas a estas dos profundidades parece indicar que el error cometido es bajo cuando se comparan resultados de análisis, por ejemplo en una secuencia en la cual se han utilizado ambas metodologías.

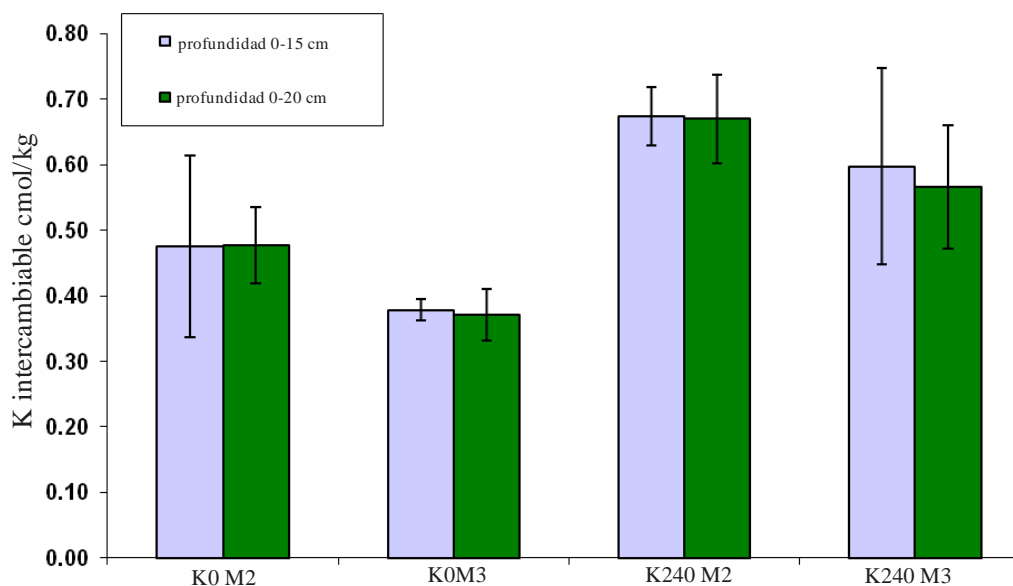


Figura 13. Contenido de K intercambiable en el suelo a las profundidades de 0-15 y 0-20 cm en dos muestreos sucesivos (M2 y M3) en el suelo bajo cultivo de trigo. Tratamientos: testigo y fertilizado con 240 kg/ha de K_2O

En el tercer muestreo del sitio Pirarajá los valores de Ca, Mg y Na intercambiables en el suelo no presentaron diferencias significativas entre testigo y tratamiento fertilizado a ninguna profundidad.

4.4. CULTIVOS

4.4.1. Trigo

4.4.1.1. Rendimiento de tratamiento vs. testigo

El rendimiento de los diferentes tratamientos de fertilización se presenta en la Figura 14. El rendimiento en grano en promedio para el testigo fue de 4981kg/ha mientras que el del tratamiento fertilizado fue de 5113kg/ha. No hubo diferencias significativas. Los rangos de rendimiento en las diferentes parcelas estuvieron entre 4292 y 5626 kg/ha de grano. Estos valores indican un alto rendimiento de este cultivo para las condiciones de Uruguay (promedio histórico de rendimiento de trigo 3200 kg/ha). El índice de cosecha en biomasa (calculado como rendimiento en grano/biomasa aérea total x 100) fue en promedio de 48 %, superior a los valores medios que se ubican en torno a 35 - 40%, aunque depende mucho del ambiente y del material, con un rango que va de 31 a 51%¹.

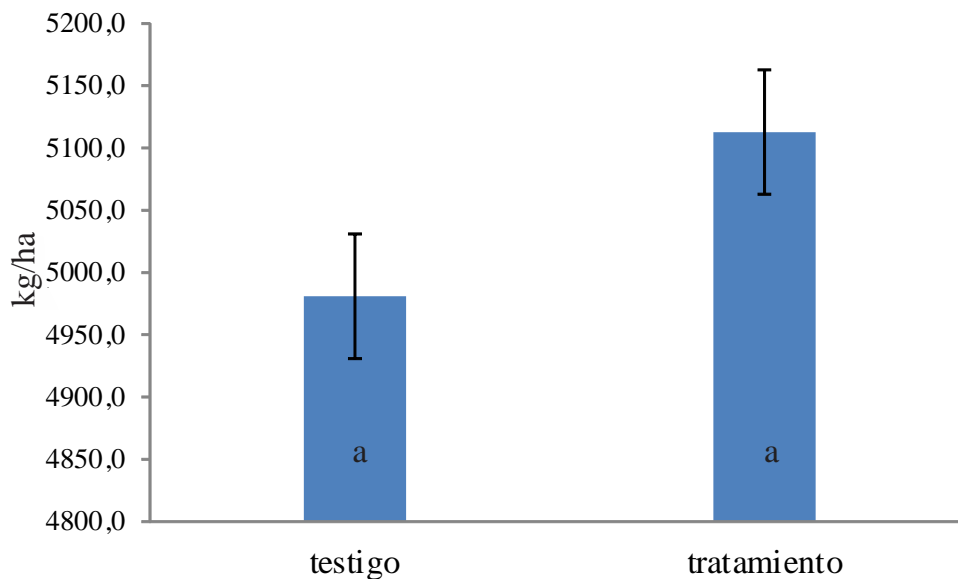


Figura 14. Rendimiento trigo para testigo y tratamiento fertilizado con 240 kg/ha de K₂O

¹Hoffman, E.; Benitez, A.; Cadenazzi, M. 2001. Índice de cosecha en función de la biomasa total a cosecha en trigo y cebada (sin publicar).

4.4.1.2. Rendimiento de todos los tratamientos

En el Cuadro 10 se muestran los rendimientos de todos los tratamientos (0-30-60-120-240 kg de K₂O)

Cuadro 10. Rendimiento de trigo en función de los tratamientos.

Dosis K ₂ O	Promedio	Desv. estándar	Coef. de variación
	Kg/ha		%
0	4981	655	13
30	4866	492	10
60	4985	547	11
120	5274	423	8
240	5113	395	8

4.4.1.3. Concentración de nutrientes en planta

En el Cuadro 11 se presentan los datos de concentración de nutrientes en planta para el testigo y tratamiento fertilizado con 240 kg/ha de K₂O en los diferentes momentos del cultivo.

Cuadro 11. Concentración de nutrientes (K, Ca, Mg y Na) en planta de trigo en diferentes etapas de desarrollo (Escala Zadoks). Letras diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos para una fecha considerada

Fecha	K		Ca		Mg		Na	
	Testigo	Tratamiento	Testigo	Tratamiento	Testigo	Tratamiento	Testigo	Tratamiento
----- % -----								
28 Ago (Z22)	2,53 a	2,94 a	0,34 a	0,32 a	0,12 a	0,11 a	0,31 a	0,26 a
23 Oct (Z65)	0,83 a	0,91 a	0,13 a	0,11 a	0,07 a	0,07 a	0,03 a	0,02 a
5 Dic. Cosecha - Grano	0,35 a	0,38 a	0,06 a	0,05 a	0,13 a	0,11 a	0,02 a	0,02 a
5 Dic Cosecha -Paja	0,19 b	0,28 a	0,08 a	0,08 a	0,02 a	0,02 a	0,02 a	0,02 a

La concentración de K en planta disminuye a medida que aumenta la edad del cultivo. Esto coincide con los autores Betric et al. (1986), y se debe a un efecto de dilución al haber diferencias entre la velocidad de crecimiento de la planta y la velocidad

de absorción de nutrientes. Este comportamiento es generalizado para los demás nutrientes analizados.

Para K no hubo diferencias en concentración entre el testigo y el tratamiento fertilizado en las primeras dos fechas de muestreo; esto probablemente pudo deberse a los altos niveles de potasio que ya presentaban los suelos inicialmente, en todos los casos superiores al nivel crítico.

Al momento de la cosecha hubo una mayor concentración de K en grano que en paja en ambos tratamientos. Comparando el tratamiento fertilizado con el testigo las diferencias en concentración de K se vieron solo en la paja presentando un valor de 0,28 % para el tratamiento fertilizado y de 0,19 % para el testigo.

Si se comparan las concentraciones de nutrientes en grano y paja se puede ver que para K y Mg son mayores en grano, para Ca también aunque la diferencia es más ajustada y para Na no hay diferencias.

4.4.1.4. Absorción de nutrientes por testigo y tratamiento fertilizado con potasio

En las Figuras 15, 16, 17 y 18 se presentan los niveles de absorción de K, Ca, Mg y Na, respectivamente por el cultivo de trigo en las diferentes fechas de muestreo. Sólo se presentaron diferencias significativas entre tratamientos para Na en la fecha 23/10/2013. Tanto para los demás nutrientes (K, Ca, y Mg) como para las diferentes fechas no presentaron diferencias significativas entre el testigo y el tratamiento fertilizado; esto es esperable para Ca y Mg ya que el tratamiento fertilizado no aportaba estos nutrientes, pero no es esperable para K, y esto pudo deberse a la variabilidad de rendimiento entre parcelas (4292 a 5626 kg/ha) y a la alta disponibilidad de K en suelo que como ya se mencionó superaba los niveles críticos y por tanto no era esperable una mayor respuesta.

La absorción de K fue de 14,9 kg/ha en z22, 39,6kg/ha en z65 y 15kg/ha a cosecha para el tratamiento y de 13,72 kg/ha en z22, 35,7kg/ha en z65 y 27,5 kg/ha a cosecha para el testigo. Si bien no hubo diferencias significativas entre el testigo y el tratamiento fertilizado hubo una tendencia de mayor absorción para éste último.

La significativamente mayor absorción de Na del tratamiento testigo respecto al fertilizado pudo deberse a la competencia entre K y Na, mientras que hubo una mayor absorción de K en el tratamiento respecto al testigo y por tanto una menor absorción de Na.

Para los demás cationes tampoco hubo diferencias, pero los niveles de absorción fueron menores en el tratamiento fertilizado y esto pudo deberse a un efecto de sustitución, es decir al tener mayor cantidad de K disminuyen los demás cationes ya que comparten varias funciones (Tisdale et al., 1985)

Al observar las curvas de absorción de los nutrientes se puede ver un comportamiento muy diferente del K con respecto a los demás cationes. Los valores máximos de K se obtuvieron en la fecha 23 de octubre, con el cultivo en z65, esto coincide con Hocking (1994) donde menciona que por lo menos el 75% del K que absorbe la planta lo acumula en antesis siendo los tallos los que acumulan la mayor cantidad de este elemento. Al momento de la cosecha la cantidad de K disminuyó y esto pudo deberse a senescencia de hojas y lavado, así como también la exudación de las raíces maduras (Russell y Clarkson 1971, Kemmler 1983). Cabe destacar que el K se lava fácilmente de los tejidos muertos porque no puede unirse a moléculas orgánicas. La cantidad de K extraído por el cultivo a cosecha depende mucho de las precipitaciones durante las últimas tres semanas anteriores a la cosecha siendo mayores las pérdidas por lavado a mayores precipitaciones. Si se analiza la información pluviométrica se puede ver las precipitaciones previas a la cosecha duplicaron la media mensual y esto puede ser un motivo de un mayor lavado.

Para los demás nutrientes el comportamiento es diferente, por ejemplo para Ca sigue aumentando hasta la cosecha y no hay pérdidas debido a que se encuentra en estructuras formando partes de paredes celulares y por tanto no se lava. Magnesio y Na también tienen un comportamiento similar.

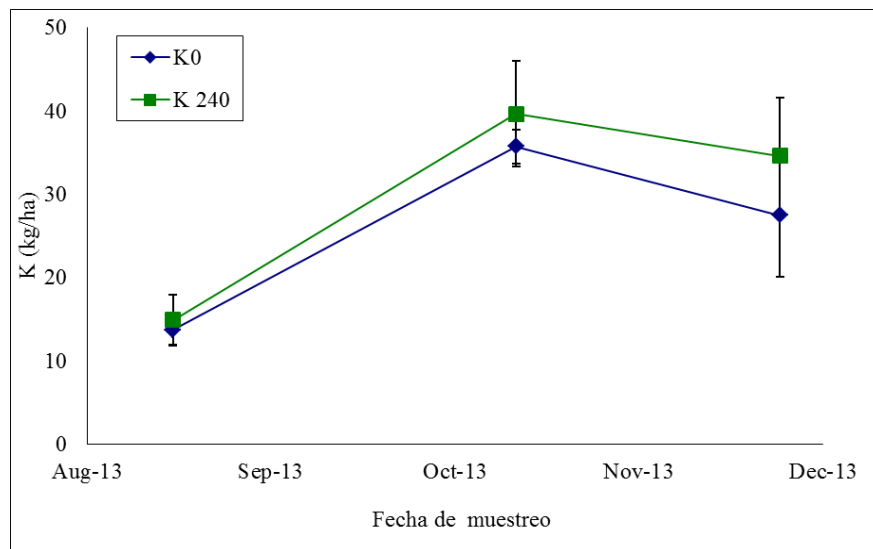


Figura 15. Absorción de K por testigo y tratamiento fertilizado con 240 kg/ha de K_2O en cultivo de trigo.

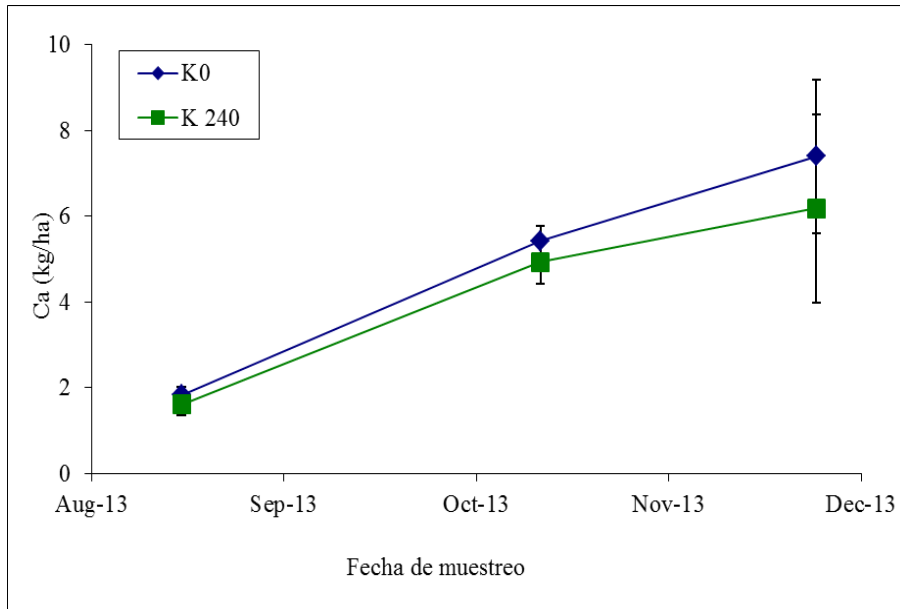


Figura 16. Absorción de Ca por testigo y tratamiento fertilizado con 240 kg/ha de K_2O en cultivo de trigo.

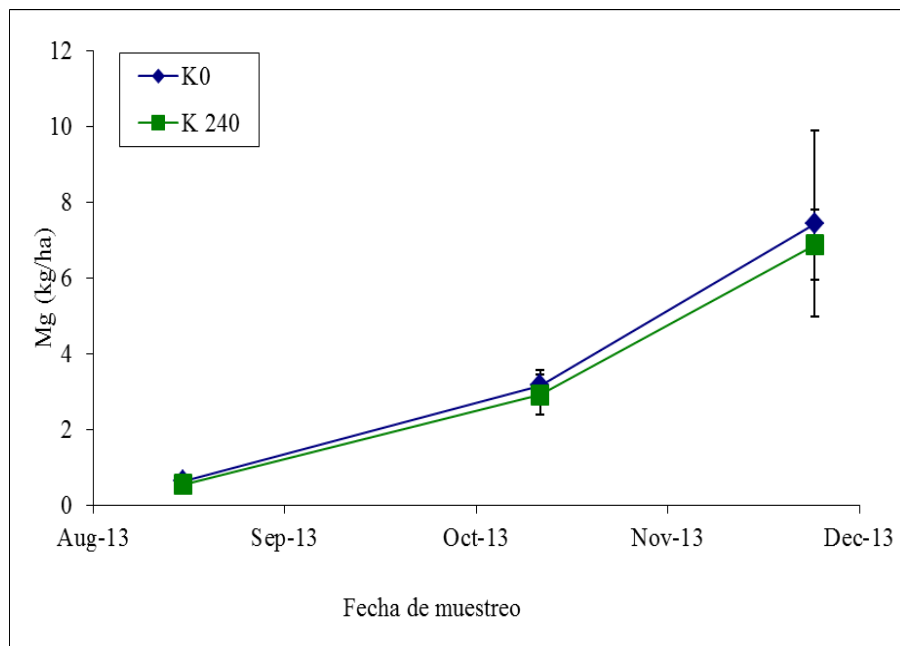


Figura 17. Absorción de Mg por testigo y tratamiento fertilizado con 240 kg/ha de K_2O en cultivo de trigo.

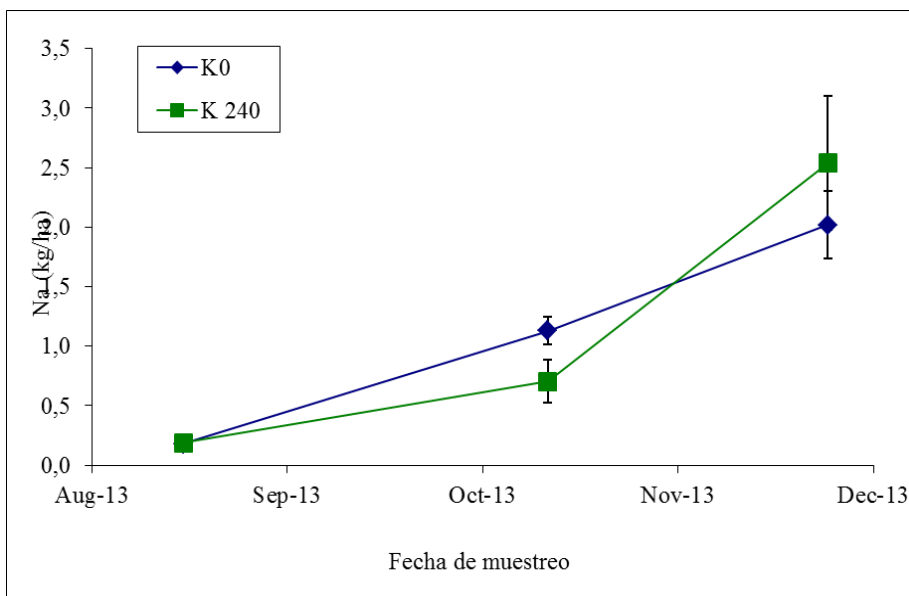


Figura 18. Absorción de Na por testigo y tratamiento fertilizado con 240 kg/ha de K₂O en cultivo de trigo

4.4.1.5. Exportación de nutrientes con el grano de trigo

El Cuadro 12 presenta el total de nutrientes absorbidos (solo parte aérea, no incluye raíces) y exportados en grano de trigo.

Cuadro 12. Total de nutrientes absorbido y exportado en grano de trigo

	Grano	Paja	Total	% exportado
	Kg/ha			
K - 0	16,7	10,8	27,5	61
K - 240	19,6	15,0	34,6	57
Ca - 0	2,9	4,5	7,4	39
Ca - 240	2,7	3,9	6,6	41
Mg - 0	6,1	1,3	7,4	82
Mg - 240	5,8	1,2	7,0	83
Na - 0	1,1	0,9	2,0	54
Na - 240	1,2	1,2	2,4	50

De los nutrientes absorbidos la proporción exportada con el grano de trigo varió según el nutriente. La mayor exportación fue para Mg en torno a un 80% y para K, Ca y Na fue de 60, 40 y 50 %, respectivamente. Estos valores de extracción son bastante superiores a los encontrados en bibliografía donde según IPNI se registran valores de

extracción para K, Ca y Mg de 20, 15 y 64%, respectivamente. Estas diferencias pueden deberse a las muy buenas condiciones de producción registradas en este cultivo, no solamente considerando los altos rendimientos sino además, considerando el índice de cosecha (48 %), el cual está muy por encima de los valores generalmente reportados.

Un alto índice de cosecha indica una producción de grano muy eficiente, con una gran translocación de productos de la fotosíntesis hacia el grano y por lo tanto es de esperar que ocurra algo similar con los nutrientes.

Hubo una mayor absorción de K en el tratamiento fertilizado con respecto al testigo.

También la cantidad de nutrientes absorbidos es notoriamente menor a lo revisado en bibliografía; según IPNI la absorción de K es de 16 kg/ton de grano mientras que en el experimento fue de 7 y 5,6 kg/ton para tratamiento y testigo, respectivamente. Esta diferencia puede estar relacionada la ya comentada pérdida por lavado que pudo haber sido más intensa de lo normal por las lluvias previas a la cosecha.

También puede suponerse que por tratarse de un cultivo muy eficiente desde el punto de vista productivo los nutrientes tuvieron una mayor dilución, en comparación con cultivos cuya producción de grano está limitada por otros factores, por ejemplo climáticos, y por lo tanto los nutrientes están más concentrados. Para Ca y Mg los valores de absorción estuvieron en torno al 50% de lo reportado por IPNI y esto puede deberse a las mismas razones mencionadas para K.

En cuanto a la cantidad de nutrientes exportados, este estudio coincide con IPNI donde se registran datos de 3 kg/ton para K, mientras que en este trabajo fueron de 4 y 3,4 kg/ton para tratamiento y testigo, respectivamente. Para Ca y Mg los valores de IPNI son de 0,4 y 2 mientras que en este trabajo los datos fueron de 0,6 y 1,2, respectivamente. La absorción de estos nutrientes depende en gran medida de la abundancia que exista en los suelos, y esta abundancia a su vez depende en gran medida del material parental de los suelos, por lo tanto se puede esperar que haya ciertas diferencias con los datos reportados para Argentina. Para Na no se encontraron datos para comparar.

4.4.2. Colza

4.4.2.1. Rendimiento

El rendimiento que se obtuvo fue de 1100 kg/ha y corresponde al promedio de la chacra donde se realizó el ensayo debido a que por error el sitio del experimento fue cosechado por el productor.

4.4.2.2 Concentración de nutrientes en planta

En el Cuadro 13 se presentan los datos de concentración de nutrientes en planta para el testigo y tratamiento en los diferentes momentos del cultivo. Solo en la fecha 28 de agosto con el cultivo de colza en estado D1 se pudieron obtener datos del tratamiento, ya que en la segunda fecha no se pudo realizar por las condiciones climáticas y luego el experimento fue cosechado por error.

Cuadro 13. Concentración de nutrientes (K, Ca, Mg y Na) en planta de canola en diferentes etapas de desarrollo (Escala Cetiom). Letras diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos para una fecha considerada

Fecha	K		Ca		Mg		Sodio	
	Testigo	Tratamiento	Testigo	Tratamiento	Testigo	Tratamiento	Testigo	Tratamiento
28 Ago (D1)*	2,14 b	2,44 a	0,85 a	0,91 a	0,26 a	0,26 a	0,31 a	0,26 a
5 Dic (cosecha)								
Grano	0,63	s/d	0,43	s/d	0,28	s/d	0,09	s/d
5 Dic Chaucha	0,64	s/d	0,95	s/d	0,23	s/d	0,1	s/d
5 Dic Paja	0,97	s/d	0,59	s/d	0,15	s/d	0,2	s/d

*Estado según escala Cetiom

En la primera fecha la concentración de K fue mayor en el primer muestreo de planta para el tratamiento respecto al testigo, debido al mayor aporte de K al suelo por el tratamiento. Para los demás nutrientes no hubo diferencias lo que es de esperar ya que no se adicionó ninguno de ellos.

Puede observarse una clara disminución de la concentración de K y Na a medida que aumenta la edad del cultivo, similar a lo que sucede en trigo. En cuanto a la concentración de Ca y Mg la disminución fue menos marcada.

4.4.2.3. Absorción de nutrientes por testigo y tratamiento fertilizado con potasio

En la Figura 19 se presentan los niveles de absorción de K, Ca, Mg y Na respectivamente por el cultivo de colza en dos fechas de muestreo: 28 de agosto con el cultivo en estado D1 (escala Cetiom) y 5 de diciembre al momento de la cosecha.

Para la fecha 28 de agosto, si bien no hubo diferencias significativas probablemente debido a la variabilidad de rendimiento en la chacra (694 a 1388,9 kg/ha) se puede ver una mayor absorción de K, con casi 8 kg/ha de diferencia a favor del tratamiento. También para el caso de Ca la absorción fue 3 kg/ha mayor y para Mg y Na tienden a ser superiores aunque la diferencia es muy ajustada.

Para el caso de K, se destaca la similar absorción en la etapa temprana del tratamiento testigo y en la cosecha. Es probable que la absorción de K de colza haya tenido un patrón de absorción similar al de trigo, con una declinación del contenido en la etapa previa a la cosecha, especialmente por lavado del nutriente desde el follaje. Pero como no se pudo realizar el muestreo intermedio no se pudo confirmar.

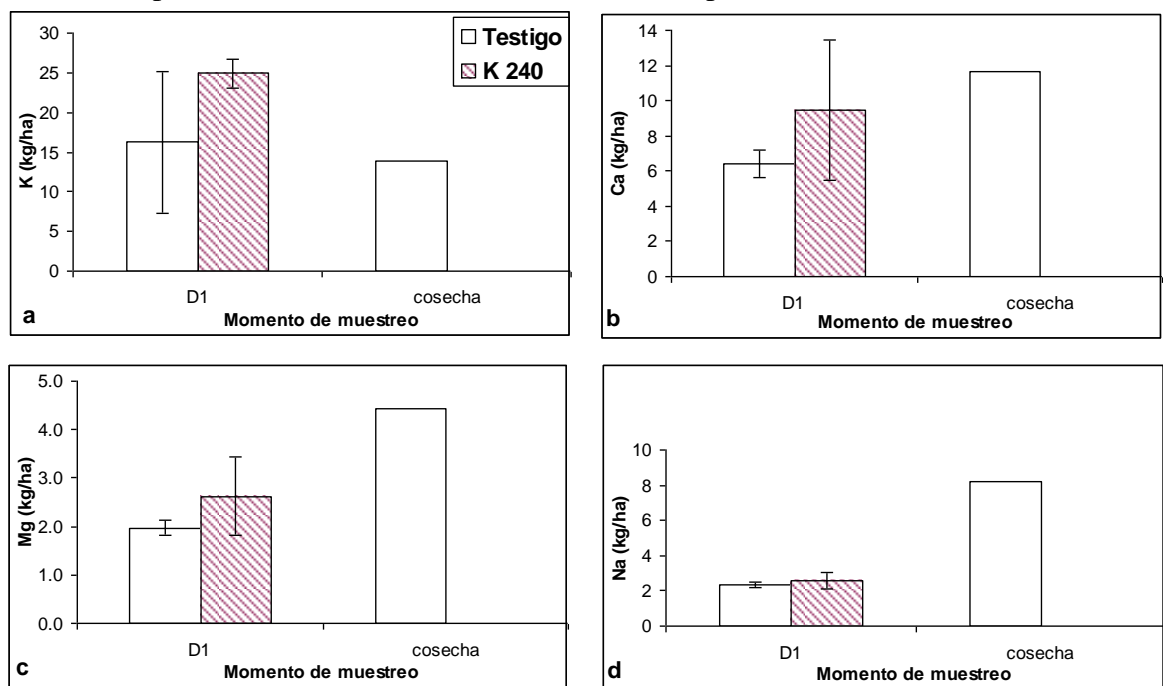


Figura 19. Absorción de nutrientes por testigo y tratamiento fertilizado con 240 kg/ha de K_2O en cultivo de colza. a) K, b) Ca, c) Mg y d) Na

4.4.2.4. Exportación de nutrientes con el grano de canola (solo testigo)

Cuadro 14. Total de nutrientes absorbido y exportado en grano de trigo

	Grano	Paja	Total	% exportado
	Kg/ha			
K - 0	6,8	7,0	13,8	49
Ca - 0	4,6	7,0	11,6	40
Mg - 0	3,0	1,4	4,4	68
Na - 0	4,6	3,6	8,2	57

Los valores de nutrientes absorbidos totales fueron bastante menores a los recomendados en bibliografía ya que según IPNI para un rendimiento de 1100 kg (similar al experimento) los valores de K absorbido son de 56kg/ha mientras que en el experimento fueron de 13,8 kg/ha, También para Ca y Mg fueron menores en el experimento (11,6 y 4,4 kg/ha) comparados con los valores reportados por de IPNI de 29 y 9 kg/ha, respectivamente. No queda claro el motivo de estas diferencias. Debe destacarse que este es un trabajo exploratorio, en un cultivo que en Uruguay no tiene prácticamente antecedentes, por lo cual no es posible saber cómo afectan variables como el tipo de suelo y el clima sobre la absorción de nutrientes por la colza.

Los valores de K exportados estuvieron en torno al 50% (Cuadro 14), los cuales están en línea con los datos del IPNI, que reporta valores de 43% Para los demás nutrientes no se encontraron datos para comparar extracción.

Según bibliografía la colza tiene mayores necesidades nutritivas que los cultivos cerealeros, en torno a un 25% más (Hocking, 1999). Sin embargo los resultados en este trabajo arrojan mayores diferencias. Al observar la cantidad total de nutrientes absorbidos para trigo y colza se puede ver hubo una gran diferencia entre ambos cultivos (Cuadro 15).

Cuadro 15. Cuadro comparativo de trigo y colza en cuanto a extracción y exportación de nutrientes en grano para el tratamiento testigo

	Trigo		Canola	
	Absorción	Extracción	Absorción	Extracción
	kg/ton			
K	5,61	3,4	12,5	6,1
Ca	1,51	0,6	10,6	4,2
Mg	1,52	1,2	4,0	2,7
Na	0,51	0,2	7,4	4,2

Los valores de exportación en grano también fueron bastante mayores en colza que en trigo. Para el caso de K la colza casi duplica los valores de trigo, en tanto que se destacan los valores de Na que fueron 21 veces mayores y los de Ca 7 veces mayores.

5. CONCLUSIONES

Cultivo de trigo

- En todos los muestreos se observó una clara estratificación de K presentando los mayores niveles en superficie. El tratamiento fertilizado permitió incrementar los niveles de K en suelo, especialmente en los primeros centímetros de suelo. Al comparar la profundidad de muestreo de 0-15 vs 0-20 cm se pudo ver una tendencia a mayores contenidos en la profundidad 0-15 debido a la estratificación de K, aunque sin diferencias significativas. Tanto para el testigo como para el tratamiento los niveles de K en suelo fueron disminuyendo a medida que creció el cultivo debido a la absorción por parte de éste.
- No hubo respuesta significativa al agregado de K para el rendimiento del cultivo de trigo, esto se debió a que el nivel de K en suelo fue mayor al nivel crítico. La concentración de K en planta disminuyó a medida que aumenta el desarrollo del cultivo. En las primeras dos fechas de muestreo (Z22 y Z65) no hubo diferencias de concentración en planta entre el testigo y el tratamiento fertilizado probablemente se debió a los altos niveles de K que presentaba el suelo. Al momento de la cosecha hubo una mayor concentración de K en grano que en paja para testigo y fertilizado sin diferencias significativas entre tratamientos. En cambio hubo diferencia en la concentración de K en la paja siendo mayor para el tratamiento fertilizado respecto al testigo.
- La absorción de K tuvo un comportamiento diferente a los demás cationes. Los mayores niveles de absorción estuvieron en torno a z65 para trigo y luego disminuyeron a la cosecha. Este comportamiento coincide con lo reportado en la bibliografía y se debe probablemente a pérdidas de hojas previo a la cosecha, así como pérdidas de K del follaje por lavado.
- Las concentraciones de nutrientes en trigo a la cosecha fueron menores a lo revisado en bibliografía probablemente por las pérdidas por lavado, por lo menos para el caso del K, y por una alta eficiencia del cultivo. Las cantidades de nutrientes exportados coinciden con la bibliografía.
- Los valores de exportación de nutrientes en grano, como porcentaje de la cantidad absorbida, fueron bastante superiores a los encontrados en bibliografía, probablemente debido a las buenas condiciones que hubo para el cultivo lo que aumentó el índice de cosecha y una mayor translocación de productos de fotosíntesis y por tanto comportamiento similar para los nutrientes.

Cultivo de colza

- Para el cultivo de colza solo se pudo obtener un rendimiento del testigo ya que por error se cosecharon las parcelas junto con el resto de la chacra. Al igual que en trigo la cantidad de nutrientes absorbidos fue menor que la bibliografía. Los valores de nutrientes exportados, como porcentaje de la cantidad absorbida, estuvieron en la línea de lo revisado en la bibliografía. Si bien la bibliografía sugiere necesidades de nutrientes para colza de un 25 % más que para trigo, los resultados de este trabajo mostraron mayores diferencias. Los valores de extracción de K en colza (en kg/ton) fueron bastante superiores que en trigo, duplicando los niveles de exportación y algo similar ocurrió con los demás nutrientes.

6. RESUMEN

En Uruguay la agricultura se ha ubicado históricamente en suelos con elevado contenido de K. Como consecuencia, los estudios sobre este nutriente han sido escasos comparado a los realizados con otros nutrientes y más aún en zonas de menor potencial agrícola como puede ser la zona este del país. Sin embargo en los últimos años la intensificación de la agricultura y cultivos cada vez más extractivos han llevado a que se reporten situaciones de déficit de K. Este trabajo tiene como objetivos estudiar el efecto de la disponibilidad de potasio (K) sobre la absorción de trigo y colza en suelos del este de Uruguay, estudiar la respuesta al agregado de K, establecer curvas de absorción y conocer la dinámica de K relacionada a la estratificación luego del aplicado de fertilizante potásico en superficie. Se establecieron dos experimentos en la zona este del país ubicados en los departamentos de Llavalleja y Rocha con cultivos de trigo y colza respectivamente. Se evaluaron dos tratamientos: una dosis alta de 240 kg/ha de K₂O y un testigo (sin agregado de K). Se realizaron muestreos de suelo a 0-3; 3-6; 6-9; 9-15 y 15-20 cm y muestreos de plantas en tres etapas de crecimiento en el cultivo de trigo y en dos etapas en el de colza. Se midió el contenido de K en suelo y planta, calculándose la cantidad de nutrientes absorbidos y exportados en el grano a la cosecha. En ambos sitios los resultados arrojaron una clara estratificación de K en suelo, tanto en el testigo como en el tratamiento fertilizado, siendo mayores las cantidades para el tratamiento de 240 kg/ha de K₂O en los primeros centímetros de suelo. No hubo respuesta a la fertilización en el rendimiento. Para trigo se observó un máximo de absorción de K en torno a la etapa Z65 y luego una disminución a la cosecha, probablemente producto de la pérdida de hojas y lavado de K del follaje senescente. Aunque la diferencia no fue significativa se observó una tendencia a presentar una mayor concentración de K en el tratamiento fertilizado, lo que reflejó la mayor disponibilidad del nutriente.

Palabras clave: Potasio; Trigo; Canola

7. SUMMARY

In Uruguay agriculture has historically been located in soils with high content of K. As a result, studies on this nutrient has been limited compared to other nutrients I made and even more in areas of lower agricultural potential such as the east side of country. However in recent years the intensification of agriculture and increasingly extractive crops have led to shortfalls of K. This work aims to study the effect of the availability of potassium (K) on the absorption of wheat are reported and rapeseed in soils of eastern Uruguay, to study the response to the addition of K, set absorption curves and understand the dynamics of K related to stratification after potassium fertilizer applied surface. Two experiments were established in the east of the country in the departments of Lavalleja and Rocha with wheat and rapeseed respectively. A high dose of 240 kg / ha of K₂O and a control (no added K): two treatments were evaluated. Soil sampling were performed at 0-3; 3-6; 6-9; 9-15 and 15-20 cm and plant samples in three growth stages in wheat cultivation in two stages in rapeseed. K content in soil and plant was measured, calculating the amount of nutrients absorbed and exported grain harvest. In both places the results showed a clear soil stratification K in both the control and treatment fertilized being greater quantities to treat 240 kg / ha K₂O in the first few inches of soil. There was no response to fertilization on yield. For wheat an absorption maximum of K around the Z65 stage and then a decline to the crop, probably due to loss of leaves and K the senescent washing foliage was observed. Although the difference was not significant a trend towards a higher concentration of K in the fertilized treatment was observed, reflecting the greater availability of the nutrient.

Keywords: Potassium; Wheat; Canola

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Aguado, G.; Etchevers, J.; Hidalgo, C.; Galvis, A.; Aguirre, A. 2002. Dinámica del potasio en suelos agrícolas. *Agrociencia*. 36. 11-21.
2. Aguirre, M.; Uriarte, I. 2010. Repuesta del cultivo de colza-canola (*Brassica napus*) a las condiciones físico-químicas del suelo a nivel de chacra. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 50 p.
3. Amado, T.; Cubilla, J.; Schleindwein, A.; Santi, A. 2006. Manejo del suelo para la obtención de altos rendimientos en soja en el sistema de siembra directa en Paraguay y en el sur de Brasil. Rosario, s.e. 5 p.
4. Barbazán, M. 1998. Análisis de plantas y síntomas visuales de deficiencias de nutrientes. Montevideo, s.e. 27 p.
5. _____; Bautes, C.; Beux, L.; Bordoli, J.; Ernst, O.; García, A.; García, F.; Quincke, A. 2011. Fertilización potásica en cultivos de secanos sin laboreo en Uruguay; rendimiento según análisis de suelo. *Agrociencia* (Montevideo). 15 (2): 93-99.
6. Beaton, J.; Sekhon, G. 1985. Potassium nutrition of wheat and other small grains. In: Monson, R. D. ed. *Potassium in agriculture*. Madison, WI, American Society of Agronomy. pp. 701-752.
7. Bell, R.; Ross, B.; Craig, S. 2011. Effects of potassium (K) supply on plant growth, potassium uptake and grain yield in wheat grown in grey sand. (en línea). Western, s.e. 6 p. Consultado 21 dic. 2013. Disponible en <http://researchrepository.murdoch.edu.au/8275/>
8. Bertsch, F. 2005. Estudios de absorción de nutrientes como apoyo a las recomendaciones de fertilización. *Informaciones Agronómicas*. no. 57: 1-10.
9. Brennan, R.; Bolland, M. 2010. Comparing the nitrogen and potassium requirements of canola and wheat for yield and grain quality. s.n.t. 20 p.

10. Canola grower's manual. s.f. (en línea). s.n.t. s.p Consultado 20 dic. 2013 Disponible en <http://www.canolacouncil.org/crop-production/canola-grower's-manual-contents/>
11. Casanova, O. 1996. Potasio; consideraciones sobre su situación en el Uruguay. In: Morón, A.; Martino, D.; Sawchik, J. eds. Manejo y fertilidad de suelos. Montevideo, Uruguay, INIA. pp. 57-61 (Serie Técnica no. 76).
12. 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.
13. De Melo, V.; Melgar, R.; Vitti, G. 2011. Soja en Latinoamérica; fertilizando para altos rendimientos. Horgen, s.e. 174 p. (Boletín no. 20).
14. Diego, R.; González, E.; Salvador, A.; Cereceres, J.; Castillos, A. 2000. Dinámica de la acumulación de potasio por trigo cultivado en diferentes ambientes. *Agrociencia*. 34: 1-11.
15. García, A.; Quincke, A.; Pereyra, S.; Díaz de Ackermann, M. 2011. Respuesta a cloruro de potasio (KCl) en trigo y cebada. Montevideo, s.e. 6 p.
16. _____.; _____. 2012. El potasio (K) en la producción de cultivos de invierno. Montevideo, s.e. 6 p.
17. Gonzales, D.; Alcalde, S.; Ortiz, J.; Castillo, A. 2000. Dinámica de la acumulación de potasio por trigo cultivado en diferentes ambientes. México, s.e. 11 p.
18. Hernán Sancho V. 2007. Curvas de absorción de nutrientes; importancia y uso en los programas de fertilización. *Informaciones Agronómicas*. no. 36: 11-13.
19. Hernández, J.; Casanova, O.; Zamalvide, J. P. 1988. Capacidad de suministro de potasio en suelos del Uruguay. Facultad de Agronomía (Montevideo). *Boletín de Investigación* no.19. 20 p.
20. Hewestone, C. 1999. Producción de materia seca y absorción de macro y micronutrientes en trigo cultivado en el sur de Chile. *Agricultura Técnica*. 59: 271-282.

21. Hocking, P.; Norton, R.; Good, A. 2013. Crop nutrition. (en línea). Canberra, s.e. s.p. Consultado 20 dic. 2013. Disponible en <http://www.regional.org.au/au/gcirc/canola/p-05.htm>
22. _____.; _____.; _____. 1999. Canola nutrition. *In*: Internacional Rapessed Congreso (10th., 1999, Canberra, AU). Proceedings. Canberra, s.e. s.p.
23. INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, UY). 2009. Programa de información climática GRAS. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 5 feb. 2014. Disponible en <http://www.inia.org.uy/online/site/951411.php>. s.p.
24. IPNI (International Plant Nutrition Institute, AR). 2009. Cálculo requerimientos nutricionales. Acassuso. 3 p.
25. _____. 2013. Cálculo de requerimientos nutricionales; planilla electrónica. (en línea). Buenos Aires. s.p. Consultado 5 feb. 2014. Disponible en <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1024>.
26. Isaac, R. A.; Kerber, J. D. 1971. Atomic absorption and flame photometry; techniques and uses in soil, plant and water analysis. *In*: Walsh, L. M. ed. Instrumental methods for analysis of soil and plant tissues. Madison, WI, SSSA pp. 17-37.
27. Jobbagy, E.; Jackson, R. 2001. The distribution of soil nutrient with depth; global patterns and the imprint of plants. (en línea). Durham, s.e. pp.51-77. Consultado 6 feb. 2014. Disponible en <http://sites.biology.duke.edu/jackson/bgc01.htm>
28. Johnston, A. E. 2007. Potassium, magnesium and soil fertility; long term experimental evidence. York, UK, IFS. 40 p.
29. Kant, S.; Kafkafi, S. s.f. Absorción de potasio por los cultivos en distintos estadios fisiológicos. Jerusalem, s.e. 38 p.
30. Karlen, D. L.; Sadler, E. J.; Camp, C. R. 1988. Dry matter, nitrogen, phosphorus, and potassium accumulation rates by corn on Norfolk Loamy Sand. *Agronomy Journal*. 79: 649 – 656.
31. Koenig, R.; Hammac, W.; Pan, W. 2011. Canola growth, development, and fertility. s.n.t. 6 p.

32. Martino, D.; Ponce de León, F. 1999. Canola; una alternativa promisorio. Montevideo, INIA. 98 p. (Serie Técnica no. 105).
33. Melgar, R. 2011. Rol del potasio en la agricultura. In: Seminario el Potasio en la Agricultura (1^o , 2011, Mendoza). Trabajos presentados. s.n.t. s.p.
34. MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2010. Anuario. Montevideo. 244 p.
35. Mullins, G. L.; Schwab, G. J.; Burmester, C. H. 1999. Cotton response to surface applications of potassium fertilizer; 10 years summary. *Journal of Production Agriculture*. 12: 434-440.
36. PDA (Potash Development Association, UK). 2011. Potassium uptake requirements of some crops. (en línea). York. 4 p. Consultado 10 dic. 2013. Disponible en <http://www.pda.org.uk/news/pdf/PDA-news2011-7.pdf>
37. Planchón Guigou, Ma. E.; Figares Espósito, H. 2004. Fertilización en colza-canola (*Brassica Napus L.*) fenología y época de siembra en cultivares de B. Napus, B. rapa y B. Juncea. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 179 p.
38. PPI (Potash and Phosphate Institute, CA). 1997. Manual internacional de fertilidad de suelos. Norcross, s.e. p.irr.
39. Sansano, A. s.f. El potasio en el suelo. s.l. 3 p.
40. Sárdi, K.; Debreczeni, K. 1992. Comparison of methods evaluating the plant available k content in soils of different types and k levels. s.n.t. 19 p.
41. Sawyer, J.; Mallarino, A.; Killorn, R.; Barnhart, S. 2008. A general guide for crop nutrient and limestone recommendations in Iowa. Ames, Iowa, Iowa State University. 19 p. (Extension Publication)

42. Simposio Potasio en Sistemas Agrícolas de Uruguay (1º., 2013, Soriano). 2013. Potasio en sistemas agrícolas del Uruguay. Soriano, El Toboso. 63 p.
43. Thompsom, L.; Troeh, F. 1988. Los suelos y su fertilidad. 4a. ed. Barcelona, Reverté. 649 p.
44. UDELAR. FA (Universidad de la República. Facultad de Agronomía, UY). 2009. Potasio. Montevideo. 36 p.
45. _____. _____. 2010. Nutrición catiónica. Montevideo. 30 p.