

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

FERTILIZACIÓN POTÁSICA EN PASTURAS SOBRE BASALTO

por

Maximiliano CATTANI REMEDI

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

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2018**

Tesis aprobada por:

Director:
Ing. Agr. PhD. Mónica Barbazán

.....
Ing. Agr. PhD. Amabelia Del Pino

.....
Ing. Agr. MSc. Marcelo Ferrando

Fecha: 1 de noviembre de 2018

Autor:
Maximiliano Cattani Remedi

AGRADECIMIENTOS

A la directora de la tesis Mónica Barbazán por la confianza y el apoyo brindado.

A Sully Toledo quien desempeña funciones en biblioteca de Facultad de Agronomía por la ayuda en correcciones de gramática y formalidades del trabajo.

A todo el equipo del Grupo Disciplinario de Fertilidad de Suelos, sobre todo a Lucía Rocha por la enseñanza y colaboración con los análisis de laboratorio.

A los funcionarios de EEFAS, en especial a Teresa Rodríguez, por la voluntad y el gran trabajo llevado a cabo, junto con Ramiro Izaguirre, piezas fundamentales en los ensayos, los cuales con su participación hicieron posible las tareas de campo, logística y procesamiento primario de muestras.

A la empresa agropecuaria “El Junco” y su encargado Bernardo Böcking por el apoyo y la disposición brindadas en la instalación y en el transcurso del ensayo.

A Oscar Bentancur por la asesoría en los análisis estadísticos.

A Celmira Saravia por la colaboración en la elaboración de datos de Agrometeorología.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
 1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	 1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	2
2.1. <u>ABSORCIÓN DE K POR LAS PLANTAS</u>	2
2.1.1. <u>Función del K en planta</u>	2
2.1.2. <u>Extracción de K</u>	2
2.2. <u>FACTORES CLIMÁTICOS QUE AFECTAN EL CRECIMIENTO DE PASTURAS</u>	3
2.2.1. <u>Radiación, temperatura y precipitación</u>	3
2.2.1.1. Efecto de la cantidad y calidad de luz.....	4
2.2.1.2. Efecto de la temperatura.....	5
2.2.1.3. Efecto de la disponibilidad hídrica.....	6
2.3. <u>DINÁMICA DEL K EN EL SUELO</u>	7
2.3.1. <u>K en los suelos del Uruguay</u>	9
2.4. <u>FERTILIZACIÓN POTÁSICA</u>	11
 3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	 15
3.1. <u>UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO</u>	15
3.1.1. <u>Localización y características de la pastura</u>	15
3.1.2. <u>Período experimental</u>	15
3.1.3. <u>Tipos de suelos</u>	15
3.1.4. <u>Descripción del experimento</u>	18
3.1.4.1. Tratamientos.....	18
3.1.4.2. Muestreo de suelos.....	18
3.1.4.3. Muestreo de plantas.....	19
3.2. <u>ANÁLISIS QUÍMICOS</u>	20
3.2.1. <u>Análisis de suelos</u>	20
3.2.2. <u>Análisis de plantas</u>	20
3.3. <u>ANÁLISIS ESTADÍSTICOS</u>	21

4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	22
4.1. <u>CONDICIONES AGROMETEOROLÓGICAS</u>	22
4.2. <u>PRODUCCIÓN DE FORRAJE</u>	25
4.2.1. <u>Rendimiento de forraje en el Sitio 1</u>	25
4.2.1.1. Distribución estacional de la producción en el Sitio 1.....	32
4.2.2. <u>Rendimiento de forraje en el Sitio 2</u>	33
4.2.2.1. Distribución estacional de la producción en el Sitio 2.....	35
4.3. <u>ABSORCIÓN DE NUTRIENTES</u>	37
4.3.1. <u>Cationes en planta</u>	37
4.3.1.1. Concentración de K en planta.....	37
4.3.1.2. Absorción de cationes (Ca, Mg, y Na) en planta.....	44
4.3.1.3. Relación de K con otros cationes en planta (Ca, Mg y Na)...	46
4.3.1.4. Requerimientos de K en el forraje.....	55
4.3.2. <u>Extracción total de K</u>	58
4.3.3. <u>Concentración de N, P y S en planta</u>	59
4.4. <u>ANÁLISIS DE NUTRIENTES EN EL SUELO</u>	65
4.4.1. <u>K en suelo</u>	65
4.4.2. <u>Ca, Mg y Na en suelo</u>	68
4.4.2.1. Relación de K con Mg del suelo.....	69
4.4.2.2. Relación K/Na.....	70
4.4.3. <u>Evolución del pH en el suelo</u>	71
4.4.4. <u>Evolución del P disponible</u>	72
5. <u>CONCLUSIONES</u>	74
6. <u>RESUMEN</u>	75
7. <u>SUMMARY</u>	76
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	77
9. <u>ANEXOS</u>	87

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Secuencia de horizontes de los diferentes perfiles de suelo.....	17
2. Fechas de muestreos de suelo en los dos sitios del estudio.	18
3. Fechas de muestreos de plantas para los dos sitios.....	19
4. Análisis iniciales de suelos.	20
5. Producción promedio de forraje (MST) por cortes en el Sitio 1 (El Junco).	26
6. Producción promedio de forraje (MST) por cortes en el Sitio 2 (EEFAS).	33
7. Concentración de K en leguminosas en el Sitio 1.....	38
8. Concentración de K en gramíneas en el Sitio 1.....	38
9. Concentración de K en planta según fechas de cortes en el Sitio 2.	42
10. Extracción total de K durante todo el experimento.....	58
11. Concentración promedio de N, P y S en planta en ambos sitios.	60
12. Evolución del K en suelos de los sitios (El Junco y EEFAS).	65
13 . Balance de K en el sistema, entradas y salidas.....	68
14. Contenido de Ca, Mg y Na en suelo en tratamientos contrastantes.	69
15. Relación Mg/K en suelo para los diferentes muestreos en ambos sitios.	70

16. Porcentaje de Na sobre las bases totales de suelo.....	70
--	----

Figura No.

1. Ciclo del K en el suelo.	9
2. Perfiles de suelo extraídos del Sitio 1 (El Junco).....	16
3. Perfiles de suelos extraídos del Sitio 2 (EEFAS).....	17
4. Precipitaciones acumuladas mensuales en el período 2016-2017.	22
5. Temperatura media en el período en estudio y promedio climático 1961-2009.	23
6. Balance hídrico climático (mm) en El Junco cada 10 días en el período de estudio.	24
7. Balance hídrico climático (mm) en EEFAS en el período de estudio.	25
8. Producción de gramíneas y leguminosas por tratamiento en el Sitio 1 (El Junco).	26
9. Producción de forraje (MST) por fecha de corte según tratamiento en el Sitio 1.	27
10. Producción promedio de leguminosas por fecha de corte según tratamiento en el El Junco.	28
11. Producción promedio de gramíneas por fecha de corte según tratamiento en el Sitio 1.	29
12. Materia seca de leguminosas y gramíneas en los cortes de El Junco.....	31
13. Producción promedio de gramíneas y leguminosas por estación en El Junco para el tratamiento 5.....	32
14. Producción acumulada de forraje en el Sitio 2 en función de dosis de fertilización con potasio.....	34

15. Producción de forraje por fecha de corte y tratamiento en EEFAS.....	35
16. Producción promedio de forraje por estación según tratamiento en el Sitio 2.....	36
17. Concentración de K en leguminosas en el Sitio 1.....	39
18. Concentración de K en gramíneas en el Sitio 1.....	40
19. Concentración de K en leguminosas y gramínea en el Sitio 1.....	42
20. Concentración de K en planta en cortes del Sitio 2.....	44
21. Concentración de Ca en planta en ambos sitios.....	45
22. Concentración de Mg en planta en ambos sitios.....	46
23. Proporción de bases (Ca, Mg, K, y Na) absorbidas en promedio (leguminosas + gramíneas) en el Sitio 1 según tratamientos.....	47
24. Proporción de absorción de bases (Mg, Ca, K, y Na) en el Sitio 2.....	47
25. Relación K/Mg en plantas de leguminosas según fecha de corte en el Sitio 1.....	48
26. Relación K/Mg en plantas de gramíneas según fecha de corte en el Sitio 1.....	49
27. Relación K/Mg en leguminosas según el K intercambiable en el Sitio 1.....	50
28. Relación K/Mg en gramíneas según el K intercambiable en el Sitio 1.....	50
29. Relación K/Mg del forraje en los diferentes cortes en el Sitio 2.....	51

30. Relación K/Mg en gramíneas según el K intercambiable en el Sitio 2.	51
31. Relación K/Ca en leguminosas según fecha de corte en el Sitio 1.....	52
32. Relación K/Ca en gramíneas según fecha de corte en el Sitio 1.....	53
33. Relación K/Ca en planta en los diferentes cortes realizados en el Sitio 2.....	53
34. Relación entre la concentración de K en plantas de leguminosas y la relación $K / (Ca + Mg)$ en el suelo.....	54
35. Relación entre la concentración de K en plantas de gramíneas y la relación $K / (Ca + Mg)$ en el suelo.....	55
36. Cantidad de K por tonelada de forraje según tratamientos en el Sitio 1 para el primer año.....	56
37. Relación entre la acumulación de K por tonelada de materia seca, según dosis de fertilización de $K_2O \text{ ha}^{-1}$ en leguminosas y gramíneas en el Sitio 1.....	56
38. Absorción de K por tonelada de materia seca en el Sitio 2.....	57
39. Regresión de absorción de K por megagramo de materia seca, según dosis de fertilización con K en gramíneas en el Sitio 2.....	58
40. Concentración de N en plantas de leguminosas en el Sitio 1.....	61
41. Concentración de N en plantas de gramíneas en el Sitio 1.....	61
42. Concentración de S en plantas de leguminosas en el Sitio 1.....	62
43. Concentración de S en plantas de gramíneas en el Sitio 1.....	62

44. Relación N/S en leguminosas según fecha de cortes realizados en el Sitio 1.....	63
45. Relación N/S en gramíneas según fecha de cortes realizados en el Sitio 1.....	64
46. Relación N/S en gramíneas según fecha de cortes realizados en el Sitio 2.....	64
47. K intercambiable en los distintos muestreos en el Sitio 1.....	66
48. K intercambiable del suelo en los distintos tratamientos en el Sitio 1.....	67
49. Evolución del pH de suelo en los diferentes muestreos en el Sitio 1.....	71
50. Evolución del pH de suelo en los diferentes muestreos en el Sitio 2.....	71
51. P disponible (Bray 1) para los diferentes muestreos de suelo en el Sitio 1.....	72
52. P disponible (Bray 1) para los diferentes muestreos de suelo en el Sitio 2.....	73

1. INTRODUCCIÓN

En Uruguay el principal rubro productivo es la actividad agropecuaria, donde representa el 78% de las exportaciones, constituyendo el 6% del producto bruto interno (PBI). Esta producción se realiza en el 82% del área de uso agropecuario, donde el campo natural ocupa el 78% del área ganadera, y 16,4% es destinado a campo mejorado, praderas plurianuales, cultivos anuales y cultivos de cobertura (MGAP. DIEA, 2017).

La participación de las pasturas naturales como el principal recurso forrajero les otorga al producto una característica competitiva frente a los mercados externos, ya que en general el animal realiza pastoreo directo sobre la pastura durante toda su vida.

En Uruguay, una de las limitantes de la producción animal es el rendimiento del forraje. Para aumentar el rendimiento, el manejo tradicional de la nutrición de pasturas, se ha basado en la aplicación de nitrógeno (N), principalmente en gramíneas y fósforo (P) en leguminosas, siendo escasa o nula la fertilización con otros elementos minerales.

Recientemente se ha encontrado que el potasio (K) es una de las limitantes de la producción de cultivos anuales en algunas zonas del país. En pasturas también se encontró que las concentraciones de K plantas de *Lotus corniculatus sp.* estaban por debajo de los valores de referencia en suelos desarrollados sobre Basalto (Barbazán et al., 2007). Sin embargo, la información de respuesta al agregado de K en pasturas es muy escasa.

En este trabajo el objetivo fue estudiar la respuesta al agregado de K en pasturas en suelos desarrollados sobre la región basáltica del país, a través de mediciones de rendimiento de materia seca (MS), y concentración de nutriente absorbido en planta y evaluar el comportamiento del K en el suelo.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. ABSORCIÓN DE K POR LAS PLANTAS

2.1.1. Función del K en planta

El K es un macronutriente primario esencial para las plantas (Marschner, 1995). Se absorbe en mayor cantidad luego del N (Mengel y Kirkby 1987, Tisdale et al. 1993), debiendo ser absorbido en abundancia para el normal crecimiento y desarrollo (Kant y Kafkafi, 2000).

Actúa en procesos de fotosíntesis en la fijación de CO₂, como activador enzimático y regulador del pH, síntesis de proteínas y carbohidratos (Marschner, 1995). Además, el K está fuertemente relacionado con el mantenimiento de la regulación hídrica por medio de ajuste osmótico en el tejido vegetal (Mengel y Kirkby 1987, Hirzel 2004). Incide en el balance de agua y crecimiento meristemático, interviene en el crecimiento celular, control de la apertura estomática, transporte floemático y movimientos de las plantas al controlar la turgencia de los tejidos ya que es el catión principal en la vacuola (Hafsi et al., 2014). El K no fue encontrado en compuestos estructurales (Navarro y Navarro 2003, Roldán et al. 2004).

Se ha visto que la deficiencia de este nutriente genera reducción de resistencia a algunas enfermedades causadas por hongos, alarga el período vegetativo, retrasa la maduración de semillas, retarda el crecimiento radicular y tiende a reducir los rendimientos (Marschner 1995, Oosterhuis et al. 2014).

2.1.2. Extracción de K

Los requerimientos de K son fluctuantes en las diferentes etapas de los cultivos, pero es absorbido a altas tasas en las etapas tempranas del crecimiento (Kant y Kafkafi, 2000).

Los cultivos tienen distinto grado de exigencias de K, según las características de la especie, como su naturaleza de producción, rendimientos obtenidos e índices de cosecha alcanzables. Los cultivos de cereales y oleaginosos tienen altas extracciones de K, sobre todo los cultivos de soja, colza (canola) y maíz (Ciampitti y García, 2009).

Dependiendo de la velocidad de crecimiento de la planta y de la absorción del nutriente, se producen acumulaciones o diluciones dentro del vegetal (Bates, 1971). En especies perennes también varía las concentraciones de nutrientes con los rebrotes

estacionales (Barbazán, 1998). La concentración de nutrientes también es diferente según la posición en las que se encuentren las hojas en la estructura de la planta (Bates, 1971).

Dentro de las leguminosas, la alfalfa (*Medicago sativa*) realiza una extracción elevada de K en comparación al resto de las especies forrajeras. Ciampitti y García (2009) hallaron para un rendimiento de 15 Mg ha⁻¹ de una pastura de alfalfa de tercer año que se necesitaba aproximadamente 21 kg de K por Mg de MS producida de alfalfa.

Welch y Flannery, citados por Kant y Kafafi (2000), encontraron que la concentración de K en plantas enteras de maíz fue de aproximadamente 50 g de K kg⁻¹ de MS durante etapas tempranas del desarrollo, y de 8,6 g de K kg⁻¹ de MS llegando a etapas reproductivas de madurez. Según Marschner (1995), para un óptimo desarrollo, los vegetales requieren K en un rango de 20 a 50 g kg⁻¹ de MS de la planta, teniendo en cuenta partes vegetativas.

En Uruguay, Morón (2008) analizó una pastura implantada de trébol blanco (*Trifolium repens*) y constató que las concentraciones de K en planta fueron del 2%. Berretta (1998) en campo natural sobre suelos de Basalto, señala que la concentración de K en varias especies fue menor a 1% (referencia a producciones de primavera).

La extracción de K en grano por parte de los cultivos ronda los 75 y 110 kg de K ha⁻¹. En algunos casos este nutriente se presenta en exceso, sin ocasionar aumentos de rendimiento, lo que se asume como consumo de lujo (Navarro y Navarro, 2003).

En cultivos para grano, el remanente de cosecha permanece como rastrojo, donde parte del K absorbido es devuelto al suelo. En caso de que los cultivos o forrajes sean ensilados o enfardados, se genera en el sistema mayor extracción potásica, ya que se retira la planta entera, y en estos casos no se genera reciclaje del mismo.

2.2. FACTORES CLIMÁTICOS QUE AFECTAN EL CRECIMIENTO DE PASTURAS

2.2.1. Radiación, temperatura y precipitación

Los factores principales que influyen en el crecimiento y desarrollo de las pasturas son la radiación, temperatura y régimen hídrico. La radiación y temperatura son variables no controlables por el hombre, mientras que el régimen hídrico puede manejarse mediante riego. En los vegetales, existen ciertas características intrínsecas asignadas a las especies que componen la pastura, cuyo comportamiento morfológico y fenológico varían en la respuesta a la captación de radiación y temperatura, dependiendo de características como ciclo de vida y hábito de crecimiento de las especies, entre otras.

La composición de pasturas puede ser modificada morfo-genéticamente mediante manejos de integración de especies incorporadas en la mezcla; dicho manejo tiene el fin de lograr complementar positivamente distintas especies, mejorando la performance productiva del tapiz.

Existen características morfológicas que se pueden medir cualitativa y cuantitativamente en las pasturas, las mismas indican los procesos de crecimiento y desarrollo en el ciclo de vida de los vegetales. La tasa de elongación foliar, tasa de aparición de hojas y vida media foliar, son algunos de los indicadores de crecimiento en pasturas. Estas características originan diferencias estructurales de la canopia tanto en gramíneas como en leguminosas, y otras familias distintamente. Dichas características asignan capacidades diferenciales para capturar energía, absorción de agua y minerales, resultando en un crecimiento heterogéneo en producción (Lemaire, 1985). Estas variables en su conjunto, ocasionan un equilibrio dinámico con el pastoreo por parte de los animales, donde la defoliación ocasionada por los mismos genera distintas respuestas en crecimiento dependiendo del manejo de la intensidad y frecuencia de corte (Carámbula, 2004).

Uruguay se ubica sobre una región de clima relativamente uniforme en toda su superficie. Las diferencias encontradas en la composición floral de la vegetación se deben al ciclo de crecimiento de las especies en las diferentes estaciones del año, y a la variabilidad existente de los suelos. Desde el punto de vista físico, químico y biológico, las divergencias están en las características asociadas, como son la topografía del paisaje y el drenaje. Estas características determinan diferencias en aptitud de uso agropecuario y manejos a realizar de la pastura.

2.2.1.1. Efecto de la cantidad y calidad de luz

La luz es un factor que participa sobre la tasa de aparición foliar, elongación foliar, senescencia de tejidos, macollaje, caracterizando la arquitectura de las plantas y de la pastura en general. Los vegetales captan la radiación por medio de las hojas, por ello la arquitectura de distribución del conopeo (disposición de hojas) es importante para conocer la intercepción de la radiación, cada especie tiene un índice de área foliar (IAF) específico que es variable según producción y estación del año.

El IAF, es la relación existente entre el área de las hojas y el área de suelo cubierto por las mismas (Watson, 1947), a mayor IAF, mayor intercepción de luz por parte de las hojas, hasta un valor crítico llamado IAF óptimo, donde el proceso de fotosíntesis y producción de forraje verde son máxima; este valor crítico es mayor en gramíneas que en leguminosas (Carámbula, 2004). El valor de IAF en pasturas compuestas por varias especies, dependerá del número y proporción de especies que la componen (Brougham, 1959).

La distribución de la radiación en el tapiz es una variable de carácter heterogéneo, debido a que la parte superior del mismo recibe casi la totalidad de la luz incidente (Debellis et al., 1995).

Según Carámbula (2002b), el factor que más influye en la captación lumínica, es la forma de intercepción de luz, y en menor medida el IAF. La capacidad de intercepción de luz por parte de la pastura, es dependiente del hábito de crecimiento de la especie, además de la forma y orientación de las hojas. En gramíneas erectas, la transmisión de luz es mayor en los estratos inferiores, en comparación a la distribución a nivel inferior cercano al suelo que tienen los tréboles y especies del género *Lotus*.

En estado vegetativo, la eficiencia de captura de luz es mayor, también en la relación de hojas jóvenes frente a hojas viejas, del mismo modo hojas que nacen y se forman en presencia de luz son más eficaces en la captura frente a aquellas que nacen y crecen a la sombra de otras hojas (Carámbula, 2002b).

El estímulo lumínico es captado por el fotocromo, donde la planta percibe la calidad de luz y la presencia de plantas vecinas con la relación rojo/rojo lejano (R/RL), donde la planta responde de forma diferente en gramíneas, macollando, o alargando sus nudos y/o ramificaciones en leguminosas. El efecto del corte de la pastura, permite aumentar la relación R/RL, lo que es captado por los vegetales en la base de la misma, siendo favorable para la aparición de macollos (Voisin, 1959).

2.2.1.2. Efecto de la temperatura

La temperatura es la principal señal captada del ambiente, interfiere y regula, el comportamiento morfológico de las plantas (Gillet, citado por Morales, 1998). La temperatura es el factor que regula los procesos de crecimiento y desarrollo de los órganos, característica que es otorgada a la performance productiva de la pastura, regulando su capacidad de recuperación frente a defoliaciones, diversificando el grado de adaptación de las mismas.

La temperatura incide en el comportamiento de la evapotranspiración de las plantas, en el cual la relación de agua (suelo)-planta-atmosfera originan un sistema abierto, dependiente del ambiente y del factor temperatura, regulando la absorción y demanda atmosférica (evapotranspiración), lo que hace que sus órganos aumenten de tamaño y desarrollen distintas estructuras en el ciclo de las pasturas.

La temperatura define la tasa de crecimiento de la pastura, variable que afecta el rendimiento estacional de la misma; teniendo efecto directo en la tasa de aparición foliar (Thomas y Norris, 1981), la tasa de elongación foliar (Gastal et al., 1992) y la senescencia

foliar (Lemaire y Agnusdei, 2000), siendo el regulador entonces de la vida media de las pasturas.

Lemaire y Agnusdei (2000) encontraron en su modelo de predicción, la incidencia de la temperatura en el período otoño-invierno en la disminución en la longitud de hoja, y cómo esta variable aumenta cuando la temperatura es mayor en el período primaveral, encontrándose por ello diferencias en potenciales de producción en las distintas estaciones del año.

Algunos trabajos, encontraron que la sensibilidad frente a los cambios de temperatura producen diferencias en la tasa de elongación foliar dentro de ciertos rangos térmicos, con comportamientos disímiles entre especies C3 y C4. Se obtienen respuestas exponenciales en la tasa de elongación, con temperaturas en rangos de 5 a 17 °C en especies C3, y de 12 a 20 °C en especies C4 (Lemaire y Agnusdei, 2000).

2.2.1.3. Efecto de la disponibilidad hídrica

La producción de forraje de una pastura depende de la disponibilidad de volúmenes de agua adecuados para su crecimiento (Carámbula, 2002a). Los requerimientos de agua, también serán afectados por la ubicación geográfica, condiciones edáficas y el resto de los factores climáticos. En general la mayoría de los procesos biológicos celulares en los vegetales se llevan a cabo en un medio acuoso, por lo tanto el agua es fundamental para el funcionamiento metabólico. Una adecuada disponibilidad de agua es esencial para que las plantas obtengan los nutrientes del suelo de la forma más eficiente (Carámbula, 2002a).

La humedad disponible en un microambiente en el momento de desarrollo de los vegetales, específicamente en los procesos de germinación y emergencia, es el factor dominante, ya que la semilla debe embeberse, germinar, y desarrollar la radícula para poder crecer y desarrollarse (Risso, 1997).

Sumado a la oferta de precipitaciones, el suelo y sus características asociadas a la disponibilidad hídrica, son el principal factor en la oferta de agua para las semillas y plantas desarrolladas. Este factor puede ser dependiente, en el caso del que solo se reciba agua por precipitaciones de lluvia, o manejable por el hombre en situaciones donde se cuenta con los equipos y recursos para realizar riego artificial, brindando disponibilidad de este recurso cuando sea necesario y en las cantidades requeridas.

La disponibilidad hídrica, es un factor limitante de la producción de materia seca de los vegetales, ya que sin agua, los factores de temperatura y radiación no logran ser aprovechados en la fisiología del vegetal, debido a que el agua es la solución que permite que el vegetal se relacione tanto con el suelo (nutrientes que son absorbidos por flujo de

masas), como con la atmosfera, por el efecto de evapotranspiración real por parte de la demanda atmosférica que sufre el vegetal.

2.3. DINÁMICA DEL K EN EL SUELO

La meteorización o liberación de K proveniente de los minerales arcillosos del suelo es el proceso primordial para que el K cambie de formas no asimilables a formas disponibles y pueda ser utilizado por las plantas (Rabufetti et al., 2017). La dinámica del K fluctúa con el agregado de fertilizantes, en suelos con predominio de arcillas (illitas y esmectitas principalmente) el proceso de fijación potásica es mayor en comparación a suelos pobres de composición mineralógica con baja CIC y poco predominio de silicatos arcillosos. El K aplicado exógenamente, en el corto plazo, pasa a ocupar posición en sitios interlaminares de las arcillas. Si la saturación de bases es baja, el K es retenido por las arcillas (Tisdale et al., 1993), fijado fuertemente en sus estructuras laminares e interlaminares, lo que lo hace disponible solamente al mediano-largo plazo, en estos casos, el suelo genera cierto grado de poder residual de K.

Los factores como temperatura y humedad, intervienen en el proceso de fijación de K; si las condiciones son favorables (alta temperatura y buena disponibilidad hídrica), provocan apertura de la estructura de los minerales micáceos al hidratarse, liberando K, pasando éste a tornarse disponible y poder ser absorbido por las plantas (Conti, 2000a).

El K es absorbido por las plantas como ion K de la solución del suelo, y su disponibilidad es medida como K intercambiable, dada la facilidad de absorción, o menor retención del suelo hacia las plantas (Hernández 1996, Conti 2000a).

El contenido de K que presenta el suelo depende del material madre, y de los procesos de meteorización que dieron origen a ese suelo (Conti, 2000a). El K en el suelo se encuentra en cantidades muy abundantes, pero poca proporción de ese K puede ser asimilado por las plantas (Casanova, 1996), solamente un pequeño porcentaje del mismo (1 a 2%) está disponible para las plantas (Rabufetti et al., 2017). Según Bossi y Navarro (1988), la cantidad de cationes disponibles en el suelo se relaciona al material madre, donde mediante los procesos de meteorización, se manifiestan los contenidos respectivos de cationes que se encuentran en el suelo dependiendo de los tipos de formaciones geológicas que le dan origen (Durán, citado por Casanova y Ferrando, 2003).

Según Kirkman et al. (1994), el contenido de K intercambiable se relaciona principalmente con el tipo de arcilla y su carga negativa neta. Se ha comprobado que los feldspatos potásicos son los minerales con mayor contenido de K, pero de poca liberación, aunque son muy abundantes en la corteza terrestre. Por ello, se le otorga a las micas el puesto de mineral primario en ser portador de K en el solum, lo que puede deberse

directamente a que es el mineral con mayor facilidad de meteorización; pero cabe destacar que a igualdad de condiciones de tamaño de partículas en laboratorio, la concentración de este nutriente es relativamente mayor en feldespatos potásicos (Mejía, 1978).

En suelos arcillosos, los minerales secundarios contienen la mayor disponibilidad de K. Entre estos el mineral secundario illita, de tipo 2:1, es el que presenta K en más altas concentraciones (Durán 2004, Durán y Préchac 2007). Por lo tanto la capacidad de aporte de K en el suelo difiere según el contenido de arcillas del mismo, teniendo entonces una mayor oferta de K, cuando dominan arcillas del tipo 2:1. La dinámica del K en los minerales secundarios es muy particular, ya que si en el suelo dominan las arcillas de tipo 2:1, las mismas tienen la capacidad de liberar este nutriente de manera paulatina, donde el K liberado pasa a ser disponible para los vegetales muy lentamente; en cambio si dominan las arcillas 1:1 su mayor disponibilidad es a corto plazo (Sharpley, 1989).

En relación a su disponibilidad, el K se divide en cuatro categorías: K estructural, K intercambiable, K no intercambiable y K soluble. Para distintos suelos internacionales, Tisdale et al. (1993), citan diferentes categorías, asimilabilidad, y cantidades promedio de formas químicas de potasio. Cita valores de 90-98% del total de K, perteneciente al K estructural de los minerales primarios (no asimilables), 1-10% de K no intercambiable (lentamente asimilable), y 1-2% de K intercambiable y en solución (rápidamente asimilables).

El K de la solución está disponible y puede ser absorbido por parte de los vegetales (Conti, 2000a). Este nutriente es principalmente absorbido por difusión por parte de las raíces (Hernández, 1996), también puede absorberse por flujo de masas, mediante la absorción de agua de las raíces (del Pino, 1997). Según cita Hobt (1978), solamente una ínfima fracción del K absorbido por las plantas es alcanzado por contacto directo por medio de las raíces y las partículas del suelo.

Las pérdidas de K pueden darse por erosión, lixiviación y como un costo oculto del sistema cuando se cosecha el cultivo. Las ganancias pueden ser por fertilización y cuando se agrega rastrojo (Figura 1).

El K intercambiable es la fracción de K que se une con un enlace iónico electrostático a los materiales que componen la fase sólida mineral y la orgánica (Hernández 1983, Conti 2000a). El K en el suelo tiende a cierto equilibrio: a medida que disminuye el K de la solución (por ejemplo por absorción por parte de los cultivos), se libera K intercambiable hacia la misma (Conti, 2000a). Lo recíproco sucede cuando se agrega K en forma de fertilizante: al aumentar el K en la solución, el excedente se une a las fracciones de arcilla como K intercambiable. El K disponible para las plantas entonces, es la sumatoria de iones potásicos, tanto de K de la solución como del K intercambiable de ambas fracciones. Estos se extraen con una sal de amonio neutra, como acetato de amonio (Black 1975, Conti 2000a).

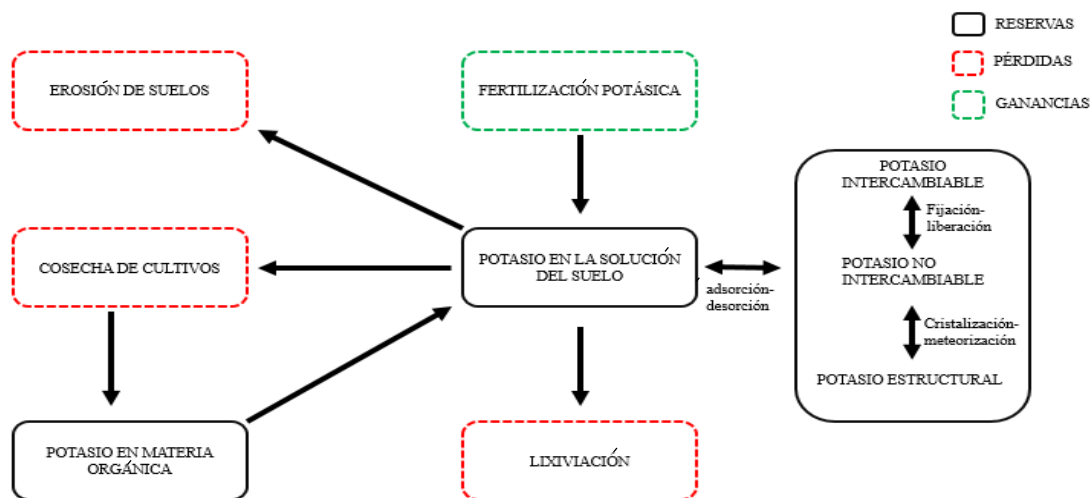


Figura 1. Ciclo del K en el suelo.

Fuente: adaptado de Conti (2000).

El K no intercambiable es aquel retenido en la estructura de las arcillas, ocupando sitios interlaminares de los silicatos, y por lo tanto, no está disponible en el corto plazo para las plantas. El mismo forma parte del reservorio de K, participando en un equilibrio muy lento con la solución del suelo (Conti, 2000b). La liberación del K ocurre cuando pasa de una forma no intercambiable a uniones electroestáticas o a la solución del suelo (Tisdale et al., 1993). Estos procesos se logran por meteorización del suelo, donde se destruye la estructura de los minerales que contienen K en la intercapa (Vidal, 2003).

2.3.1. K en los suelos del Uruguay

Los suelos del país se caracterizan por presentar una alta variabilidad de K intercambiable, debido a los diferentes materiales parentales que dieron origen al suelo, tal como lo evidencian distintos relevamientos (Rabuffetti, 2017).

Hernández et al. (1988) investigaron el contenido de K en sus diferentes formas en un estudio de caracterización de 13 suelos de Uruguay, donde encontraron valores en Vertisoles de la Unidad de suelos Itapebí-Tres Arboles de $0,36 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de suelo de K intercambiable en promedio, presentando montmorillonita como mineralogía de arcilla dominante; y valores de entre $0,57$ y $1,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ en el litoral agrícola, con illita y montmorillonita como fracción arcilla dominante (Unidad Bequeló y Young).

Según Casanova (1996), para suelos de Uruguay, las concentraciones de las mismas son las siguientes: K estructural, de 5000 a 25000 mg kg^{-1} ($12,8$ a $64 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$).

¹); K no intercambiable, de 50 a 750 mg kg⁻¹ (0,13 a 1,92 cmol_c kg⁻¹); K intercambiable, de 40 a 60 mg kg⁻¹ (0,10 a 1,54 cmol_c kg⁻¹); y K en solución, de 1 a 10 mg kg⁻¹ (0,00256 a 0,0256 cmol_c kg⁻¹).

La fertilización con este nutriente en el país ha sido muy escasa o nula, ya que los suelos dedicados a la agricultura, en general, presentaban originalmente niveles de K intercambiable por encima de los niveles de suficiencia para la mayoría de los cultivos sembrados (Hernández et al., 1988). Por otro lado la agricultura se realizaba bajo laboreo de suelos, lo cual generaba que las raíces realizaran una mayor exploración del K que se encontraba en profundidad.

En los últimos años, la agricultura aumentó en superficie y se expandió hacia zonas de suelos marginales, con menor aptitud agrícola. Además la agricultura sufrió en las últimas décadas varios cambios tecnológicos: se generalizó la adopción de sistemas con cero laboreo de suelos (siembra directa), aumentó en área estival, debido principalmente a la expansión del cultivo de soja y se eliminaron las rotaciones con pasturas. Debido a estos manejos y a la elevada extracción que realizan ciertos cultivos, en algunas zonas agrícolas se han evidenciado deficiencias de K intercambiable en el suelo (Morón y Baethgen 1996, Barbazán et al. 2007, Cano et al. 2007, Bautes et al. 2009).

En trabajos realizados en el litoral agrícola (Soriano), Morón y Quincke (2010), tomaron muestras de suelos en zonas imperturbadas (bajo un alambrado), las cuales sirven como referencia para la comparación con muestras de chacra que vienen con historias de cultivos; las muestras sin antecedentes de cultivos, resultaron presentar un 40% por encima de K intercambiable, lo que demuestra la gran extracción realizada por parte de los cultivos agrícolas.

Bautes et al. (2009), realizaron experimentos en cultivos de invierno y verano, donde midieron la concentración de K en rendimiento en grano y calidad de grano, los autores observaron respuesta en concentración de grano con valores entre 0,18 a 0,37 cmol_c kg⁻¹ de K intercambiable en suelo. Dichos valores se encuentran en torno a 0,34 cmol_c kg⁻¹ de K intercambiable, el cual es el nivel crítico teórico para K determinado por Barbazán et al. (2011) en base al método de Cate y Nelson (1971), concordando con lo analizado por Faggionato (2011) para diferentes zonas del Uruguay. Por ello debajo de 0,34 cmol_c kg⁻¹ promedialmente existe probabilidad de alta respuesta a la fertilización potásica.

Los balances de K en Uruguay, teniendo en cuenta la aplicación del mismo menos su remoción, han resultado ser históricamente negativos debido a la ausencia de fertilización con K (Mancassola y Casanova, 2015).

En el norte del país, sobre la región Basáltica, se desarrollaron suelos formados de rocas efusivas. Estos suelos se asocian en diferentes proporciones, dando lugar a cambios

de características asociadas de suelos en cortas distancias. Es una zona que se caracteriza por ser muy heterogénea en profundidad, textura y niveles de fertilidad. En esta región, en el departamento de Salto, Cano et al. (2007) hallaron deficiencias de K en cultivos de verano en un predio dedicado a la agricultura en rotación con verdes y praderas. Además otros autores en un relevamiento nutricional de *Lotus corniculatus*, encontraron que en suelos sobre cuaternario asociado a Basalto se registraron deficiencias de K (Barbazán et al., 2007). Dichas deficiencias en el contenido de K de estos suelos, según Hernández et al. (1988), Hernández (1996), pueden ser asignadas a la elevada predominancia de arcilla esmectita en el perfil. Dicha fracción de arcilla contiene en su estructura una baja proporción interlaminar de K.

2.4. FERTILIZACIÓN POTÁSICA

Los cultivos anuales y las pasturas son dependientes de la oferta de nutrientes y de su comportamiento en suelo para su absorción. La disponibilidad de K y la respuesta a la fertilización para este nutriente, son variables que dependen de ciertas características, tales como: el grado de saturación del suelo, el contenido de minerales arcillosos, y de factores ambientales. Dichos factores generan variabilidad en el comportamiento del K en suelo, provocando redistribución y liberación del K intercambiable y estructural si se logran ciertas condiciones favorables al suelo para su posible absorción (Bertsch 1985, Conti 2000a).

Los aportes de K exógeno, por medio de fertilizaciones son necesarios, sobre todo en aquellos suelos de baja saturación en bases, con poco contenido de arcillas y regulación potásica insuficiente, sometidos a años de uso intensivo de agricultura continua (González 1999, Conti 2000b).

A diferencia de lo sucedido con el exceso de fertilización con N y P, los cuales si son aplicados en exceso provocaran dificultades inexorables, el K no genera problemas de contaminación ambiental, sino que el mismo permanece retenido en el suelo; además no es tóxico y no genera problemas de eutrofización en arroyos o aguadas (Rabuffetti, 2017).

Zamalvide (1998) en un estudio realizado en campo natural, teniendo en cuenta varios tipos de suelos, cita que para este tipo de vegetación, la disponibilidad de nutrientes, como N, P y S principalmente, es uno de los factores limitantes existentes en el país, y pueden esperarse incrementos significativos en rendimiento por aplicación de fertilizantes exógenos en la pastura.

En el país la bibliografía de recomendación de fertilización de cultivos años atrás (Oudri et al., 1976) menciona tres niveles de potasio, denominándolos como de

“referencia”; bajo ($<0,15 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), medio (entre 0,15 y 0,30 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) y alto ($>0,30 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$).

Morón (2008) en un estudio realizado sobre pasturas sembradas en el país, encontró que los niveles de K en planta fueron muy bajos en un número importantes de chacras analizadas y concluyó que el de K podría ser una de las limitantes del rendimiento logrado en pasturas. También sugirió que podría utilizarse como estimador el nivel de K intercambiable en el suelo (o la relación de este catión en el complejo de intercambio catiónico, CIC), y que sería recomendable la fertilización potásica en situaciones con niveles bajos de K intercambiable. Sin embargo en suelos con valores iguales y/o superiores a $0,35 \text{ cmol}_c \text{ K kg}^{-1}$, no encontró valores inferiores a 2% de contenido de K en planta, pero tampoco observó una respuesta lineal del contenido en planta en relación al K del suelo.

Mediante diferentes estudios de investigación, varios autores confirman la importancia de agregar exógenamente nutrientes en sitios de baja producción y suelos pobres (sobre todo con bajo contenido de P), logrando aumentar el rendimiento de la pastura (Carámbula, 2002b). Para algunas especies, como *Lolium perenne* y *Trifolium repens*, el principal factor que afecta el establecimiento y la sobrevivencia de estas especies es entre otros, la disponibilidad de P en suelo (Wedderburn et al., 1996).

Bottaro y Zabala (1973) citan trabajos donde el agregado de fertilizantes con N, P y K logra aumentos en la performance productiva de la pastura, diferenciaciones en la distribución de forraje estacional, mejoras en la calidad y mejoras en la producción animal.

Según García y Barbazán (2016) en los últimos años ha aumentado la importación de K en Uruguay; mientras en 2003 las mismas eran de 9.000 Mg, en 2013 pasaron a ser 146.000 Mg. Una de las causas es que el cultivo de soja aumentó su área hacia suelos marginales, con bajos niveles de K.

Barbazán et al. (2007) observaron la concentración de K en planta frente al contenido de K intercambiable de diferentes suelos en el país. Dicho estudio analizó praderas de *Lotus corniculatus*, donde como resultado, obtuvieron que los distintos suelos mostraron diferencias en comportamiento de concentración de K en planta frente a lo ofrecido por el suelo. Los autores observaron que en suelos sobre Basalto existe una amplia variabilidad de respuesta; con concentraciones de potasio en planta que fluctúan entre 0,9 y 3%, y valores de K intercambiable entre 0,2 y 1,2 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de suelo, indicando heterogeneidad en la oferta nutricional de esta región.

En un estudio sobre raigrás anual, Hernández et al. (1988), obtuvieron diferentes extracciones de K en distintos suelos con historia agrícolas. Para éste estudio realizaron muestreos de planta en distintas unidades de suelo y tipos de suelos, observando que el comportamiento de la extracción de K es variable con el crecimiento de la pastura desde

que se siembra, además que cada suelo tiene distinto poder buffer, característica que hace cambiar la oferta del pool de nutrientes. En éste trabajo, sobre suelos de Vertisoles en la unidad Itapebí-Tres Arboles, observaron que a medida que el raigrás se desarrolló, se generó tendencia a disminuir la extracción de K.

Ayala y Carámbula (1994) en experimentos de fertilización sobre campo natural, realizaron diferentes aportes de nutrientes en base a fertilizaciones con N, P y K, en conjunto y de forma separada cada uno de ellos. En dicho estudio, se concluye que agregados los 3 elementos en conjunto (N, P y K), el incremento en rendimiento en kg de materia seca fue muy superior al resto. La adición de la producción, además del agregado de N en el paquete tecnológico, es aún mayor cuando se le permite crecer durante más tiempo a la pastura, permitiendo acumular más MS, al realizar los cortes con menor frecuencia (Morón y Risso 1994, Rebuffo 1994).

Para hacer recomendaciones de fertilización potásica, se requiere conocer el equivalente fertilizante teórico, definido como la cantidad de K_2O necesaria para aumentar la disponibilidad de K en $0,1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de suelo, cuyo valor teórico es $117 \text{ kg } K_2O \text{ ha}^{-1}$, considerando una profundidad de suelo de 20 cm y asumiendo una densidad aparente de $1,25 \text{ g cc}^{-1}$ (Hernández, 1992). El inconveniente de este cálculo teórico es que no considera las pérdidas de K por fijación o lavado (Rabuffetti, 2017). Estudios recientes en Uruguay han considerado valores mayores para el equivalente fertilizante potásico (Barbazán et al., 2011), donde en condiciones controladas, para 36 suelos contrastantes con historia agrícola, el promedio fue de $231 \text{ kg } K_2O \text{ ha}^{-1}$ (rango de variación entre 85 y $569 \text{ kg } K_2O \text{ ha}^{-1}$), y para 15 suelos en condiciones de campo el valor fue de $173 \text{ kg } K_2O \text{ ha}^{-1}$ (rango de variación entre 70 y $500 \text{ kg } K_2O \text{ ha}^{-1}$).

En base al modelo de recomendación de fertilización potásica elaborado por investigadores del Estado de Iowa, Mallarino et al. (2013), recomiendan para una pastura de alfalfa, utilizar entre 210 y $280 \text{ kg } K_2O \text{ ha}^{-1}$ dependiendo de los niveles de K intercambiable del suelo, a mayor nivel, aumenta la dosis de K recomendada (las cantidades de fertilizante asumen un rendimiento de 10 Mg ha^{-1} de heno de alfalfa, en caso de ser utilizada en pastoreo, disminuir 1/3 la dosis).

Para K, al igual que en el caso de P, si es utilizado en dosis bajas o en suelos fijadores, en general las aplicaciones localizadas son más efectivas, aunque, a medida que la dosis aumenta, la diferencia entre localizar o aplicar al voleo tiende a disminuir (Parks y Walker, 1969). En sistemas de SD, donde se tiende a localizar el K, la humedad condiciona la eficiencia del fertilizante, ya que el K quedará en los primeros centímetros, si el suelo es seco, las raíces están limitadas y disminuye la absorción de K. En pasturas implantadas, la aplicación de K en superficie ha sido más eficiente en comparación a cultivos, ya que las raíces de las mismas tienen mayor actividad radicular en los primeros centímetros de suelo, y su duración de ciclo es mayor en relación al ciclo de un cultivo anual (Rabuffetti, 2017).

En pasturas pastoreadas, parte del K es devuelto al suelo, pero, este reciclaje es diverso, dependiendo del rendimiento de la pastura, manejo de los animales, intensidad de pastoreo y la duración en tiempo de los animales en el mismo potrero (Rabuffetti, 2017).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO

3.1.1. Localización y características de la pastura

Los sitios donde se realizó el estudio se ubicaron en el departamento de Salto, en suelos desarrollados sobre Basalto.

Uno de los experimentos fue instalado sobre Ruta 31 en el predio comercial “El Junco” (Sitio 1, 31°11'16.13"S, 57°22'34.10"O), sobre pasturas de largo plazo, que tuvieron como antecesores rotaciones de pasturas con arroz. Las pasturas evaluadas en este estudio procedían de una pradera convencional, sembrada en el año 2008 con *Trifolium repens*, *Trifolium pratense*, *Lolium multiflorum* y *Lotus corniculatus*. Además se resebró y se agregó a la mezcla *Lotus pedunculatus*, en marzo-abril de 2015 a razón de 2,9 kg ha⁻¹, con una fertilización de 200 kg ha⁻¹ de 7-40 (N y P₂O₅), y se registró la presencia de *Festuca arundinacea* espontánea.¹

El segundo sitio (Sitio 2), ubicado en la Estación Experimental de Facultad de Agronomía en Salto (EEFAS, 31°23'3.40"S, 57°43'24.37"O), fue instalado sobre campo restablecido, debido a que 25 años atrás se habían sembrado pasturas perennes de gramíneas, con historia de fertilización con N y P. Al momento de la instalación del experimento, predominaban en este sitio, especies como *Chloris*, *Bouteloua*, *Schizachyrium*, *Aristida*, *Eragrostis*, *Bothriochloa*, *Stipa*, *Paspalum*, *Andropogon*, *Axonopus*, *Coelorhachis*, y *Piptochaetium*, entre otras, así como algunas hierbas enanas, frecuentes en la zona durante el invierno en este tipo de sistemas de producción.

3.1.2. Período experimental

Los experimentos de fertilización potásica en pasturas tuvieron una duración de 2.3 años, desde su instalación, realizada a fines de otoño o principios de invierno (mayo - junio de 2015), hasta la primavera (setiembre - octubre de 2017).

3.1.3. Tipos de suelos

Ambos experimentos, según la Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay escala 1:1.000.000 (Altamirano et al., 1976), están desarrollados sobre suelos de la Unidad

¹ García, C. 2017. Com. personal.

Itapebí-Tres Arboles (IT-TA) y Queguay Chico (Q Ch.), con presencia dominante de Vertisoles Hápticos y Brunosoles Eútricos Típicos. El material generador de estos suelos son rocas de Basalto efusivas (Bossi y Navarro, 1988). Pertenecen al Grupo CONEAT 12.11; en el cual dominan Vertisoles y Brunosoles Típicos, con pendientes suaves y sedimento limo-arcilloso, de variada profundidad. Aparecen asociados también Litosoles Eútricos Melánicos (Cuadro 1).

El suelo del Sitio 1 corresponde a un suelo profundo con índice de productividad CONEAT de 133, desarrollado sobre Basalto profundo, de color oscuro, con permeabilidad moderadamente lenta. Cuentan con un horizonte B argilúvico, poco permeable, con características de iluviación de arcilla, y presencia de CaCO_3 en el horizonte C. Los bloques son subangulares medios y fuertes, de textura predominantemente arcillo-limosa a franco arcillo-limosa, de transición gradual en algunos horizontes y en otros de transición clara (Figura 2).



Figura 2. Perfiles de suelo extraídos del Sitio 1 (El Junco).

El suelo del Sitio 2 es superficial rojo desarrollado sobre Basalto, asociado a áreas de rocosidad y pedregosidad, sobre laderas suaves. Dentro del experimento el suelo presenta una profundidad variable, con un promedio de 40 cm, con posibles sedimentaciones y acumulación de suelo en determinadas zonas. La textura predominante en todo el perfil es textura arcillo-limosa, de color oscuro; los bloques son subangulares

finos. La transición en general es abrupta, y en algunos casos con presencia de hierro en estado férrico, con colores rojizos. El índice de productividad CONEAT es de 87 (Figura 3).

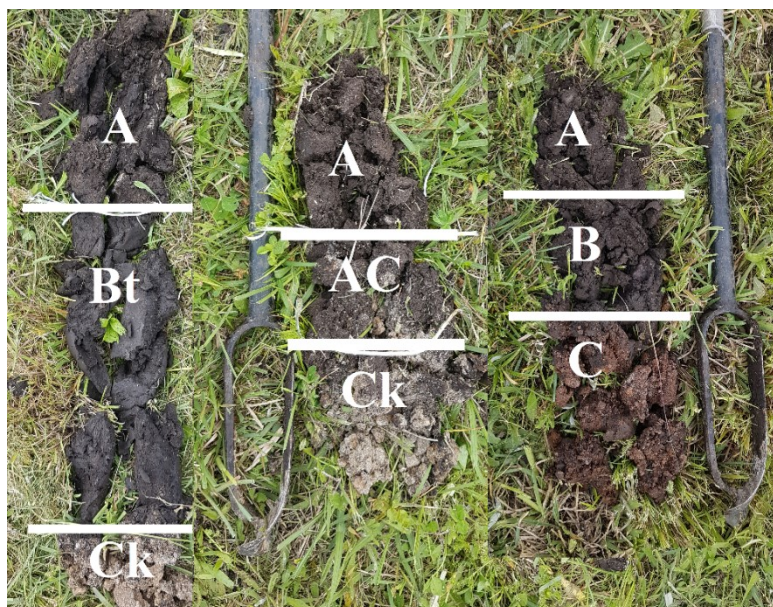


Figura 3. Perfiles de suelos extraídos del Sitio 2 (EEFAS).

Cuadro 1. Secuencia de horizontes de los diferentes perfiles de suelo.

-----"El Junco"-----						-----EEFAS-----					
---Perfil 1---		---Perfil 2---		---Perfil 3---		---Perfil 1---		---Perfil 2---		---Perfil 3---	
Horiz.	Prof. (cm)	Horiz.	Prof. (cm)	Horiz.	Prof. (cm)	Horiz.	Prof. (cm)	Horiz.	Prof. (cm)	Horiz.	Prof. (cm)
Ah	5	A	10	A1	5	A	15	A	13	A	11
A	30	AB	6	A2	7	Bt	22	AC	11	B	13
Bt1	13	Bt1	30	AB	11	Ck	10	Ck	12	C	15
Bt2	25	Bt2	15	Bt1	15	-	-	-	-	-	-
BC	15	BC	12	Bt2	26	-	-	-	-	-	-
Ck	11	C	14	BC	14	-	-	-	-	-	-
C	7	Ck	10	C	10	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	Ck	5	-	-	-	-	-	-
Total	106	Total	97	Total	93	Total	47	Total	36	Total	39

3.1.4. Descripción del experimento

3.1.4.1. Tratamientos

Los tratamientos fueron dosis crecientes de K: 0, 30, 60, 120 y 240 K₂O (kg ha⁻¹), aplicados como KCl (cloruro de K), con P y S (46 kg ha⁻¹ P₂O₅ y 25 kg ha⁻¹ S, como superfosfato simple). No se refertilizó entre años. También se contó con un tratamiento que no recibió ninguna aplicación de fertilizante (00, cero absoluto).

La aplicación de fertilizantes se realizó en forma manual, al voleo en superficie en el momento de la instalación de los experimentos, en junio de 2015. En el invierno de 2017, en el experimento de EEFAS se fertilizó con urea a razón de 100 kg ha⁻¹. Los experimentos fueron cercados de forma de evitar el pastoreo animal.

3.1.4.2. Muestreo de suelos

Previo a la instalación de los experimentos se tomaron muestras de suelos por repetición, compuestas de 10-12 tomas, de la profundidad de 0 a 15 y de 15 a 30 cm.

Luego de los cortes de forraje, al final de cada estación, se tomaron muestras de suelos compuestas (10-12 tomas por parcela) de los tratamientos testigo, del que consistía en la dosis más alta de K y del cero absoluto (tratamientos 1, 5 y 6, respectivamente), a la profundidad de 0 a 15 cm. En el Sitio 1 (El Junco) se realizaron cinco muestreos de suelos luego de aplicados los tratamientos, mientras que en el Sitio 2 (EEFAS) se realizaron dos, debido a que la cantidad de cortes de forraje fueron más restringidos en frecuencia de muestreo por el menor crecimiento en altura de la pastura (Cuadro 2).

Cuadro 2. Fechas de muestreos de suelo en los dos sitios del estudio.

Muestreo de suelos	Sitios	
	---El Junco---	---EEFAS---
1	12/11/2015	4/11/2016
2	18/7/2016	2/6/2017
3	23/9/2016	-
4	5/11/2016	-
5	3/6/2017	-

3.1.4.3. Muestreo de plantas

En cada sitio se realizaron muestreos de plantas según la disponibilidad de forraje, cuando la altura de las plantas superaba los 15-20 cm en promedio. Se realizaron cortes de la parte aérea de las plantas en cada parcela, al ras del suelo, utilizando cuadrados de 30 x 30 cm. Esto se repitió tres veces dentro de cada parcela. Posteriormente toda el área ocupada por las parcelas era cortada utilizando máquinas (bordeadora y cortadora de césped) retirando el forraje fuera del ensayo. Se realizaron nueve cortes en el Sitio 1, y cinco cortes en Sitio 2. Cabe aclarar que en el Sitio 2 el número de cortes fue menor debido a que se trataba de una pastura de campo restablecido, con menor crecimiento en altura en comparación al Sitio 1.

En todos los cortes se realizó una caracterización botánica por familias, clasificando leguminosas y gramíneas por separado. En cada fracción se tomó el peso fresco, y se colocaron por 48 horas en estufa a 60 °C y se volvieron a pesar luego del secado para calcular el contenido de humedad de cada muestra y estimar el contenido de MS correspondiente. Posteriormente se molieron y analizaron en laboratorio, como se describe en el punto 3.2. En el Cuadro 3, se observan las fechas de los cortes, y los días consecutivos en que fueron realizados en relación al día 0 (inicio del ensayo).

Cuadro 3. Fechas de muestreos de plantas para los dos sitios.

Sitio	Cortes	Fecha	Estación	Días desde el inicio
1 (El Junco)	1	12/11/2015	P1	0
	2	9/12/2015	V1	27
	3	11/2/2016	V1	91
	4	18/7/2016	I1	249
	5	23/9/2016	P2	316
	6	5/11/2016	P2	359
	7	22/2/2017	V2	468
	8	3/6/2017	I2	569
	9	7/10/2017	P3	695
2 (EEFAS)	1	1/4/2016	O1	0
	2	4/11/2016	P2	217
	3	22/2/2017	V2	327
	4	2/6/2017	I2	427
	5	7/10/2017	P3	554

I: Invierno; O: Otoño; P: Primavera; V: Verano. 1, 2, 3: años.

3.2. ANÁLISIS QUÍMICOS

Todos los análisis químicos de suelos y plantas fueron realizados en el laboratorio instalado en Facultad de Agronomía, Montevideo, Depto. de Suelos y Aguas, excepto el análisis de S en planta, que fue realizado en INIA, La Estanzuela (LE).

3.2.1. Análisis de suelos

En las muestras iniciales de suelos se analizaron bases intercambiables (Ca, Mg, K y Na) extraídas con acetato de amonio 1M, pH en H₂O y KCl 1M por potenciometría, P asimilable por el método Bray 1, carbono orgánico por el método de Walkley y Black, y contenido de N-NO₃, por colorimetría (540 nm) luego de la reducción de nitrato a nitrito a través de una columna de cadmio (reacción de Griess-Ilosvay, Mulvaney, 1996, Cuadro 4).

Cuadro 4. Análisis iniciales de suelos.

Sitio	Prof. (cm)	pH H ₂ O	pH KCl	CO %	Ca ----- cmol _c kg ⁻¹	Mg cmol _c kg ⁻¹	K ----- cmol _c kg ⁻¹	Na ----- cmol _c kg ⁻¹	P --mg kg ⁻¹ --	N-NO ₃ mg kg ⁻¹
1	0-15	5.39	4.57	2.90	23.8	6.47	0.45	0.46	7.00	24.0
	15-30	5.79	4.80	1.80	28.3	7.72	0.50	0.50	3.00	8.00
2	0-15	5.50	4.58	2.80	18.4	5.08	0.32	0.39	19.0	3.00
	15-30	5.71	4.71	2.00	24.1	6.66	0.41	0.52	4.00	2.00

En las muestras de suelos luego de determinados cortes, se analizaron bases intercambiables, pH y P disponible, como fue descrito para las muestras iniciales.

3.2.2. Análisis de plantas

En las muestras de plantas se determinaron bases (Ca, Mg, K y Na) por medio de digestión por vía seca (cenizas), N total por el método Kjeldhal y P total por el método colorimétrico con ácido ascórbico (Murphy y Riley, 1962) luego de digestión húmeda. El S se analizó mediante un equipo de análisis elemental LECO TruSpec CNS² (combustión seca de la muestra y posterior determinación en celda termoeléctrica del S generado durante la combustión).

² Beretta, A. 2017. Com. personal.

3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

El análisis de datos se realizó con el programa estadístico InfoStat (Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Agropecuarias) y algunos datos con el programa SAS (SAS, 1985).

El diseño utilizado fue el de tres bloques completamente al azar (DBCA). En todos los casos se consideró una $P < 0.05$ como significativa.

El modelo lineal utilizado para la observación del tratamiento i en la parcela j , Y_{ij} , es: $Y_{ij} = \mu + t_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$

Donde:

- Y_{ij} observación del tratamiento i en la parcela j
- μ media general
- t_i efecto del tratamiento i
- β_j efecto del j -ésimo bloque
- ϵ_{ij} término de error aleatorio asociado a la observación Y_{ij}

Como hipótesis se planteó que la media de tratamientos con aplicación de K es distinta al testigo sin aplicación, en al menos una dosis.

Para todas las variables, se realizó comparación de ANAVA, contrastes ortogonales entre tratamientos, y ajustes de regresión.

Las variables medidas en planta fueron: rendimiento de MS por corte según familia (leguminosas y gramíneas), y acumulada total, concentración de nutrientes (N, P, K, S, Na, Ca y Mg), y la absorción de los mismos. En suelo las variables analizadas fueron: pH, K, Na, Ca, Mg intercambiable y P (Bray 1).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CONDICIONES AGROMETEOROLÓGICAS

Los registros meteorológicos, fueron brindados por la Unidad de Agrometeorología de EEFA (Facultad de Agronomía) y por la estación de meteorología del establecimiento “El Junco”.

Durante el período de evaluación del experimento, las precipitaciones de todos los meses superaron el promedio climático (1961-2009) y en algunas ocasiones fueron muy superiores a las medias registradas en esta localidad. En el 2016 se registró un pico de precipitaciones de 638,7 mm en abril (465% por encima del promedio climático, 1961-2009). En el año 2017 los picos de precipitaciones fueron dados en mayo (309 mm) y agosto (221 mm). Los datos obtenidos en el año 2017 fueron hasta agosto, por ello los registros de los siguientes meses no están analizados (Figura 4).

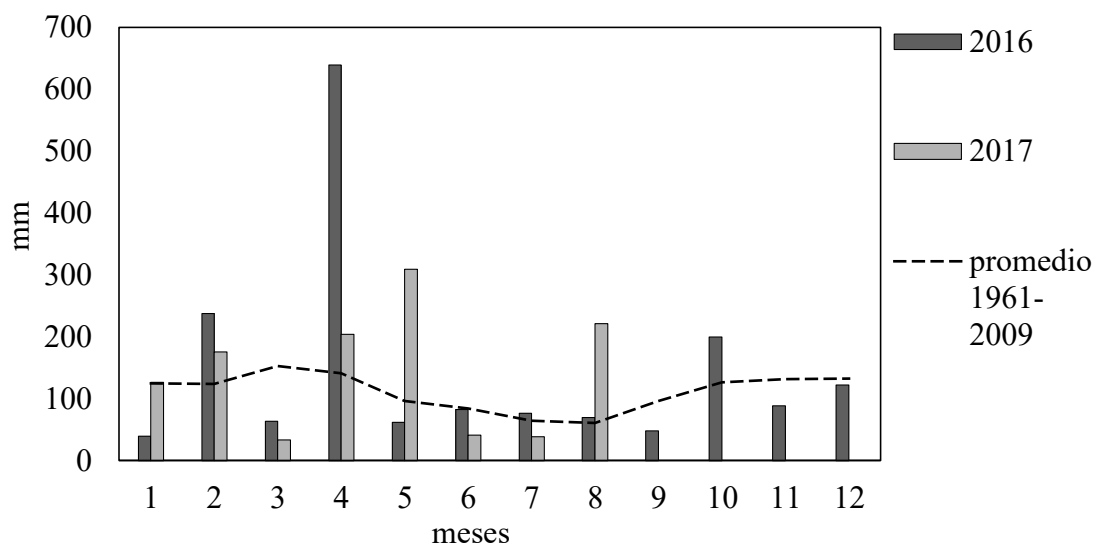


Figura 4. Precipitaciones acumuladas mensuales en el período 2016-2017.

Fuente: Saravia³

El año 2016 presentó menores temperaturas invernales en comparación al 2017 (Figura 5).

³ Saravia, C. 2017. Com. personal.

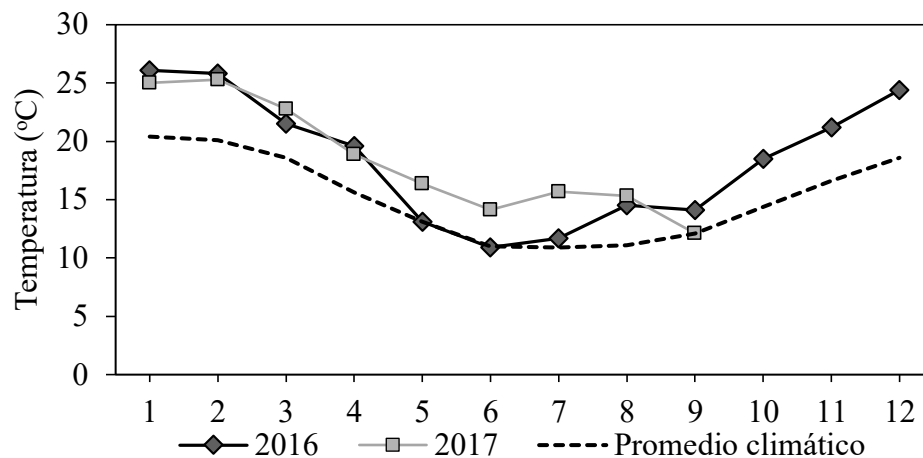


Figura 5. Temperatura media en el período en estudio y promedio climático 1961-2009.

Fuente: Saravia³

Para el período en estudio, se realizó para cada sitio, un balance hídrico climático (BHC) cada 10 días, con datos otorgados por el establecimiento El Junco (Sitio 1, Figura 6), y para EEFAQ (Sitio 2, Figura 7). El BHC tuvo en cuenta las precipitaciones ocurridas (mm) y la evapotranspiración (ETP) registrada en la estación de meteorología en EEFAQ. El almacenamiento de agua se estimó teniendo en cuenta el tipo de suelo, y se utilizó una lámina de agua de 112,5 mm (lámina de reposición en mm del suelo en estudio, específica para Brunosoles).

En la Figura 6, la línea punteada señala el agua almacenada del suelo para el Sitio 1. De acuerdo a los datos obtenidos, se registró en el perfil un promedio mensual de 70 mm de almacenamiento de agua (disponible), en el período de estudio. Se destaca que en el verano de 2015-2016, se observó leve deficiencia hídrica en los meses de enero y febrero (meses de mayor demanda atmosférica), que luego fue repuesta por el aumento de precipitaciones a partir de otoño de 2016.

En el año 2016 ocurrieron excesos hídricos en abril y mayo (480-500 mm). En el año 2017, hubo meses en los cuales las precipitaciones superaron a la demanda atmosférica, específicamente en los meses de abril – mayo (193 mm) y en agosto-setiembre (203 mm).

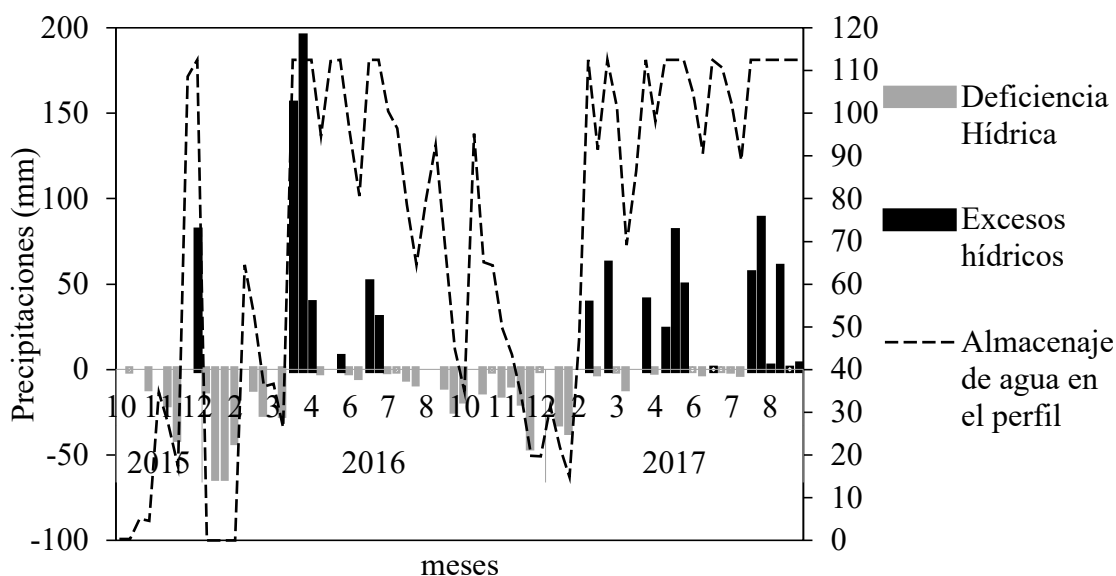


Figura 6. Balance hídrico climático (mm) en El Junco cada 10 días en el período de estudio.

Fuente: Böcking⁴

En el Sitio 2 los registros climáticos fueron muy similares a los observados en el Sitio 1, ya que ambos están cercanos, 30 km aproximadamente (Figura 7).

De agosto a octubre de 2015 se registró un exceso hídrico de 338 mm y de 240 mm en el mes de diciembre. En el año 2016 ocurrió déficit hídrico en el verano (enero y febrero). En los meses de abril y mayo los excesos hídricos registrados fueron de 540 mm, y de 115 mm en junio. En el 2016 volvió a registrarse déficit hídrico a fines de primavera-principios de verano, específicamente en los meses de noviembre y diciembre (100 mm aproximadamente). En el año 2017 se observaron excesos hídricos también en otoño (abril-mayo) de 350 mm y en el mes de agosto de 140 mm (cabe señalar que la lámina de agua utilizada en el balance hace referencia a una lámina teórica representativa de un suelo Brunosol).

⁴ Böcking, B. 2017. Com. personal.

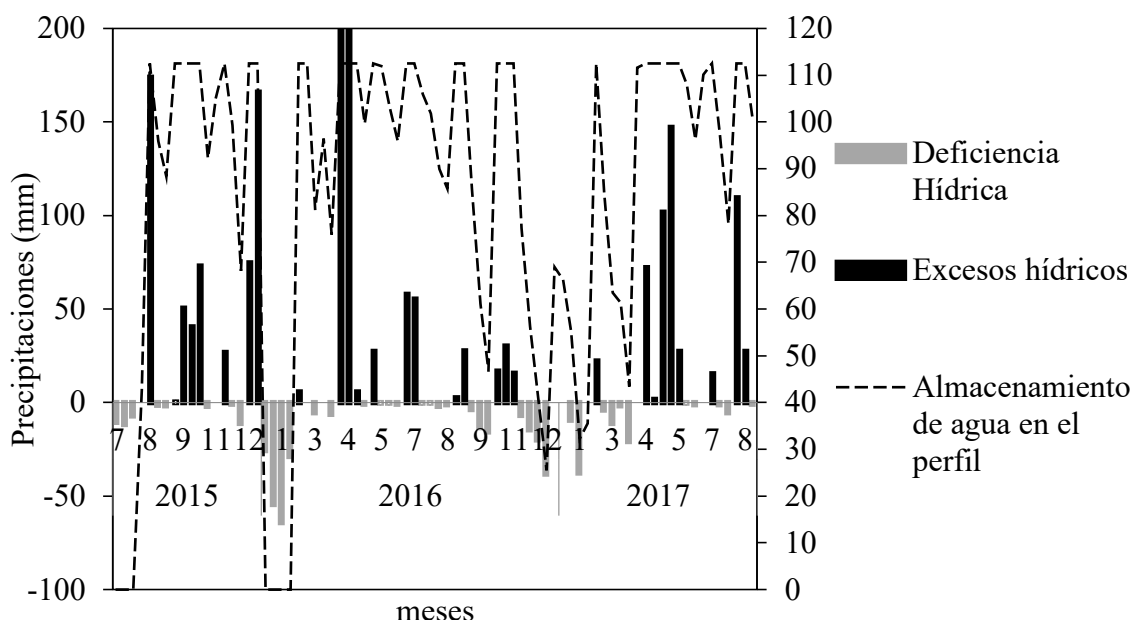


Figura 7. Balance hídrico climático (mm) en EEFAS en el período de estudio.

Fuente: Saravia³

4.2. PRODUCCIÓN DE FORRAJE

4.2.1. Rendimiento de forraje en el Sitio 1

Durante el período evaluado el rendimiento de la pastura en el Sitio 1 varió entre 931 a 5641 kg ha⁻¹ de materia seca total (MST) por corte, rindiendo más en los meses de primavera-verano que en invierno (Cuadro 5). Entre tratamientos, solo se observaron diferencias significativas en los cortes 3, 7 y 9, correspondientes a febrero de 2016, febrero de 2017 y octubre de 2017, respectivamente. En dichos cortes la mayor producción de MST se obtuvo en el tratamiento con la dosis máxima de K que fue de 240 kg ha⁻¹ de K₂O (T5).

El mayor rendimiento de MST acumulada al final del período se obtuvo en el tratamiento T5, fue de 23% superior al testigo (T1, Figura 8). En este sitio, además de *Lolium multiflorum*, se observó la presencia de *Festuca arundinacea*. La respuesta en ambos sitios es diferente a lo analizado por Šarūnaite y Kadžiulienė (2013) en un experimento de largo plazo (49 años) en pasturas, realizado en Europa del Este (Lituania), ellos no encontraron diferencias significativas entre fertilizar con 30 o con 90 kg K₂O ha⁻¹.

¹. En dicho estudio el suelo predominante era de textura limosa (Cambisol franco, FAO), con niveles iniciales de K de 0,19 a 0,29 cmolc kg⁻¹. La pastura estaba integrada por una mezcla de trébol blanco (*Trifolium repens*), trébol rojo (*Trifolium pratense*), *Phleum pratense*, pasto azul de Kentucky (*Poa pratensis*) y festuca de pradera (*Festuca pratensis*). En ese estudio, los tratamientos contenían P, y los rendimientos estuvieron entre 3290 y 3420 kg MS ha⁻¹ en parcelas fertilizadas con P y K (30 kg P₂O₅ ha⁻¹ y de 30 a 90 kg K₂O ha⁻¹).

Cuadro 5. Producción promedio de forraje (MST) por cortes en el Sitio 1 (El Junco).

Trat. K ₂ O (#)	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	MS. acum.
	kg MST ha ⁻¹									
00*	3675a	2509a	2680b	2802a	3236a	2324a	1372b	1037a	3243b	22878b
0	5641a	2841a	2957ab	3031a	3438a	2385a	1746b	1515a	4307ab	25183ab
30	4141a	2948a	3161ab	2675a	3651a	3267a	1846ab	1017a	4911a	27616ab
60	3691a	2756a	3026ab	2795a	3333a	2339a	1830ab	931a	3413b	24115b
120	4885a	2591a	2822ab	3148a	3111a	2578a	1331b	983a	3424b	24875ab
240	3898a	3311a	3580a	3001a	3959a	3137a	3543a	1202a	5228a	30858a

Valores en columnas seguidos por la misma letra no difieren significativamente a la P< 0,05.

*Excepto el tratamiento 00, los demás fueron fertilizados con 46 kg de P₂O₅ ha⁻¹.

#Tratamientos (K₂O kg ha⁻¹): 0 (1), 30 (2), 60 (3), 120 (4), 240 (5), 00 (6).

Fecha de cortes: nov. 2015 (c1), dic. 2015 (c2), feb. 2016 (c3), jul. 2016 (c4), set. 2016 (c5), nov. 2016 (c6), feb. 2017 (c7), jun. 2017 (c8), oct. 2017 (c9).

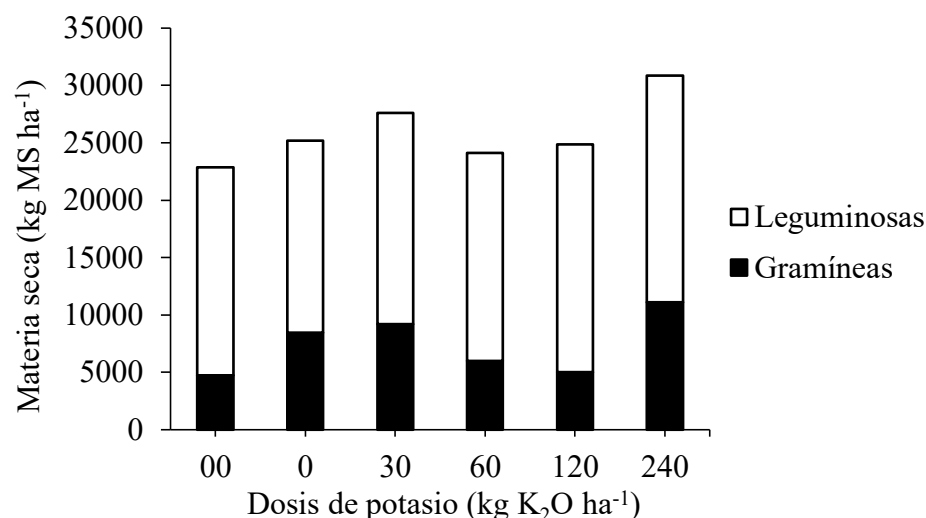


Figura 8. Producción de gramíneas y leguminosas por tratamiento en el Sitio 1 (El Junco).

El aumento significativo de la proporción de gramíneas en el tapiz, es la variable que explica la respuesta lograda en el rendimiento de MST en las parcelas fertilizadas con P y K (PK). La fracción leguminosas no generó aumentos significativos del rendimiento solamente al fertilizar con K, sino que la respuesta en incremento de leguminosas puede deberse a la fertilización con P, superando en rendimiento acumulado en 2300 kg MS ha⁻¹ (testigo, con P, vs. cero absoluto).

La Figura 9 muestra la evolución del rendimiento de MST de tres tratamientos: T1 (P), T5 (PK) y T6 (00), donde se aprecia que el mayor rendimiento obtenido en todos los cortes fue en las parcelas del tratamiento T5, excepto en el primer corte y en los cortes de invierno. En términos generales el comportamiento de la pastura concuerda con Šarūnaite y Kadžiulienė (2013), quienes concluyeron que al fertilizar con P y K, la pastura persiste en el tiempo.

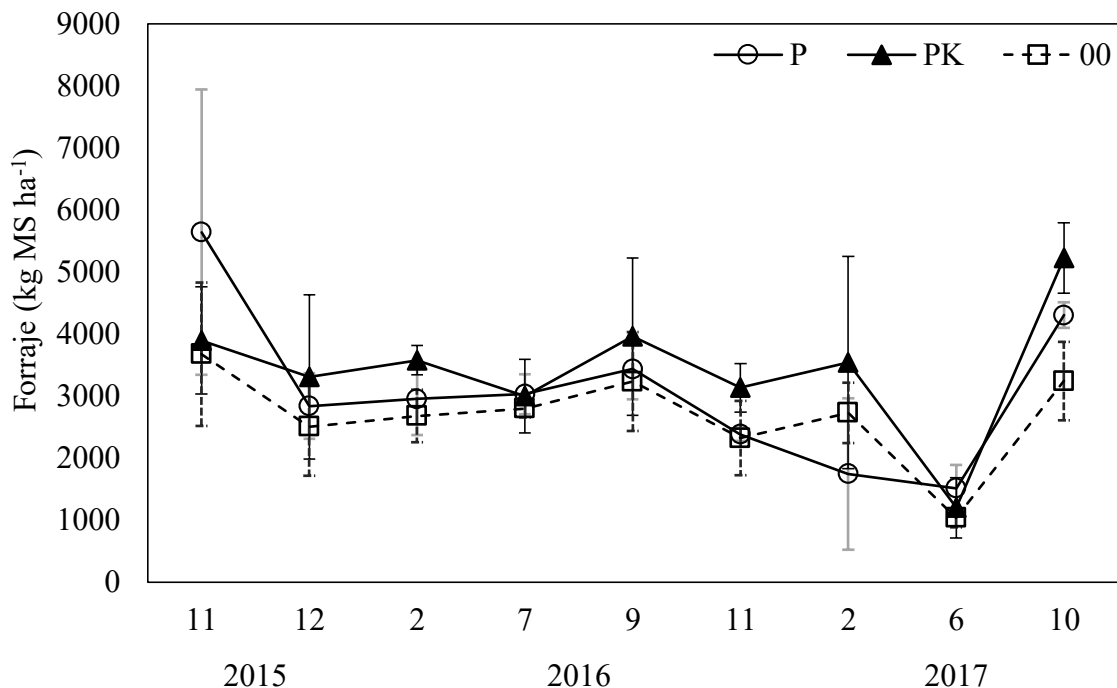


Figura 9. Producción de forraje (MST) por fecha de corte según tratamiento en el Sitio 1.

Las parcelas solo con P (T1) rindieron más ($P=0,06$) que las sin P ni K (T6), solamente en el corte 9 (octubre de 2017).

En la MST acumulada al final del período se observó un incremento en las parcelas testigo (T1) de 2300 kg MST ha⁻¹, comparado con el rendimiento del cero absoluto (Figura 10). Este incremento se debió al aumento en tamaño y desarrollo de las leguminosas en la

pastura, las cuales responden positivamente al agregado de P, ya que este nutriente es esencial para la nodulación. En este sitio, además, el suelo presentó un bajo nivel de P Bray 1 (7 mg kg^{-1}). Esta mayor producción de MST se observó especialmente en la segunda primavera (2016) luego de la aplicación de los tratamientos.

Los valores máximos de producción de leguminosas alcanzaron los $4230 \text{ kg MS ha}^{-1}$ en diciembre de 2015 (corte 2), y $4000 \text{ kg MS ha}^{-1}$ en la primavera de 2016 (corte 5). Además, en el año 2016 la producción obtenida en el invierno fue de $3000 \text{ kg MS ha}^{-1}$ para el T5. Este nivel de producción de forraje para esta familia en invierno fue similar a la producción de leguminosas encontrada por Bemhaja (1998), quien en esta estación reportó rendimientos entre 2900 y $3200 \text{ kg MS ha}^{-1}$ sobre Basalto en parcelas fertilizadas con 40 y $80 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ (mezcla de *Trifolium repens* y *Lotus corniculatus*).

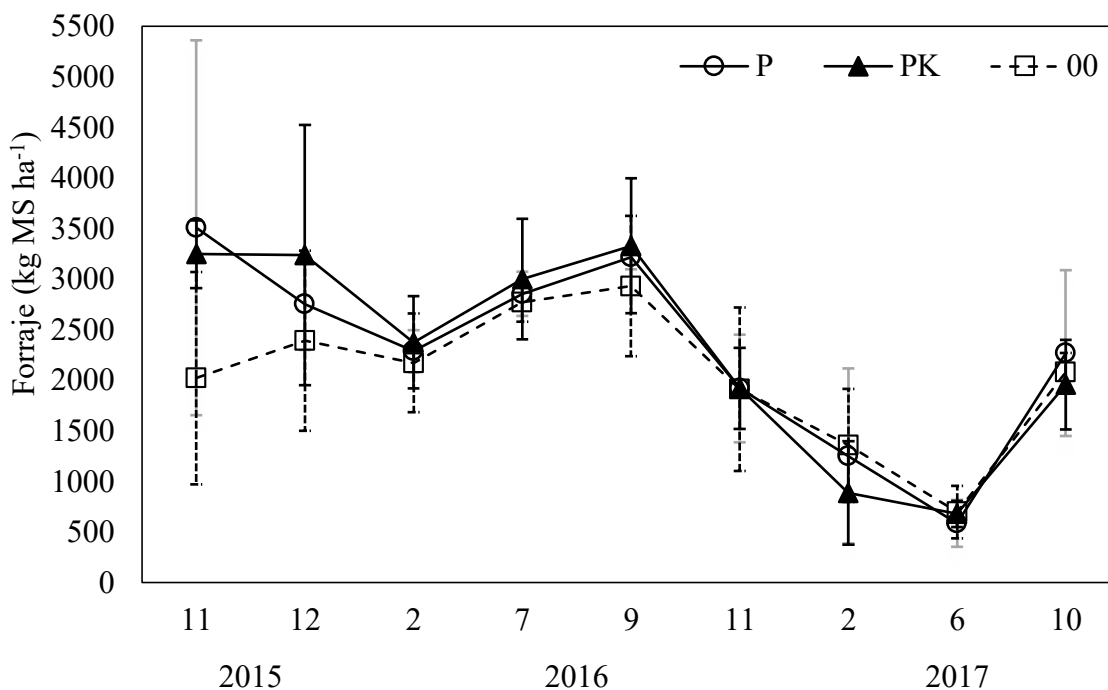


Figura 10. Producción promedio de leguminosas por fecha de corte según tratamiento en el El Junco.

A partir del verano de 2016-2017 la proporción de gramíneas aumentó frente a la de leguminosas. Esto puede considerarse beneficioso para el suelo desde el punto de vista físico, por la morfología de las raíces y su descomposición posterior (Carámbula, 2002b). Dicho incremento ocurrió principalmente en T5 (240 kg K ha^{-1}). Los incrementos de la producción de gramíneas en el T5 fueron entre 12 % (corte 7) y 16% (corte 9) superiores al T6 (Figura 11).

La producción promedio de gramíneas en este sitio fue de 846 kg MS ha⁻¹, fluctuando entre cortes y en las distintas estaciones del año, con diferencias significativas en los distintos tratamientos ($P < 0,10$). Solamente en el corte 1, el T5 (con P y K) registró valores de producción de forraje inferiores al resto de los tratamientos, pero luego en dicho tratamiento se incrementó la producción de gramíneas en 460 kg ha⁻¹ por encima del resto de los tratamientos con P, siendo observada la mayor producción en el corte 7 (febrero de 2017). En este período predominó la *Festuca arundinacea*, especie que reapareció del banco de semillas de siembras anteriores. Al final del período en estudio, las gramíneas del T5 produjeron 2640 kg MS ha⁻¹ más que el testigo sin K y 5210 kg MS ha⁻¹ más que el cero absoluto.

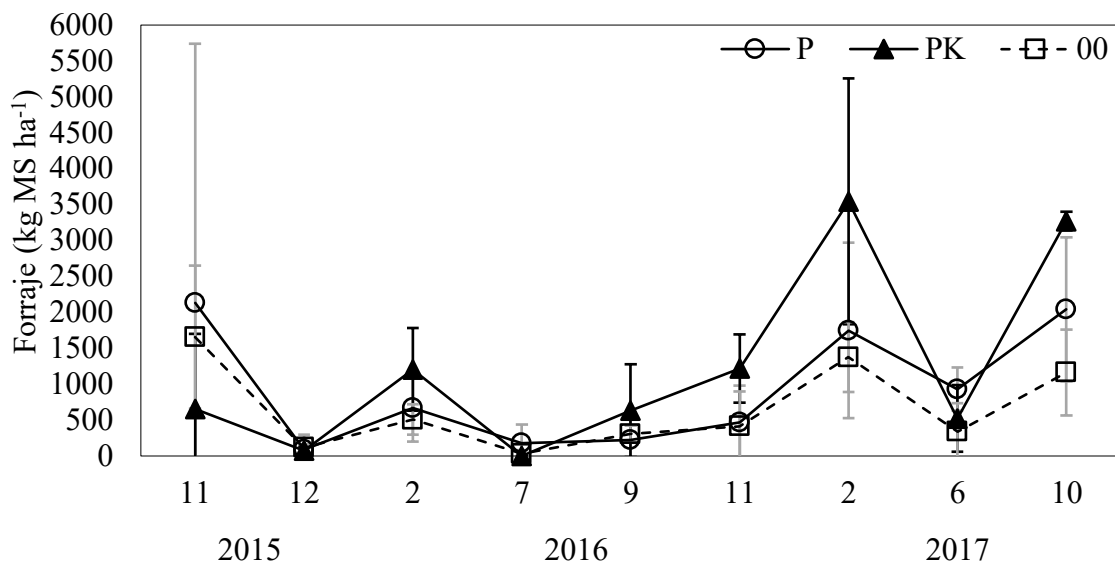


Figura 11. Producción promedio de gramíneas por fecha de corte según tratamiento en el Sitio 1.

En gramíneas del Sitio 1, los menores registros de MS ha⁻¹ se observaron en el tratamiento sin fertilización (T6), en el cual el promedio de producción fue de 655 kg MS ha⁻¹, 53% por debajo del promedio del T5, demostrando que al aumentar la oferta de nutrientes con P y K la respuesta de las gramíneas tendió a ser positiva registrando mayores rendimientos en las parcelas fertilizadas. La producción de gramíneas presentó diferencias significativas en MS en los diferentes tratamientos ($P < 0.1$). Comparando la dosis máxima (T5) en relación al testigo (con P, sin K) se obtuvo una producción de MS de 31% por encima.

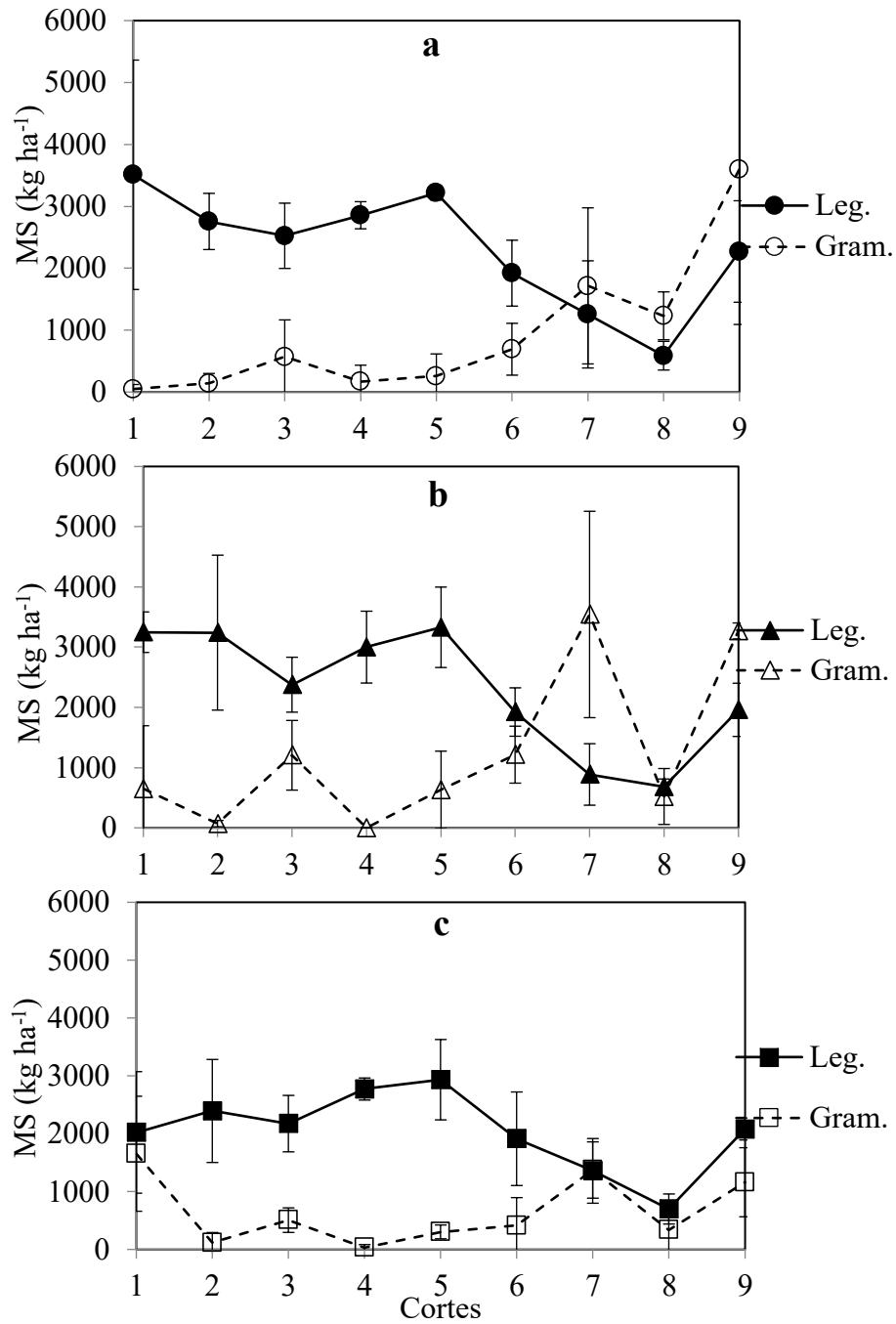
En principio, la relación gramíneas/leguminosas (G/L) fue de 0,22 en la primer primavera (P1) y llegó a valores de 2 en la segunda primavera (P2), mientras que la mayor relación se dio en verano (6,5). Este comportamiento puede ser explicado por la

predominancia de leguminosas invernales y gramíneas perennes invernales, pero de buena producción primavera-estival, como *Festuca arundinacea*. Las gramíneas, al encontrarse en una pradera mezcla con leguminosas, pueden haberse visto beneficiadas por la capacidad de fijación biológica de N por parte de estas últimas. Además del N proveniente de los nódulos de las leguminosas, gracias a la simbiosis generada con los rizobios, en las parcelas donde se agregó P y K, ambas familias habrían logrado expresar mayor producción de MS. Las gramíneas contaron con buena oferta de nutrientes, que pudo haber ocasionado una mayor capacidad de desarrollar procesos biológicos, como el macollaje; dicho proceso es muy demandante de nutrientes ya que los vegetales deben lograr desarrollo y crecimiento de nuevo tejido al producir nuevos macollos.

Según Lanyon y Griffith (1988), es necesario mantener un nivel alto de K disponible en el suelo cuando se trata de pasturas mezclas, frente a pasturas puras de leguminosas (alfalfa), ya que puede provocarse invasión de gramíneas y/o malezas, y perjudicar la persistencia de leguminosas en el tapiz. Sin embargo, lo observado en el Sitio 1, fue lo contrario, al fertilizar con K, comenzó a predominar la presencia de gramíneas frente a leguminosas, como se dijo anteriormente, este incremento se puede deber a que se perdió leguminosas y éstas liberaron N.

A partir del corte 5, realizado en la primavera de 2016, las leguminosas comenzaron a descender y aumentaron las gramíneas. Este descenso de las leguminosas puede asignarse a la disminución observada del contenido de P Bray 1 y del pH en suelo. El descenso de P ocurrió desde la primavera de 2016 hasta el invierno de 2017, pasando de 7 a 4,5 mg kg⁻¹ en el tratamiento solo con P, de 9,8 a 5,9 mg kg⁻¹ en el T5, y de 7,6 a 5,8 mg kg⁻¹ en el cero absoluto (Figura 12).

En el tratamiento cero absoluto se observó menor producción de ambas familias, y en el T1 (P) y T5 (PK) el rendimiento de las leguminosas fue análogo. El comportamiento que se acentúa frente al resto, es la predominancia de producción de gramíneas en la pastura mezcla del Sitio 1, concordando con los antecedentes productivos en este tipo de praderas por otros autores, los cuales manifiestan como ventajoso las características morfológicas de absorción de nutrientes inmóviles como el K que tienen las gramíneas frente a las leguminosas (Marschner 1995, Bordoli 2001, Morón 2008).

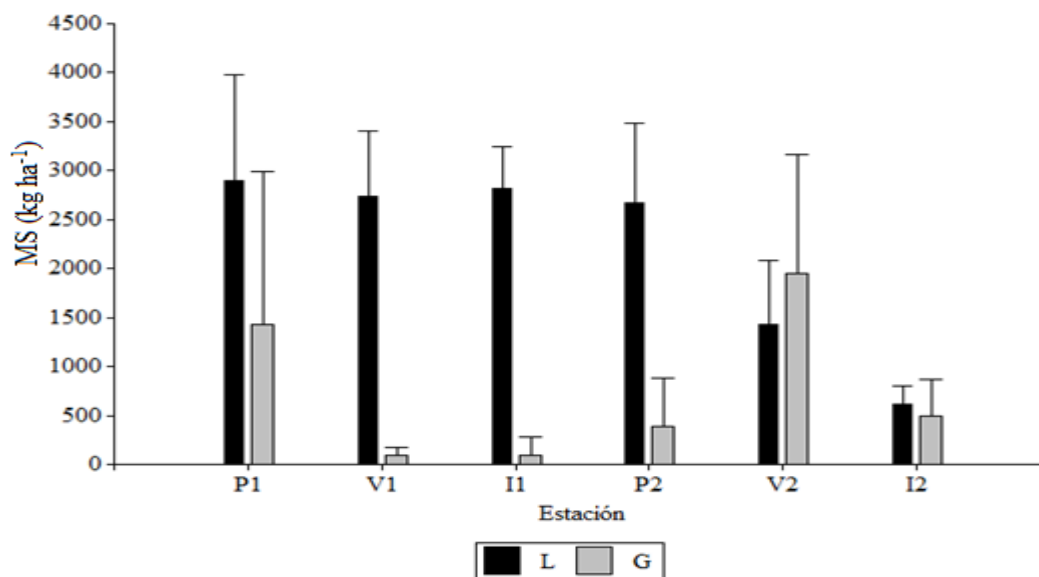


Fertilizado con P (**a**), con P y K (**b**), y sin fertilizar (**c**). Fecha de cortes: nov. 2015 (**1**), dic. 2015 (**2**), feb. 2016 (**3**), jul. 2016 (**4**), set. 2016 (**5**), nov. 2016 (**6**), feb. 2017 (**7**), jun. 2017 (**8**), oct. 2017 (**9**).

Figura 12. Materia seca de leguminosas y gramíneas en los cortes de El Junco.

4.2.1.1. Distribución estacional de la producción en el Sitio 1

La producción estacional en pasturas de las regiones templadas tiene un comportamiento variable, con picos productivos en primavera y otoño, donde el foco central de la producción está puesto en el invierno, estación en la cual la producción generalmente provoca déficit forrajero. En el Sitio 1, lo observado en invierno en el T5 (teniendo en cuenta los dos inviernos registrados), rindieron 10% más en comparación a la producción de esta misma estación de las parcelas del 0 absoluto, sin P ni K (T6, 00). Sin embargo, en comparación al tratamiento testigo con P (sin K) no se encontraron diferencias significativas ($P > 0,1$, Figura 13).



Las barras significan desvío estándar. P, V, I: primavera, verano, invierno. 1 y 2, año 1 y año 2.

Figura 13. Producción promedio de gramíneas y leguminosas por estación en El Junco para el tratamiento 5.

En el primer invierno (I1, 2016), se logró obtener mayor rendimiento en comparación al segundo invierno (I2, 2017). Esta mayor producción en I1 puede deberse a que en el tapiz predominaban leguminosas invernales (*Trifolium repens*, *Trifolium pratense*), las cuales lograron asimilar en el corto plazo los nutrientes provenientes de la fertilización realizada en el momento de la instalación del experimento, con mayor producción de MS en las parcelas fertilizadas frente a las no fertilizadas. Se observó un significativo predominio y presencia en el tapiz de *Trifolium pratense* (especie bianual), el cual al tener un rápido establecimiento y gran capacidad competitiva (luz y espacio),

aumentó en número de plantas frente a las leguminosas perennes, menos competitivas y de menor velocidad de establecimiento inicial.

En el segundo invierno (I2), mediante los diferentes cortes, pudo observarse la reducción de plantas de leguminosas, principalmente de especies de *Trifolium pratense*, lo que puede deberse a que al ser una especie bianual, comienza a desaparecer por susceptibilidad a enfermedades de raíz y corona. Esta disminución podría explicar la menor producción de MS en el segundo año, comportamiento que concuerda con lo analizado para leguminosas por Bemhaja (1998).

El aumento de la presencia de gramíneas en el tapiz sigue una tendencia similar a los resultados obtenidos por Bemhaja (1998) para una pastura mezcla de leguminosas y gramíneas en campos sobre Basalto profundo. En su estudio, registró un aumento de 31% de gramíneas en el primer año, el cual se elevó a 63% en el tercer año de estudio. Las gramíneas entonces pueden pasar a ocupar los espacios dejados por las leguminosas, pudiendo ser una de las causas del aumento de su desarrollo en el Sitio 1.

4.2.2. Rendimiento de forraje en el Sitio 2

En el Sitio 2, al tratarse de campo restablecido, se tuvo en cuenta solamente la presencia de gramíneas, ya que las mismas fueron predominantes en el tapiz, que es característico en este tipo de pasturas en este suelo (Cuadro 6).

Cuadro 6. Producción promedio de forraje (MST) por cortes en el Sitio 2 (EEFAS).

Trat.	c1	c2	c3	c4	c5	MST acum.
K ₂ O (#)-----kg MS ha ⁻¹ -----						
00*	2812a	848b	2320a	622a	2307b	8910ab
0	2870a	1135a	1943a	680a	2781ab	9409ab
30	3121a	922ab	1896a	683a	2443b	9066ab
60	1516b	970ab	1793a	691a	2952ab	7922b
120	2506ab	827b	1604a	578a	2822ab	8337b
240	3463a	1168a	2020a	811a	3730a	11192a

Valores en columnas seguidos por la misma letra no difieren significativamente a la $P < 0,05$.

*Excepto el tratamiento 00, los demás fueron fertilizados con 46 kg de P₂O₅ ha⁻¹.

#Tratamientos (K₂O ha⁻¹): 0 (1), 30 (2), 60 (3), 120 (4), 240 (5), 00 (6).

Fecha de cortes: abr. 2016 (c1), nov. 2016 (c2), feb. 2017 (c3), jun. 2017 (c4), oct. 2017 (c5).

Se observaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre tratamientos en los cortes 1, 2 y 5, correspondientes a abril de 2016, noviembre de 2016 y octubre de 2017, respectivamente. Sin embargo, no se observó una tendencia clara ya que en estos cortes

los tratamientos con dosis intermedias de K (entre 30 y 120 kg ha⁻¹ de K₂O presentaron a veces menor rendimiento que el testigo o que el cero absoluto.

En el corte de la segunda primavera (corte 5), el tratamiento T5 logró incrementar la producción en 949 kg de MS ha⁻¹ por encima del testigo T1 y 1423 kg MS ha⁻¹ por encima del T6 (00).

El tratamiento 5 produjo al final del período 1783 kg MS ha⁻¹ acumulada por encima del tratamiento 1. A su vez en este tratamiento T5 se obtuvieron 131 kg MS ha⁻¹ más en invierno (corte de junio de 2017) frente al tratamiento testigo (T1), y 189 kg MS ha⁻¹ en comparación al 00.

En el tratamiento T5 se registraron los máximos rendimientos, con producciones por corte en un rango de 811 a 3730 kg MS ha⁻¹ siendo esta diferencia de hasta 62% superior al cero absoluto (T6). La producción acumulada en todo el período en el tratamiento T5 produjo 2167 kg MS ha⁻¹ por encima del promedio del resto de los tratamientos (Figura 14).

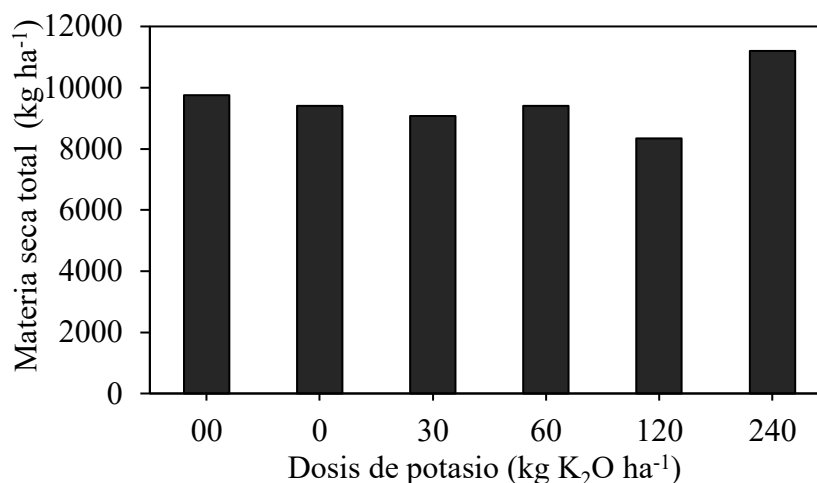


Figura 14. Producción acumulada de forraje en el Sitio 2 en función de dosis de fertilización con potasio.

Los rendimientos logrados estuvieron en torno a los hallados por Ayala y Carámbula (1994), para una pastura de campo natural en el depto. de Treinta y Tres. Estos autores fertilizaron con 80 kg de KCl (48 kg K₂O ha⁻¹) y 80 kg N ha⁻¹ y obtuvieron producciones de 3800 kg MS ha⁻¹ (Figura 15).

En el corte 2 y 4 (noviembre de 2016 y junio de 2017, respectivamente) la producción de las pasturas fue más baja en comparación al resto. En el corte 2, la baja

producción puede deberse a que fue el primer corte realizado posterior al invierno, donde la pastura presentó bajo crecimiento. En el corte 4, la producción fue menor a las otras estaciones, atribuido a las condiciones climáticas invernales.

Al tratarse de una pastura compuesta de especies nativas, era esperable un aumento en producción de forraje entorno al otoño y en la primavera, ya que estas épocas presentan óptimas condiciones climáticas para el crecimiento y desarrollo vegetal, tanto de especies invernales como estivales. En primavera específicamente se dan condiciones de baja evapotranspiración, lo que permite al suelo, retener en el perfil el agua acumulada del período invernal, y además aumentan las horas de luz, obteniendo mayor radiación, todo lo cual induce a una marcada estacionalidad del campo natural.

En los cortes de primavera (corte 2 y 5) en el tratamiento con la dosis máxima de K produjo un incremento promedio de 491 kg MS ha⁻¹ por encima del testigo sin K (T1) y 872 kg de MS ha⁻¹ sobre el tratamiento cero absoluto (sin K ni P).

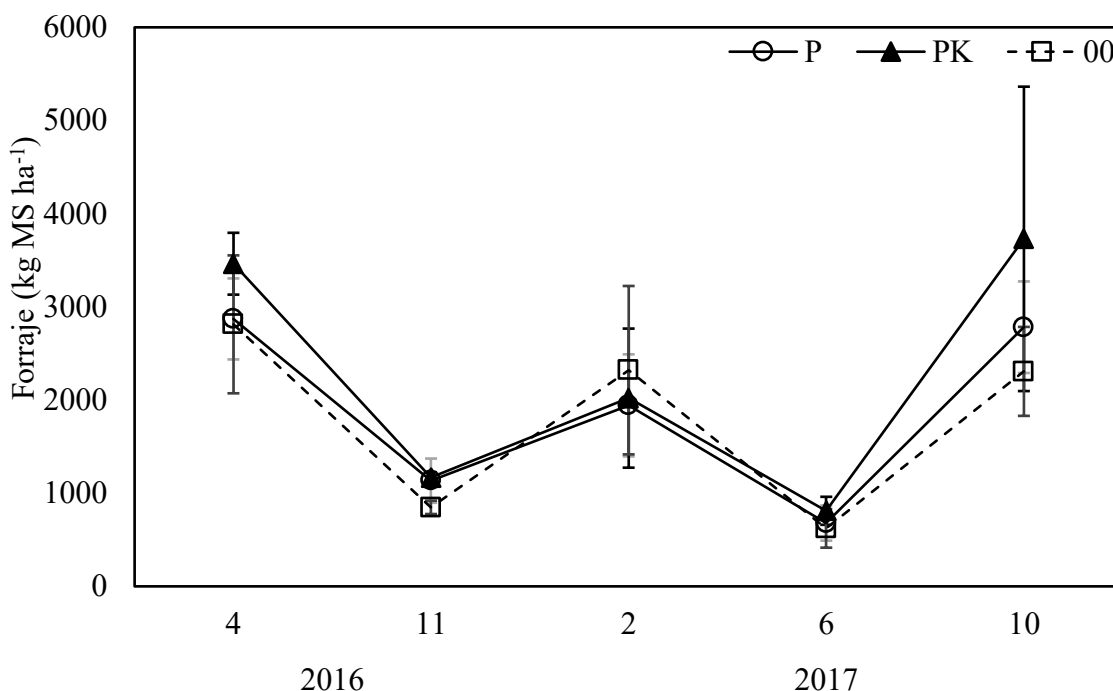


Figura 15. Producción de forraje por fecha de corte y tratamiento en EEFAS.

4.2.2.1. Distribución estacional de la producción en el Sitio 2

En el Sitio 2 se observó elevada producción otoñal, la cual puede deberse a que el muestreo realizado en dicha estación, fue el primer corte del experimento (corte 1), y

además este sitio, previo a la instalación del experimento, provenía de un largo lapso cerrado (sin ser pastoreado o cortado). Otro factor pudo ser la predominancia de especies estivales, las cuales encañan y semillan a fines de verano, generando acumulación de MS a comienzos de otoño, con gran proporción de restos secos. El promedio de producción otoñal fue de 3100 kg MS ha⁻¹, sin embargo la mayor performance de producción fue en aquellas parcelas con 240 kg K₂O ha⁻¹, con producciones de forraje de 3500 kg MS ha⁻¹.

En verano no hubo diferencias significativas en la producción entre los tratamientos. En dicha estación, los rendimientos obtenidos fueron de 1900 y 2000 kg MS ha⁻¹ en las parcelas fertilizadas en promedio, y de 2000 y 2100 en parcelas sin fertilizar con K (testigo con P y 00). Solo existió diferencia de producción comparando las parcelas con 240 kg K₂O ha⁻¹ frente al testigo sin K (80 kg MS ha⁻¹).

En promedio en todas las parcelas del Sitio 2 la producción de forraje invernal fue de 670 kg MS ha⁻¹. En una comparación del rendimiento promedio entre tratamientos, las parcelas con máxima dosis de fertilización (PK) registraron valores que superaron en 20% la producción frente al testigo sin fertilización potásica, y 30% por encima si se compara con la producción del tratamiento sin fertilización (T6, Figura 16).

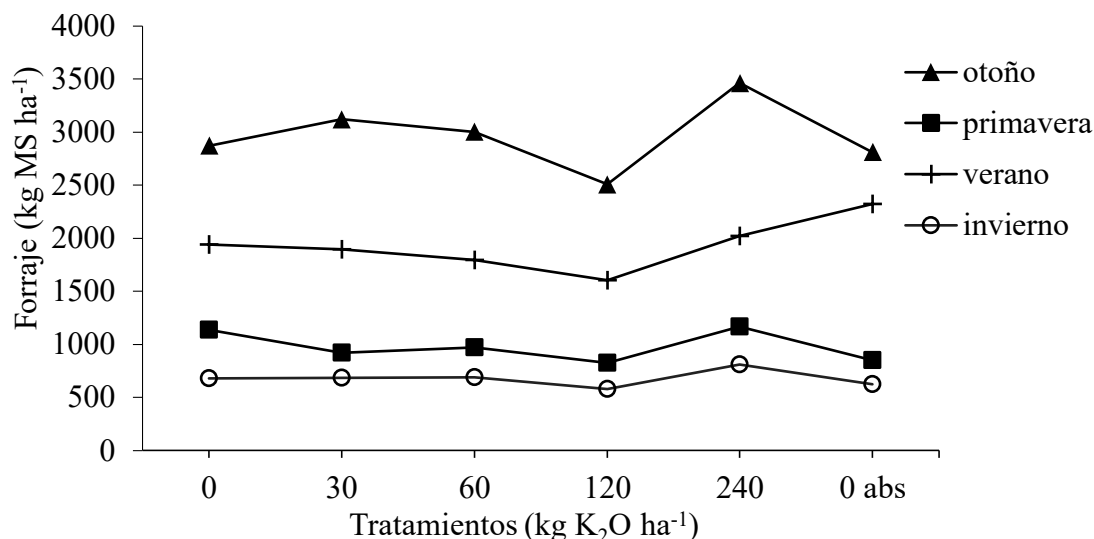


Figura 16. Producción promedio de forraje por estación según tratamiento en el Sitio 2.

El mayor rendimiento en el corte 4 fue el del tratamiento 5, puede deberse a que en estas parcelas las plantas aumentaron la relación raíz/parte aérea (medidas por observación), y generando en el tapiz, plantas de mayor persistencia y anclaje, logrando mayor exploración radicular.

En el corte 5 las parcelas con las máximas dosis de fertilización, 240 vs. 120 kg $K_2O\ ha^{-1}$, generaron diferencias ($P=0.11$), donde la superioridad fue de 1000 kg MS ha^{-1} , y de 1200 kg MS ha^{-1} frente al testigo sin K. Las parcelas PK en altas dosis, rindieron 44% por encima del resto de los tratamientos analizados.

Las producciones generadas en este sitio pueden haberse visto limitadas por la cantidad de N en suelo, debido a que la mayor proporción del tapiz es ocupada por gramíneas. Debido a ello se realizó una aplicación de urea en el invierno de 2017, lo cual podría también explicar la recuperación de la pastura en la segunda primavera analizada.

El comportamiento general, al aumentar el nivel de nutrientes en suelo, con fertilización de P, y K a altas dosis (además del N agregado en 2017), conlleva a la pastura a generar cambios botánicos, donde comienzan a favorecerse las especies de mayor respuesta al suministro de nutrientes, aquellas con mayor capacidad de exploración, que una vez que se eliminó la limitante nutricional, las mismas se vuelven competitivas y predominantes en el tapiz.

4.3. ABSORCIÓN DE NUTRIENTES

4.3.1. Cationes en planta

4.3.1.1. Concentración de K en planta

Los valores de concentración de K en planta en el Sitio 1 durante todo el período en estudio estuvieron en el rango de 1,8 a 2,4 % para leguminosas, y entre 1,5 y 2,3% para gramíneas; en el Sitio 2 el rango fue mayor, entre valores de 0,4% en invierno y 1,97% en primavera. Estos valores se encuentran dentro del rango de 1-4% de K de una pastura de alfalfa (*Medicago sativa*) citados por Leigh y Wyn-Jones (1984, Cuadro 7).

Aunque en todos los cortes del Sitio 1, en general, se observó una leve superioridad en la concentración de K en plantas de las parcelas con la mayor dosis de K (240 kg $K_2O\ ha^{-1}$), no hubo tendencias claras, ni en leguminosas ni en gramíneas.

La variabilidad observada entre cortes puede deberse a que se trata de una pastura mezcla en el Sitio 1, y de una pastura de campo restablecido de gran diversidad en el Sitio 2. En gramíneas principalmente, se observó una marcada tendencia al crecimiento estacional, generándose cambios de concentraciones de nutrientes en planta según el estado fenológico de dichas especies (Cuadro 8).

La concentración de K en gramíneas del Sitio 1 fue muy variable, aunque pudo observarse una tendencia al aumento en la concentración de este nutriente a partir de dosis iguales o mayores a 60 kg K₂O ha⁻¹. Las gramíneas pueden ser más eficientes en la utilización de K, debido a la mayor capacidad de exploración del suelo por parte de las raíces.

Cuadro 7. Concentración de K en leguminosas en el Sitio 1.

Trat. K ₂ O (kg ha ⁻¹)	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9
	K (%)								
00*	1,75a	1,64a	0,73c	1,74ab	1,65a	1,60a	1,30ab	0,89a	1,09a
0	1,62a	1,85a	0,76bc	1,55b	1,50a	1,41b	0,91ab	1,52a	1,55a
30	1,72a	1,86a	0,76ac	1,80ab	1,82a	1,89a	1,11ab	1,44a	1,67a
60	1,69a	2,01a	1,10a	1,78ab	1,26a	0,92b	1,23ab	1,37a	1,66a
120	1,93a	2,26a	0,95ab	1,72ab	1,39a	1,67a	1,62a	1,52a	1,45a
240	1,71a	2,23a	1,06a	2,16a	1,66a	1,75a	1,38ab	1,66a	1,59a

Valores en columnas seguidos por la misma letra no difieren significativamente a la P< 0,05.

*Excepto el tratamiento 00, los demás fueron fertilizados con 46 kg de P₂O₅ ha⁻¹.

Tratamientos (K₂O ha⁻¹): 0 (1), 30 (2), 60 (3), 120 (4), 240 (5), 00 (6).

Fecha de cortes: nov. 2015 (c1), dic. 2015 (c2), feb. 2016 (c3), jul. 2016 (c4), set. 2016 (c5), nov. 2016 (c6), feb. 2017 (c7), jun. 2017 (c8), oct. 2017 (c9).

Cuadro 8. Concentración de K en gramíneas en el Sitio 1.

Trat. K ₂ O (kg ha ⁻¹)	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9
	K (%)								
00*	1,01a	0,92ab	-----	-----	1,64a	1,16ab	1,30a	0,78a	1,83a
0	0,79a	-----	1,52a	-----	0,55ab	0,58ab	1,13a	0,66a	1,46a
30	0,97a	-----	0,33a	0,15ab	1,26ab	1,16ab	1,49a	1,07a	1,75a
60	1,53a	1,53a	0,82a	-----	0,49ab	0,70ab	1,44a	1,06a	2,27a
120	0,95a	0,96ab	0,64a	-----	-----	-----	1,46a	0,75a	1,41a
240	0,98a	-----	1,25a	1,16a	1,08ab	2,10a	1,56a	0,80a	2,10a

Valores en columnas seguidos por la misma letra no difieren significativamente a la P< 0,05.

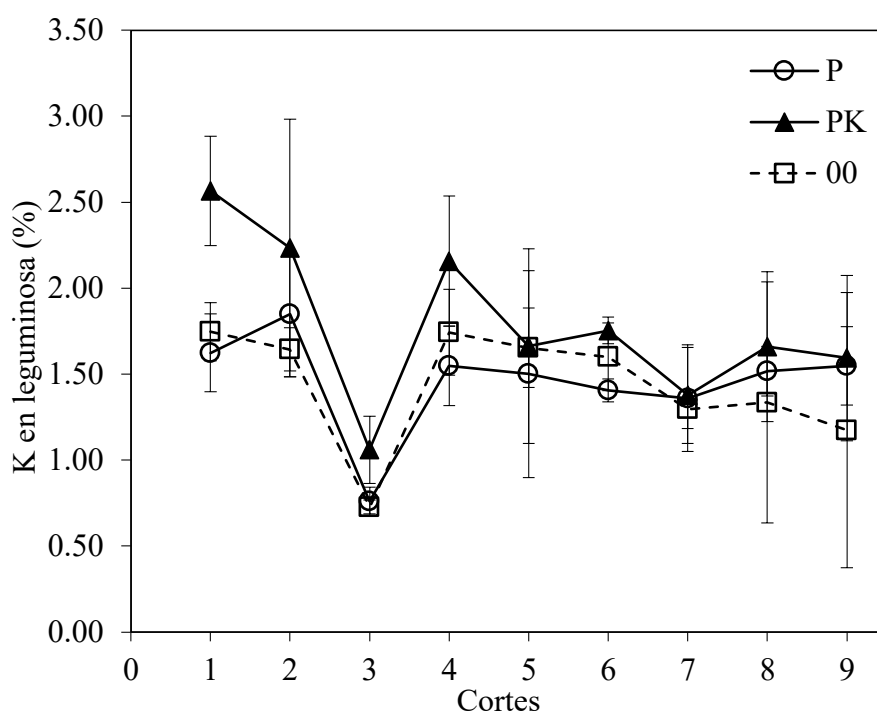
*Excepto el tratamiento 00, los demás fueron fertilizados con 46 kg de P₂O₅ ha⁻¹.

Tratamientos (K₂O ha⁻¹): 0 (1), 30 (2), 60 (3), 120 (4), 240 (5), 00 (6).

Fecha de cortes: nov. 2015 (c1), dic. 2015 (c2), feb. 2016 (c3), jul. 2016 (c4), set. 2016 (c5), nov. 2016 (c6), feb. 2017 (c7), jun. 2017 (c8), oct. 2017 (c9).

La Figura 17 muestra la concentración de K de la fracción leguminosa, en el Sitio 1 para los tres tratamientos contrastantes. En los cortes de primavera (cortes 1, 5, 6 y 9) se observaron los mayores valores de K en planta, aunque entre tratamientos se apreció

una leve superioridad en el tratamiento T5, donde en promedio el K en planta fue de 1,9%, mientras que en el T6 (00) fue de 1,6%, y en el tratamiento testigo (con P, sin K) fue de 1,5%. Estos valores fueron inferiores a los hallados por Mills y Jones, citados por Morón (2000); los autores analizaron una pastura de alfalfa (*Medicago sativa*), donde la muestra fue tomada de los primeros 15 cm de parte aérea, en estado vegetativo. En su trabajo, citan valores óptimos en el rango de 2,0 a 3,5% de K en planta. Posiblemente las leguminosas del Sitio 1 presenten menores requerimientos de K que la alfalfa. Las concentraciones de leguminosas (Sitio 1) fueron superiores a las encontradas por Barbazán et al. (2007) en *Lotus corniculatus* creciendo en suelos sobre Basalto, donde se registraron valores entre 0,20 a 0,95 % de K en planta.

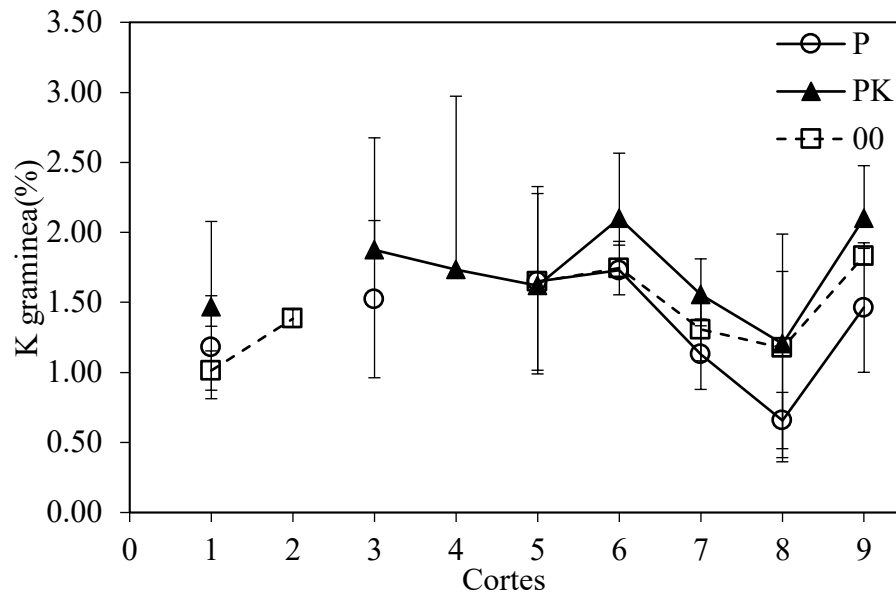


Fecha de cortes: nov. 2015 (c1), dic. 2015 (c2), feb. 2016 (c3), jul. 2016 (c4), set. 2016 (c5), nov. 2016 (c6), feb. 2017 (c7), jun. 2017 (c8), oct. 2017 (c9).

Figura 17. Concentración de K en leguminosas en el Sitio 1.

En la fracción gramínea en el Sitio 1, los valores se encuentran en concordancia a los rangos obtenidos por Berretta (1998). En su estudio, dicho autor encontró que las gramíneas en campo natural en la zona este del país (en base a muestras de varias especies en distintas estaciones del año), presentaron en promedio una concentración de 1% de K en planta, en suelos que presentaban de 0,32 - 0,40 cmol_c kg⁻¹ de K intercambiable.

En el Sitio 1, las gramíneas presentaron concentraciones en el rango de 1,3 a 2,3% de K en el T5 (PK), de 0,6 a 1,7 % en el T1 (P) y de 1 a 1,8% de K en el cero absoluto (Figura 18).



Fecha de cortes: nov. 2015 (c1), dic. 2015 (c2), feb. 2016 (c3), jul. 2016 (c4), set. 2016 (c5), nov. 2016 (c6), feb. 2017 (c7), jun. 2017 (c8), oct. 2017 (c9).

Figura 18. Concentración de K en gramíneas en el Sitio 1.

Las monocotiledóneas (gramíneas), tienen a nivel de las paredes celulares de las raíces, menor capacidad de intercambio catiónico (CIC) que las dicotiledóneas (Marschner, 1995). Este factor es favorable a la absorción de K, ya que a menor concentración de cationes cercana a las raíces, habrá menor competencia entre ellos, y la atracción de K que ejerce a este órgano será mayor. En cambio, en tréboles por ejemplo, la CIC de la raíz es mayor, y, por lo tanto, ejercen mayor atracción sobre cationes de mayor carga que sobre cationes monovalentes. Como resultado, estas especies presentan menor asimilación de K (Hernández, 1992).

En gramíneas del Sitio 1, hubo un aumento en la concentración de K a lo largo del experimento, pudiendo observarse que en los cortes realizados en invierno (corte 4 y 8), la concentración de K en planta estuvo por encima de los valores encontrados en las leguminosas. Los valores de K en esta estación, estuvieron en el rango de 1,5 y 2,6%, registrando valores máximos en el tratamiento con la mayor dosis de K (T5), de 2,5 a 2,6%. Este aumento de la concentración, puede deberse a que en invierno, disminuye el crecimiento del vegetal, generando proporcionalmente mayor concentración de nutrientes en relación a la materia seca. Además, se elimina el material de forraje seco que provenía

del crecimiento estival, permaneciendo en el tapiz solamente tejido joven (Carámbula, 1977).

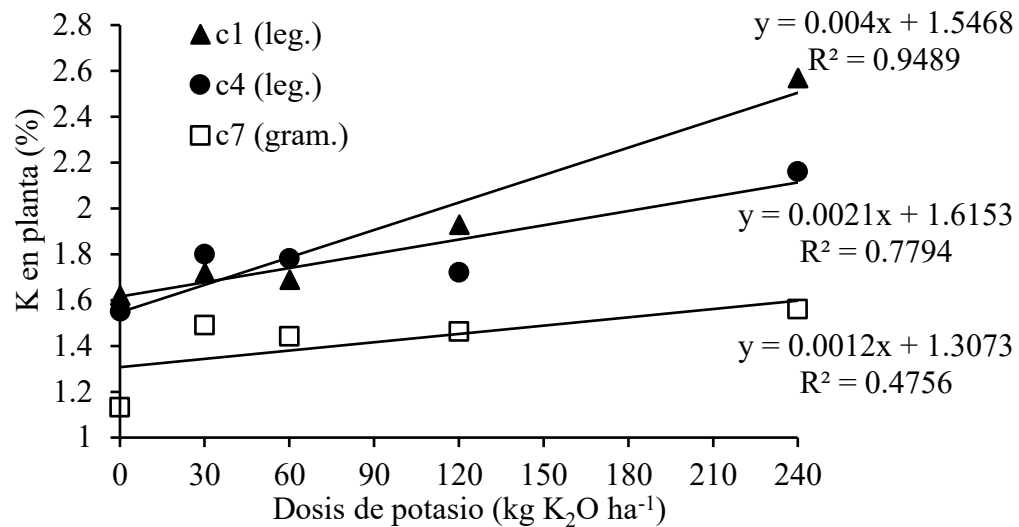
A diferencia de lo sucedido en el período invernal, los valores de K en planta de gramíneas registrados en verano, fueron los más bajos en comparación al resto de los cortes, lo que puede deberse a que la mayoría de las especies del tapiz se encuentran en etapa reproductiva (Carámbula, 2002b), generándose un aumento de la cantidad de MS en esta estación, donde puede ocasionarse un efecto de dilución de nutrientes (Barbazán, 1998).

Para los cortes donde se observaron diferencias significativas entre tratamientos en concentración de K en planta, se estudió la respuesta a K con agregado de P, las cuales se describen a continuación.

En el corte 1, en leguminosas, la respuesta a la fertilización presentó un comportamiento lineal con un R^2 de 0,95, registrando concentraciones de 2,57% de K para las parcelas fertilizadas con $240 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ frente a concentraciones de 1,62% en el testigo. En este corte se observó un efecto significativo ($P > 0,10$) del tratamiento con K, siendo de 33% la diferencia en concentración de K entre el T5 vs. el T4 ($240 \text{ vs. } 120 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$), y de 59% mayor comparando la concentración en el T5 frente al testigo sin K (Figura 19).

En el corte 4 (realizado en invierno), las leguminosas presentaron una alta concentración de K, en comparación a los valores presentados por Berretta (1998) en algunas leguminosas perennes del país (1,2% de K en promedio). La respuesta a K fue lineal en este corte, donde la fertilización máxima ($240 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$) presentó valores de 2,16% de K frente a 1,55% de K del testigo.

En gramíneas analizadas en verano de 2017 (corte 7), la respuesta fue de tendencia levemente lineal ajustando el K al agregado de fertilizantes, donde todos los tratamientos con K obtuvieron concentraciones de K en planta superiores al testigo sin agregado de K (1,56 vs. 1,13% respectivamente). Berretta (1998) encontró valores entre 1,0 y 1,2% de K en gramíneas de campo natural.



Corte 1 de leguminosas (nov. 2015, **c1**), corte 4 de leg. (jul. 2016, **c4**), corte 7 gramíneas (feb. 2017, **c7**).

Figura 19. Concentración de K en leguminosas y gramínea en el Sitio 1.

En el Sitio 2 se observó una tendencia al aumento de concentración potásica en planta en función del agregado de K (Cuadro 9). Los resultados de K en planta en el campo restablecido, fueron similares a los encontrados en diferentes especies de campo natural por Berretta (1998), tomando en cuenta los valores de K de la estación primaveral citados por este autor (1% en promedio).

Cuadro 9. Concentración de K en planta según fechas de cortes en el Sitio 2.

Trat. K ₂ O (kg ha ⁻¹)	c1	c2	c3	c4	c5
----- K en planta (%) -----					
00	0,75a	1,28a	0,78a	0,68a	1,28c
0	0,73a	1,27a	0,96a	0,40b	1,39bc
30	0,64a	1,23a	0,84a	0,46b	1,49bc
60	0,66a	1,31a	0,97a	0,48b	1,57abc
120	0,78a	1,38a	0,91a	0,54ab	1,78ab
240	0,81a	1,49a	1,14a	0,51ab	1,97a

Valores en columnas seguidos por la misma letra no difieren significativamente a la $P < 0,05$. Fecha de cortes: abr. 2016 (**c1**), nov. 2016 (**c2**), feb. 2017 (**c3**), jun. 2017 (**c4**), oct. 2017 (**c5**).

En el corte 1, las concentraciones de K fueron en promedio de 0,73%, muy bajas en comparación a los cortes de primavera (corte 2 y 5), probablemente debido a un menor crecimiento de la pastura durante condiciones climáticas desfavorables para el campo natural, así como al descenso del proceso de difusión de K en el suelo durante períodos de temperaturas bajas. Por el contrario, en la primavera (corte 2 y 5) las concentraciones de K fueron superiores al resto de las estaciones, existiendo en este período condiciones climáticas favorables para la exploración radicular y un aumento en el rendimiento de la pastura. Además en esta estación hubo adecuada reserva hídrica en el suelo. Esta característica genera ventajas en la absorción de K en las plantas debido a que se favorece el proceso de difusión.

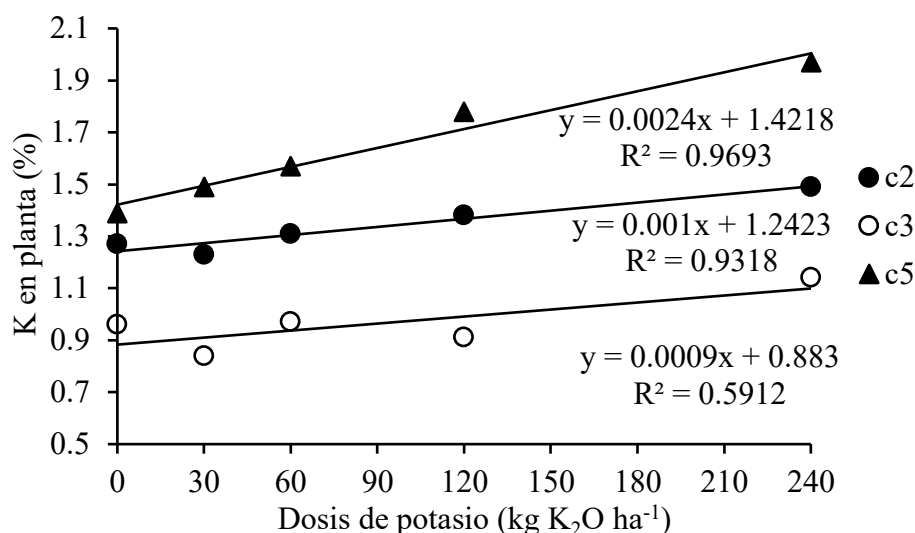
En el corte 2, realizado en la primavera de 2016, la concentración de K en planta presentó una relación lineal y positiva (R^2 de 0.93) en función de la dosis de K agregada. Las parcelas con 30 kg K_2O ha^{-1} no presentaron diferencias en concentración en comparación al testigo.

En el período estival (corte 3) la concentración potásica en el tratamiento con la dosis máxima de K, fue de 1,14% superior al promedio del resto de los tratamientos (0,89 % de K).

En la segunda primavera (corte 5), las concentraciones de K en planta fueron de 1,6% K en promedio de todos los tratamientos. A excepción del corte 4 realizado en invierno, la concentración de K en planta de las parcelas fertilizadas con K siempre estuvo por encima de las parcelas del testigo y del cero absoluto, llegando en primavera a valores de 1,97% en el T5, seguido por aquellas parcelas con 120 kg K_2O ha^{-1} (T4), vs. 1,39% del testigo, y 1,28% registradas en el cero absoluto (Figura 20).

En el corte 5, la respuesta a K también fue lineal, con un elevado R^2 de 0,97, observándose en la dosis de 240 kg K_2O ha^{-1} una concentración de K en planta 42% superior a la del testigo.

La concentración de K en promedio de todos los cortes (en los tratamientos contrastantes) no se diferenciaron estadísticamente (T1, T5 y T6 fue 1,25, 0,95 y 0,94 %, respectivamente). Aunque, se apreció que en el T5 la concentración de K en planta fue levemente mayor al resto.



Corte 2 (no. 2016, **c2**), corte 3 (feb. 2017, **c3**), corte 5 (oct.2017, **c5**).

Figura 20. Concentración de K en planta en cortes del Sitio 2.

4.3.1.2. Absorción de cationes (Ca, Mg, y Na) en planta

En ambos sitios se analizó la concentración de cationes en planta en los diferentes cortes realizados. El Ca y Mg son requeridos en altas cantidades por los vegetales, a pesar de que comúnmente son clasificados como nutrientes secundarios, debido a que son menos limitantes que N, P y K en los rendimientos. El Na no se considera un nutriente esencial, además el mismo puede provocar ciertos problemas si se encuentra en exceso, aunque se han registrado en especies natrofilicas que el Na puede sustituir al K en algunas funciones relacionadas a la turgencia en células vegetales (Marschner, 1995).

La concentración de minerales en planta analizadas, fueron similares a las registradas por Berretta (1998). No se hallaron diferencias significativas entre tratamientos.

El Ca fue el catión de mayor concentración frente al resto (Mg y Na). Además puede apreciarse que las leguminosas contienen mayor concentración de estos nutrientes en el forraje, sobre todo en el período primaveral. En el Sitio 2 estos comportamientos estacionales no presentaron diferencias en las distintas épocas (Figura 21).

En el Sitio 1, a diferencia de lo concluido por Berretta (1998) y lo citado por Ungerfeld (1998) en base a diferentes revisiones bibliográficas, los autores no encontraron diferencias entre las distintas épocas de corte. El Ca en planta en el período estival (corte

2, 3 y 6 en leguminosas, y corte 5 en gramíneas) fue mayor al resto de los cortes realizados, siendo similar a lo analizado en pasturas naturales sobre Basalto por Invernizzi y Silveira (1992). El Mg en planta también fue mayor en verano (corte 2, 3 y 7).

Las diferencias en la tendencia de concentración estacional a lo citado por Ungerfeld (1998), pueden deberse a la producción y época de madurez de la pastura sembrada, siendo inversa a la concentración de minerales.

Ungerfeld (1998) cita una media de Ca de 0,43% en base a resultados de 526 muestras de recopilaciones uruguayas de pasturas naturales, en base a este dato de bibliografía, el Sitio 2 se encuentra por debajo de este promedio, y el Sitio 1 registra valores superiores a la media (cabe señalar que no se puede comparar con severidad en base a los datos de literatura ya que estos pueden haber sido muestreados de diferente forma, y analizados con técnicas distintas).

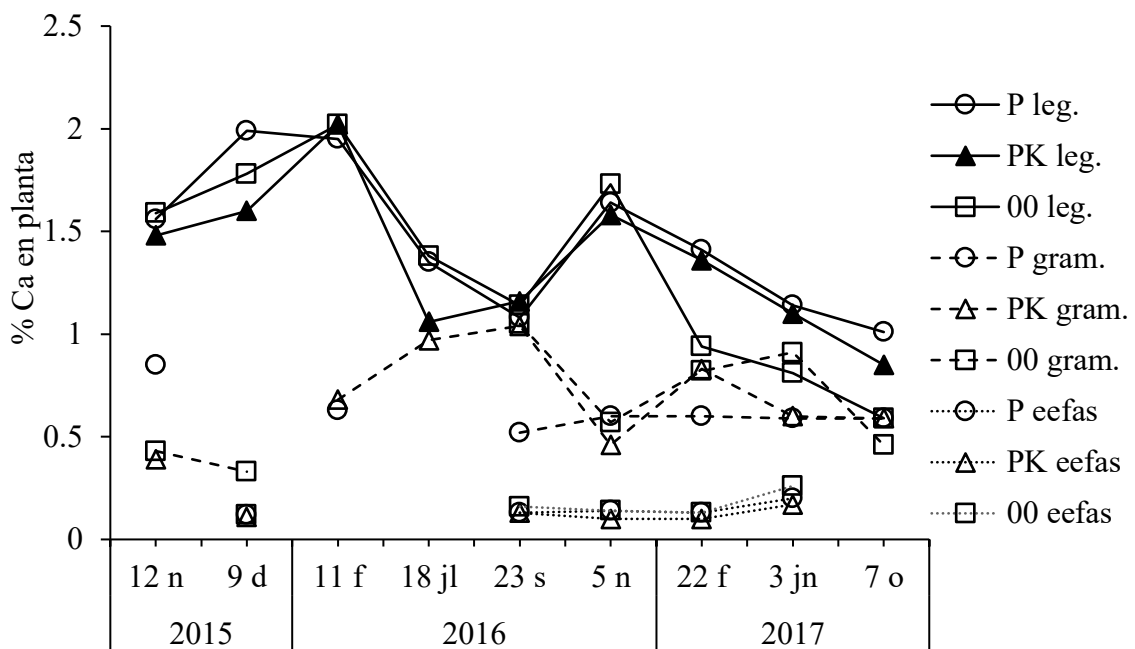


Figura 21. Concentración de Ca en planta en ambos sitios.

Según Ungerfeld (1998) el contenido de Mg en promedio en el Uruguay oscila en 0,17%; en el Sitio 1, en gramíneas se hallaron valores similares, pero en leguminosas (Sitio 1) y gramíneas del Sitio 2, los valores fueron superiores a los citados por el autor (Figura 22).

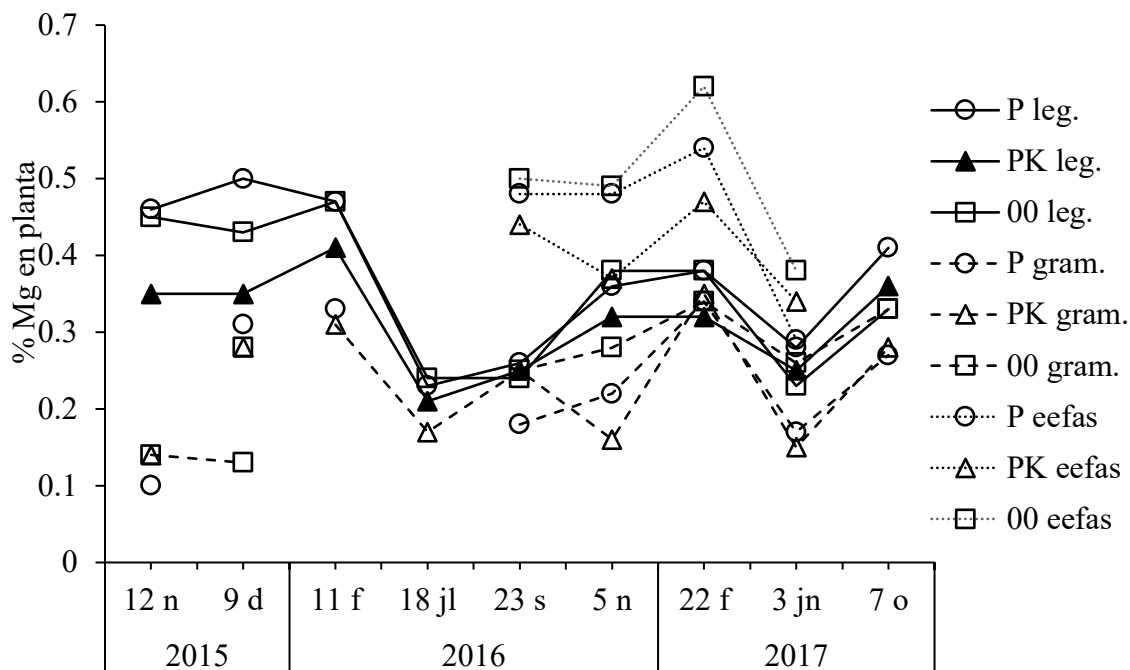
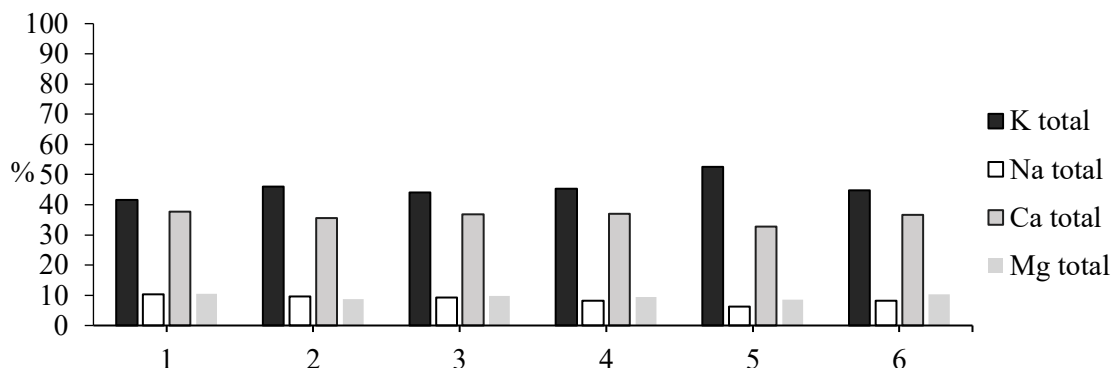


Figura 22. Concentración de Mg en planta en ambos sitios.

En Na es un nutriente no esencial. Las revisiones bibliográficas de Na en pasturas son escasas. Se conoce que este nutriente será de mayor importancia en plantas clasificadas como natrófilas (mayor afinidad al Na, como *Lolium spp*, *Trifolium repens*, *Lotus spp*, entre otras), y natrófobas (transportan nula cantidad de Na a las hojas, como *Festuca arundinacea*, *Medicago sativa*, *Trifolium pratense*, etc., Ungerfeld, 1998). El Na en leguminosas estuvo en el rango de 0,24 a 0,43% (PK), en gramíneas entre 0,04 y 1,56% (Sitio 1), y entre 0,07 a 0,16% en gramíneas del Sitio 2 (Anexo 11).

4.3.1.3. Relación de K con otros cationes en planta (Ca, Mg y Na).

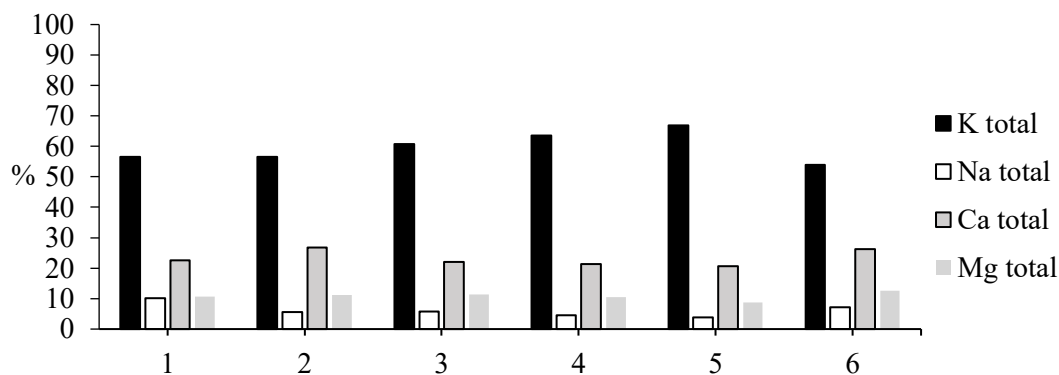
El K fue el catión más absorbido, como era de esperar. En promedio la absorción de K representó el 50% de la absorción total de bases (Ca, Mg, K y Na), tanto en leguminosas como en gramíneas, seguido de Ca, Mg y Na. Estas dos últimas se absorbieron en cantidades promedio similares (leguminosas + gramíneas, Figura 23).



Tratamientos ($K_2O\ ha^{-1}$): 0 (1), 30 (2), 60 (3), 120 (4), 240 (5), 00 (6).

Figura 23. Proporción de bases (Ca, Mg, K, y Na) absorbidas en promedio (leguminosas + gramíneas) en el Sitio 1 según tratamientos.

También en el Sitio 2, la absorción predominante entre cationes fue la de K, siendo mayor en el T5 (PK), que recibieron la máxima dosis de fertilización potásica (Figura 24).



Fecha de cortes: abr. 2016 (c1), nov. 2016 (c2), feb. 2017 (c3), jun. 2017 (c4), oct. 2017 (c5).

Figura 24. Proporción de absorción de bases (Mg, Ca, K, y Na) en el Sitio 2.

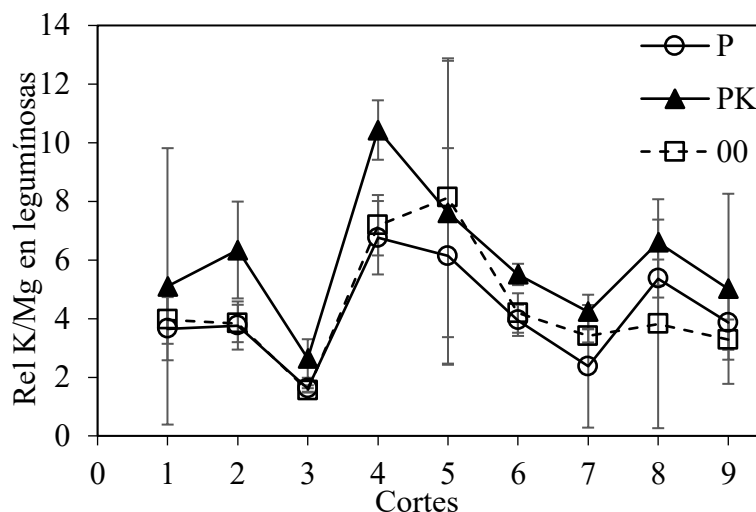
En sistemas ganaderos, sobre todo en los más intensivos (por ejemplo, en sistemas lecheros) la pastura implantada es la principal base forrajera, siendo menor la dependencia de alimentos concentrados. Por lo tanto, los contenidos de Mg y K de la pastura pasan a ocupar gran importancia en la dieta del animal (Moseley y Baker, citados por Balocchi et al., 2000).

Se conoce que la absorción de los cationes K y Mg está negativamente correlacionada (Marschner, 1995). Ambos cationes compiten en su absorción a nivel radicular; el Mg se absorbe como Mg^{+2} de forma pasiva por parte de las raíces, mediante

los mecanismos de difusión y flujo de masas, similar al K (Tisdale et al., 1993). A nivel radicular, existen canales en las células vegetales llamados canales de cationes no selectivos que proporcionan permeabilidad selectiva a los cationes sobre los aniones, pero con un cierto grado de discriminación, siendo poco selectivos entre los cationes monovalentes y bivalentes, mientras que otros pueden ser más permeables a los monovalentes (por ejemplo K^+ o Na^+ , frente a Mg^{+2} o Ca^{+2} , Marschner, 1995).

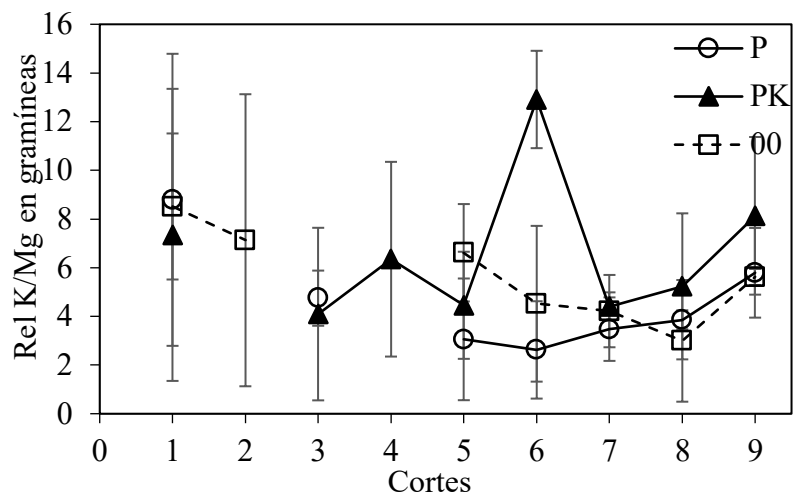
La baja concentración de Mg en pasturas es la principal determinante de problemas en animales, provocando hipomagnesemia (Sykes y Wittwer, citados por Balocchi et al., 2000). Esta deficiencia de Mg en el forraje produce problemas de trastorno electrolítico a nivel de músculo, el cual se debe a que presenta en sangre un bajo nivel de Mg. Este problema puede ocurrir cuando el Mg en el suelo está en proporciones muy bajas o cuando la disponibilidad de K es muy elevada en relación a la de Mg, ya sea por causas naturales o inducidas (por ejemplo, por aplicación de altas dosis de K). Vázquez (2007) indica que en el suelo la relación óptima entre K/Mg intercambiables debería ser de 0,2 a 0,3.

Dentro de la planta, la relación de las concentraciones K/Mg aumentó en función de la dosis de K agregado, como era de esperar. Para leguminosas (Figura 25) dicho comportamiento fue mayor que para gramíneas (Figura 26).



Fecha de cortes: nov. 2015 (c1), dic. 2015 (c2), feb. 2016 (c3), jul. 2016 (c4), set. 2016 (c5), nov. 2016 (c6), feb. 2017 (c7), jun. 2017 (c8), oct. 2017 (c9).

Figura 25. Relación K/Mg en plantas de leguminosas según fecha de corte en el Sitio 1.



Fecha de cortes: nov. 2015 (c1), dic. 2015 (c2), feb. 2016 (c3), jul. 2016 (c4), set. 2016 (c5), nov. 2016 (c6), feb. 2017 (c7), jun. 2017 (c8), oct. 2017 (c9).

Figura 26. Relación K/Mg en plantas de gramíneas según fecha de corte en el Sitio 1.

En general, la relación promedio de K/Mg fue mayor en gramíneas en comparación a leguminosas (5,68 y 4,83 respectivamente), lo que puede deberse a la mayor eficiencia de gramíneas en la absorción de K, y a que las leguminosas contienen mayor concentración de Mg frente a las gramíneas (Rabuffeti, 2017). Con los datos generados por Berretta (1998) para suelos desarrollados sobre Basalto de la zona Este y teniendo como referencia el contenido de nutrientes en la estación de primavera, en suelos profundos, en base a un tamaño de 15 muestras (especies) de pasturas naturales (invernales y estivales, en su mayoría gramíneas), se obtuvieron valores de relación K/Mg de 8,6 en promedio, con un desvío estándar de 3,3. La relación K/Mg en leguminosas en el Sitio 1 se encuentran por debajo del promedio de los registros adaptados de Berretta (1998).

La relación K/Mg en planta aumentó también en forma lineal y positiva al aumentar el nivel de K intercambiable. Es decir, a medida que mejoró la disponibilidad de K (por efecto de la fertilización potásica), aumentó la concentración de K en planta en relación a la de Mg. En el Sitio 1, los ajustes (R^2) de la relación K/Mg en plantas en función del K intercambiable fue similar en leguminosas (0,78, Figura 27) y en gramíneas (0,75, Figura 28).

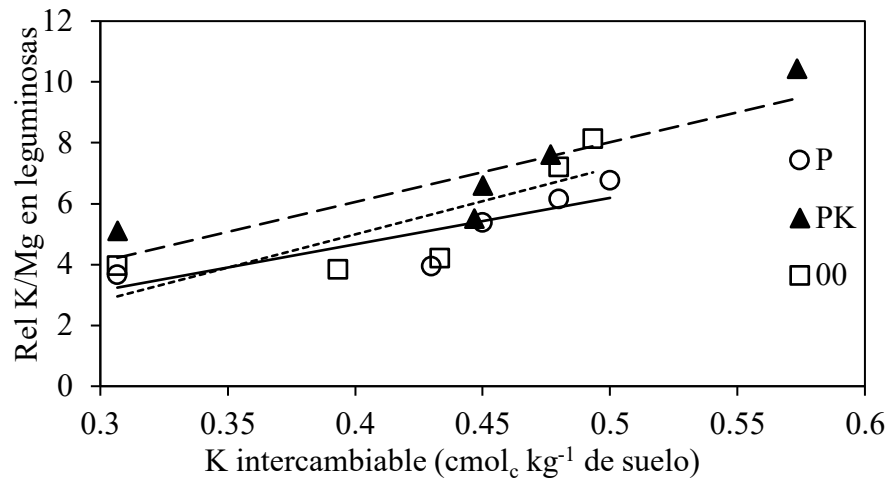


Figura 27. Relación K/Mg en leguminosas según el K intercambiable en el Sitio 1.

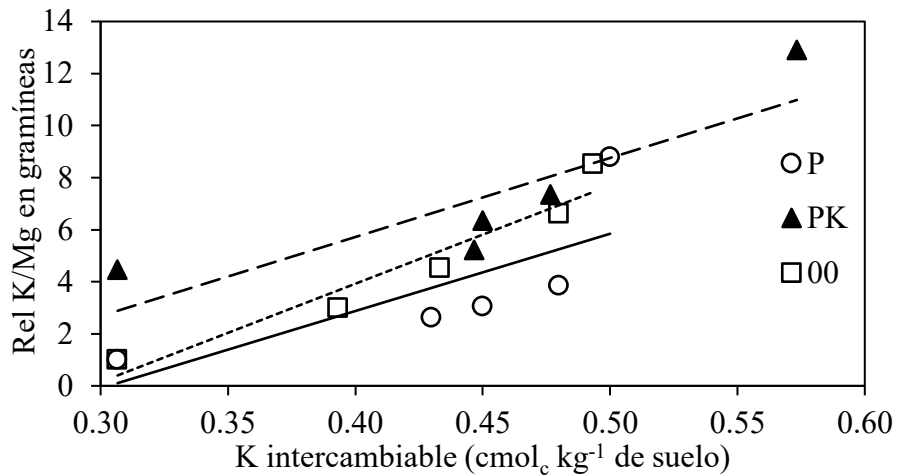
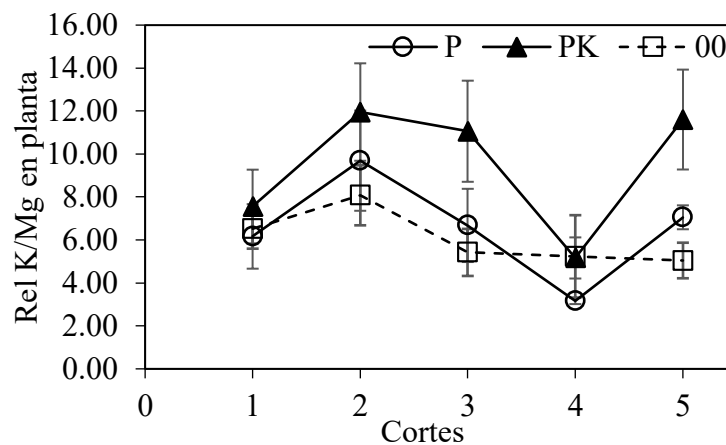


Figura 28. Relación K/Mg en gramíneas según el K intercambiable en el Sitio 1.

En el Sitio 2, con el agregado de K aumentó la relación K/Mg en planta, al igual que en el Sitio 1. Comparando con los valores encontrados por Berretta (1998) para una pastura de similares características que las del Sitio 2, los registros fueron menores a los hallados por el autor. En este sitio el promedio de la relación K/Mg fue de 7,8. Dicho valor es mayor si solamente se tiene en cuenta la relación K/Mg del tratamiento con la máxima dosis de fertilización con K, la cual fue de 9,5 en promedio (Figura 29).



Fecha de cortes: abr. 2016 (c1), nov. 2016 (c2), feb. 2017 (c3), jun. 2017 (c4), oct. 2017 (c5).

Figura 29. Relación K/Mg del forraje en los diferentes cortes en el Sitio 2.

Al igual que en el Sitio 1, también se observó en el Sitio 2 una tendencia al aumento de la relación K/Mg en planta con el incremento del K intercambiable (Figura 30).

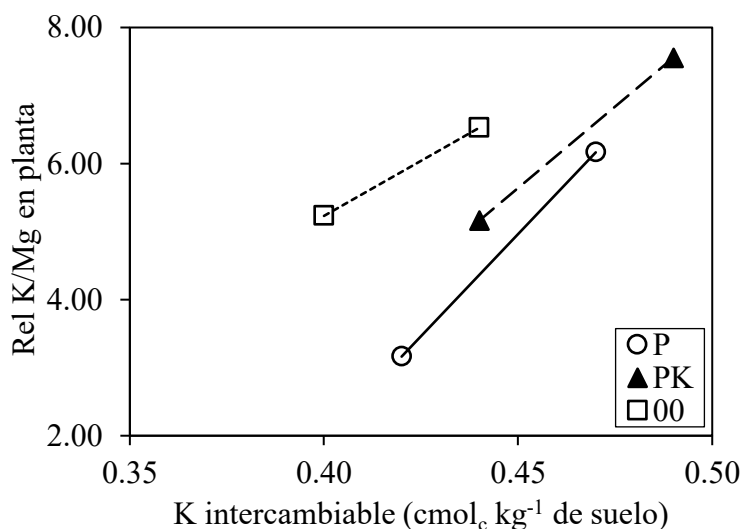
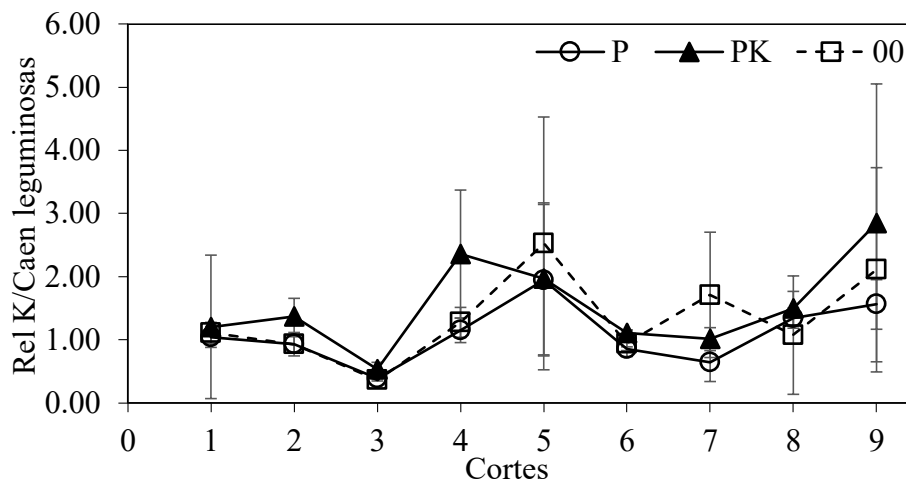


Figura 30. Relación K/Mg en gramíneas según el K intercambiable en el Sitio 2.

Además de la relación con Mg, es relevante también conocer las relaciones de K con otros nutrientes, como el Ca, ya que se conoce que la absorción también presenta interacciones negativas (García, 2011), aunque tampoco se cuenta con información de una óptima relación en planta.

En general, la concentración de Ca en las plantas oscila entre 0,2 y 1,0% (García, 2011). Por otro lado, los suelos del país presentan contenidos relativamente altos de Ca (70-80% de las bases totales corresponden a este nutriente), por lo cual es común que las necesidades sean cubiertas por la disponibilidad de Ca en el suelo. La problemática de un contenido elevado de Ca en suelo, es que el mismo compite con el K y el Mg en la solución del suelo (Marschner, 1995).

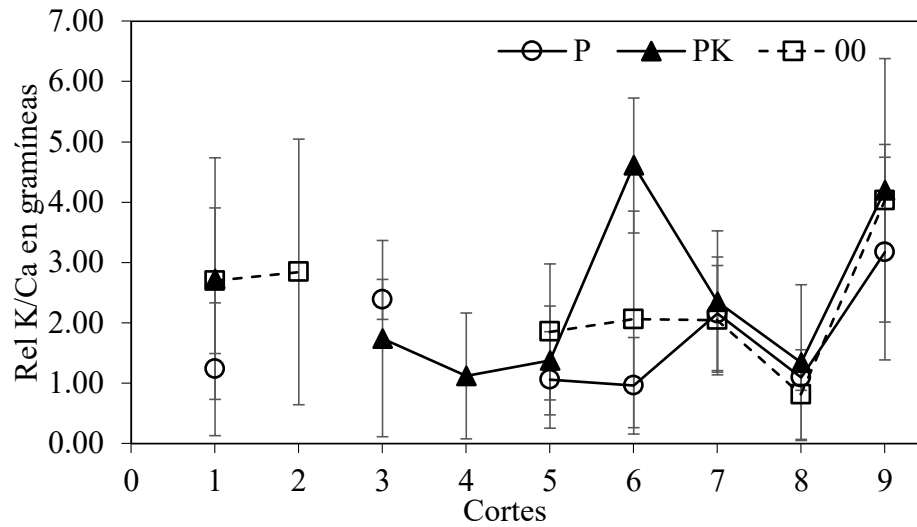
En el Sitio 1 se observó que la relación K/Ca en planta fue en promedio entre 1,3 y 1,8 en leguminosas (Figura 31) y gramíneas (Figura 32), respectivamente, aunque con una gran variación, siendo dicha relación mayor en las parcelas fertilizadas con 240 kg K₂O ha⁻¹ (1,5 y 2,4, leguminosa y gramínea, respectivamente).



Fecha de cortes: nov. 2015 (c1), dic. 2015 (c2), feb. 2016 (c3), jul. 2016 (c4), set. 2016 (c5), nov. 2016 (c6), feb. 2017 (c7), jun. 2017 (c8), oct. 2017 (c9).

Figura 31. Relación K/Ca en leguminosas según fecha de corte en el Sitio 1.

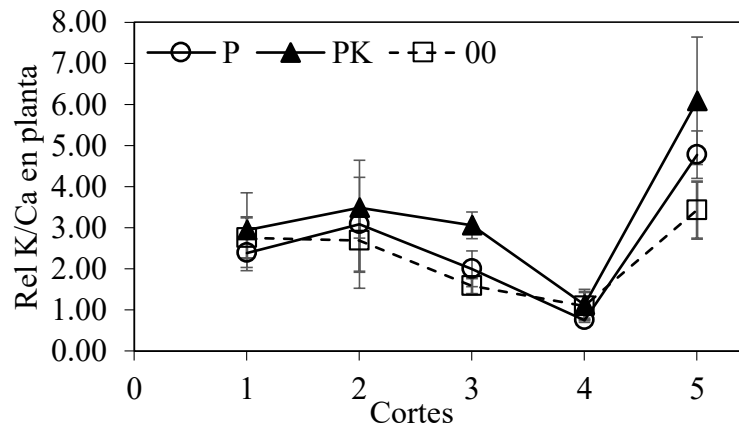
Al igual que para la relación K/Mg, las relaciones K/Ca en gramíneas fueron mayores que en leguminosas. Comparando con los registros adaptados de Berretta (1998), se observó que en el Sitio 1 las relaciones K/Ca en plantas de gramíneas fueron menores a las analizadas por el autor, siendo éstas de 3,1 en promedio en todos los cortes.



Fecha de cortes: nov. 2015 (c1), dic. 2015 (c2), feb. 2016 (c3), jul. 2016 (c4), set. 2016 (c5), nov. 2016 (c6), feb. 2017 (c7), jun. 2017 (c8), oct. 2017 (c9).

Figura 32. Relación K/Ca en gramíneas según fecha de corte en el Sitio 1.

En la Figura 33 se aprecia la relación de K/Ca analizada para el Sitio 2 en los diferentes cortes, siendo siempre superior esta relación en las parcelas fertilizadas con K frente al resto sin fertilizar.



Fecha de cortes: abr. 2016 (c1), nov. 2016 (c2), feb. 2017 (c3), jun. 2017 (c4), oct. 2017 (c5).

Figura 33. Relación K/Ca en planta en los diferentes cortes realizados en el Sitio 2.

En el Sitio 2 en las parcelas fertilizadas con K, la relación K/Ca fue mayor a aquellas parcelas sin agregado de fertilizante potásico. En relación a lo adaptado de

Berretta (1998), en este sitio, se obtuvieron datos menores a los citados por el autor, quien cita relaciones de 4,95; mientras en el Sitio 2 el promedio de la relación K/Ca fue de 2,8.

Como se describió en los párrafos anteriores, la concentración de cationes en plantas es dependiente de la presencia de otros nutrientes tanto en planta como en suelo. Según Morón (2000) el nivel de K intercambiable en el suelo es un buen indicador de la capacidad de suministro del mismo en relación a la concentración de K en planta.

Se realizó entonces la comparación entre la concentración de K en planta en función de la relación K/ (Ca+Mg) en suelo, teniendo en cuenta todos los datos promedios del período analizado de la concentración en planta frente los valores de K sobre el contenido de Mg y Ca en suelo.

Se observó una tendencia a aumentar el contenido de K en el forraje a medida que a relación K/ (Ca+Mg) en suelo era mayor. Tanto en leguminosas (Figura 34) como en gramíneas (Figura 35) se observó que la absorción de K se relacionó en forma positiva con el aumento de esta relación en suelo.

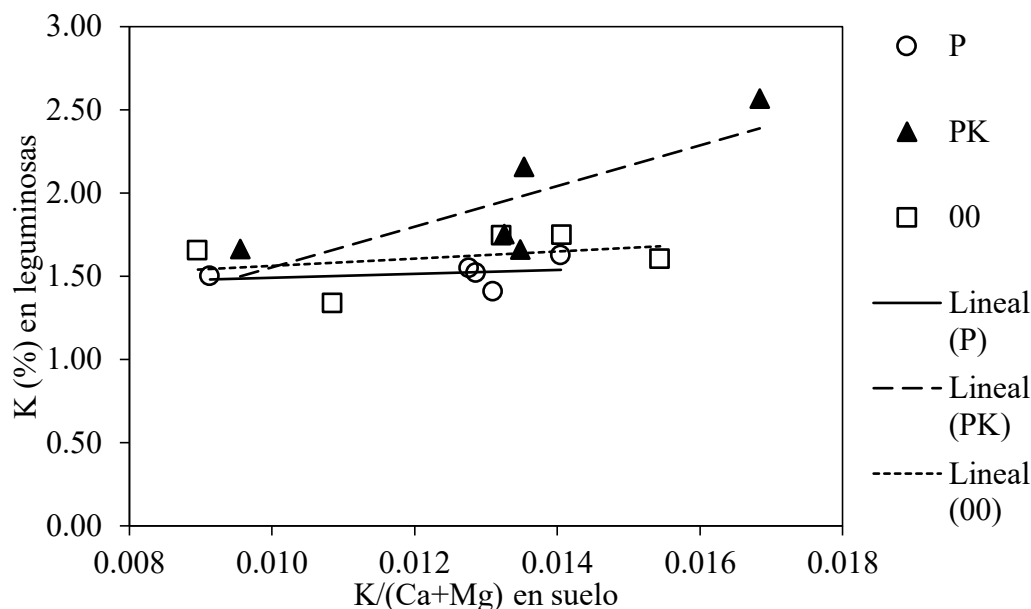


Figura 34. Relación entre la concentración de K en plantas de leguminosas y la relación K / (Ca + Mg) en el suelo.

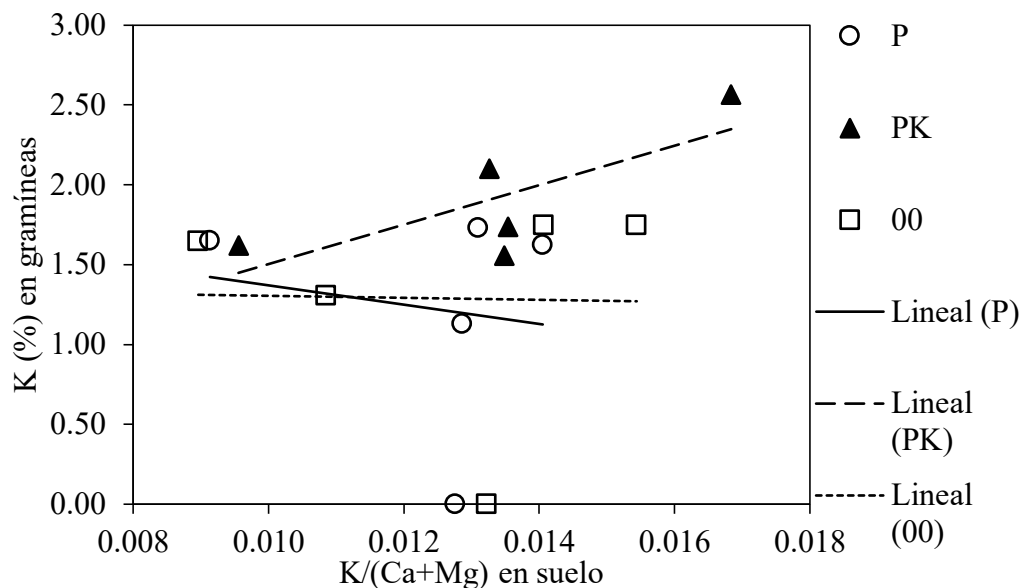


Figura 35. Relación entre la concentración de K en plantas de gramíneas y la relación $K / (Ca + Mg)$ en el suelo.

4.3.1.4. Requerimientos de K en el forraje

Los requerimientos de K para producir una tonelada de MS en el primer año se compararon con datos encontrados por otros autores. Se tomó como referencia la cantidad de K requerida en alfalfa, correspondiente a 21 kg de K por tonelada de MS (Ciampitti y García, 2009), tomado como 100% (Figura 36).

En leguminosas el valor máximo obtenido fue de 19,3 kg de K por tonelada de MS y correspondió al T5, seguido por el T2 y T4 (18 y 17,8 kg de K por tonelada, respectivamente), y fueron cercanos a lo citado por Ciampitti y García (2009).

En leguminosas la concentración de K en forraje no mostró una tendencia positiva a mayor agregado de K. Esto puede ser explicado por la ocurrencia de consumo de lujo en planta, donde el agregado de nutriente produce un incremento en la concentración del nutriente sin lograr aumentar la producción en rendimiento de MS.

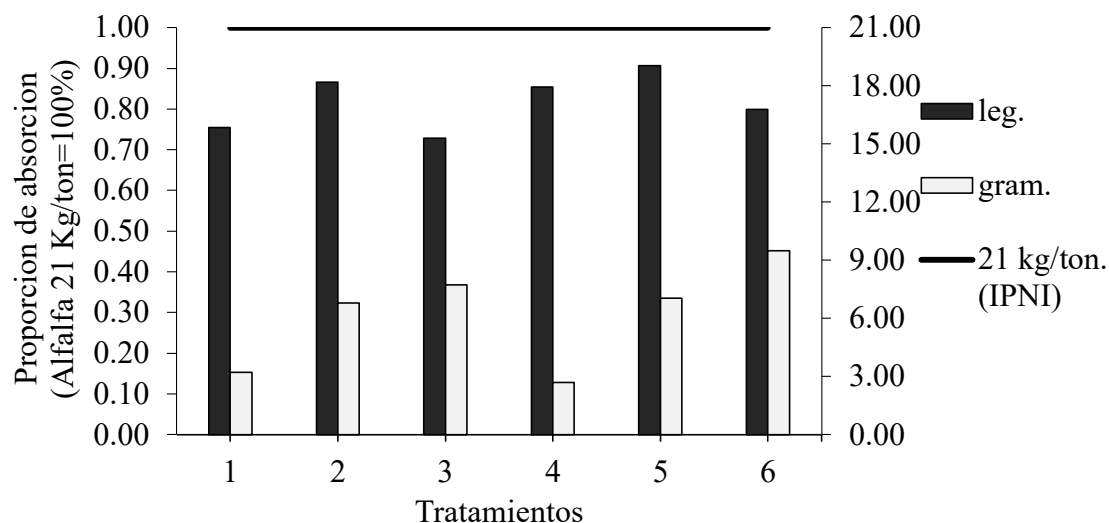


Figura 36. Cantidad de K por tonelada de forraje según tratamientos en el Sitio 1 para el primer año.

La relación entre la absorción de K por tonelada de MS en función del K agregado tendió a ser mayor en leguminosas en comparación a gramíneas (R^2 de 0,77 frente a R^2 de 0,025, respectivamente, Figura 37).

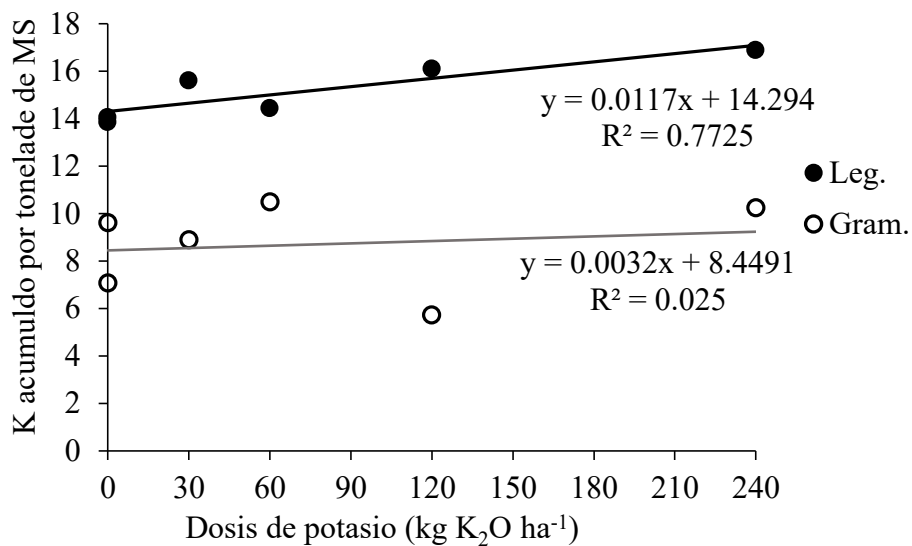


Figura 37. Relación entre la acumulación de K por tonelada de materia seca, según dosis de fertilización de K_2O ha $^{-1}$ en leguminosas y gramíneas en el Sitio 1.

En leguminosas (Sitio 1) el tratamiento PK presentó una absorción de un rango de 38 a 46 kg K ha⁻¹ dependiendo de la fecha de muestreo analizada, seguido por el T4 (120 K₂O ha⁻¹) y por el T2 (30 kg K₂O ha⁻¹). Las parcelas del cero absoluto, fueron las que registraron menor absorción de K ha⁻¹, siendo en promedio de aproximadamente 30 kg K ha⁻¹.

En base a los datos obtenidos, se realizó un balance bruto, teniendo en cuenta el tratamiento donde se produjo la máxima absorción (T5, PK). En dicho tratamiento, la dosis agregada fue de 240 kg K₂O ha⁻¹, de dicha dosis, las leguminosas absorbieron el 20% aproximadamente (teniendo en cuenta el K absorbido total en planta, transformado en K₂O).

En el Sitio 2, el tratamiento con mayor dosis de fertilización potásica (PK, 240 kg K₂O ha⁻¹) representa la máxima concentración de K por Mg de MS del vegetal, siendo 25% mayor al testigo sin K y al cero absoluto (Figura 38).

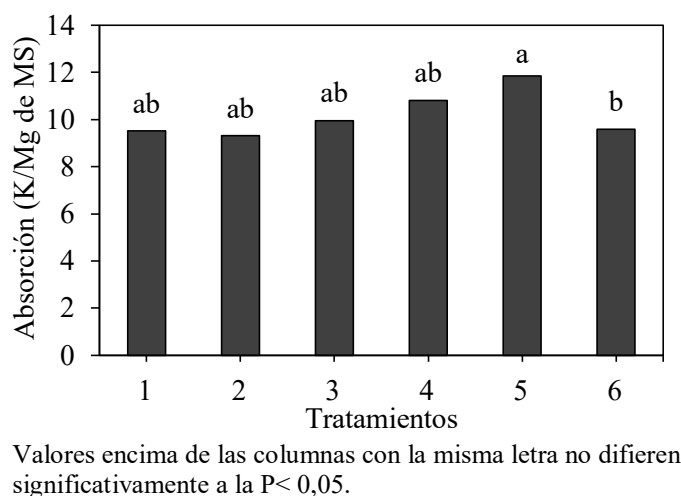


Figura 38. Absorción de K por tonelada de materia seca en el Sitio 2.

Ajustando los datos de extracción de K por tonelada de MS, en base a un modelo de regresión, los datos demuestran que la respuesta al agregado de dosis de fertilización con K fue lineal (R² de 0,95). Excepto para la dosis de 30 kg K₂O ha⁻¹, el resto de los tratamientos fertilizados tuvieron más absorción de K en comparación al testigo, siendo mayor la absorción con 240 kg K₂O ha⁻¹ (Figura 39). A mayor oferta de K, aumenta considerablemente la concentración de K en planta. Teniendo en cuenta las funciones que otorga el mismo al vegetal, se logra mayor calidad de forraje, característica que según Kelling y Matocha (1990) es desde el punto de vista nutricional, una gran ventaja como parte de la dieta de los animales.

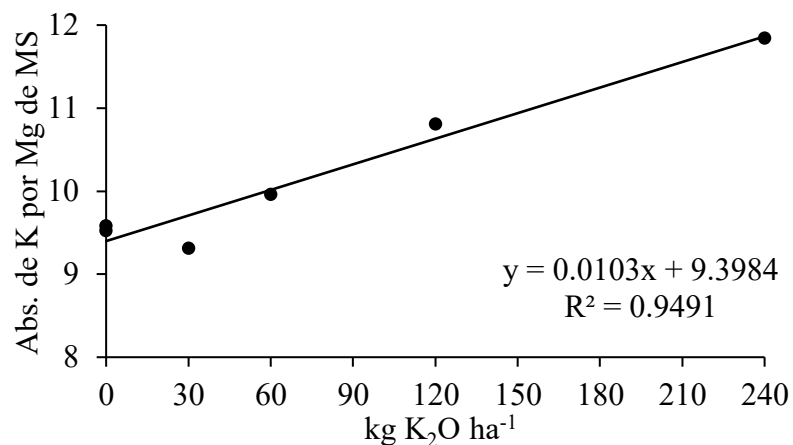


Figura 39. Regresión de absorción de K por megagramo de materia seca, según dosis de fertilización con K en gramíneas en el Sitio 2.

4.3.2. Extracción total de K

Se analizó la extracción total de K expresando la cantidad extraída por unidad de área, para los dos sitios. Dicha extracción (analizado como un sistema, integrado por los componentes suelo y planta) fue considerada casi en su totalidad como una salida de K, dado que parte del K absorbido no fue devuelto al suelo por medio del rastrojo (o por deyecciones), ya que el forraje fue retirado en su totalidad y no hubo animales en pastoreo. Debido a ello, la respuesta a K en cada corte fue asignada al suelo, en base a la dinámica de los nutrientes en el mismo, la CIC y el poder buffer. Al final del estudio, la cantidad total de K extraída por la pastura fue 365 y 553 kg K ha⁻¹ en el Sitio 1 y 97 y 148 kg K ha⁻¹ en el Sitio 2, para en el T1 y T5, respectivamente (Cuadro 10).

Cuadro 10. Extracción total de K durante todo el experimento.

K ₂ O (kg ha ⁻¹)	K (kg ha ⁻¹)	El Junco ----- kg K ha ⁻¹ -----	EEFAS
00*	00	338b	83b
0	0	365b	97b
30	25	458ab	86b
60	50	380b	100b
120	100	412b	99b
240	200	553a	148a

*Excepto el tratamiento 00, los demás fueron fertilizados con 46 kg de P₂O₅ ha⁻¹.

La mayor extracción de K por unidad de área se observó en las parcelas fertilizadas con 240 kg K₂O ha⁻¹. Las parcelas testigo (sin K) y las del cero absoluto, registraron los menores valores. Los valores promedio obtenidos fueron menores a los registrados por García (2011) para extracciones anuales de alfalfa con rendimientos de 15000 kg ha⁻¹ (538 kg de K ha⁻¹).

4.3.3. Concentración de N, P y S en planta

El Cuadro 11 refleja el resultado de la concentración de N, P y S del forraje de los distintos tratamientos en el promedio de todos los cortes en ambos sitios, leguminosas y gramíneas en el Sitio 1 y solamente gramíneas para el Sitio 2.

En el Sitio 1, la concentración de P en leguminosas fue entre 0,21 a 0,38%, en gramíneas de 0,12 a 0,40%, y en el Sitio 2 el rango fue de 0,13 a 0,40% (Anexo 12). Esta concentración se encuentra por encima a lo analizado para pasturas naturales por Berretta (1998), en los cuales el autor registró concentraciones promedios de 0,18% de P en pastura de campo natural sobre Basalto, y de valores de 0,21% de P encontrado en esta zona por Barbazán et al. (2007) en *Lotus corniculatus*.

Se observó una leve tendencia negativa entre la concentración de P en planta y el K intercambiable. Dicho comportamiento puede deberse a un cambio vegetal provocado por la dilución del P en el forraje, provocado por el aumento de la MS a medida que se incrementa el K intercambiable en suelo. Estos resultados se asemejan a lo analizado en ensayos de soja por Castellanos y Buschiazzi (2014), donde con fertilizaciones con P, K y S, citan que en parcelas con agregado de K, el forraje producido fue mayor frente a las parcelas no fertilizadas con K, generando efecto de dilución del P en planta.

La concentración de N en el Sitio 1, en leguminosas fue de 2,20 a 3,55%, en gramíneas entre 0,7 a 2,09%, y en el Sitio 2 el rango fue de 0,82 a 1,47% (Anexo 13).

Como era de esperar, las leguminosas del Sitio 1 presentaron la mayor concentración de N que las gramíneas del mismo sitio (3%), debido a su capacidad de poder fijar N atmosférico biológicamente. A su vez, la concentración de N en gramíneas analizadas en el Sitio 1 fueron mayores en comparación a las gramíneas del Sitio 2, ya que estas últimas no cuentan con presencia de leguminosas en el tapiz.

En el Sitio 2, se realizó una fertilización con urea en el otoño de 2017, donde tampoco se observó diferencia en concentración de N en las muestras analizadas posteriormente.

Las concentraciones de S en el Sitio 1 fue de 1,4 a 2,57% en leguminosas, de 0,97 a 2,71% en gramíneas, entre 1,25 a 2,17% en el Sitio 2, por encima del valor de 0,25% de S en *Lotus corniculatus* encontrado por Barbazán et al. (2007).

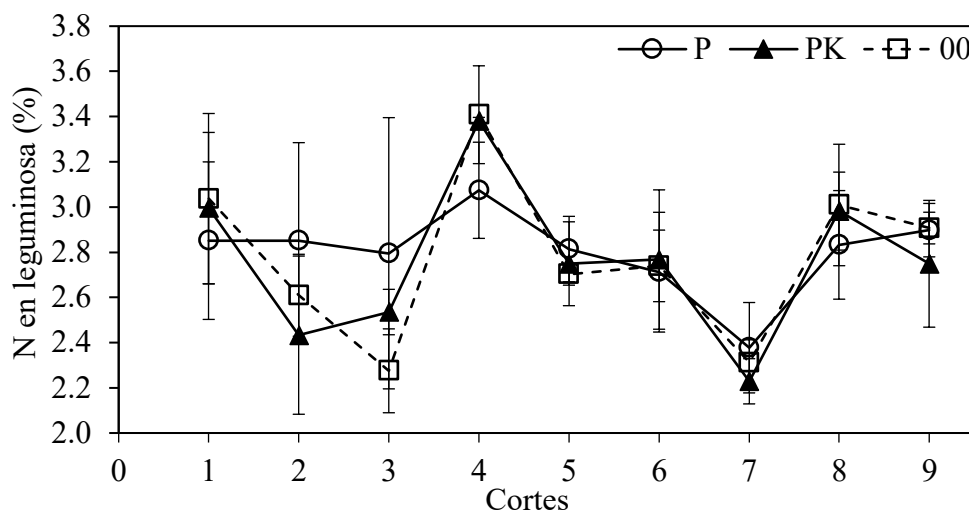
Cuadro 11. Concentración promedio de N, P y S en planta en ambos sitios.

Sitio	Tratamiento	N		P		S	
		Leg.	Gram.	Leg.	Gram.	Leg.	Gram.
		----- % -----					
1	1	2,86	1,69	0,29	0,23	0,19	0,18
	2	2,86	1,57	0,27	0,25	0,19	0,16
	3	2,88	1,62	0,28	0,29	0,19	0,16
	4	2,79	1,47	0,33	0,28	0,18	0,15
	5	2,75	1,47	0,28	0,27	0,18	0,15
	6	2,78	1,61	0,33	0,26	0,17	0,15
2	1	-	0,99	-	0,22	-	0,16
	2	-	1,02	-	0,24	-	0,17
	3	-	1,08	-	0,21	-	0,17
	4	-	1,01	-	0,22	-	0,16
	5	-	0,99	-	0,20	-	0,16
	6	-	1,05	-	0,23	-	0,17

Para las leguminosas del Sitio 1, no se observaron diferencias significativas en la concentración de N entre los diferentes tratamientos contrastantes (PK, P y 00). La concentración de N de las leguminosas se encuentra por debajo a lo analizado por Morón (2008), en un relevamiento de trébol blanco, donde en promedio esta especie presentaba valores de concentración de N cercanos a 4,8%.

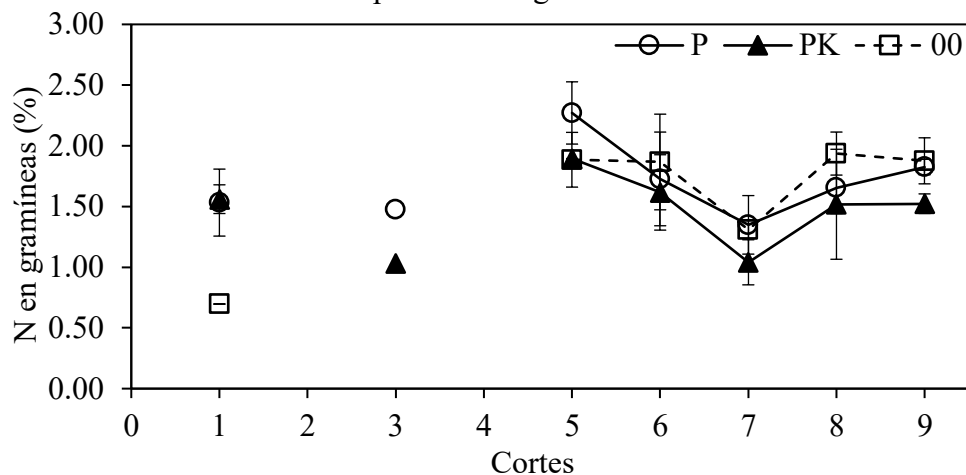
En el Sitio 1 los valores más altos de N fueron encontrados en cortes realizados en invierno (corte 4 y 8), los cuales rondaron entre 2,8 y 3,7%, siendo mayores a los datos obtenidos en *Lotus corniculatus*, en muestras realizadas en primavera (en floración) por Barbazán et al. (2007), en un relevamiento en todo el país, en la cual los autores citan concentraciones en torno al 2,68% de N (Figura 40).

En la fracción gramínea del Sitio 1, la concentración de N fue menor a la de leguminosas. No existieron diferencias significativas en relación a la concentración de N en planta entre los tratamientos fertilizados frente a los no fertilizados con K (Figura 41).



Fecha de cortes: nov. 2015 (c1), dic. 2015 (c2), feb. 2016 (c3), jul. 2016 (c4), set. 2016 (c5), nov. 2016 (c6), feb. 2017 (c7), jun. 2017 (c8), oct. 2017 (c9).

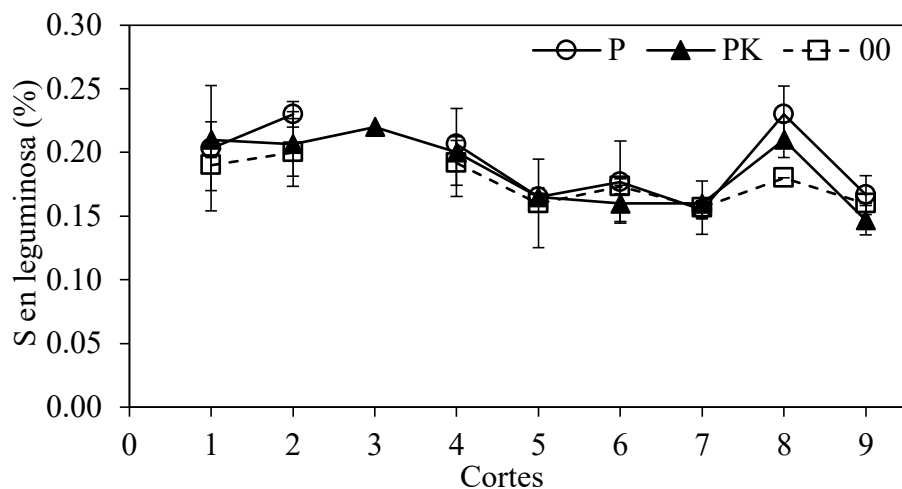
Figura 40. Concentración de N en plantas de leguminosas en el Sitio 1.



Fecha de cortes: nov. 2015 (c1), dic. 2015 (c2), feb. 2016 (c3), jul. 2016 (c4), set. 2016 (c5), nov. 2016 (c6), feb. 2017 (c7), jun. 2017 (c8), oct. 2017 (c9).

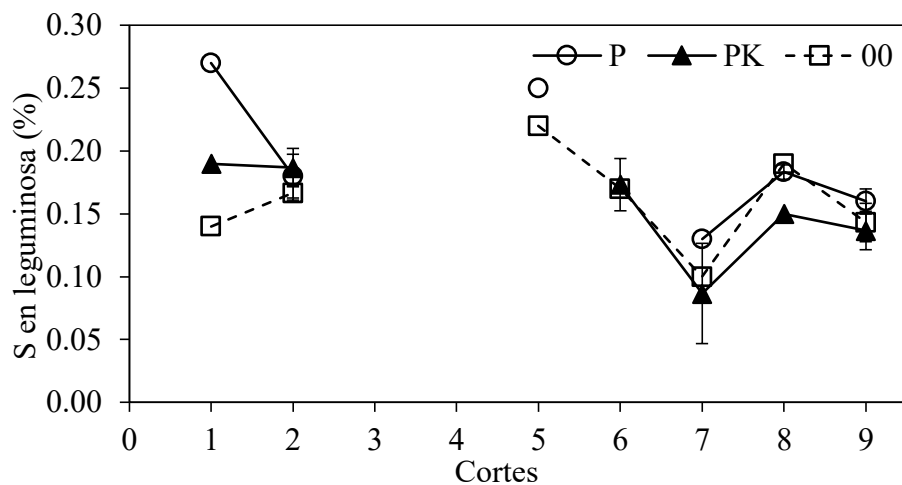
Figura 41. Concentración de N en plantas de gramíneas en el Sitio 1.

Para las plantas del Sitio 1, la concentración de S varió entre 0,15 y 2,25% para leguminosas, y de 0,12 a 2,08% para gramíneas. Tanto para leguminosas (Figura 42) como para gramíneas (Figura 43), no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos en la concentración de S.



Fecha de cortes: nov. 2015 (c1), dic. 2015 (c2), feb. 2016 (c3), jul. 2016 (c4), set. 2016 (c5), nov. 2016 (c6), feb. 2017 (c7), jun. 2017 (c8), oct. 2017 (c9).

Figura 42. Concentración de S en plantas de leguminosas en el Sitio 1.



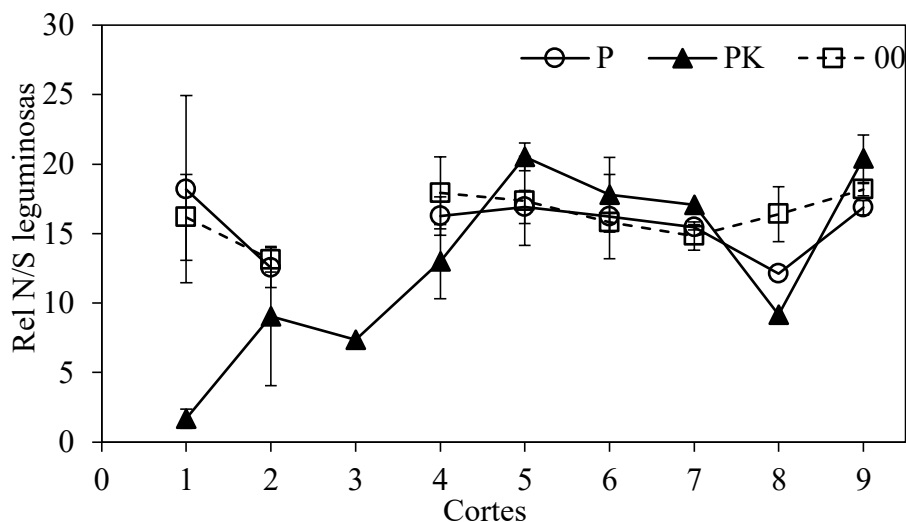
Fecha de cortes: nov. 2015 (c1), dic. 2015 (c2), feb. 2016 (c3), jul. 2016 (c4), set. 2016 (c5), nov. 2016 (c6), feb. 2017 (c7), jun. 2017 (c8), oct. 2017 (c9).

Figura 43. Concentración de S en plantas de gramíneas en el Sitio 1.

Las concentraciones de S en la fracción leguminosa se encuentran por debajo del rango de valores encontrado por Morón (2008) en un relevamiento de chacras, el cual fue de 0,20 a 0,30% de S para muestras de trébol blanco tomadas en primavera en la región este del país (Figura 44).

Cabe señalar todos los tratamientos, salvo el cero absoluto (00), recibieron una dosis de 25 kg S ha⁻¹ con el fertilizante fosfatado. La falta de respuesta a S puede deberse a que el suelo presentaría un buen suministro de este nutriente, dado por el nivel de materia orgánica (5,1%) para este sitio, lo cual es típico de los suelos desarrollados sobre Basalto (Durán, 2004).

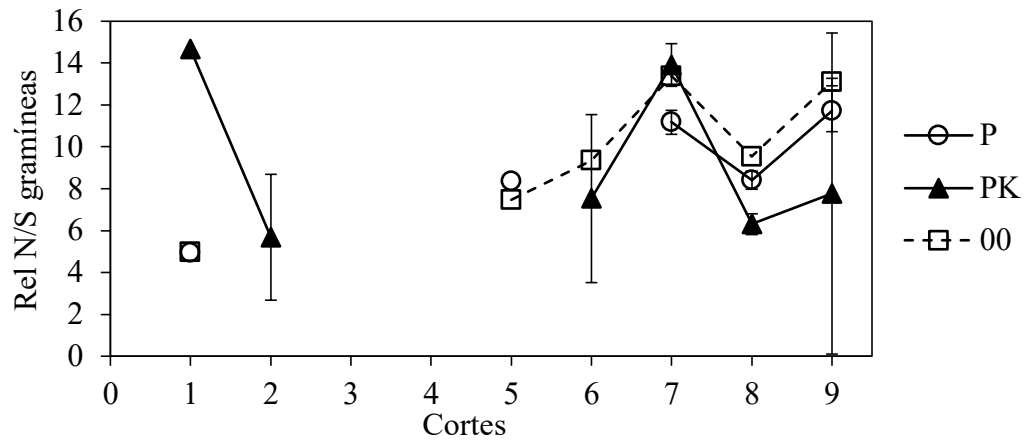
La relación entre N y S ha sido propuesta como un indicador para manejar estos nutrientes en algunos cultivos. Por ejemplo, Kelling y Matocha (1990), encontraron que la relación N/S podría servir para evaluar el estado nutricional de las plantas. A nivel nacional, Morón (2008) cita relaciones de 13-15/1 para *Trifolium repens*, y en *Lotus corniculatus*, Barbazán et al. (2007), valores de relación de N/S de 14/1.



Fecha de cortes: nov. 2015 (c1), dic. 2015 (c2), feb. 2016 (c3), jul. 2016 (c4), set. 2016 (c5), nov. 2016 (c6), feb. 2017 (c7), jun. 2017 (c8), oct. 2017 (c9).

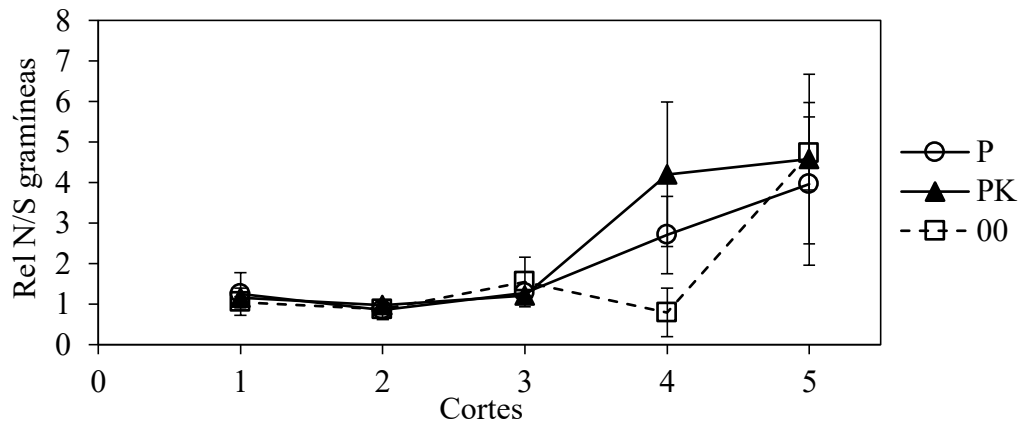
Figura 44. Relación N/S en leguminosas según fecha de cortes realizados en el Sitio 1.

En el Sitio 1 la relación N/S fue en promedio de 15-18/1 en leguminosas, con variaciones entre 2 y 20,5 (Figura 44). En gramíneas la relación fue 10-13/1, con variaciones entre 7,4 y 15,3 (Figura 45). En el Sitio 2 la relación N/S promedio fue de 8-10/1, con variaciones entre 0,8 y 7,98 (Figura 46), aunque no se observaron diferencias entre tratamientos.



Fecha de cortes: nov. 2015 (c1), dic. 2015 (c2), feb. 2016 (c3), jul. 2016 (c4), set. 2016 (c5), nov. 2016 (c6), feb. 2017 (c7), jun. 2017 (c8), oct. 2017 (c9).

Figura 45. Relación N/S en gramíneas según fecha de cortes realizados en el Sitio 1.



Fecha de cortes: abr. 2016 (c1), nov. 2016 (c2), feb. 2017 (c3), jun. 2017 (c4), oct. 2017 (c5).

Figura 46. Relación N/S en gramíneas según fecha de cortes realizados en el Sitio 2.

4.4. ANÁLISIS DE NUTRIENTES EN EL SUELO

4.4.1. K en suelo

Luego de la aplicación de los tratamientos, en el primer muestreo, el K intercambiable aumentó 0,07 y 0,10 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ en las parcelas fertilizadas con 240 $\text{kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ respecto a las parcelas del tratamiento testigo, en el Sitio 1 y 2, respectivamente. En las parcelas fertilizadas, se observó un aumento de 0,03 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ el Sitio 1, y de 0,17 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para el Sitio 2. Dicho aumento pudo provocarse por la liberación de K desde formas no intercambiables, o variaciones de muestreo de suelos (Cuadro 12).

En el Sitio 1 se partió en sus inicios de valores de K en suelo de 0,45-0,50 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, y en el Sitio 2, fueron 0,32 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Estos valores se encuentran en el rango a los obtenidos por Hernández (1983), donde se analizaron varios tipos de suelos en el país.

Las diferencias entre tratamientos en el período analizado para el Sitio 1 fueron estadísticamente significativas solamente para el primer muestreo realizado; los muestreos siguientes no arrojaron diferencias estadísticamente significativas.

En su totalidad las parcelas fertilizadas a razón de 240 $\text{kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ fueron las que presentaron mayor contenido de K en todos los análisis de las muestras. Posterior a M1 el comportamiento del K en suelo fue muy equivalente entre los diferentes tratamientos.

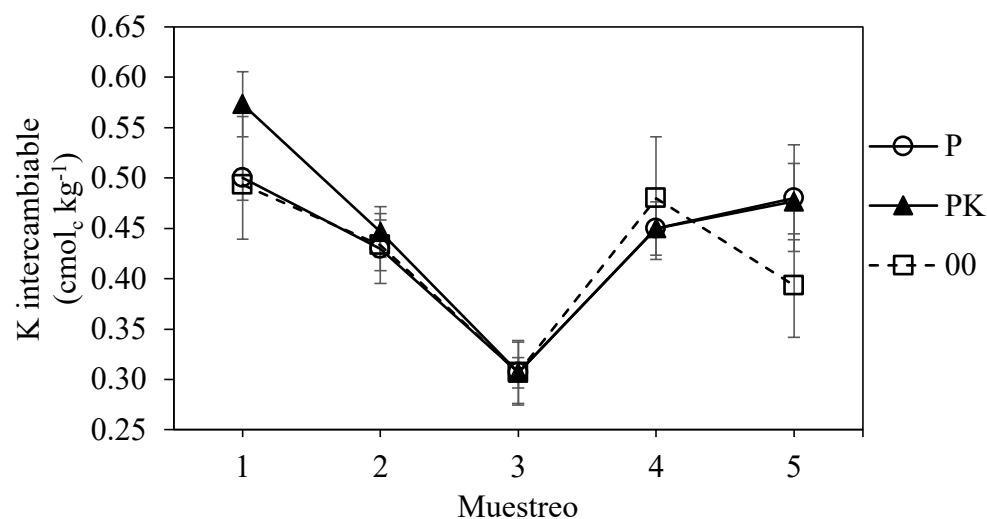
Cuadro 12. Evolución del K en suelos de los sitios (El Junco y EEFA).

Sitio	Tratamiento K ₂ O (kg ha ⁻¹)	May.	Nov.	Jul.	Set.	Nov.	Jun.
		2015*	2015	2016	2016	2016	2017
----- cmol _c kg ⁻¹ de suelo-----							
1	0	0,45	0,50	0,43	0,31	0,45	0,48
	240	0,45	0,57	0,45	0,31	0,45	0,48
		May.	Abr.	Feb.			
		2015*	2016	2017			
----- cmol _c kg ⁻¹ de suelo-----							
2	0	0,32	0,34	-	-	-	0,44
	240	0,32	0,44	-	-	-	0,49

*Muestro inicial de suelos.

La Figura 47 refleja la evolución del K en suelo para el Sitio 1. Se aprecia que en el primer muestreo (M1, primavera de 2015) ocurrió un aumento de K intercambiable en comparación a los datos de suelos iniciales. A principios del invierno (M2, 2016) disminuye el contenido del mismo, manteniéndose bajo en la segunda primavera (M3, 2016), presentando un pico de $0,14 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ desde M3 a M4 (3er. y 4to. muestreo respectivamente). Dichos aumentos en M3 y M4 pueden deberse a que fueron muestreos realizados posterior al invierno, donde pudo acumularse agua y por lo tanto las arcillas liberar K intercambiable. En el quinto muestreo (M5) el K intercambiable aumentó a $0,48 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ en el tratamiento de máxima dosis y en el testigo, pero en el 0 absoluto (T6) el valor obtenido fue menor a los anteriores, siendo de $0,39 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de suelo, existiendo diferencias significativas.

Los resultados de análisis de K intercambiable en ambos sitios, se encuentran dentro del rango de valor citado por Barbazán et al. (2007) para suelos sobre Basalto, donde los autores registraron un rango de valores de K intercambiable entre $0,2$ a $1,2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de suelo, con una media de $0,41 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de suelo.

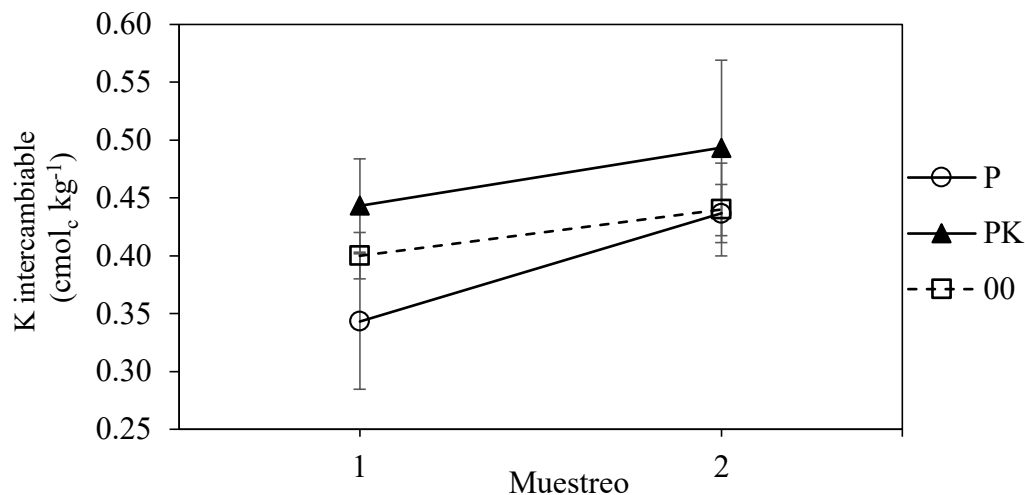


Fecha de muestreo: nov. 2015 (1), jul. 2016 (2), set. 2016 (3), nov. 2016 (4), jun. 2017 (5).

Figura 47. K intercambiable en los distintos muestreos en el Sitio 1.

Para el Sitio 2 la evolución de K en suelo fue evaluada en 2 fechas de muestreo. No se encontraron diferencias significativas con pruebas estadísticas entre los tratamientos.

En la Figura 48 se aprecia un leve aumento de la concentración de K intercambiable en todos los tratamientos en el periodo analizado para el Sitio 2.



Fecha de muestreo: nov. 2016 (1), jun. 2017 (2).

Figura 48. K intercambiable del suelo en los distintos tratamientos en el Sitio 1.

Haciendo un balance (entradas y salidas) de K durante el período comprendido entre el inicio del experimento y los datos del primer muestreo, en el Sitio 2 se esperaba un mayor aumento de K intercambiable en el tratamiento fertilizado con 240 kg ha⁻¹ de K₂O (Cuadro 13). Sin embargo el aumento fue inferior a lo esperado en base a las entradas (K int. inicial + fertilizante) menos las salidas (kg K ha⁻¹ extraído por la MS). Las salidas de K en el primer muestreo del Sitio 1 fueron 56 y 96 kg K ha⁻¹ en el tratamiento testigo y T5, respectivamente. El K intercambiable paso de 0,50 a 0,57 cmol_c kg⁻¹.

En el Sitio 2, las salidas de K con la MS fueron 21 y 28,5 kg K ha⁻¹ para el T1 y T5, respectivamente, y el K intercambiable paso de 0,32 a 0,44 cmol_c kg⁻¹. Es de destacar que el tiempo transcurrido desde el agregado de K y el primer muestro en el Sitio 1 fue de seis meses, mientras que en el Sitio 2 fue de 11 meses. Estos resultados indicarían que podría hacer retención de K en formas no intercambiables.

En ambos sitios, realizando un balance neto entre el K intercambiable final en el último muestreo realizado menos el K inicial (+ fertilizante agregado, kg K ha⁻¹) se registró un balance negativo en las parcelas fertilizadas, donde el K intercambiable final no aumentó positivamente vs. el K inicial + fertilizante agregado.

Cuadro 13 . Balance de K en el sistema, entradas y salidas.

Sitio	Trat.	Entradas kg K ₂ O ha ⁻¹	K Inicial	Salida	E/S	K final	Balance
			kg K ha ⁻¹	kg K ha ⁻¹	kg K ha ⁻¹	kg K ha ⁻¹	(Kf-Ki)
1	P	0	439	365	74	468	29
	PK	200	639	553	86	468	-171
2	P	0	312	72	240	429	117
	PK	200	512	117	395	478	-34

P (sin K), **PK** (240 kg K₂O ha⁻¹). Cálculos de K int. en suelo para pasar a kg K ha⁻¹: cmol_c kg⁻¹ * 975 = kg K ha⁻¹ (densidad aparente de 1,25 g cc⁻¹ y prof. de suelos de 20 cm).

Entrada: fertilización inicial.

Salida: kg K ha⁻¹ extraídos por el total de MS producido.

K Inicial: K int. en suelo + fertilizante (kg K ha⁻¹).

K Final: K int. en kg K ha⁻¹ extraído en el maestro final del experimento.

E/S: K inicial – K extraído por la MS acumulada.

Balance: K final – K inicial.

4.4.2. Ca, Mg y Na en suelo

El Cuadro 14 refleja el contenido de cationes (Ca, Mg y Na) del suelo para ambos sitios en los diferentes muestreos realizados.

El contenido de Ca y Mg en suelos depende principalmente del material parental que dio origen, del contenido de arcilla en el perfil y de la proporción de materia orgánica del mismo. Estos suelos tienen altas concentraciones de estos cationes. El catión más predominante fue el Ca en cada uno de los suelos analizados.

No existieron diferencias entre tratamientos para estos tres cationes analizados en ambos suelos.

El Na a diferencia del resto de las bases, no se considera un nutriente esencial para los vegetales; además que puede provocar ciertos inconvenientes en el crecimiento de los vegetales si se encuentra en concentraciones elevadas (del Pino, 1997).

Cuadro 14. Contenido de Ca, Mg y Na en suelo en tratamientos contrastantes.

Sitio	Tratamientos	1	2	3	4	5
----- Ca (cmol _c kg ⁻¹) -----						
1	1	28.62	26.62	26.98	27.41	30.02
	5	27.75	26.27	26.20	27.45	28.68
	6	28.37	25.96	27.67	24.22	29.28

2	1	22.80	28.90	-	-	-
	5	23.15	25.77	-	-	-
	6	23.16	26.18	-	-	-
----- Mg (cmol _c kg ⁻¹) -----						
1	1	6.96	7.07	6.60	6.94	7.31
	5	6.30	6.73	5.90	6.48	6.68
	6	6.71	6.81	6.55	6.87	6.97

2	1	6.04	6.54	-	-	-
	5	6.59	6.59	-	-	-
	6	6.32	6.55	-	-	-
----- Na (cmol _c kg ⁻¹) -----						
1	1	0.35	0.27	0.25	0.17	0.43
	5	0.34	0.26	0.18	0.18	0.52
	6	0.36	0.28	0.23	0.19	0.5

2	1	0.21	0.47	-	-	-
	5	0.23	0.55	-	-	-
	6	0.24	0.44	-	-	-

Fecha de muestreo: **sitio 1**, nov. 2015 (1), jul. 2016 (2), set. 2016 (3), nov. 2016 (4), jun. 2017 (5).
sitio 2, nov. 2016 (1), jun. 2017 (2).

4.4.2.1. Relación de K con Mg del suelo

La relación K/Mg en suelo debe estar lo más cercano a 0.5 (Morón 2000, García 2011), o la relación Mg/K no debe ser mayor a 10/1 (Cuadro 15).

En los sitios analizados, la relación Mg/K promedio de todos los muestreos pasó de 16 en el testigo sin K a 14 con el agregado de 240 kg ha⁻¹ de K₂O. Pudiendo existir dominancia del catión Mg frente al K en la mayoría de los muestreos. La relación de K con otros cationes mejora con su agregado, teniendo en cuenta además que el mismo fue aplicado solamente en la instalación de los ensayos en 2015.

Cuadro 15. Relación Mg/K en suelo para los diferentes muestreos en ambos sitios.

Sitio	Tratamiento	1	2	3	4	5
		----- Relación Mg/K -----				
1	1	14.0	16.5	21.7	15.4	15.3
	5	11.0	15.1	19.2	14.4	14.1
	6	13.6	15.7	21.4	14.4	17.9
2	1	17.8	0.07			
	5	15.0	13.5			
	6	15.8	15.0			

Sitio 1, nov. 2015 (1), jul. 2016 (2), set. 2016 (3), nov. 2016 (4), jun. 2017 (5). **Sitio 2**, nov. 2016 (1), jun. 2017 (2).

4.4.2.2. Relación K/Na

El exceso de Na puede provocar alta salinidad, y elevar considerablemente el pH. Esto puede ser perjudicial para varias especies de vegetales, además de generar una estructura de suelo poco favorable para el desarrollo de las raíces (del Pino, 1997). Los problemas de Na en la estructura del suelo se generan cuando éste representa un 15% de las bases totales (BT).

En el presente estudio, en ambos sitios, la proporción de Na en las BT fue baja (en promedio representó 0,86% para el Sitio 1, y 1,08% para el Sitio 2). Por lo tanto, no sería éste un elemento que interfiriera en la absorción de K (Cuadro 16).

Cuadro 16. Porcentaje de Na sobre las bases totales de suelo.

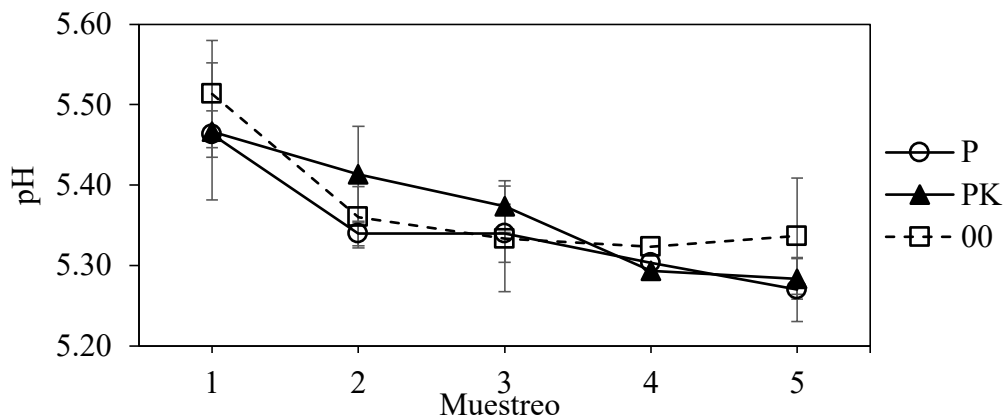
Sitio	Tratamiento	Muestreo*				
		1	2	3	4	5
		----- Na % -----				
1	1	0,96	0,79	0,74	0,50	1,13
	5	0,96	0,77	0,55	0,51	1,44
	6	1,00	0,84	0,66	0,61	1,37
2	1	0,70	1,28			
	5	0,75	1,66			
	6	0,79	1,30			

***Sitio 1**, nov. 2015 (1), jul. 2016 (2), set. 2016 (3), nov. 2016 (4), jun. 2017 (5). **Sitio 2**, nov. 2016 (1), jun. 2017 (2).

4.4.3. Evolución del pH en el suelo

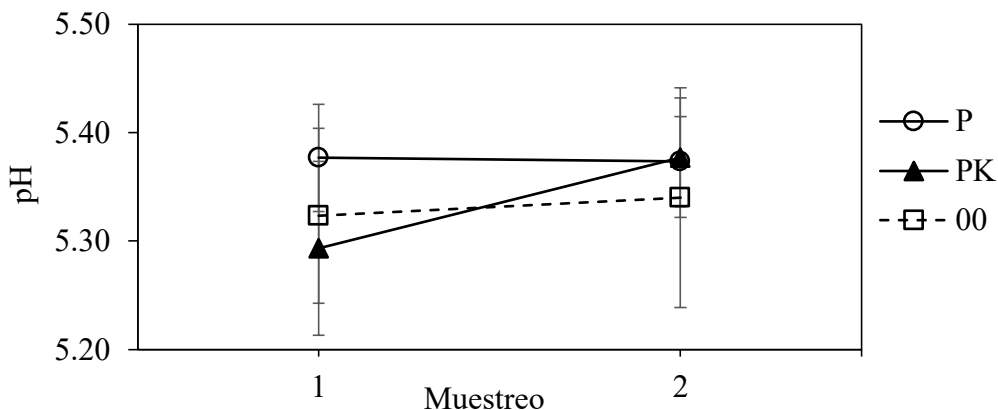
Para el Sitio 1, el pH del suelo tendió a disminuir, pasando de 5,5 a 5,25 considerando todo el periodo en estudio. El pH bajó en menor proporción en las parcelas con tratamiento sin ningún fertilizante (0 absoluto, Figura 49).

En el Sitio 2 el pH se mantuvo en los dos cortes realizados y tampoco se observaron diferencias entre tratamientos (Figura 50).



Fecha de muestreo: nov. 2015 (1), jul. 2016 (2), set. 2016 (3), nov. 2016 (4), jun. 2017 (5).

Figura 49. Evolución del pH de suelo en los diferentes muestreos en el Sitio 1.

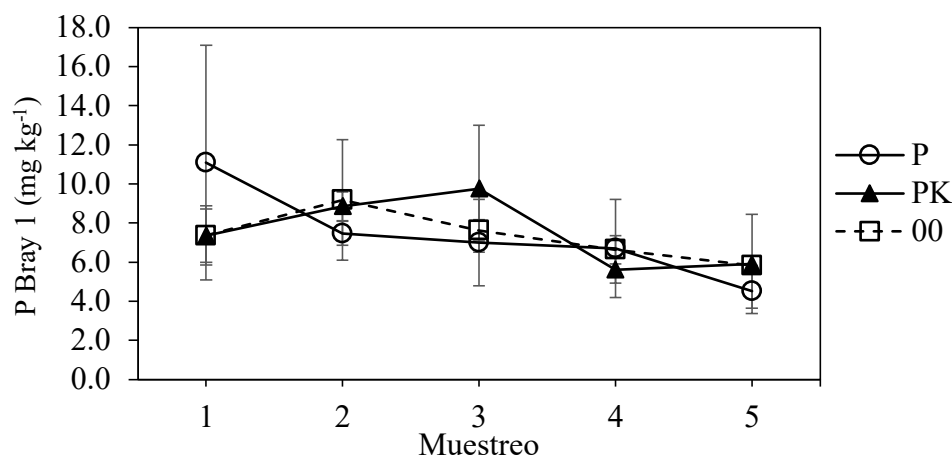


Fecha de muestreo: nov. 2016 (1), jun. 2017 (2).

Figura 50. Evolución del pH de suelo en los diferentes muestreos en el Sitio 2.

4.4.4. Evolución del P disponible

Para el Sitio 1 en todos los tratamientos se observa una disminución en la disponibilidad de P a medida que transcurrió el estudio. Mientras los tratamientos 1 y 5 fueron fertilizados con $46 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$, el T6 no tuvo fertilización de ninguna fuente de nutrientes. En el PK (T5) hubo un leve aumento del contenido en los muestreos 2 y 3, pero luego descendió bruscamente (Figura 51).

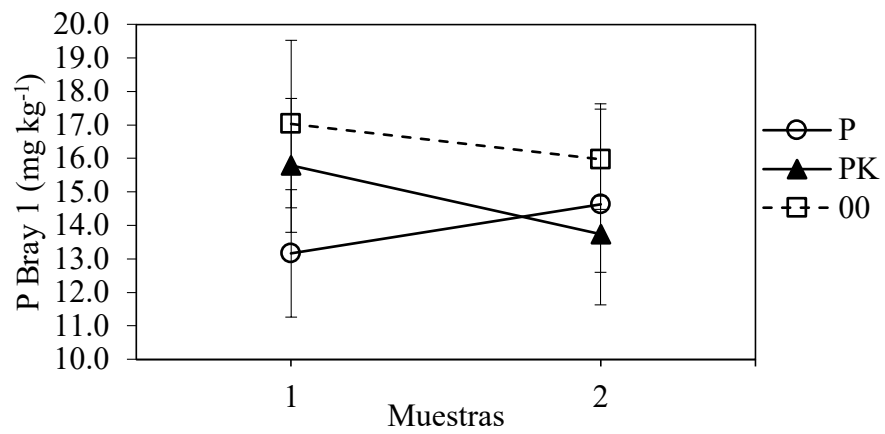


Fecha de muestreo: nov. 2015 (1), jul. 2016 (2), set. 2016 (3), nov. 2016 (4), jun. 2017 (5).

Figura 51. P disponible (Bray 1) para los diferentes muestreos de suelo en el Sitio 1.

Al final del experimento (Sitio 1), el nivel de P estuvo por debajo del valor de 15-16, 12-14 y 10-12 mg kg^{-1} , el cual es el nivel crítico según Bordoli, citado por Hernández (2008), para las especies de leguminosas como *Trifolium repens*, *Trifolium pratense* y *Lotus corniculatus* respectivamente; sí, se encontró dentro del rango crítico de P disponible citado por este autor para gramíneas de 8-10 mg kg^{-1} .

En el Sitio 2 no se observaron diferencias significativas entre tratamientos en el contenido de P, aunque el tratamiento sin fertilización con P_2O_5 presentó el mayor contenido de P (Figura 52). Cabe señalar, que el experimento del Sitio 2 se instaló sobre un suelo con alto contenido de P (19 mg kg^{-1}), y en el Sitio 1 los datos presentaban en sus inicios menor contenido promedio de P (7 mg kg^{-1}).



Fecha de muestreo: nov. 2016 (1), jun. 2017 (2).

Figura 52. P disponible (Bray 1) para los diferentes muestreos de suelo en el Sitio 2.

5. CONCLUSIONES

En ambos sitios, las parcelas fertilizadas con 240 kg K₂O ha⁻¹ tendieron a obtener un rendimiento de forraje mayor al resto de los tratamientos, siendo significativo a partir del corte 3 en el Sitio 1, y corte 2 en adelante en el Sitio 2. En promedio las parcelas con 240 kg K₂O ha⁻¹ presentaron incrementos de producción de 1200 kg MS ha⁻¹ frente al testigo en los 2 años del experimento.

En parcelas fertilizadas, la relación de gramíneas aumento en el período de estudio frente a las leguminosas. En gramíneas, las parcelas con mayor dosis de fertilización con K, en invierno fueron 10% superiores en producción de forraje frente al testigo.

La concentración de K (%) en planta permaneció estable, aunque en parcelas con dosis máxima, en algunos cortes, la concentración fue mayor significativamente frente al testigo. En el Sitio 1 la concentración de K fue mayor en las leguminosas en relación a las gramíneas.

Al final del estudio, la cantidad total de K extraída por la pastura varió de 365 a 553 kg K ha⁻¹ en el Sitio 1, y de 97 a 148 kg K ha⁻¹ en el Sitio 2, en el tratamiento control y en el de la dosis más alta, respectivamente. Parcelas fertilizadas registraron la máxima extracción de K.

El K en el suelo después del primer corte, aumentó 0,07 y 0,10 cmol_c kg⁻¹ en las parcelas fertilizadas con 240 kg K₂O ha⁻¹, respecto a las parcelas testigo sin K, en el Sitio 1 y 2, respectivamente. A mayor fertilización potásica, la performance de K mejora en relación al resto de los cationes en la saturación de bases de suelo.

El rendimiento de las pasturas no cambió cuando se aplicaron dosis bajas de K. Sin embargo, en las dosis más altas se observó una tendencia a aumentar el rendimiento y la concentración de K. Por otro lado, en el suelo, los incrementos de la dosis más alta de K fueron de escasa magnitud. Se necesita más investigación para comprender la dinámica de K en estos sistemas de producción.

6. RESUMEN

En la región de Uruguay, en los últimos años, se han registrado deficiencias de algunos nutrientes, sobre todo aquellos retenidos en la fracción arcilla del suelo debido a la adopción de siembra directa y el no uso de laboreo. El K ha sido encontrado recientemente como una de las limitantes de producción de cultivos anuales en la agricultura, evidenciando respuestas a su agregado a partir de varios estudios realizados. En pasturas, sin embargo, existe escasa información, a pesar de haberse encontrado en suelos sobre Basalto al norte del país, datos de relevamiento nutricionales donde el déficit de K podría explicar la baja producción de forraje. Por lo cual se planteó realizar un estudio en base a experimentación, analizando la respuesta a K, a través de mediciones del estado nutricional de las plantas, así como el comportamiento de K en el suelo, tanto en pasturas sembradas como de campo natural. El objetivo fue analizar si la aplicación de K incrementa el rendimiento de materia seca (MS) y/o la calidad de la pastura. El estudio se realizó en el departamento de Salto, en suelos sobre Basalto, mediante la instalación de dos experimentos con diseño de bloques al azar con tres repeticiones. Los tratamientos fueron: 0, 30, 60, 120 y 240 kg K₂O ha⁻¹ aplicados como KCl, con P y S en cantidades no limitantes (46 y 25 kg ha⁻¹ respectivamente), más un cero absoluto, sin fertilizante. Se realizaron muestreos de suelo y planta. Los muestreos de forraje se realizaban mediante cortes de parte aérea de la planta, separando gramíneas y leguminosas. Posteriormente se hicieron análisis de laboratorio de todas las muestras. Como resultado se encontró mayor calidad de la pastura en los tratamientos con dosis de mayor fertilización potásica, registrando mayor absorción de K/tonelada de MS. El K fue el nutriente de mayor absorción después del N. Los mayores registros de kg MS ha⁻¹ en promedio de los 2 años de estudio se obtuvieron en el tratamiento de mayor dosis potásica (240 kg K₂O ha⁻¹), siendo estadísticamente significativos solamente en algunos cortes. Las estaciones de mayor producción se dieron en invierno y primavera, donde la fertilización significó un incremento en producción de forraje en el 2º. año de crecimiento post aplicación de los tratamientos. La máxima extracción de K ha⁻¹ fue dada en las parcelas con máxima dosis de K. En ambos sitios se generó un leve aumento de K intercambiable en el suelo al finalizar el experimento. La performance de K en relación a la saturación en bases fue mayor en parcelas donde se fertilizó con K.

Palabras clave: Fertilización; Potasio (K); Pasturas; Materia Seca; Basalto.

7. SUMMARY

In recent years, in Uruguay's region, it has been registered a lack of some nutrients, specially those contained in the clay fraction of the soil as a result of the adoption of direct drilling and the non-use of tilling. Potassium (K) has recently been found as one of the factors that limit annual crops production in agriculture. After several studies were accomplished, answers to its aggregate were provided. Despite having been found on basaltic soil in northern Uruguay, there exists little information about it in sown pastures. According to some nutritional survey data, the low forage production could be explained by the shortage of K. Consequently, it was decided to carry out an experimental study, in response to the use of K, through measuring the nutritional state of the different plants as well as K behavior on the soil, including both sowed pastures and natural field. In this way, it was tested whether the implementation of K increases the efficiency of dry matter (DM) and or the quality of pastures or not. Said study was done in Salto department on basaltic soils where field trials were established at two sites, presenting a random block design which had three treatment repetitions. These are: 0, 30, 60, 120 and 240 kg K₂O ha⁻¹ applied as KCl, with P and S in non-limiting quantities (46 and 25 kg ha⁻¹ respectively), plus an absolute zero, without fertilizer. Soil and plant samplings were carried out. Forage ones were done through cuts on the aerial part of the plant, separating grasses from legumes. Afterwards, laboratory analyses of all of the samplings were done. By virtue of which it was found that pastures in treatments with higher potassium fertilization doses presented a better quality and higher absorption of K/ton of DM, being legume pastures the ones with a better effect because of this. K was the nutrient with the highest absorption after N. On average of the intense two-year studies, the main register of kg DM ha⁻¹ were obtained from the treatments with the highest volume of potassium, being statistically significant only in some of the cuts. Winter and spring were the seasons in which the production had better results, it was then when fertilization meant an increase in forage production during the second year of growth after treatments were implemented. The biggest amount of K ha⁻¹ was extracted from the plots with the maximum doses of K (240 kg K₂O ha⁻¹). In both of the sites a slight rise of K interchangeable in the soil was generated when the experiment was over. Potassium's efficiency concerning saturation in bases was enhanced in those plots fertilized with K.

Keywords: Fertilization; Potassium (K); Pasture, Basaltic soils; Dry matter.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Altamirano, A.; Da Silva, H.; Durán, A.; Echeverría, A.; Panario, D.; Puentes, R. 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay; clasificación de suelos. Montevideo, MAP. DSF. t.1, 96 p.
2. Ayala, W.; Carámbula, M. 1994. Nitrógeno en campo natural. In: Seminario de Actualización Técnica (1994, La Estanzuela, Colonia). Nitrógeno en pasturas. Montevideo, INIA. pp. 33-42 (Serie Técnica no. 51).
3. Balocchi, O.; Pinochet, D.; Wittwer, F.; Contreras, P.; Echeverria, R.; Guzmán, F. 2000. Rendimiento y composición mineral del forraje de una pradera permanente fertilizada con magnesio. (en línea). Pesquisa Agropecuária Brasileira. 36: 1309-1317. Consultado abr. 2018. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/%0D/pab/v36n10/6757.pdf>
4. Barbazán, M. 1998. Análisis de plantas y síntomas visuales de deficiencia de nutrientes. Montevideo, Uruguay, Universidad de la República. 27 p.
5. _____.; Ferrando, M.; Zamalvide, J. 2007. Estado nutricional de *Lotus corniculatus* en Uruguay. Agrociencia (Uruguay). 11(1): 22 - 34.
6. _____.; _____.; _____. 2008. Relevamiento nutricional de lotus. In: Seminario de Actualización Técnica de Fertilización Fosfatada en Pasturas de la Región Este (1º., 2008, Tacuarembó). Estado nutricional de *Lotus corniculatus* en Uruguay. Montevideo, INIA. pp. 31-33 (Serie Técnica no. 172).
7. _____.; del Pino, A.; Bordoli, J.; Mazzilli, S.; Ernst, O. 2011. La problemática del K en Uruguay: situación actual perspectivas de corto y mediano plazo. In: Simposio Nacional de Agricultura (2º., Paysandú, 2011). No se llega, si no se sabe a dónde ir. Montevideo, Hemisferio Sur. pp. 21-33.
8. Bates, T. E. 1971. Factors Affecting Critical Nutrient Concentrations in Plants and their Evaluation: a review. Soil Science. 112: 116-130.
9. Bautes, C.; Barbazán, M.; Beux, L. 2009. Fertilización potásica inicial y residual en de secano en suelos sobre Areniscas Cretácicas y transicionales. Informaciones Agronómicas del Cono Sur. no. 41: 1-8.
10. Bemhaja, M. 1998. Mejoramiento de campo: manejo de leguminosas. In: Seminario de Actualización en Tecnologías para Basalto (1998,

Tacuarembó). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 53-61 (Serie Técnica no. 102).

11. Berretta, E. 1998. Contenido de minerales en pasturas naturales de Basalto. I. Especies nativas. In: Seminario de Actualización en Tecnologías para Basalto (1998, Tacuarembó). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 99-111 (Serie Técnica no. 102).
12. Bertsch, P. M.; Thomas, G. W. 1985. Potassium status of temperate region soils. In: Munson, R. D. ed. Potassium in agriculture. Madison, WI, American Society of Agronomy. pp. 131-162.
13. Black, C. A. 1975. Relaciones suelo-planta. Montevideo, Hemisferio Sur. t. 2, pp. 717-848.
14. Bordoli, J. M. 2001. Dinámica de nutrientes y Fertilización en siembra directa. In: Díaz Rosselló, R. ed. Siembra directa en el cono Sur. Montevideo, PROCISUR. pp. 289-297.
15. Bossi, J.; Navarro, R. 1988. Geología del Uruguay. Montevideo, Universidad de la República. Departamento de Publicaciones. 970 p.
16. Bottaro, C.; Zavala, F. 1973. Efecto de la fertilización mineral NPK en la producción de forraje de algunas pasturas naturales del Uruguay. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 170 p.
17. Brougham, R. W. 1959. The effects of frequency and intensity of grazing on the productivity of a pasture of short-rotation ryegrass and red and White clover. New Zealand Journal of Agricultural Research. 2: 1232-1248.
18. Cano, J. D.; Ernst, O.; García, F. 2007. Respuesta a la fertilización potásica en maíz para grano en suelos del noroeste de Uruguay. (en línea). Archivo Agronómico IPNI. no. 11: 9-12. Consultado feb. 2011. Disponible en [http://www.ppi-ppic.org/ppiweb/iaarg.nsf/\\$webindex](http://www.ppi-ppic.org/ppiweb/iaarg.nsf/$webindex)
19. Carámbula, M. 1977. Producción y manejo de pasturas sembradas. Montevideo, Hemisferio Sur. 464 p.
20. _____. 2002a. Pasturas y forrajes: potenciales y alternativas para producir forraje. Montevideo, Hemisferio Sur. t.1, 357 p.

21. _____. 2002b. Pasturas y forrajes: insumos, implantación y manejo de pasturas. Montevideo, Hemisferio Sur. t.2, 371 p.
22. _____. 2004. Pasturas y forrajes: manejo, persistencia y renovación de Pasturas. Montevideo, Hemisferio Sur. t.3, 524 p.
23. Casanova, O. 1996. K: consideraciones sobre su situación en el Uruguay. In: Morón, A.; Martino, D.; Sawchik, J. eds. Manejo y fertilidad de suelos. Montevideo, INIA. pp. 57-62 (Serie Técnica no. 76).
24. _____.; Ferrando, M. 2003. Cuantificación mediante lisímetros del lavado de bases en suelos, bajo dos regímenes hídricos. Agrociencia (Uruguay). 7 (2): 39 – 48.
25. Castellanos, L.; Buschiazso, L. 2014. Respuesta a fósforo, potasio y azufre en cultivos de soja. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 70 p.
26. Cate, R. B.; Nelson, L. A. 1971. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. Soil Science Society of America Proceedings. 35: 658-660.
27. Ciampitti, I. A.; García, F. O. 2009. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. Cereales, oleaginosos e industriales. (en línea). Archivo Agronómico IPNI. no. 11: 1-4. Consultado jul. 2017. Disponible en [http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/1C1039297E6D798603257967004A2A8C/\\$FILE/AA%2011.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/1C1039297E6D798603257967004A2A8C/$FILE/AA%2011.pdf)
28. Conti, M. E. 2000a. Dinámica de la liberación y fijación de K en el suelo. Archivo Agronómico. no. 4: 14-19.
29. _____. 2000b. Principios de edafología con énfasis en suelos argentinos. 2ª. ed. Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires. pp. 315-321.
30. Debellis, R.; Goñi, C.; Mello, J. L.; Santana, P. 1995. Respuesta a mejoramientos en cobertura sobre campos regenerados, bajo 5 frecuencias de pastoreo. Tesis Ing. Agr. Montevideo. Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 200 p.
31. Del Pino, A. 1997. Nutrición catiónica. Montevideo, Facultad de Agronomía. 30 p.

32. Durán, A. 2004. Composición del suelo. (en línea). Montevideo, Facultad de Agronomía. 50 p. Consultado feb. 2011. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/~edafologia/>
33. _____.; García Préchac, F. 2007. Suelos del Uruguay: origen, clasificación, manejo y conservación. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. v.1, 700 p.
34. Faggionato, G. 2011. Equivalente fertilizante de K para algunos suelos agrícolas del Uruguay. Tesis Ing. Agr. Montevideo. Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 70 p.
35. García, F. 2011. Las bases; potasio, calcio y magnesio. (en línea). In: Curso Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos Programa de Posgrado en Ciencias Agrarias (12º., 2011, Balcarce, AR). Textos. Balcarce, Buenos Aires, AR, IPNI. pp. 1-13 Consultado abr. 2018. Disponible en [http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/36D8183B8680B64A85257982005A6479/\\$FILE/K%20Ca%20Mg%20-FCA%20Balcarce%20OCT%202011.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/36D8183B8680B64A85257982005A6479/$FILE/K%20Ca%20Mg%20-FCA%20Balcarce%20OCT%202011.pdf)
36. _____.; Barbazán. M. 2016. Potassium research at Uruguay. (en línea). In: Soil Science Congress of Russia (2nd., 2016, Belgorod Oblast, Russia). Proceedings. Eurasian Journal of Soil Science. 1: 1-14. Consultado ene. 2018. Disponible en [http://research.ipni.net/research/lacs.nsf/0/8FE58DDC12D2B0344325801200318297/\\$FILE/F%20Garcia%20and%20M.%20Barbazan%20-%20Russian%20Soil%20Sci%20Congress%202016%20Final.pdf](http://research.ipni.net/research/lacs.nsf/0/8FE58DDC12D2B0344325801200318297/$FILE/F%20Garcia%20and%20M.%20Barbazan%20-%20Russian%20Soil%20Sci%20Congress%202016%20Final.pdf)
37. Gastal, F.; Belanger, G.; Lemaire, G. 1992. A Model of the leaf extension rate of tall fescue in response to nitrogen and temperature. *Annals of Botany*. 70: 437-442.
38. González, M. G.; Moreno, G.; Conti, M. E.; De La Horra, A. M. 1999. Cambios en la fijación-liberación de K en Argiudoles con distintos tipos de arcilla y saturación potásica. *Ciencia del Suelo*. 17(1): 27-30.
39. Hafsi, C.; Debez, A.; Abdelly, C. 2014. Potassium deficiency in plants: effects and signaling cascades. *Acta Physiologiae Plantarum*. 36(5):1055-1070.
40. Hernández, J. 1983. Capacidad de suministro de K en suelos del Uruguay. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 77 p.

41. _____.; Casanova, O.; Zamalvide, J. P. 1988. Capacidad de suministro de K en suelos del Uruguay. Facultad de Agronomía (Montevideo). Boletín de Investigación no. 19. 20 p.
42. _____. 1992. Potasio. Montevideo, Facultad de Agronomía. 35 p.
43. _____. 1996. Curso de actualización en fertilidad de suelos. Potasio. Montevideo, Facultad de Agronomía. pp. 3-6.
44. _____. 2008. Métodos para estimar la disponibilidad de Fósforo en los suelos. In: Seminario de Actualización Técnica en Fertilización Fosfatada de Pasturas de la Región Este (2008, Montevideo). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 7-15 (Serie Técnica no. 172).
45. Hirzel, J. 2004. Fertilización del cultivo. In: Rojas, C. ed. Manejo tecnológico de trigo. Santiago, Chile, INIA La Platina. cap.3, pp. 49-75.
46. Hobt, H. 1978. Dinámica del K en el suelo. In: Coloquio sobre Suelos (5º., 1978, Bogotá). Memorias. Ciencia del Suelo. 9 (2): 86-92.
47. Invernizzi, J. P.; Silveira, M. F. 1992. Valor nutritivo de diferentes especies nativas en suelos de Basalto, en condiciones de pastoreo. Tesis Ing. Agr. Montevideo. Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 98 p.
48. Kant, S.; Kafkafi, U. 2000. Absorción de K por los cultivos en distintos estadios fisiológicos. (en línea). In: Internacional Potash Institute Annual Conference (5th., 2000, Rehovot, Israel). K in plants and animals. Rehovot, s.e. pp. 263-279. Consultado 22 nov. 2010. Disponible en <https://www.ipipotash.org/udocs/Sesion%20V.pdf>
49. Kelling, K. A.; Matocha, J. E. 1990. Plant analysis as an aid in fertilizing forage crops. In: Westerman, R. L. ed. Soil testing and plant analysis. 3rd. ed. Madison, WI, USA, Soil Science Society of America. pp. 603-643.
50. Kirkman, J. H.; Basker, A.; Surapaneni, A.; MacGregor, A. N. 1994. Potassium in the Soils of New Zealand - A Review. New Zealand Journal of Agricultural Research, 37(2): 207 – 227.
51. Lanyon, L. E.; Griffith, W. K. 1988. Nutrition and Fertilizer Use. In: Hanson, A. A. ed. Alfalfa and Alfalfa Improvement. Madison, Wisconsin, ASA/CSSA/SSSA. cap 10, pp. 333-372 (Agronomy Series no. 29).

52. Leigh, R. A.; Wyn Jones, R. G. 1984. A hypothesis relating critical potassium concentrations for growth to the distribution and functions of this ion in the plant cell. *New Phytologist*. 1: 1-14.
53. Lemaire, G. 1985. Cinétique de croissance d'un peuplement de fétuque élevée (*Festuca arundinacea* Schreb.) pendant l'hiver et le printemps: effet des facteurs climatiques. Thèse d'Etat. Caen, France. Université de Caen. 96 p.
54. _____.; Agnusdei, M. G. 2000. Leaf tissue turn-over and efficiency of herbage utilization. *In*: Lemaire, G.; Hodgson, J.; de Moraes, A.; Nabinger, C.; de F. Carvalho, P. C. eds. *Grassland ecophysiology and grazing ecology*. Wallingford, CABI. pp. 265-287.
55. Mallarino, A. P.; Sawyer, J. E.; Barnhart, S. K. 2013. A general guide for crop nutrient and limestone recommendations in Iowa. PM 1688. Ames, Iowa, US, Iowa State University. Extension and Outreach. 14 p.
56. Mancassola, V.; Casanova, O. 2015. Balance de nutrientes de los principales productos agropecuarios de Uruguay para los años 1990, 2000 y 2010. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamerica*. 17:2-13.
57. Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd. ed. New York, Academic Press. 889 p.
58. Mejía, L. 1978. Mineralogía del K en el suelo y en el material parental. *In*: Coloquio sobre Suelos (5º., 1978, Bogotá). *Memorias. Ciencia del Suelo*. 9 (2): 1-17.
59. Mengel, K.; Kirkby, E. A. 1987. Potassium. *In*: Chapter, Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute, Worblaufen-Bern, Switzerland. 10: 427-453.
60. MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2017. Anuario estadístico agropecuario. (en línea). 20ª. ed. Montevideo. 214 p. Consultado mar. 2018. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/diea-anuario2017web01a.pdf>
61. Morales, A. 1998. Morfogênese e repartição do carbono em *Lotus corniculatus* cv São Gabriel sob o efeito de restrições hídricas e luminosas. Tesis de

Grau de Mestre en Zootecnia. Porto Alegre, R.S, Brasil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 74 p.

62. Morón, A.; Risso, D. F. 1994. Nitrógeno en campo natural. (en línea). In: Seminario de Actualización Técnica (1994, La Estanzuela, Colonia). Nitrógeno en pasturas. Montevideo, INIA. pp. 33-42 (Serie Técnica no. 51). Consultado oct. 2017. Disponible en <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/15630011107100024.pdf>
63. _____.; Baethgen, W. 1996. Relevamiento de la fertilidad de los suelos bajo producción lechera en Uruguay. Montevideo, INIA. 20 p. (Serie Técnica no. 73).
64. _____. 2000. Fertilidad de suelos y estado nutricional. In: Rebuffo, M.; Risso, D.; Restaino, E. eds. Tecnología en alfalfa. Montevideo, INIA. pp. 37-52 (Boletín de Divulgación no. 69).
65. _____. 2008. Relevamiento del estado nutricional y la fertilidad del suelo en cultivos de trébol blanco en la zona este del Uruguay. In: Seminario de Actualización Técnica de Fertilización Fosfatada en Pasturas de la Región Este (1º., 2008, Tacuarembó). Estado nutricional de *Lotus corniculatus* en Uruguay. Montevideo, INIA. pp. 17-29 (Serie Técnica no. 172).
66. _____.; Quincke A. 2010. Avances de resultados en el estudio de la calidad de los suelos en agricultura en el departamento de Soriano. (en línea). In: Jornada Técnica el Efecto de la Agricultura en la Calidad de los Suelos y Fertilización de Cultivos (2010, Mercedes, Uruguay). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 5-9 (Actividades de Difusión no. 605). Consultado jul. 2017. Disponible en <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/112761140510162805.pdf>
67. Mulvaney R. L. 1996. Nitrogen inorganic forms. In: Sparks, D. L.; Page, A. L.; Helmke, P. A.; Loeppert, R. H.; Soltanpour, P. N.; Tabatabai, M. A.; Johnston, C. T.; Sumner, M. E. eds. Methods of Soil Analysis. Madison, WI, ASA/SSSA. pt. 3, pp. 1123-1184.
68. Murphy, J.; Riley, J. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*. 27: 31-36.

69. Navarro, S.; Navarro, G. 2003. Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. 2ª. ed. Madrid, Mundi-Prensa. 487 p.
70. Oosterhuis, D.; Loka, D.; Kawakami, E.; Pettigrew, W. 2014. The physiology of potassium in crop production. *Advances in Agronomy*. 126: 203-233.
71. Oudri, N.; Castro, J. L.; Doti, R.; Secondi De Carbonell, A. 1976. Guía para la fertilización de cultivos. Montevideo, MAP. 46 p.
72. Parks, W. L.; Walker, W. M. 1969. Effect of soil potassium fertilizer and methods of placement upon corn yield. *Soil Science Society America Proceedings*. 33: 427-429.
73. Rabuffetti, A. 2017. La fertilidad del suelo y su manejo. Montevideo, Hemisferio Sur. v.2, 503 p.
74. Rebuffo, M. 1994. Fertilización nitrogenada en pasturas mezclas. *In: Seminario de Actualización Técnica (1994, La Estanzuela, Colonia). Nitrógeno en pasturas*. Montevideo, INIA. pp. 27-32 (Serie Técnica no. 51).
75. Risso, D. 1997. Siembras en el tapiz; consideraciones generales y estado actual de la información en la zona de suelos sobre cristalino. *In: Carámbula, M., Vaz Martins, D.; Indarte, E. eds. Pasturas y producción animal en áreas de ganadería extensiva*. Montevideo, INIA. pp. 71 - 82 (Serie Técnica no. 13).
76. Roldán, M.; Venialgo, C.; Gutiérrez, N. 2004. K disponible, de reserva y energía de reemplazamiento en suelos y el nivel foliar en raigrás. (en línea). Corrientes, Universidad Nacional del Nordeste. 4 p. Consultado ene. 2011. Disponible en <http://www.unne.edu.ar/Web/cyt/com2004/5-Agrarias/A-072.pdf>
77. Šarūnaite, L.; Kadžiulienė, Ž. 2013. Herbage composition and nutrient content in dairy pasture as influenced by long-term potassium fertilization. (en línea). *In: Symposium of the European Grassland Federation: The Role of Grassland in a Green future (17th, 2013, Akureyri, Iceland). Threats and Perspectives in Less Favoured Areas; proceedings. Grassland Science in Europe*. 18: 138-140. Consultado oct. 2017. Disponible en <http://www.europeangrassland.org/fileadmin/media/EGF2013.pdf>
78. SAS Institute. 1985. SAS/STAT guide for personal computer. 6th. ed. Cary, NC. 956 p.

79. Sharpley, A. N. 1989. Relationship Between Soil Potassium Forms and Mineralogy. *Soil Science Society of America Journal*. 52(4):1023-1028.
80. Thomas, H.; Norris, I. B. 1981. The influence of light and temperature during winter on growth and death in simulated swards of *Lolium perenne*. *Grass and Forage Science*. 36: 107-116.
81. Tisdale, S. L.; Nelson, W. L.; Beaton, J. D.; Havlin, J. L. 1993. *Soil Fertility And Fertilizers*. 5th. ed. New York, Mac Millan. 634 p.
82. Ungerfeld, E. 1998. Factores que afectan el contenido de minerales en pasturas naturales y el estado nutricional de vacunos y ovinos en Uruguay: revisión bibliográfica. ed. prelim. Montevideo, INIA. 230 p.
83. Vázquez, M. 2007. Calcio y Magnesio. Acidez y alcalinidad de suelos. *In*: Echeverría, H.; García, F. eds. *Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos*. Balcarce, Argentina, INTA. pp.161-188.
84. Vidal, J. L. 2003. Dinámica del K en el suelo y su requerimiento por los cultivos. (en línea). México, Colegio de Postgraduados. 30 p. Consultado ene. 2011. Disponible en [http://www.ipni.net/.../Dinámica del potasio. Marzo 5. Jose Luis Vidal.doc](http://www.ipni.net/.../Dinámica_del_potasio_Marzo_5_Jose_Luis_Vidal.doc)
85. Voisin, A. 1959. *Grass productivity*. New York, USA, Physiological Library. 353 p.
86. Watson, D. J. 1947. Comparative physiological studies in the growth of field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. *Annals of Botany*. 11: 41-76.
87. Wedderburn, M. E.; Adam, K. D.; Greaves, L. A.; Carter, J. L. 1996. Effect of oversown ryegrass (*Lolium perenne*) and white clover (*Trifolium repens*) on the genetic structure of New Zealand hill pastures. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 39: 41 - 52.
88. Welch, L. F.; Flannery, R. L. 1985. Potassium nutrition of corn. *In*: Munson, R. D. ed. *Potassium in agriculture*. Madison, WI, American Society of Agronomy. pp. 647-664.
89. Zamalvide, J. 1998. Fertilización de pasturas. *In*: Reunión del Grupo Técnico Regional del Cono Sur en Mejoramiento y Utilización de los Recursos

Forrajeros del Área Tropical y Subtropical; Grupo Campos (14^a, 1994, Salto). Anales. Montevideo, INIA. pp. 97-107 (Serie Técnica no. 94).

9. ANEXOS

1. Producción de materia seca en leguminosas y gramíneas en El Junco.

Trat. K ₂ O	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	----- Leguminosas (kg MS ha ⁻¹) -----								
00	2022	2393	2174	2772	2933	1913	1357	698	2081
0	3510	2756	2289	2856	3216	1920	1254	587	2270
30	3049	2791	2494	2675	3386	2470	2015	559	978
60	2123	2700	2398	2795	3293	2041	1698	517	2257
120	3427	2531	2244	2804	3093	2574	1396	657	2537
240	3248	3241	2376	3001	3330	1922	887	681	1959
	----- Gramíneas (kg MS ha ⁻¹) -----								
00	1653	116	506	30	302	411	1372	339	1161
0	2131	85	669	175	222	465	1746	928	2037
30	1091	157	668	0	264	796	1846	457	3933
60	1568	56	628	0	41	298	1830	415	1156
120	1458	60	579	344	19	4	1331	326	887
240	649	70	1204	0	630	1215	3543	520	3269

Sitio 1, nov. 2015 (**c1**), dic. 2015 (**c2**), feb. 2016 (**c3**), jul. 2016 (**c4**), set. 2016 (**c5**), nov. 2016 (**c6**), feb. 2017 (**c7**), jun. 2017 (**c8**), oct. 2017 (**c9**). **Sitio 2**, 2016 (**c1**), nov. 2016 (**c2**), feb. 2017 (**c3**), jun. 2017 (**c4**), oct. 2017 (**c5**).

2. Contrastes estadísticos de materia seca total en El Junco.

Trat. K ₂ O	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	MS acum.
(kg ha ⁻¹)	-----MST-----									
Rep.	0.20	0.30	0.35	0.59	0.17	0.57	0.07	0.60	0.15	0.85
Efecto Trat.	0.55	0.76	0.29	0.89	0.77	0.24	0.13	0.44	0.03	0.14
0 abs. vs. resto	0.43	0.41	0.16	0.72	0.59	0.28	0.28	0.7	0.06	0.12
00 vs. test.	0.86	0.19	0.03	0.66	0.27	0.11	0.02	0.59	0.01	0.02
0 vs. resto	0.15	0.89	0.53	0.72	0.88	0.26	0.54	0.07	0.90	0.46
30 vs. +60	0.99	0.90	0.95	0.42	0.72	0.16	0.55	0.93	0.10	0.67
60 vs. +120	0.52	0.70	0.60	0.48	0.71	0.23	0.38	0.55	0.11	0.15
120 vs. 240	0.43	0.23	0.07	0.75	0.20	0.26	0.02	0.48	0.01	0.06

3. Contraste estadístico de materia seca de leguminosas en El Junco.

Trat. K ₂ O (kg ha ⁻¹)	c1	c2	c3	c4	c5	c7	c8	c9
	-----MS leguminosas-----							
Rep.	0.62	0.34	0.61	0.32	0.03	0.07	0.09	0.01
Efecto trat.	0.43	0.77	0.88	0.97	0.89	0.53	0.28	0.60
00 vs. resto	0.16	0.38	0.42	0.86	0.34	0.46	0.79	0.31
00 vs. test.	0.20	0.18	0.49	0.57	0.37	0.98	0.32	0.89
0 vs. resto	0.46	0.90	0.70	0.90	0.86	0.38	0.50	0.86
30 vs. +60	0.88	0.95	0.52	0.56	0.68	0.45	0.09	0.55
60 vs. +120	0.15	0.72	0.73	0.76	0.83	0.61	0.18	0.17
120 vs. 240	0.85	0.25	0.73	0.62	0.59	0.18	0.28	0.85

4. Contraste estadístico de materia seca de gramíneas en El Junco.

Trat. K ₂ O (kg ha ⁻¹)	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9
	-----MS gramíneas-----								
Rep.	0.15	0.91	0.06	0.26	0.33	0.10	0.07	0.79	0.85
Efecto trat.	0.90	0.83	0.20	0.11	0.29	0.08	0.13	0.48	0.00
00 vs. resto	0.79	0.66	0.26	0.47	0.75	0.61	0.28	0.46	0.05
00 vs. test.	0.46	0.61	0.02	0.82	0.24	0.05	0.02	0.58	0.01
0 vs. resto	0.39	0.99	0.64	0.40	0.94	0.70	0.54	0.08	0.60
30 vs. +60	0.90	0.21	0.54	0.30	0.88	0.34	0.55	0.89	0.00
60 vs. +120	0.66	0.90	0.27	0.15	0.24	0.33	0.38	0.98	0.13
120 vs. 240	0.55	0.91	0.04	0.02	0.04	0.01	0.02	0.56	0.00

5. Contraste estadístico de materia seca total en EEFAS.

Trat. K ₂ O (kg ha ⁻¹)	c1	c2	c3	c4	c5	MST acum.
	-----kg MS ha ⁻¹ -----					
Rep.	0.23	0.88	0.01	0.26	0.04	0.40
Efecto trat.	0.07	0.06	0.54	0.57	0.19	0.47
0 abs. vs. resto	0.79	0.11	0.13	0.50	0.15	0.60
00 vs. test.	0.27	0.02	0.43	0.16	0.02	0.01
0 vs. resto	0.63	0.11	0.70	0.91	0.63	0.60
30 vs. +60	0.20	0.50	0.77	0.92	0.12	0.88
60 vs. +120	0.01	0.79	0.95	0.97	0.49	0.01
120 vs. 240	0.12	0.01	0.28	0.09	0.11	0.00

6. Contraste estadístico de concentración de K en plantas de leguminosas en El Junco.

Trat. K ₂ O (kg ha ⁻¹)	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9
-----K en planta de leguminosas (%) -----									
Rep.	0.47	0.32	0.93	0.33	0.94	0.15	0.22	0.99	0.13
Efecto trat.	1.00	0.42	0.01	0.28	0.61	0.05	0.35	0.50	0.62
0 abs. vs. resto	0.98	0.15	0.03	0.76	0.64	0.73	0.84	0.07	0.11
00 vs. test.	0.95	0.10	0.01	0.11	0.98	0.58	0.80	0.08	0.19
0 vs. resto	0.76	0.38	0.03	0.11	0.90	0.49	0.11	0.95	0.88
30 vs. +60	0.91	0.27	0.01	0.65	0.19	0.07	0.26	0.82	0.74
60 vs. +120	0.79	0.42	0.32	0.44	0.38	0.01	0.33	0.53	0.65
120 vs. 240	0.71	0.94	0.31	0.09	0.43	0.75	0.44	0.73	0.69

7. Contraste estadístico de concentración de K en plantas de gramíneas en El Junco.

Trat. K ₂ O (kg ha ⁻¹)	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9
-----K en planta de gramíneas (%) -----									
Rep.	0.18	0.73	0.26	0.43	0.18	0.64	0.16	0.40	0.61
Efecto trat.	0.73	0.02	0.43	0.15	0.22	0.21	0.40	0.94	0.55
0 abs. vs. Resto	0.94	0.24	0.16	0.48	0.08	0.67	0.51	0.83	0.94
00 vs. Test	0.95	0.06	0.14	0.03	0.40	0.25	0.25	0.97	0.62
0 vs. resto	0.42	0.10	0.24	0.39	0.76	0.51	0.05	0.52	0.34
30 vs. +60	0.65	0.04	0.39	0.53	0.19	0.72	1.00	0.64	0.69
60 vs. +120	0.20	0.02	0.86	0.17	0.94	0.60	0.70	0.52	0.28
120 vs. 240	0.95	0.05	0.45	0.03	0.13	0.02	0.66	0.92	0.22

8. Contraste estadístico de concentración de K en plantas de gramíneas en EEFAS.

Trat. K ₂ O (kg ha ⁻¹)	c1	c2	c3	c4	c5
-----K en gramíneas-----					
Rep.	0.16	0.30	0.27	0.19	0.87
Efecto trat.	0.59	0.60	0.38	0.11	0.06
0 abs. vs. resto	0.75	0.70	0.18	0.01	0.05
00 vs. test.	0.60	0.20	0.05	0.08	0.01
0 vs. resto	0.91	0.50	0.99	0.19	0.09
30 vs. +60	0.25	0.25	0.22	0.47	0.12
60 vs. +120	0.17	0.41	0.70	0.52	0.11
120 vs. 240	0.79	0.55	0.19	0.71	0.38

9. Concentración de Ca en planta por cortes para ambos sitios.

Sitio	Tratamientos	1	2	3	4	5	6	7	8	9
----- Ca (%) leguminosas -----										
1	1	1.56	1.99	1.95	1.35	1.08	1.64	1.41	1.14	1.01
	2	1.51	1.71	1.98	1.41	0.71	1.51	1.30	1.16	0.83
	3	1.22	1.93	1.93	1.38	1.46	1.84	1.41	1.03	1.03
	4	1.49	1.98	1.87	1.36	1.33	1.69	1.13	1.18	1.09
	5	1.48	1.60	2.02	1.06	1.16	1.58	1.36	1.10	0.85
	6	1.59	1.78	2.02	1.38	1.14	1.73	0.94	0.81	0.59
----- Ca (%) gramíneas -----										
1	1	0.85	-	0.63	-	0.52	0.60	0.60	0.59	0.59
	2	0.25	-	0.63	0.53	1.01	0.46	0.64	0.62	0.44
	3	0.40	0.58	0.67	-	1.53	0.80	0.60	0.85	0.59
	4	0.39	0.64	0.75	-	-	-	0.59	0.90	0.36
	5	0.39	-	0.68	0.97	1.04	0.46	0.83	0.60	0.59
	6	0.43	0.33	-	-	1.05	0.57	0.82	0.91	0.46
2	1	0.12	0.13	0.14	0.13	0.20	-	-	-	-
	2	0.12	0.16	0.13	0.14	0.20	-	-	-	-
	3	0.10	0.14	0.13	0.12	0.19	-	-	-	-
	4	0.12	0.16	0.14	0.13	0.19	-	-	-	-
	5	0.11	0.13	0.10	0.10	0.17	-	-	-	-
	6	0.12	0.16	0.14	0.13	0.26	-	-	-	-

Sitio 1, nov. 2015 (c1), dic. 2015 (c2), feb. 2016 (c3), jul. 2016 (c4), set. 2016 (c5), nov. 2016 (c6), feb. 2017 (c7), jun. 2017 (c8), oct. 2017 (c9). Sitio 2, 2016 (c1), nov. 2016 (c2), feb. 2017 (c3), jun. 2017 (c4), oct. 2017 (c5).

10. Concentración de Mg en planta por cortes para ambos sitios.

Sitio	Tratamientos	1	2	3	4	5	6	7	8	9
----- Mg (%) leguminosas -----										
1	1	0.46	0.50	0.47	0.23	0.26	0.36	0.38	0.28	0.41
	2	0.33	0.43	0.43	0.24	0.18	0.33	0.38	0.29	0.40
	3	0.63	0.42	0.42	0.23	0.28	0.38	0.40	0.27	0.41
	4	0.38	0.45	0.39	0.25	0.26	0.34	0.36	0.27	0.42
	5	0.35	0.35	0.41	0.21	0.25	0.32	0.32	0.25	0.36
	6	0.45	0.43	0.47	0.24	0.24	0.38	0.38	0.23	0.33
----- Mg (%) gramíneas -----										
1	1	0.10	-	0.33	-	0.18	0.22	0.34	0.17	0.27
	2	0.09	-	0.30	0.14	0.22	0.21	0.34	0.25	0.24
	3	0.14	0.18	0.44	-	0.27	0.27	0.42	0.23	0.29
	4	0.13	0.15	0.50	-	-	-	0.37	0.26	0.31
	5	0.14	-	0.31	0.17	0.25	0.16	0.35	0.15	0.28
	6	0.14	0.13	-	-	0.25	0.28	0.34	0.26	0.33
2	1	0.31	0.48	0.48	0.54	0.29	-	-	-	-
	2	0.29	0.65	0.45	0.59	0.40	-	-	-	-
	3	0.24	0.51	0.50	0.49	0.32	-	-	-	-
	4	0.27	0.64	0.45	0.49	0.33	-	-	-	-
	5	0.28	0.44	0.37	0.47	0.34	-	-	-	-
	6	0.28	0.50	0.49	0.62	0.38	-	-	-	-

Sitio 1, nov. 2015 (c1), dic. 2015 (c2), feb. 2016 (c3), jul. 2016 (c4), set. 2016 (c5), nov. 2016 (c6), feb. 2017 (c7), jun. 2017 (c8), oct. 2017 (c9). Sitio 2, 2016 (c1), nov. 2016 (c2), feb. 2017 (c3), jun. 2017 (c4), oct. 2017 (c5).

11. Concentración de Na en planta por cortes para ambos sitios.

Sitio	Tratamientos	1	2	3	4	5	6	7	8	9
----- Na (%) leguminosas -----										
1	1	0.30	0.25	0.12	0.44	0.57	0.44	0.20	0.33	0.38
	2	0.42	0.34	0.16	0.48	0.26	0.40	0.27	0.35	0.27
	3	0.34	0.36	0.14	0.36	0.52	0.44	0.23	0.29	0.36
	4	0.26	0.27	0.13	0.42	0.44	0.34	0.18	0.32	0.48
	5	0.24	0.17	0.09	0.21	0.39	0.34	0.10	0.27	0.31
	6	0.37	0.25	0.19	0.41	0.29	0.39	0.27	0.16	0.18
----- Na (%) gramíneas -----										
1	1	0.14	-	0.26	-	0.78	0.08	1.13	0.05	0.36
	2	0.11	-	0.12	0.04	0.48	0.11	1.49	0.09	0.49
	3	0.16	0.24	0.22	-	0.43	0.10	1.44	0.12	0.42
	4	0.08	0.10	0.23	-	-	-	1.46	0.27	0.17
	5	0.06	-	0.09	0.15	0.46	0.12	1.56	0.04	0.29
	6	0.15	0.15	-	-	0.43	0.27	1.31	0.15	0.26
2	1	0.12	0.10	0.06	0.04	0.20	-	-	-	-
	2	0.05	0.08	0.09	0.03	0.14	-	-	-	-
	3	0.07	0.05	0.05	0.03	0.11	-	-	-	-
	4	0.04	0.06	0.03	0.03	0.10	-	-	-	-
	5	0.06	0.06	0.05	0.03	0.09	-	-	-	-
	6	0.07	0.10	0.08	0.07	0.16	-	-	-	-

Sitio 1, nov. 2015 (c1), dic. 2015 (c2), feb. 2016 (c3), jul. 2016 (c4), set. 2016 (c5), nov. 2016 (c6), feb. 2017 (c7), jun. 2017 (c8), oct. 2017 (c9). Sitio 2, 2016 (c1), nov. 2016 (c2), feb. 2017 (c3), jun. 2017 (c4), oct. 2017 (c5).

12. Concentración de P en planta para ambos sitios.

Sitio	Tratamientos	1	2	3	4	5	6	7	8	9
----- P (%) leguminosas -----										
1	1	-	-	-	-	-	-	0.27	0.30	0.29
	2	-	-	-	-	-	-	0.29	0.32	0.21
	3	-	-	-	-	-	-	0.29	0.28	0.28
	4	-	-	-	-	-	-	0.31	0.31	0.38
	5	-	-	-	-	-	-	0.26	0.31	0.28
	6	-	-	-	-	-	-	0.31	0.33	0.34
----- P (%) gramíneas -----										
1	1	-	-	-	-	-	-	0.23	0.18	0.28
	2	-	-	-	-	-	-	0.24	0.13	0.38
	3	-	-	-	-	-	-	0.26	0.22	0.40
	4	-	-	-	-	-	-	0.26	0.19	0.36
	5	-	-	-	-	-	-	0.24	0.23	0.34
	6	-	-	-	-	-	-	0.25	0.12	0.35
2	1	-	-	0.19	0.13	0.35	-	-	-	-
	2	-	-	0.19	0.13	0.40	-	-	-	-
	3	-	-	0.21	0.13	0.31	-	-	-	-
	4	-	-	0.17	0.10	0.38	-	-	-	-
	5	-	-	0.20	0.12	0.30	-	-	-	-
	6	-	-	0.19	0.16	0.32	-	-	-	-

Sitio 1, nov. 2015 (c1), dic. 2015 (c2), feb. 2016 (c3), jul. 2016 (c4), set. 2016 (c5), nov. 2016 (c6), feb. 2017 (c7), jun. 2017 (c8), oct. 2017 (c9). Sitio 2, 2016 (c1), nov. 2016 (c2), feb. 2017 (c3), jun. 2017 (c4), oct. 2017 (c5).

13. Concentración de N en planta en ambos sitios.

Sitio	Tratamientos	1	2	3	4	5	6	7	8	9
----- N (%) leguminosas -----										
1	1	3.55	2.89	2.36	3.36	2.85	2.80	2.28	2.87	2.80
	2	3.17	2.59	2.48	3.34	2.88	2.65	2.43	3.17	2.99
	3	3.11	2.77	2.47	3.75	3.00	2.96	2.31	2.90	2.93
	4	3.16	2.77	2.48	2.70	2.73	3.03	2.29	2.98	2.97
	5	2.99	2.43	2.54	3.38	2.75	2.77	2.23	2.98	2.75
	6	3.04	2.61	2.28	3.41	2.70	2.74	2.31	3.01	2.91
----- N (%) gramíneas -----										
1	1	1.53	-	1.48	-	2.09	2.04	1.33	1.54	1.87
	2	0.95	-	1.53	-	2.03	1.87	1.29	1.64	1.70
	3	1.31	-	1.64	-		1.70	1.38	1.78	1.98
	4	1.27	-	1.92	-			1.22	1.42	1.85
	5	1.56	-	1.03	-	1.89	1.62	1.04	1.52	1.52
	6	0.70	-	-	-	1.89	1.87	1.31	1.94	1.88
2	1	0.85	0.82	0.97	0.90	1.40	-	-	-	-
	2	0.95	0.97	0.92	0.81	1.47	-	-	-	-
	3	0.82	1.32	0.92	0.98	1.35	-	-	-	-
	4	0.88	1.03	0.84	0.91	1.40	-	-	-	-
	5	0.81	0.93	0.92	0.90	1.38	-	-	-	-
	6	0.94	1.01	0.87	1.00	1.40	-	-	-	-

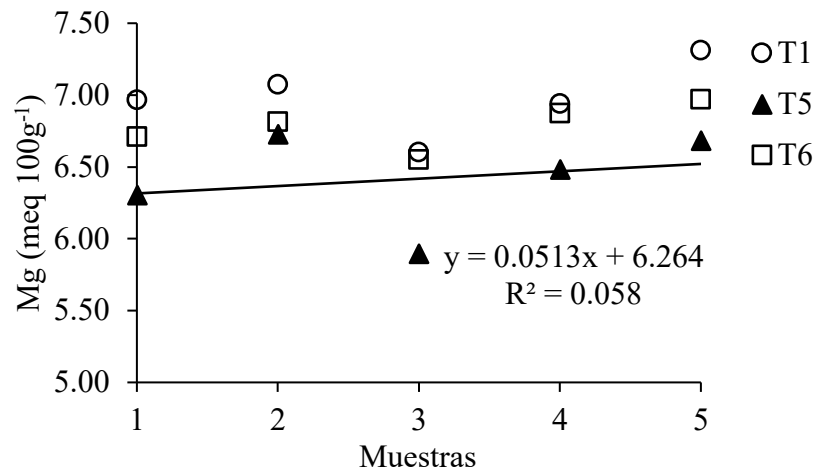
Sitio 1, nov. 2015 (c1), dic. 2015 (c2), feb. 2016 (c3), jul. 2016 (c4), set. 2016 (c5), nov. 2016 (c6), feb. 2017 (c7), jun. 2017 (c8), oct. 2017 (c9). Sitio 2, 2016 (c1), nov. 2016 (c2), feb. 2017 (c3), jun. 2017 (c4), oct. 2017 (c5).

14. Concentración de S en planta en ambos sitios.

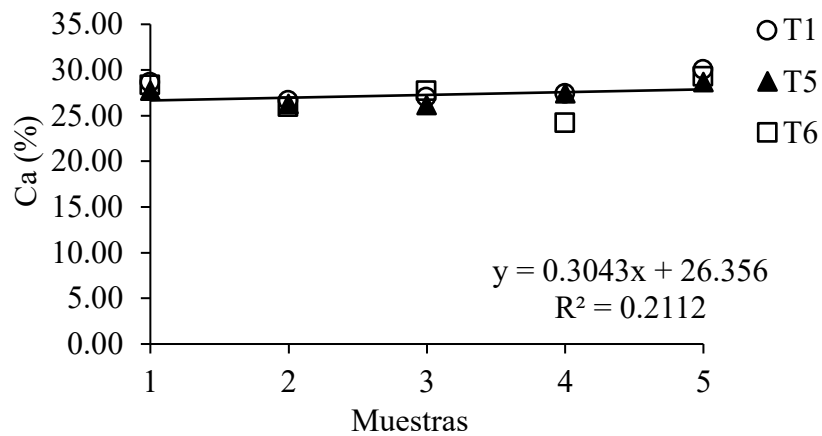
Sitio	Tratamientos	1	2	3	4	5	6	7	8	9
----- S (%) leguminosas -----										
1	1	2.02	2.29	-	2.05	1.68	1.78	1.59	2.27	1.64
	2	2.14	2.37	2.66	2.20	1.65	1.75	1.75	1.75	1.65
	3	2.31	2.35	-	2.18	1.72	1.60	1.70	1.95	1.61
	4	1.97	2.57	-	2.15	1.68	1.63	1.40	1.83	1.61
	5	2.09	2.09	2.22	1.99	1.68	1.62	1.57	2.14	1.46
	6	1.90	2.11	-	1.92	1.58	1.72	1.56	1.82	1.58
----- S (%) gramíneas -----										
1	1	2.71	1.82	-	-	2.54	-	1.27	1.85	1.63
	2	1.79	1.78	-	-	-	1.36	1.09	1.64	1.47
	3	1.91	1.87	-	-	-	1.34	1.24		1.52
	4	1.70	1.93	-	-	-	-	0.97	1.75	1.55
	5	1.91	1.87	-	-	-	1.71	1.10	1.45	1.36
	6	1.37	1.62	-	-	-	1.70	1.08	1.87	1.40
2	1	1.76	1.99	1.75	1.36	1.44	-	-	-	-
	2	1.99	2.04	1.83	1.34	1.48	-	-	-	-
	3	2.00	1.88	1.82	1.42	1.36	-	-	-	-
	4	1.78	1.97	1.64	1.36	1.46	-	-	-	-
	5	1.74	1.95	1.77	1.25	1.37	-	-	-	-
	6	1.91	2.17	1.61	1.53	1.34	-	-	-	-

Sitio 1, nov. 2015 (c1), dic. 2015 (c2), feb. 2016 (c3), jul. 2016 (c4), set. 2016 (c5), nov. 2016 (c6), feb. 2017 (c7), jun. 2017 (c8), oct. 2017 (c9). Sitio 2, 2016 (c1), nov. 2016 (c2), feb. 2017 (c3), jun. 2017 (c4), oct. 2017 (c5).

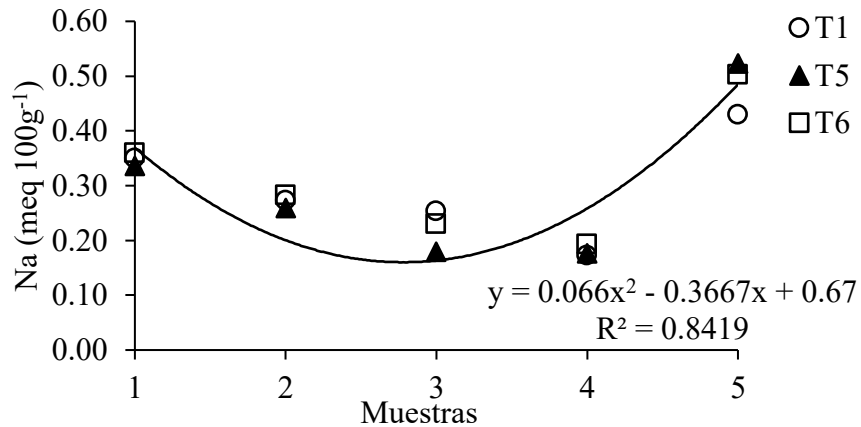
15. Concentración de Mg en suelo según tratamiento en El Junco.



16. Concentración de Ca de suelo por tratamiento en El Junco.



17. Concentración de Na en suelo por tratamiento en El Junco.

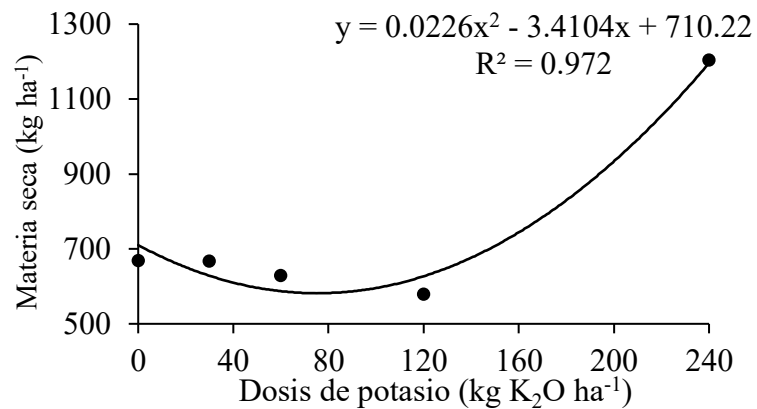


18. Contenido de K (%) de especies de campo natural sobre Basalto.

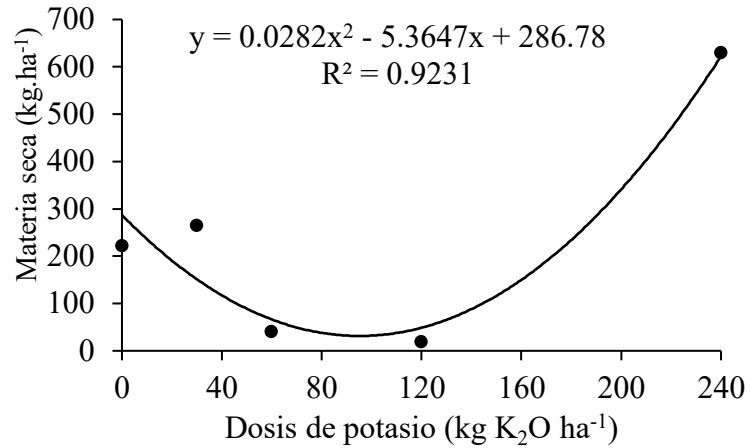
Especies	K (%)
<i>Anfropogon lateralis</i>	0,94
<i>Aristida uruguayensis</i>	1,15
<i>Bothriochloa laguroides</i>	1,32
<i>Coelorhachis selloana</i>	1,33
<i>Eragrostis neessi</i>	1,09
<i>Eustachis bahiensis</i>	1,42
<i>Paspalum dilatatum</i>	1,83
<i>Paspalum notatum</i>	1,61
<i>Paspalum plicatulum</i>	1,31
<i>Schizachyrium microstachyum</i>	1,03
<i>Schizachyrium spicatum</i>	1,00
<i>Piptochaetium stipoides</i>	0,97
<i>Poa lanigera</i>	1,70
<i>Stipa setigera</i>	1,21
<i>Adesmia bicolor</i>	1,30
<i>Chaptalia piloselloides</i>	1,92

Fuente: adaptado de Berretta (1998).

19. Ajuste de regresión para la producción de forraje según dosis de fertilización con K. Corte 3 (gramíneas).



20. Ajuste de regresión para la producción de forraje según dosis de fertilización con K. Corte 5 (gramíneas).



21. Ajuste de regresión para la producción de forraje según dosis de fertilización con K. Corte 7 (leguminosas + gramíneas).

