

**UDE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**EFECTO DE LA VARIACIÓN DEL SUELO EN LA  
PRESENCIA DE LEGUMINOSAS EN  
MEJORAMIENTOS DE CAMPO NATURAL**

**Tesistas:**

Luciano Irrigaray Pivetta  
Santiago Martin Bove Bettega  
Ignacio Bonomi Mangarelli

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

Montevideo  
2020

**UNIVERSIDAD DE LA EMPRESA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**EFFECTO DE LA VARIACIÓN DEL SUELO EN LA  
PRESENCIA DE LEGUMINOSAS EN MEJORAMIENTOS  
DE CAMPO NATURAL**

**Tutor:**  
**Ing.Agr.MSc. Gerónimo Cardozo**

**Tesistas:**  
Luciano Irrigaray Pivetta  
Santiago Martin Bove Bettega  
Ignacio Bonomi Mangarelli

Montevideo

2020

**Tesis aprobada por:**

-----  
**Nombre completo y firma**

-----  
**Nombre completo y firma**

-----  
**Nombre completo y firma**

**Nota final:**

**Fecha:**

**Autor:**

-----  
**Nombre completo y firma**

-----  
**Nombre completo y firma**

-----  
**Nombre completo y firma**

Agradecimientos:

A nuestras familias y amigos por apoyarnos durante toda la carrera.

A nuestro tutor, Gerónimo Cardozo y a todo el personal de INIA Treinta y Tres por hacer de esta tesis una etapa disfrutable y de mucho aprendizaje.

También al grupo de docentes miembros de la Facultad de Ciencias Agrarias UDE que nos acompañaron durante la tesis y durante toda la carrera.

## TABLA DE CONTENIDOS

HOJA DE APROBACION.....	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
TABLA DE CONTENIDOS.....	III
TABLA DE CUADROS Y FIGURAS.....	V
<b>1. RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ABSTRACT.....</b>	<b>2</b>
<b>3. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
3.1 CAMPO NATURAL.....	3
3.2 . MEJORAMIENTOS DE CAMPO NATURAL.....	5
3.3. CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL GÉNERO LOTUS Y TRÉBOL _____7	
3.4. ROL DEL FÓSFORO SOBRE LA LEGUMINOSA Y LOS MEJORAMIENTOS DE CAMPO NATURAL.....	11
3.5. CRECIMIENTO DE LAS LEGUMINOSAS Y FIJACIÓN BIOLÓGICA DE NITRÓGENO.....	15
3.6. VARIABILIDAD ESPACIAL.....	18
3.7. IMPORTANCIA DE LOS RELEVAMIENTOS REGIONALES.....	20
<b>4. OBETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS.....</b>	<b>21</b>
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	21

4.2.	<u>OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</u>	21
4.3.	<u>HIPÓTESIS.....</u>	21
<b>5.</b>	<b><u>MATERIALES Y MÉTODOS.....</u></b>	<b>23</b>
5.1.	<u>UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS SITIOS EXPERIMENTALES.....</u>	23
5.2.	<u>DESCRIPCIÓN DE LOS SUELOS .....</u>	24
5.3.	<u>RECOLECCIÓN DE DATOS .....</u>	26
5.4.	<u>ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....</u>	26
<b>6.</b>	<b><u>RESULTADOS.....</u></b>	<b>28</b>
6.1.	<u>CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS PASTURAS .....</u>	28
6.2.	<u>CARACTERIZACIÓN BOTÁNICA .....</u>	29
6.3.	<u>CARACTERIZACIÓN DE SUELO .....</u>	31
6.3.1.	Variabilidad y Correlación de variables de suelo.....	32
6.3.2.	Nivel de acidez (pH) y desarrollo de la leguminosa.....	33
6.3.3.	Nivel de fósforo y desarrollo de la leguminosa.....	36
6.3.4.	Nivel de potasio y desarrollo de la leguminosa .....	39
6.4.	<u>CARACTERIZACIÓN DEL NIVEL NUTRICIONAL EN PLANTA ....</u>	42
6.5.	<u>ANÁLISIS MULTIVARIADO.....</u>	50
6.6.	<u>VARIABILIDAD ESPACIAL.....</u>	55
<b>7.</b>	<b><u>DISCUSIÓN.....</u></b>	<b>59</b>
7.1.	<u>NIVEL DE LAS PRINCIPALES VARIABLES.....</u>	59
7.2.	<u>VARIABILIDAD INTRA VS. INTER-SITIOS.....</u>	61
7.3.	<u>FACTORES QUE MÁS AFECTAN NIVEL DE LEGUMINOSA.....</u>	64
7.4.	<u>COMPETENCIA DETERMINADA POR NITRIGENO O FOSFORO.....</u>	65
<b>8.</b>	<b><u>Conclusiones .....</u></b>	<b>66</b>

<b>9. <u>referencias bibliográficas</u></b> .....	<b>68</b>
<b>10. <u>ANEXOS</u></b> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## TABLA DE CUADROS Y FIGURAS

<b>Cuadro 1.</b> Uso del suelo de la superficie pastoril. ....	4
<b>Cuadro 2.</b> Rendimientos de pasturas en el Uruguay (Ton MS/ha/año).....	6
<b>Cuadro 3.</b> Características agronómicas de las principales especies del género Lotus. ....	8
<b>Cuadro 4.</b> Producción acumulada (kgMS/ha) de forraje de trébol blanco del mejoramiento de campo, con diferentes dosis y fuentes de fósforo a la siembra, sin refertilizar .....	13
<b>Cuadro 5.</b> Ubicación y tipos de suelos de los diferentes sitios.....	24
<b>Cuadro 6.</b> Biomasa disponible de leguminosa (kgMS/ha), promedio según sitio. ....	31
<b>Cuadro 7.</b> Medidas generales de las variables pH, P y K para todos los sitios.....	32
<b>Cuadro 8.</b> Coeficiente de variación % intra y entre sitios de las variables pH, P ( $\mu\text{g P/g}$ ), K (meq/100g) y relación P: K.....	33
<b>Cuadro 9.</b> Coeficiente de correlación de Pearson y probabilidad de las variables pH (H <sub>2</sub> O), P ( $\mu\text{g/g}$ ) y K (meq/100g). ....	33
<b>Cuadro 10.</b> Media, Desvío Estándar (DE) y Coeficiente de variación (CV) para la variable pH según sitio. Letras diferentes muestran diferencia significativa (ANOVA, p-valor < 0,001).....	34
<b>Cuadro 11.</b> Media, Desvío Estándar (DE) y Coeficiente de variación (CV) para la variable P ( $\mu\text{g P/g}$ ) según sitio. ....	37
<b>Cuadro 12.</b> Media, Desvío Estándar (DE) y Coeficiente de variación (CV) para la variable K (meq/100g) según sitio. Letras diferentes muestran diferencia significativa (ANOVA, p-valor < 0,01). ....	41

**Cuadro 13.** Media, Desvío Estándar (D.E.) y Coeficiente de Variación (CV) general y rango por sitios, para N, P y la relación N:P, discriminado por componente leguminosa y No leguminosa. Letras diferentes en misma columna muestran diferencia significativa (ANOVA, p-valor < 0,05)..... 43

**Cuadro 14.** Matriz de autocorrelación espacial según Índice de Moran, para cada sitio y variable estudiada. Se resaltan los casos que son significativos (p-valor <0,05). ..... 58

**Figura 1.** Producción total (kgMS/ha) de Campo Natural (CN) y Mejoramiento de Campo Natural (MECN) con INIA-Basalto. % en columnas naranja indica el aporte de la leguminosa..... 10

**Figura 2.** Proporción de Lotus (%) en la pastura de acuerdo con el nivel de refertilización anual con fosfatos..... 14

**Figura 3.** Mapa de sitios muestreados. Puntos verdes (*Lotus subbiflorus*), azul (*L. pedunculatus*) y blanco (*Trifolium repens*). ..... 23

**Figura 4.** Altura promedio (cm) de la pastura para los diferentes sitios. Letras diferentes indican diferencia estadística (p-valor<0,05)..... 28

**Figura 5.** Índice de verdor (INDV) para todos los sitios. Letras diferentes indican diferencia estadística (p-valor<0,05)..... 29

**Figura 6.** Composición porcentual en peso seco de la pastura General y para cada sitio, dónde (Leg) es leguminosa, (Gra.Ver.(C4)) es gramínea de verano, (Gra.Inv.(C3)) es gramínea de invierno, (Groide.(C3)) es graminoide y (Dicot.(C3)) es dicotiledonea. Letras diferentes para % Leg, indican diferencia significativa (ANOVA; p-value<0,001). ..... 30

**Figura 7.** Diagrama de caja del nivel de pH (H<sub>2</sub>O) según sitio. Las líneas de la caja representan percentiles 0,25, 0,50 y 0,75. La cruz indica la media, los bigotes son los percentiles 0,10 y 0,90. Las letras diferentes muestran diferencia significativa (ANOVA, p-valor < 0,001). ..... 34

<b>Figura 8.</b> Relación entre la disponibilidad de leguminosa en peso seco (PS Leg (k/ha)) y el % Leguminosa, en función del pH.....	35
<b>Figura 9.</b> Diagrama de caja del nivel de P ( $\mu\text{g P/g}$ ) según sitio. Las líneas de la caja representan percentiles 0,25, 0,50 y 0,75. La cruz indica la media, los bigotes son los percentiles 0,10 y 0,90. Las letras diferentes muestran diferencia significativa (ANOVA, p-valor < 0,001). .....	36
<b>Figura 10.</b> Relación entre la disponibilidad de leguminosa en peso seco (PS Leg (k/ha)) y el % Leguminosa, en función del P suelo ( $\mu\text{g P/g}$ ). .....	38
<b>Figura 11.</b> Relación entre la disponibilidad media de leguminosa en peso seco (PS Leg (kg/ha)) en función del nivel medio P suelo ( $\mu\text{g P/g}$ ), para cada sitio. Barras grises indican desvío estándar.....	39
<b>Figura 12.</b> Diagrama de caja del nivel de K suelo (meq/100g) según sitio. Las líneas de la caja representan percentiles 0,25, 0,50 y 0,75. La cruz indica la media, los bigotes son los percentiles 0,10 y 0,90. Las letras diferentes muestran diferencia significativa (ANOVA, p-valor < 0,01). .....	40
<b>Figura 13.</b> Relación entre la disponibilidad de leguminosa en peso seco (PS Leg (kg/ha)) y el % Leguminosa, en función del K (meq/100g). Línea roja, nivel crítico sugerido por Morón (2008).....	42
<b>Figura 14.</b> Diagrama de caja del % N, % P y relación N:P en plantas de leguminosa y Resto (No leguminosa), según sitio. Letras diferentes muestran diferencia significativa (ANOVA, p-valor < 0,001) para la leguminosa. ns: sin diferencia estadística entre leguminosa y Resto para un mismo sitio. ....	45
<b>Figura 15.</b> Relación del disponible en peso seco de leguminosas (kg/ha) y % de leguminosas con respecto al % de N y % P en las no leguminosas. ....	47
<b>Figura 16.</b> Relación del disponible en peso seco de leguminosas (kg/ha) y % de leguminosas con respecto al % de N y % P en la leguminosa.....	48
<b>Figura 17.</b> Relación del disponible en peso seco de leguminosas (kg/ha) y % de leguminosas con respecto a la relación N:P de la leguminosa y la no leguminosa.....	49

<b>Figura 18.</b> Gráfico Biplot del Análisis de Componente Principal de las 11 variables principales consideradas en el presente estudio. ....	51
<b>Figura 19.</b> Árbol de regresión para peso seco de la leguminosa(kg/ha). Dónde: la relación N:P de la leguminosa (N:P), % N de comunidad acompañante (% N_prom), % P de la leguminosa (% P) y % P de comunidad acompañante (% P_prom). ....	52
<b>Figura 20.</b> Árbol de regresión del % de biomasa de leguminosa. Dónde: % P de la leguminosa (% P), % N de la leguminosa (% N), % N de comunidad acompañante (% N_prom) y pH (0-15cm) en el suelo. ....	54
<b>Figura 21.</b> Representación del muestreo realizado en un potrero de la Unidad Experimental Palo a Pique (UEPP) INIA Treinta y Tres. ....	55
<b>Figura 22.</b> Representación en el plano y red de vecinos del muestreo realizado en un potrero de la Unidad Experimental Palo a Pique (UEPP), INIA Treinta y Tres. ....	56
<b>Figura 23.</b> Semivariograma, a) para la variable % de leguminosa en el sitio 6, y b) ejemplo de variable con alta estructuración espacial. ....	57
<b>Figura 24.</b> Representación del muestreo realizado en un potrero del SUL. ....	76
<b>Figura 25.</b> Representación del muestreo realizado en un potrero de Grecco, Rio Negro. ....	77
<b>Figura 26.</b> Representación del muestreo realizado en un potrero de Masoller, Rivera. ....	78
<b>Figura 27.</b> Representación del muestreo realizado en un potrero de Glencoe, Tacuarembó. ....	79
<b>Figura 28.</b> Representación del muestreo realizado en un potrero de Chui, Rocha. ....	80

# EFECTO DE LA VARIACIÓN DEL SUELO EN LA PRESENCIA DE LEGUMINOSAS EN MEJORAMIENTOS DE CAMPO NATURAL

## 1. RESUMEN

La mayoría de las pasturas naturales del Uruguay tienen una baja producción de leguminosas y una marcada estacionalidad, lo que limita la productividad animal. Los Mejoramientos de Campo Natural (MECN) son una excelente opción a nivel productivo para superar algunas de las limitantes del Campo Natural, por su fácil implantación, durabilidad y bajo costo. Los niveles de pH, fósforo (P), potasio (K) y nitrógeno (N) disponible son considerados factores limitantes que condicionan el desarrollo de las leguminosas y la fijación biológica del nitrógeno (FBN). Identificar las variaciones de estos nutrientes dentro de un mismo suelo o unidad de manejo es fundamental para potenciar el desarrollo de la leguminosa. El objetivo general del presente trabajo fue estudiar el rol de algunos factores del suelo y del estado nutricional de las plantas, en la variación del aporte de leguminosas dentro de potreros de Campo Natural Mejorado en diferentes regiones del país. Se muestrearon 6 potreros de MECN en primavera de 2018, en diferentes departamentos (Florida, Treinta y Tres, Rocha, Rio Negro, Rivera y Paysandú) y diferentes tipos de suelos (San Gabriel-Guaycurú, Alférez, India Muerta, Paso Palmar, Masoller y Queguay Chico) analizando el perfil en los primeros 0-15 cm y determinando niveles de pH, P y K. A nivel de planta se separaron diferentes componentes botánicos y se analizó el contenido de N y P. Para las variables analizadas (pH, P, K en suelo y N y P en planta) la variabilidad fue en general mayor entre sitios que dentro de los sitios, con algunas excepciones. La variabilidad espacial no fue posible de modelar en ninguno de los potreros analizadas, ni para ninguna de las variables medidas. El nivel de nutrición de N y P de las leguminosas medido por la relación N:P y el contenido de N del resto de la comunidad (no leguminosa) lograron explicar entre el 35% y 41% del nivel de leguminosa presente en los MECN. Mientras que el pH y P de suelo explicaron una proporción mínima del nivel de leguminosa en los MECN (menos del 25% de la variabilidad) pero muy afectada por un sitio de muestreo. Se determinó que el K del suelo no guardó ninguna relación con la disponibilidad de leguminosa presente. Se observaron mayores niveles de leguminosa en los ambientes con mayor disponibilidad de N (% N del resto de la comunidad, no leguminosa), a diferencia de lo reportado por la bibliografía para pasturas sembradas.

*Palabras claves: Campo natural, Mejoramiento de campo natural, Leguminosa, Nitrógeno, Fósforo*

# EFFECT OF SOIL VARIATION ON THE PRESENCE OF LEGUME PLANTS IN NATURAL GRASSLAND IMPROVEMENTS

## 2. **ABSTRACT**

Most of Uruguay's native grasslands have very low legume species production and a marked seasonal variation, which limit animal productivity. Improved Native Grasslands (ING) are an excellent option at farm level to overcome some of the native grassland's limitations due to ease of implementation, durability and low cost. Soil pH and phosphorus (P), potassium (K) and nitrogen (N) available levels are known to limit legumes development and biological nitrogen fixation, therefore, identifying the variations of these nutrients within the same soil or management unit is essential to enhance their development. This research aimed to study the role of soil factors and nutritional status of the plants, on the variation of legumes development within the same ING paddock and between different regions of the country. Six ING paddocks in different departments (Florida, Treinta y Tres, Rocha, Rio Negro, Rivera and Paysandú) were sampled in spring 2018, in different types of soils (San Gabriel-Guaycurú, Alférez, India Muerta, Paso Palmar, Masoller and Queguay Chico). Soil samples were taken from 0-15 cm deep and analyzed for pH, P and K. Different botanical components were separated, and N and P content analyzed. For the variables analyzed (pH, P, K in soil and N and P in plant) variability was generally higher between sites than within sites, with some exceptions. Spatial variability was not possible to model for any of the sites or variables. The N and P nutrient level of legumes measured by the N:P ratio compared to the N content of the rest of the community (non-legume) explained between 35% and 41% of the legume level present in the ING. Soil pH and P explained a minimal proportion of the legume level in the ING, less than 25% of the variability, but was highly affected by one sampling site. Soil K was not related to legume availability. Higher levels of legume were also observed in environments with greater availability of N (% N from the rest of the community, non-legume), unlike that reported by the bibliography for cultivated pastures.

*Keywords: Natural grasslands, Natural grassland improvement, Legume, Nitrogen, Phosphorus*

### **3. INTRODUCCIÓN**

#### **3.1. CAMPO NATURAL**

El campo natural es el principal recurso forrajero de las explotaciones ganaderas de nuestro país, siendo el único en la mayoría de ellos (Rovira, citado por André-Cabrera et al 2016). En el 2017, el campo natural ocupaba el 78,5 % del total de la superficie de pasturas del Uruguay, mientras que el campo natural fertilizado y/o sembrado, el 5,8 % (MGAP. DIEA, 2017). De acuerdo con datos de DIEA (2017), de la superficie disponible para pastoreo el 21,5 % del área de forraje representa pasturas mejoradas. Entre ellas, 4,6 % corresponde a verdeos anuales, el 6,9 % a mejoramientos de campo natural y campos fertilizados, mientras que el 10,0 % a praderas (Cuadro 1).

Las pasturas naturales están compuestas principalmente por especies de desarrollo estival; sin embargo, la calidad de las pasturas en esta época presenta bajos valores de digestibilidad (menor a 60 %) y bajos contenidos de fósforo (Minson; Formoso y Allegri; Pittaluga; Olmos; Olmos; Gordon; Olmos citados por Olmos-López, 2001a). La productividad de los pastizales nativos es muy variable, dependiendo fuertemente de la capacidad de almacenaje de agua, la fertilidad de suelo y del manejo (Millot et al, 1987). Por ejemplo, en el año 2018 la producción promedio de los campos naturales fue de 4.856 kg/MS/ha, donde las Sierras del Este fueron la región de mayor producción con 5.153 kg/MS/ha, seguido de la Cuenca Sedimentaria del Litoral Oeste con 5.003 kg/MS/ha. Por su parte, el sector con menor producción de forraje fue la Cuesta Basáltica con 4.420 kg/MS/ha (MGAP. DIEA, 2019).

**Cuadro 1.** Uso del suelo de la superficie pastoril.

Uso del suelo	Superficie	%
Campo natural	10.943.300	78,5
Campo natural mejorado	484.800	5,8
Campo natural fertilizado	93.700	1,1
Praderas permanentes	598.500	10,0
Forrajeras anuales	272.700	4,6
TOTAL	12.393.000	100,0

**Fuente:** Elaborado con base en MGAP. DIEA 2017.

En las pasturas naturales se detectan varios problemas derivados principalmente del sobrepastoreo, como la degradación de las pasturas más productivas debido a la predominancia de especies más ordinarias, escasa presencia de leguminosas, mayores diferencias estacionales en cuanto a producción de forraje, lo que provoca en algunas épocas una marcada reducción del tapiz vegetal, provocando erosión (Zanoniani, citado por André-Cabrera et al, 2016).

Una característica de las pasturas naturales es el bajo contenido de fósforo asimilable en los suelos del Uruguay, lo que afecta negativamente el desarrollo de las leguminosas, sobre todo las especies cultivadas. Como solución a dicho problema, se intenta aumentar la producción de forraje a través de la fertilización con fósforo y la siembra de leguminosas forrajeras seleccionadas y adaptadas a las condiciones locales, así los mejoramientos extensivos, permiten corregir la estacionalidad y mejoran la calidad de las pasturas naturales (Carámbula, 1996).

### 3.2. MEJORAMIENTOS DE CAMPO NATURAL

La siembra de leguminosas y la fertilización con fósforo generan los mejoramientos de campos naturales (MECN) o “coberturas”; estas son posibles de implantar en distintas regiones y tipos de suelos del país. Las mismas mejoran la base forrajera de los sistemas ganaderos, con un uso controlado de insumos y de manera más amigable con el ambiente, respecto al empleo de otras tecnologías más radicales, como la siembra de pasturas que implican la eliminación del tapiz natural (Bemhaja y Berretta; Risso et al, citados por Risso et al 2014).

Los mejoramientos de campo con leguminosas incrementan la fertilidad de los suelos mediante la fijación biológica de nitrógeno (FBN). Esta fertilidad es aprovechada por las gramíneas existentes en el tapiz natural, que en general son de ciclo estival (Ayala y Carámbula, citado por Bermúdez y Ayala 2005). Las leguminosas son un componente fundamental, por su aporte directo al rendimiento, su contribución a la calidad del forraje y en particular, por la incorporación de nitrógeno al suelo por la FBN. La deficiencia de fósforo reduce el crecimiento de las leguminosas, afectando además la relación simbiótica y la FBN, así como su persistencia (Mays et al; Chien et al; Quintero et al, citados por Risso et al 2014). Por tanto, el área de rizobiología requiere particular atención, tanto para el suministro de nuevas cepas para los nuevos materiales, como para la solución de problemas de establecimiento y ecología de rhizobios en zonas ganaderas (INIA, 2019). La inclusión de una gramínea de ciclo invernal aparece como una opción si se quiere acelerar el aporte de los mejoramientos de campo en el invierno. La producción de los mejoramientos de campo con gramíneas perennes es menos dependiente de las condiciones climáticas que los mejoramientos con gramíneas anuales, lo que da mayor estabilidad a lo largo de los años (Bermúdez y Ayala, 2005).

Carámbula (1978) sintetizó el esfuerzo de investigación de las décadas de los sesenta y setenta comparando para diferentes sitios el efecto de la fertilización fosfatada (CN+P), de la inclusión de leguminosas forrajeras exóticas de alto potencial de crecimiento (*Trébol* y *Lotus*) más fertilización fosfatada (MECN) y la

sustitución del tapiz natural por pasturas sembradas (Cuadro 2). Este resumen de información permite cuantificar el impacto de los MECN en la productividad, incrementada de manera sustancial frente al campo natural (CN) y alcanzando para muchos de los sitios valores próximos a las pasturas sembradas. Al analizar la columna de CN+P se observa un aumento en la producción de forraje. Sin embargo, el aumento más importante se observa al implementar el MECN. (Cuadro 2), lo que reafirma la importancia de los mejoramientos de campo natural (Carámbula, 1978).

**Cuadro 2.** Rendimientos de pasturas en el Uruguay (Ton MS/ha/año).

<b>Tipos suelos</b>	<b>CN</b>	<b>CN + P</b>	<b>MECN</b>	<b>Praderas</b>
Basalto Superficial	0,8	0,9	1,4	
Basalto profundo	3,8	4,2	5,6	8,9
Cristalino Superficial	1,8	2,2	3,4	
Cristalino Profundo	2,1	4,0	4,5	9,0
Cuenca Lag. Merín Sierras	1,4	2,1	5,0	
Cuenca Colinas	2,0	2,5	6,0	
Cuenca Lomadas	2,5	3,2	5,0	6,8
Cuenca Llanuras	1,5	1,5	5,0	10,0
Fray Bentos	4,0	5,6	6,0	9,6
Pampeano	3,5	5,0	5,4	9,1
Cretáceo	1,5	1,8	2,6	3,0
Areniscas Tacuarembó	2,5	3,0	4,3	5,8
Fraile Muerto	3,6	6,3	6,4	9,1
Yaguarí	2,5	3,1	5,0	7,5
Aluv. Modernos NE Planosol	2,3	2,8	8,6	9,4
Aluv. Modernos NE Gley	2,3	2,9	7,2	9,0

**Fuente:** Tomado de Carámbula 1978.

Al igual que la fertilización nitrogenada directa (agregado de nitrógeno mineral), los MECN por medio de la FBN favorecen el aumento de la producción y mejoran la distribución de forraje en suelos de basalto profundo. Este cambio cualitativo y cuantitativo es debido a cambios estructurales en la composición botánica de las comunidades. Además, las especies de tipo fino invernal aumentan su frecuencia y presentan mayor vigor (Bemhaja et al, 1994).

### 3.3. CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL GÉNERO LOTUS Y TRÉBOL

Dentro del género Lotus se encuentran la mayoría de las especies utilizadas en los MECN, sobre todo en las áreas más marginales. Dicho género comprende leguminosas cuyo crecimiento se da a partir de la corona, con hojas formadas por cinco foliolos. Poseen inflorescencia de color amarillo y/o amarillo rojizo, con fecundación cruzada entomófila y las semillas se disponen en chauchas (Carámbula; Smethan, citado por Zanoniani y Ducamp 2004). Son especies que se caracterizan por su adaptabilidad a suelos de baja fertilidad y bajos niveles de fósforo; estas características le permiten competir mejor que los tréboles. A pesar de tener fácil implantación en suelos pobres, aumentan significativamente su producción de biomasa con el agregado de fertilizantes fosfatados.

Según Carámbula (1997) las especies de Lotus se destacan por:

- Buena habilidad para competir con las especies nativas sin sustituirlas, ya que deberán desarrollarse en tapices no alterados o alterados parcialmente.
- Tolerancia a bajos niveles de fertilidad porque debe sobrevivir junto a especies autóctonas adaptadas a niveles nutricionales pobres.
- Tolerancia a la acidez del suelo ya que gran parte de los suelos destinados a la ganadería extensiva presentan un pH ácido o moderadamente ácido.
- Buena adaptación a niveles extremos de humedad ya sea por exceso o déficit.
- Eficiencia en la utilización de fósforo debido a la posibilidad de recibir bajas dosis y no muy frecuentes de fertilizante debido a condiciones económicas y de

manejo.

- Capacidad de producir forraje en épocas críticas de la zona mejorada.
- Alta capacidad de rebrote que le permite tolerar manejos severos.
- Gran estabilidad y persistencia para la resiembra natural, por lo que es considerada mejora de largo plazo.

Las principales diferencias entre las especies más utilizadas del género Lotus se detalla en el siguiente cuadro resumen con las principales características agronómicas de cada una (Cuadro 3).

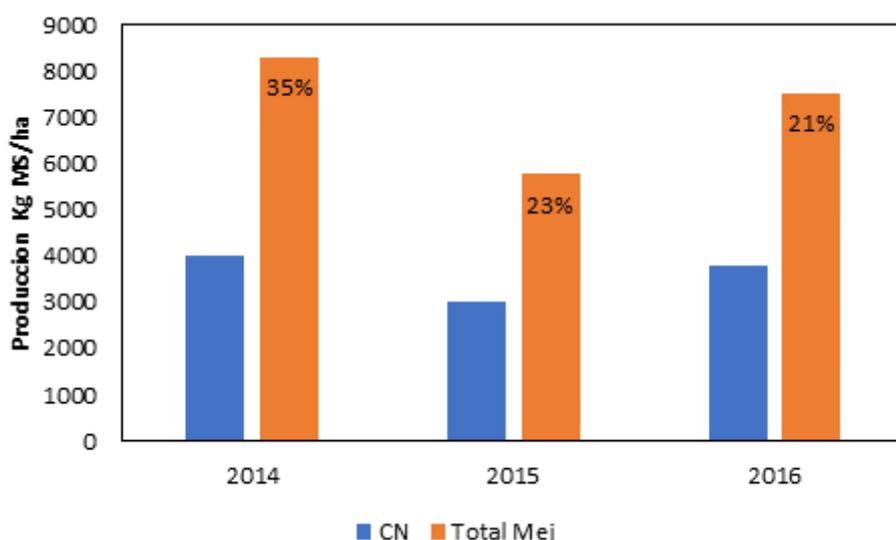
**Cuadro 3.** Características agronómicas de las principales especies del género Lotus.

	<i>L. corniculatus</i>	<i>L. Subbiflorus</i>	<i>L. pedunculatus</i>	<i>L. Tenuis</i>
Hábito de crecimiento	Perenne	Anual	Perenne	Perenne
Ciclo de producción	Estival	Invernal	Estival	Estival
Sistema radicular	Muy profundo	Medianamente profundo	Poco profundo	Medianamente profundo
Hábito de crecimiento	Erecto	Postrado con tallos decumbentes	Tallos aéreos a partir de rizomas	Postrado con tallos decumbentes
Rebrote a partir de	Yemas axilares de tallos y de corona	Igual a <i>L. corniculatus</i>	Yemas axilares de tallos y nudos de rizoma	Igual a <i>L. corniculatus</i>
Manejo del pastoreo	Intensos, pero poco frecuentes/ moderadamente intensos y algo frecuentes	Más adaptado a manejos frecuentes e intensos	Igual a <i>L. corniculatus</i>	Más adaptado a manejos frecuentes e intensos
Recomendado en suelos	Medianamente a profundos donde desarrollar extenso sistema radicular	Superficiales o escasamente desarrollados	Húmedos o con capacidad de acumular agua, orgánicos	Suelos húmedos incluso con drenaje imperfecto
Principales utilizaciones	Desde siembras asociadas a coberturas	Siembra en cobertura	Siembra en cobertura	Siembras en cobertura
Distribución estacional	Primavera-estivo-otoñal	Otoño-invierno-primaveral	Primavera-estivo-otoñal	Primavera-estivo-otoñal
Densidad de siembra	8 a 12 kg/ha	4 a 5 kg/ha	4 k/ha	4-5 kg/ha

Fuente: Tomado de Zanoniani y Ducamp 2004.

Dentro de este género se destaca el *L. subbiflorus* cultivar “El Rincón”, este aparece en Uruguay hacia fines de los años ochenta y actualmente ocupa la mayor área sembrada de MECN a nivel nacional (> 200.000 ha y 2000 productores) (MGAP. DIEA, 2013). Risso y Carámbula (1998), definieron al *L. subbiflorus* como una especie de hábito semi-erecto y de ciclo invernal; bajo pastoreo frecuente adopta un porte postrado. Se adapta a varios tipos de suelo, posibilitando su crecimiento en suelos con poco drenaje, ácidos o con baja fertilidad. La amplia utilización de esta especie se debe a su capacidad de adaptarse a las condiciones ecológicas y de manejo de las grandes áreas ganaderas. Su fácil implantación, su bajo costo debido a la baja utilización de insumos y bajos costos de mantenimiento ubican a esta leguminosa con ventajas para formar parte de los sistemas extensivos de producción (Risso y Carámbula, 1998).

El *L. angustissimus* o “Lotus bagual” es una especie de ciclo anual, naturalizada y espontánea en muchas regiones del Uruguay, recientemente se liberó un cultivar seleccionado, INIA-Basalto. Esta especie posee buen desempeño en suelos superficiales con alto nivel de producción en invierno-primavera. Mientras está en estado vegetativo posee hábito postrado, en floración adopta un hábito semi-postrado. Posee muy buena semillazón (INIA, 2017). En la Figura 1 se representa las diferencias en producción (kg MS/ha) comparando CN con MECN. Se observa que el MECN duplica la producción de CN en suelos superficiales y medios, con aporte de leguminosa que oscilan entre un 20 % y 35 % de la producción total anual.



**Figura 1.** Producción total (kgMS/ha) de Campo Natural (CN) y Mejoramiento de Campo Natural (MECN) con INIA-Basalto. % en columnas naranja indica el aporte de la leguminosa.

**Fuente:** Tomado de Reyno 2017.

El *Trifolium repens* es una leguminosa adaptada a siembras en cobertura, su mayor potencial se expresa en suelos profundos con buena fertilidad, debido a que es más dependiente del fósforo que el género *Lotus* (Risso et al, 2005). Es una especie perenne invernal, estolonífera, la cual desarrolla una primera raíz a partir de la semilla y luego una segunda raíz en cada estolón, junto con el desarrollo de las hojas. Las segundas raíces se desarrollan en la primera primavera. Lo que más condiciona la estabilidad y supervivencia estival es el tamaño de los estolones, que terminan siendo órganos de reserva. Por esta razón es necesaria una adecuada resiembra debido a deficiencias hídricas comunes en laderas o suelos superficiales. Sin embargo, las condiciones de humedad de los bajos permiten su adecuado desarrollo, inclusive bajo pastoreos frecuentes e intensos. Aunque tiene mayores requerimientos de fósforo, su eficiencia en zonas bajas lo hacen una de las especies más recomendadas (Zanoniani, citado por Plan Agropecuario s.f.).

Una característica muy importante de los tréboles en general y del trébol blanco en particular, es su gran habilidad para introducir nitrógeno al ecosistema. No obstante, pueden ocurrir fallas de nodulación por falta de una simbiosis efectiva.

Todas sus especies necesitan rhizóbium específicos, particularmente cuando son sembradas en cierto suelo por primera vez (Burton, citado por Carámbula 1997).

Algunas de las principales características del *Trifolium repens* son:

- Requiere y responde a niveles crecientes de fósforo.
- Vigor inicial bajo y establecimiento lento.
- Elevado valor nutritivo a lo largo de toda la estación de crecimiento.
- Admite pastoreos relativamente intensos y frecuentes.
- Muy buena semillazón y resiembra natural.
- Alto riesgo de meteorismo.
- Densidad de siembra: 4 kg/ha en siembras puras y 2-4 kg/ha en mezcla (Carámbula, citado por Carámbula 1977).

Según Carámbula (1997), la presencia del trébol blanco en los mejoramientos extensivos es sumamente valiosa aun cuando, debido a condiciones de sequía, la población de estolones se ve seriamente reducida. En estos casos la densidad de esta especie debe ser alcanzada por reclutamiento de nuevas plantas para lo que se deberá prever siempre la presencia de un banco importante de semillas en el suelo. Si bien el trébol blanco se adapta a pastoreos intensivos, al igual que todas las plantas forrajeras, se ve afectado por manejos severos y exagerados. Los riesgos por meteorismo en la época de crecimiento primaveral son elevados.

El establecimiento de las leguminosas se ve notablemente favorecido por la fertilización fosfatada. Sin embargo, parece bien claro que existen diferencias importantes entre especies. Así, mientras el género *Lotus* muestra una mayor eficiencia en la utilización de este nutriente aún a bajas concentraciones, el trébol blanco requiere una disponibilidad más alta (Caradus, citado por Carámbula 1997).

#### 3.4. ROL DEL FÓSFORO SOBRE LA LEGUMINOSA Y LOS MEJORAMIENTOS DE CAMPO NATURAL

Si bien las especies de *Lotus* son menos exigentes de fósforo respecto a los tréboles, su desarrollo radicular se acelera con la fertilización fosfatada. Por su parte,

las gramíneas son más competitivas que las leguminosas por dicho nutriente, ya que presentan una tasa de absorción alta a causa de su extenso sistema radicular, no existiendo respuestas a niveles de fertilización mayores a 30 kg/ha de  $P_2O_5$  (Carámbula et al, citado por Carámbula 1997). Tal situación afirma la necesidad de proveer a las leguminosas de niveles adecuados de fósforo en el momento de la siembra, con el propósito de favorecer el crecimiento rápido de sus plántulas.

Los datos disponibles muestran que en especies poco exigentes como el género Lotus se logran en general ventajas muy importantes con dosis iniciales bajas de fósforo (30 unidades) y refertilizaciones bajas todos los años. Algunas especies más exigentes como el trébol blanco pueden requerir dosis entre 50 % y 100 % superiores a las del Lotus para conseguir un buen establecimiento y una buena productividad (Risso, citado por Carámbula 1997). En general, se puede sugerir que la aplicación inicial de fósforo, para el género Lotus no debería ser superior a 40 unidades de  $P_2O_5$ /ha, con refertilizaciones anuales de 30 unidades de  $P_2O_5$ /ha, mientras que, en tréboles blancos con mayores necesidades, las dosis iniciales deberán alcanzar 60-80 unidades de  $P_2O_5$ /ha (Carámbula, 1997).

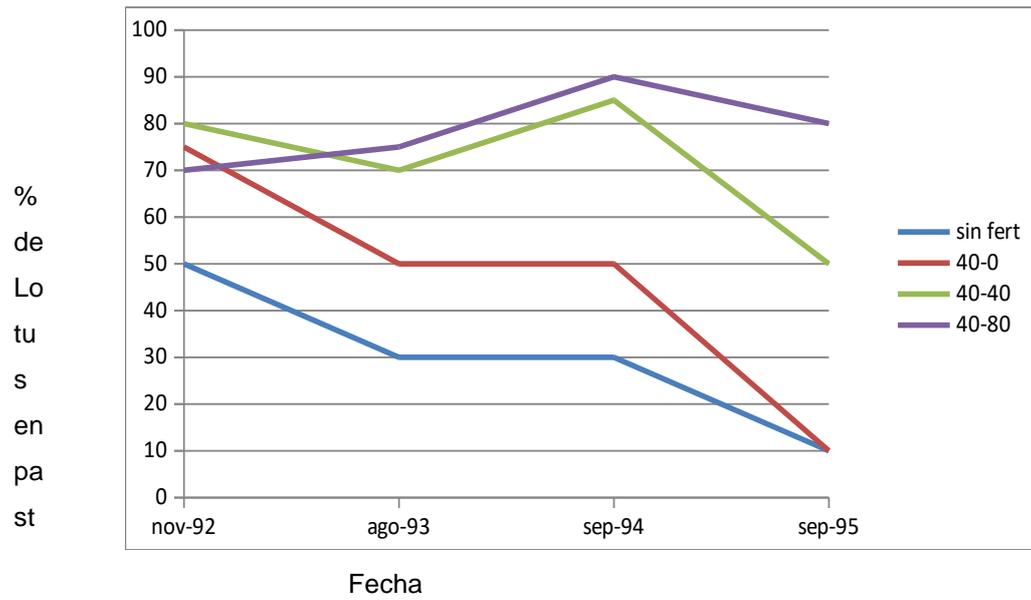
Risso et al (2014) evaluaron la producción acumulada de forraje de MECN de trébol blanco con diferentes tipos de fertilizantes y con diferentes dosis a la siembra. Existió un efecto altamente significativo de la fertilización inicial en el rendimiento de la leguminosa, alcanzándose los 58,0 kg de forraje de TB/kg  $P_2O_5$ . En el total del período experimental se constató un fuerte y significativo efecto residual de los niveles iniciales en producción de forraje de la leguminosa, donde la dosis más alta triplicó el rendimiento del Testigo (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Producción acumulada (kgMS/ha) de forraje de trébol blanco del mejoramiento de campo, con diferentes dosis y fuentes de fósforo a la siembra, sin refertilizar.

Dosis (kgP205/ha)	Superfosfato	Fosforita Natural	Hyperfos	Promedio
0	3.617	3.617	3.617	3.617
40	6.527	8.585	7.493	7.536
80	10.752	11.431	11.019	11.067
160	12.885	15.339	13.470	13.898

**Fuente:** Tomado de Morón, citado por Risso et al 2014.

En la Figura 2 se analiza la proporción de Lotus en el correr del tiempo con distintas estrategias de fertilización. Los niveles de refertilización anual más altos promueven una proporción mayor de Lotus en la pastura aún en el cuarto año de producción del mejoramiento. Cuando no se aplican fosfatos desde el inicio de la introducción de las leguminosas en la pastura natural, su presencia es sensiblemente menor que cuando se aplican 40 unidades. Con el nivel de 80 unidades aplicados anualmente la proporción de Lotus llega al 80 % de la pastura (Olmos-López, 2001b).



**Figura 2.** Proporción de Lotus (%) en la pastura de acuerdo con el nivel de refertilización anual con fosfatos.

**Fuente:** Tomado de Olmos-López 2001b.

### 3.5. CRECIMIENTO DE LAS LEGUMINOSAS Y FIJACIÓN BIOLÓGICA DE NITRÓGENO

Las leguminosas metabolizan unos 90 Teragramos de N<sub>2</sub> mediante el proceso de fijación biológica de nitrógeno (FBN) (Kinzig y Socolow, citado por Divito y Sadras 2014), garantizándole una serie de beneficios que incluyen la disponibilidad de nitrógeno en condiciones donde el suelo no es capaz de cubrir la demanda. Además, la FBN le confiere beneficios al sistema, puesto que el N presente en los residuos de las plantas, ingresa al suelo y puede ser reutilizado por los organismos que en él habitan (Graham y Vance, citado por Divito y Sadras 2014). Sin embargo, este proceso es muy sensible a distintos tipos de estreses ambientales, como la deficiencia de otros nutrientes. A nivel global se señala que el desarrollo de las leguminosas y más específicamente la FBN, es afectada por la disponibilidad de P, K y S, así como también del nivel de pH del suelo (Divito y Sadras, 2014).

El P es, después del N, el nutriente que en mayor medida limita el crecimiento de los cultivos (Vance et al, 2000). Aproximadamente un 40 % de las tierras cultivables presentan deficiencias del nutriente (Almeida et al; Høgh-Jensen et al; Olivera et al; Schulze et al; citados por Divito y Sadras 2014). En menor medida, se han realizado investigaciones de la respuesta de leguminosas ante distinta disponibilidad de K, que también presenta deficiencias en numerosos ambientes (Römheld y Kirkby, 2010).

Las leguminosas que obtienen parte del N a partir de la FBN presentan mayores requerimientos de P, K y S, comparando con plantas que sólo lo absorben de la solución del suelo (Israel; Sulieman et al, citados por Divito y Sadras 2014). Estos nutrientes pueden afectar la FBN directamente, modulando la formación, el crecimiento y la actividad de los nódulos, (Duke et al; Pacyna et al, citados por Divito y Sadras 2014) o indirectamente, afectando el crecimiento de la planta huésped (Duke et al; Almeida et al; Varin et al; citados por Divito y Sadras 2014). Entre los efectos directos, puede mencionarse que la disponibilidad de P es crítica para la actividad de los nódulos debido al elevado requerimiento de ATP para el funcionamiento de la enzima nitrogenasa (Ribet y Drevon, 1995). También tiene un

rol importante en la biosíntesis de membranas, transmisión de señales y el desarrollo general del nódulo (Al-Niemi et al; citado por Divito y Sadras 2014). De manera similar, Duke et al, citado por Divito y Sadras (2014) demostraron un efecto directo del K en la FBN, dado que incrementa el crecimiento de los nódulos, la actividad enzimática y el suministro de carbohidratos.

A pesar del efecto directo del P, K y S sobre la FBN, varios autores afirman que estos nutrientes condicionan principalmente el crecimiento de la planta huésped y ésta controla en consecuencia el proceso de FBN (Almeida et al; Høgh-Jensen; Varin et al, citados por Divito y Sadras 2014). Entonces la deficiencia de un nutriente reduce el crecimiento de la planta, por ende, se desencadena un mecanismo de feedback negativo que deprime el desarrollo y la actividad de los nódulos. Este mecanismo sería semejante al que opera también con otros tipos de estrés, como sequía, salinidad, metales tóxicos o patógenos (Lea et al, 2007). Para los tres nutrientes mencionados se señala al mecanismo de retroalimentación de N, que implica una acumulación de N en planta y mayores valores de N:P, N:K y N:S, como responsable de los efectos en la actividad de los nódulos (Divito y Sadras, 2014). El mecanismo de retroalimentación de N, que implica una regulación “hacia abajo” (down regulation) se da tanto en ambientes deficitarios de nutrientes (Almeida et al, 2000), como en ambientes ricos en N producto de la fertilización nitrogenada (Zanetti et al, 2001). La alta disponibilidad de N reduce la FBN y la presencia de leguminosas a escala de potrero (Ledgard et al, 2001), afectando también los ciclos de competencia entre leguminosas y gramíneas en pasturas mezclas (Schwinning et al, 1996).

Según Carámbula (2002) el pH afecta la producción de forraje por su efecto en la disponibilidad de nutrientes en el suelo. Un pH cercano al neutro favorece una producción elevada y alta calidad en las pasturas ya que se encuentra la mayor disponibilidad de fósforo. Algunos de los problemas que dependen de la acidez del suelo son, deficiencia de minerales, toxicidad por aluminio y por magnesio (Morón y Pérez-Gomar, 1994). Carámbula (2002) destaca que la relación que tiene la disponibilidad de fósforo con el pH del suelo está dada por la acidez y los diferentes compuestos fosforados del suelo. Los fosfatos de calcio y los fosfatos de aluminio

tienden a presentar una solubilidad mayor en pH básicos, por lo tanto, los pH bajos perjudican el proceso. En base a estos hechos se ha definido que a determinados pH (pH ácidos) algunos fertilizantes fosforados (fosforita) presentan mayor poder de respuesta.

Para la variable K no se han establecido en el país niveles críticos en el suelo, sin embargo, se han sugerido los valores de 0,15 meq/100 g para suelos arenosos, 0.25 meq/100 g para suelos medios y más de 0.35 meq/100 g para suelos muy arcillosos. Estos valores en suelo son menores a los niveles críticos usados en el país como aproximación, e indica la necesidad de estudios específicos para este nutriente. Van Raij, citado por Morón (2008), concluyó que, en términos generales los valores de K intercambiables iguales o superiores a 0.30 meq/100 g no son limitantes para diferentes cultivos.

### 3.6. VARIABILIDAD ESPACIAL

Roel y Terra (2006), señalan que los últimos avances de la tecnología asociados con nuevas estrategias de manejo de suelos y cultivos pueden proveer a los agricultores de ventajas comparativas en los mercados mientras preservan sus recursos naturales y el ambiente. Debido a la compleja combinación de suelos, atributos del terreno y prácticas de manejo presentes en los potreros, es usual observar una alta variabilidad espacial en las propiedades de los suelos y, por lo tanto, de los rendimientos de los cultivos dentro de estos. El concepto "agricultura sitio-específica" implica el uso de información acerca de la variabilidad presente en las chacras de manera de delinear zonas y prácticas agronómicas adecuadas a las mismas. La base de sistemas más intensivos e inteligentes de manejo de suelos y cultivos –como la agricultura de precisión– reside en la caracterización temporal y espacial de los factores abióticos y bióticos relacionados con la productividad de los cultivos y la preservación de los recursos naturales. También enfatizaron que la variabilidad espacial de suelos y cultivos en los potreros puede ser cuantificada o estimada a través de varias metodologías. Se clasifica estos métodos de medición como: discretos (ej.: muestreo de suelos y plantas en grillas), continuos (ej.: monitores de rendimiento, sensores de conductividad eléctrica del suelo) y remotos (ej.: imágenes satelitales).

De acuerdo con Plant, citado por Roel y Terra (2006), existen tres criterios básicos que deben cumplirse para justificar el manejo sitio-específico: a) la existencia de importante variabilidad espacial en factores que influyen la productividad de los cultivos; b) la identificación y cuantificación de las causas de la variabilidad de estos factores; y c) el conocimiento científico-agronómico que permita utilizar la información recolectada para el logro de un beneficio productivo, económico o ambiental.

De acuerdo con Pocknee et al, citado por Roel y Terra (2006), la variabilidad presente en un potrero puede agruparse en tres tipos básicos: micro, meso y macro variabilidad. Las dos primeras ocurren en un rango de distancias que van de unos pocos centímetros (ej. aplicación de fertilizantes en bandas) a unos pocos metros (pequeñas zonas erosionadas, aplicaciones desuniformes de agroquímicos, etc.). La

macro variabilidad es causada por cambios mayores de suelos, a través de la fisiografía, que pueden deberse a cambios naturales del tipo de suelo o pueden ser el resultado de diferentes historias de manejo en fracciones de la chacra. Cualquier diseño de muestreo de suelos o cultivos debería ser estructurado para que la influencia de la micro y meso variabilidad en el resultado final (mapa) sea minimizada y la influencia de la macro variabilidad maximizada. A los efectos de minimizar el sesgo o error sistemático que se producen en los muestreos, existen varias estrategias o diseños de muestreo que se diferencian básicamente en la disposición o arreglo espacial de los puntos de la chacra a ser relevados.

El muestreo al azar simple evita el sesgo o error sistemático, ya que todos los puntos de una chacra tienen la misma probabilidad de ser muestreados. Los mayores inconvenientes están dados por los desbalances que se puedan dar en la distribución de los puntos de muestreo en la chacra, lo que implica incertidumbre en los valores interpolados en aquellas áreas con baja densidad de puntos relevados (Roel y Terra, 2006).

Según Lezama et al (2011) una de las principales características de los sistemas naturales o semi naturales de las áreas pastoriles en Uruguay es su heterogeneidad. Esto no necesariamente representa un problema desde el punto de vista productivo y ambiental. A pesar de ello, en los MECN se busca que la leguminosa se implante en el potrero de forma más extendida posible, aunque en la práctica esto no sucede necesariamente. Por esto es de suma importancia saber por qué dentro de un mismo potrero con el mismo nivel de fertilización y la misma intensidad de pastoreo hay diferentes proporciones y desarrollo de leguminosas. En este sentido es que la variabilidad espacial tiene un rol protagónico en el entendimiento de la interacción suelo-planta y así poder explorar nuevos ajustes agronómicos.

### 3.7. IMPORTANCIA DE LOS RELEVAMIENTOS REGIONALES

Los estudios o análisis observacionales son aquellos que tienen un carácter estadístico o demográfico, donde a partir de un número significativo de observaciones se logra sacar conclusiones generales, intentando detectar tendencias, niveles de umbrales, comportamientos específicos o asociaciones de las variables estudiadas.

A nivel nacional existen pocos trabajos de relevamientos de leguminosas forrajeras a escala comercial; se destacan los trabajos de Morón (2008) en cultivos de trébol blanco en el Este del país y los de Barbazán et al (2007) en *Lotus corniculatus* a nivel nacional, en ambos casos con comparaciones de nutrientes en planta, suelo y sus relaciones. Morón (2008) constató importantes deficiencias en el contenido de N en planta asociados significativamente con los niveles de P y S en planta. Generalmente, el contenido de N en planta está estrechamente ligado al rendimiento. Por otra parte, Barbazán et al (2007), si bien destacan algunas diferencias importantes entre las zonas evaluadas, en términos globales encuentran para *Lotus corniculatus* un adecuado nivel de N en planta y una deficiencia importante en P, con casi 2/3 de los sitios por debajo del nivel crítico. Aunque ambos trabajos son para cultivos y poseen una información valiosa, para lo que son MECN no se tiene información, pudiendo ser de mucha importancia disponer de estos elementos para mejorar el manejo de este recurso forrajero tan particular.

## **4. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS**

### **4.1. OBJETIVO GENERAL**

El objetivo general del presente trabajo es estudiar el rol de algunas variables de suelo y del estado nutricional de las plantas, como factores explicativos de la variación en el aporte de leguminosa dentro de un mismo potrero de Campo Natural Mejorado y entre diferentes regiones del país.

### **4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Comparar la variabilidad existente entre sitios y dentro de sitios para las variables de respuesta, la disponibilidad leguminosa (kg MS/ha) y su proporción (%) respecto al resto de la pastura, así como la variabilidad de las variables explicativas (pH, P, K en suelo y N y P en planta).

Determinar en qué medida el nivel de leguminosa presente (kg MS/ha) y su % en la pastura está relacionada a la disponibilidad de P, K y pH medida en el suelo, así como con la disponibilidad de N y P medida en las plantas de leguminosas y las plantas acompañantes de la leguminosa.

Explorar la posibilidad de modelar la variabilidad espacial dentro de cada potrero, para las variables medidas en el presente estudio.

Establecer las relaciones de competencia entre la leguminosa y el resto de la comunidad en función de la competencia por nutriente y los balances internos de las plantas.

### **4.3. HIPÓTESIS**

La variabilidad entre los sitios de mejoramientos de Campo Natural evaluados es mayor a la variabilidad dentro de cada sitio para las variables de respuesta y las variables explicativas.

El nivel de leguminosa presente en los mejoramientos de campo natural

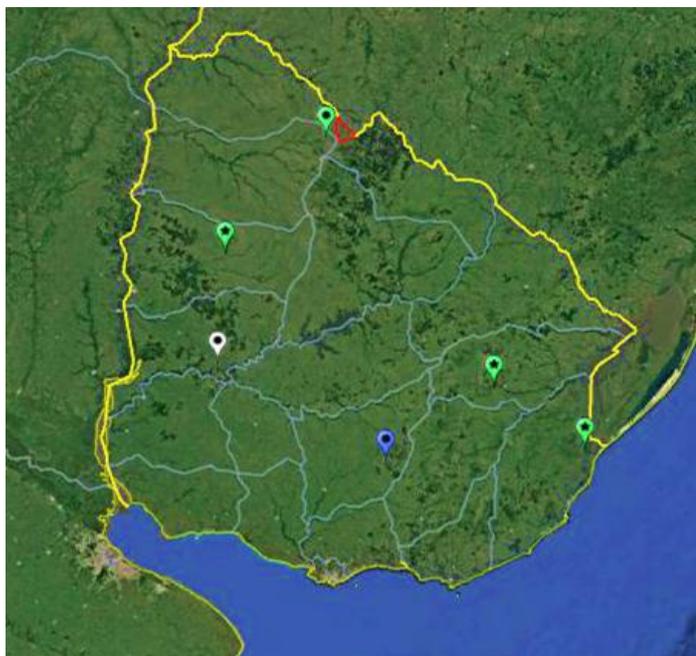
depende mayormente de la disponibilidad de nutrientes del suelo.

La competencia entre la leguminosa y el resto de la comunidad está más determinada por la disponibilidad de nitrógeno que de fósforo, favoreciéndose la leguminosa en la medida que la comunidad está más limitada por nitrógeno.

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS SITIOS EXPERIMENTALES

Este trabajo debe ser enmarcado dentro de lo que son los estudios observacionales, dado que no es un experimento manipulativo, por tanto, no cuenta con un diseño experimental. Se tomó un número elevado de muestras en situaciones muy diversas para entender la variabilidad y las correlaciones entre variables estudiadas. Para el análisis se usan herramientas estadísticas distintas a la de un experimento, ya que en un experimento tenemos pocos tratamientos muy controlados, en el cual queremos minimizar todas las fuentes de variación diferentes a los tratamientos. Los trabajos observacionales, buscan tener muchas observaciones de situaciones reales para poder detectar tendencias en el comportamiento de las variables.



**Figura 3.** Mapa de sitios muestreados. Puntos verdes (*Lotus subbiflorus*), azul (*L. pedunculatus*) y blanco (*Trifolium repens*).

Fuente: Elaborado con base en Google Earth 2020.

En el Cuadro 5 se presenta una caracterización de los diferentes sitios donde se realizaron los muestreos.

**Cuadro 5.** Ubicación y tipos de suelos de los diferentes sitios.

Sitio	Localidad	Región	Suelo 1:1	CONEAT
1	Cerro Colorado	Cristalino Central	San Gabriel-Guaycurú	5.4
2	Palo a Pique	Lomadas Este	Alférez	10.7
3	San Miguel	Planicies Este	India Muerta	3.15
4	Grecco	Bajos Litoral	Paso Palmar	03.40
5	Masoller	Basalto	Masoller	1.22
6	Molles del Queguay	Basalto	Queguay Chico	1.10b

Los muestreos se realizaron entre los meses de octubre y noviembre de 2018, y el procesamiento de las muestras hasta agosto de 2019, realizándose en dos partes (campo y laboratorio INIA Treinta y Tres, Laboratorio de Pasturas y Forrajes). En la etapa de campo se seleccionaron, dentro de los potreros evaluados, lugares donde hubiese leguminosas, poco nivel de infestación de malezas, buen nivel de forraje y evitando restos de heces o manchones de orina que pudieran alterar el resultado del trabajo. Se relevaron un total de 6 sitios, tomando 10 muestras al azar en cada uno, que representan situaciones diversas, con diferentes tipos de suelo, manejos y niveles de fertilización.

## 5.2. DESCRIPCIÓN DE LOS SUELOS

De acuerdo con MGAP, Dirección de Suelos (1979), se pueden establecer las siguientes descripciones de los sitios en que se realizaron los muestreos:

1. El sitio en que se encuentra el Centro de Investigación y Experimentación “Alberto Gallinal” del SUL (Secretariado Uruguayo de la Lana), localidad de Cerro Colorado, se ubica sobre la Unidad San Gabriel-Guaycurú y el grupo CONEAT 5.4. Con pendientes de 3 % a 5 %, los suelos se desarrollaron de materiales cristalinos, y en parte, de sedimentos limo-arcillosos poco potentes y discontinuos que los recubren, moderadamente profundos y superficiales, de texturas francas, fertilidad media, a veces baja.

Encontramos también suelos de color negro o pardo muy oscuro textura franca a franco arcillosa, fertilidad alta y moderadamente bien drenados. Los suelos son Brunosoles Subeutricos Háplicos moderadamente profundos y Brunosoles Eutricos típicos.

2. La UEPP (Unidad experimental Palo a Pique, INIA Treinta y Tres) se ubica sobre la Unidad de suelos Alférez y el grupo CONEAT 10.7. Comprende lomadas suaves y fuertes, localizadas entre las colinas cristalinas y la planicie alta de la región. El relieve es ondulado suave a ondulado, con interfluvios ligeramente convexos o aplanados y laderas ligeramente convexas con pendientes de alrededor del 2 %. Los suelos dominantes son Brunosoles Subéutricos Lúvicos, Melánicos Abrúpticos, de color pardo oscuro, textura franca a franco limosa, fertilidad media y drenaje moderadamente bueno a algo imperfecto.

3. El sitio que se sitúa en la localidad de San Miguel se ubica sobre la Unidad de India Muerta. Este suelo pertenece al grupo CONEAT 3.15, son bañados temporalmente secos, que están inundados un tiempo considerable del año, pero que se secan en verano. El relieve es plano, pero puede presentar un meso relieve débil. Los suelos son profundos, pobremente drenados, Gleysoles Háplicos Melánicos, de texturas limosas y limo arcillosas (Gley húmicos).

4. En la localidad de Grecco, se presenta un suelo perteneciente al grupo CONEAT 03.40 y unidad Paso Palmar. Este grupo corresponde a las planicies de arroyos del litoral oeste, como la existente en el arroyo Negro comprendidas en las regiones de la formación Fray Bentos. El material geológico corresponde a sedimentos limo arcillosos y sedimentos aluviales de texturas variables y estratificadas, asociados a los cursos de agua. Las planicies presentan meso relieve, ocurriendo en los planos altos una asociación de Brunosoles Éutricos Lúvicos y Solonetz Ócrico.

5. El sitio ubicado en la localidad de Masoller, se sitúa sobre la Unidad de Masoller con suelos de basaltos superficiales donde pertenece al grupo CONEAT 1.22. El relieve de este grupo es de terrenos altos y de forma general plana (altiplanicies) presentando una ondulación muy ligera, con predominio de pendientes de 1 % a 2 %. Los suelos que ocupan la superficie son: Litosoles Éutricos Melánicos y Brunosoles Éutricos, Estos suelos presentan drenaje interno algo pobre e imperfecto y la fertilidad natural es media.

6. El sitio que se ubica en la estación experimental de INIA Glencoe, en la localidad de Molles del Queguay pertenece a la Unidad Queguay Chico y al grupo CONEAT 1.10b. Las pendientes modales son de 10 % a más de 12 %. La rocosidad y/o pedregosidad varían de 20 % a 30 % pudiendo ser a veces de más de 30 %. Los suelos dominantes son Litosoles Subéutricos (a veces Éutricos) Melánicos, Ródicos (Litosoles pardos rojizos) con una profundidad de aproximadamente 30 cm.

### 5.3. RECOLECCIÓN DE DATOS

En cada potrero elegido para muestrear se tomaron 10 muestras al azar de forraje y de suelo asociadas, en diferentes partes del potrero, lo más dispersas posibles y con presencia variable de leguminosa. Estas muestras fueron tomadas en un área amplia (5 a 20 hectáreas) esperando captar variabilidad dentro de un mismo tipo general de suelo. Se usó un cuadro de 50 x 50 cm donde se cortó el tapiz vegetal al ras y con un calador estándar se sacaron muestras de suelos de 0 a 15 cm de profundidad. También se registró la altura del forraje con una regla y el NDVI manualmente (GreenSeeker).

Las variables de estudio son el fósforo disponible medido a través del método de Ácido Cítrico, el potasio como K intercambiable y pH en agua. Estos análisis se realizaron en el laboratorio de suelos en INIA La Estanzuela. Para las muestras de forraje se realizó una separación de los diferentes componentes, entre ellos: gramíneas estivales e invernales, leguminosas, restos secos, graminoides (juncáceas y ciperáceas) y dicotiledóneas. A partir de esto se obtuvo el peso seco total y de cada componente. A partir del material vegetal recolectado por componente se determinó el contenido de P (ICP-OES PerkinElmer Optima 7300 DV, Laboratorio análisis suelo, INIA La Estanzuela) y el contenido de N (Analizador de elemento Carlo Erba, Technical University of Munich). Con esta información se calculó la relación N:P, donde relaciones N:P inferiores a 10-15 indicarían una limitación de N, mientras que relaciones por encima de 20-25 indicarían una limitación de P, y entre ambos rangos se produciría una co-limitación (Güsewell; Koerselman y Meuleman, citados por Cardozo 2019).

### 5.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

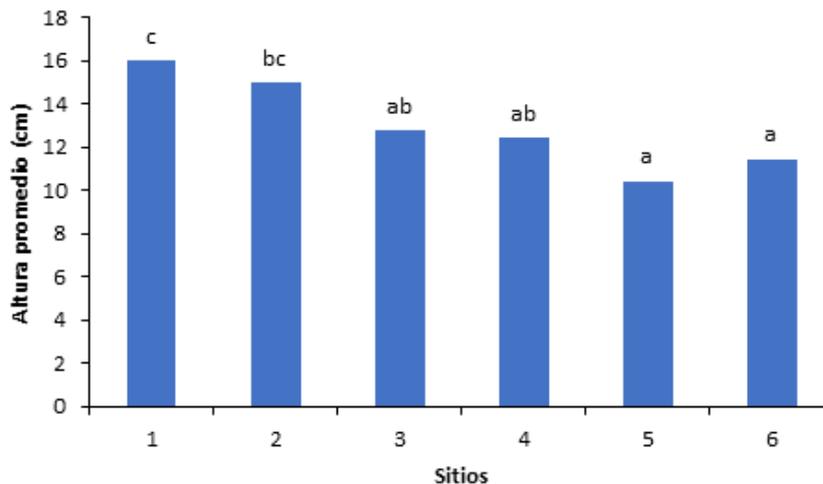
El análisis estadístico se basó en correlaciones y regresiones simples y múltiples, así como también en herramientas de agrupación de variables (análisis de componente principal y árboles de regresión). Se comparó la variabilidad intra y entre sitios, a partir de medidas descriptivas para pH, P y K en suelo, y N y P en planta. El procesamiento y análisis de los datos espaciales siguió las recomendaciones de Córdoba et al (2019), considerando el Índice de Moran como

indicador de autocorrelación espacial. El programa estadístico utilizado fue Infostat (Di Rienzo, 2011).

## 6. RESULTADOS

### 6.1. CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS PASTURAS

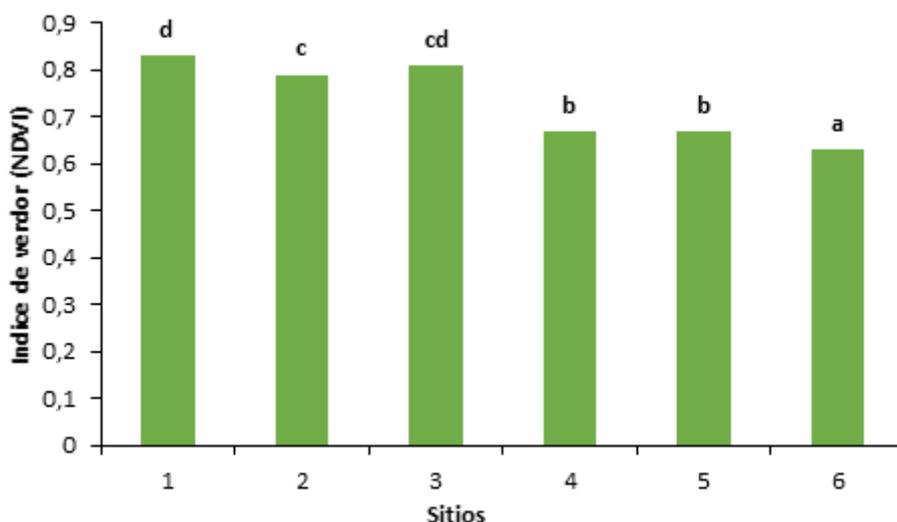
La altura promedio (cm) de los diferentes sitios representa una característica estructural de la pastura. Se observa que existen diferencias estadísticamente significativas entre sitios. El sitio 1 es el que presenta mayor altura de forraje en el conjunto de los sitios muestreados con 16,0 cm sin diferencias significativas con el sitio 2, en el cual la altura promedio fue 14,9, pero sí con el resto. El sitio 5 es el de menor altura de forraje con 10,4 cm, pero sin diferencias significativas con los sitios 6, 4 y 3 (Figura 4).



**Figura 4.** Altura promedio (cm) de la pastura para los diferentes sitios. Letras diferentes indican diferencia estadística (p- valor<0,05).

El Índice de verdor (NDVI) es un estimador de cantidad de hoja verde fotosintéticamente activa presente en la pastura; las medias para los 6 sitios en estudio están representadas en la siguiente figura. El sitio 1 presenta mayor índice, con un valor de 0,83. Este sitio no representa diferencias significativas con el sitio 3, que tiene un índice de 0,81, pero si con el resto de los sitios. Les sigue el sitio 2 con un INDV de 0,79. Este sitio no presenta diferencias significativas con el sitio 3 pero si

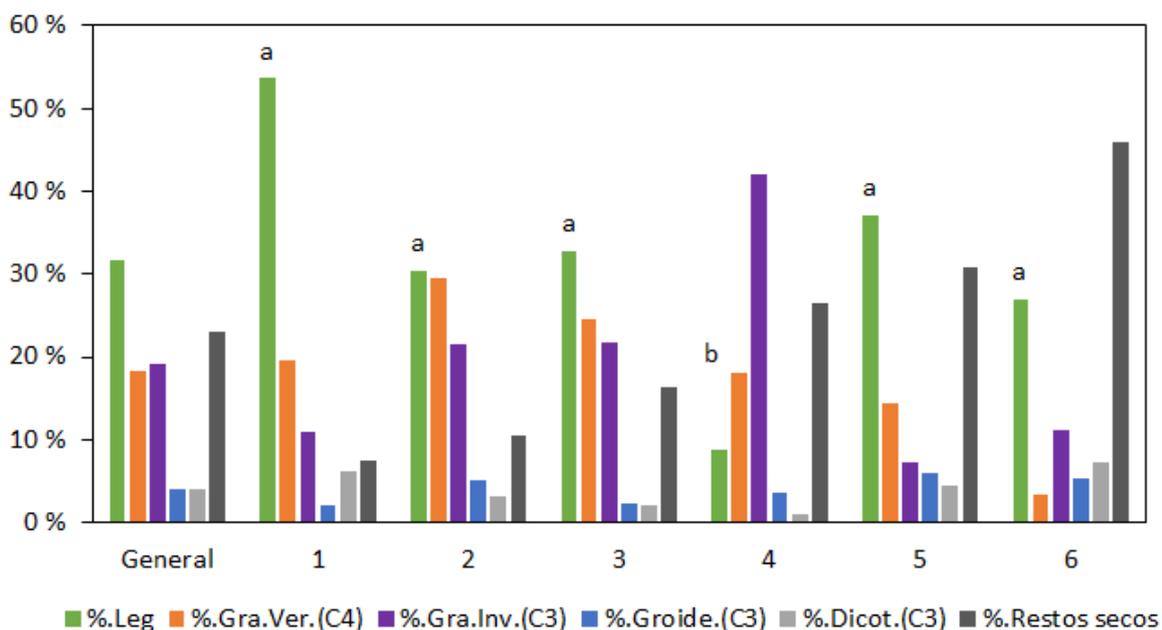
con el resto de los sitios. Los sitios 4 y 5 presentan el mismo índice de verdor. El mismo es menor a los sitios mencionados anteriormente (0,67). El sitio 6 es el de menor índice, siendo el mismo 0,63, siendo diferente del resto de los sitios. Hay una reducción de los valores de NDVI desde el sitio 1 al 6 (Figura 5), asociado al avance en la estación del año desde el 31 de octubre al 29 de noviembre y a la acumulación creciente de restos secos (Figura 6).



**Figura 5.** Índice de verdor (INDV) para todos los sitios. Letras diferentes indican diferencia estadística ( $p$ - valor $<0,05$ ).

## 6.2. CARACTERIZACIÓN BOTÁNICA

En términos generales la proporción de leguminosa fue del 30 % del total de los componentes botánicos en peso seco y representó el componente de mayor importancia, seguido por los restos secos y las gramíneas de verano e invierno, cada una de ellas con 20 % aproximadamente. Los graminoides y las dicotiledóneas fueron para todos los casos los componentes con menor expresión. Sin embargo, existen grandes variaciones en la composición de la pastura entre los diferentes sitios. Para el caso de la leguminosa esta variación entre sitios es menor que otros componentes como las gramíneas invernales o los restos secos (Figura 6).



**Figura 6.** Composición porcentual en peso seco de la pastura General y para cada sitio, dónde (Leg) es leguminosa, (Gra.Ver.(C4)) es gramínea de verano, (Gra.Inv.(C3)) es gramínea de invierno, (Groide.(C3)) es graminoide y (Dicot.(C3)) es dicotiledonea. Letras diferentes para % Leg, indican diferencia significativa (ANOVA;  $p$ -value<0,001).

El sitio 4 presenta diferencias significativas en cuanto a su % de leguminosas con respecto al resto de los sitios, siendo el que presenta menor proporción de este componente. Por otra parte, es el sitio que tiene mayor % de gramíneas de invierno, lo que puede explicar en parte la baja proporción de leguminosas. En el resto de los sitios las leguminosas son el componente más importante dentro de la fracción viva.

Si se analiza las diferencias entre sitios, es claro que el peso de la leguminosa es mayor para el sitio 1 y menor para el 4, al tiempo que en el resto de las situaciones se ubica en torno al valor medio. Esto se observa también, cuando se comparan los valores de peso seco de leguminosa, dónde el nivel de disponibilidad medio observado en los sitios fue de 962 kg MS/ha, y el sitio 4 tiene una media menor en comparación a los demás sitios (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Biomasa disponible de leguminosa (kgMS/ha), promedio según sitio.

Sitio	Disponible (kgMS/ha)
1	1703b
5	1166b
3	1072b
2	905b
6	724b
4	205a
Promedio Disponible (kg MS/ha) para todos los sitios 962 kg MS/ha.	

Letras diferentes indican diferencias significativas (ANOVA, p-valor < 0,001).

### 6.3. CARACTERIZACIÓN DE SUELO

Para caracterizar las variables más representativas del suelo se analizó las medidas generales de todos los sitios juntos, para de esta manera observar promedios, máximos y mínimos, teniendo en cuenta todas las muestras extraídas. En el siguiente cuadro están representadas las variables pH (H<sub>2</sub>O), P (µg P/g) y K (meq/100g) con sus medidas generales para todos los sitios (Cuadro 7).

**Cuadro 7.** Medidas generales de las variables pH, P y K para todos los sitios.

	<b>pH</b> (H <sub>2</sub> O)	<b>P</b> ( $\mu$ g P/g)	<b>K</b> (meq/100g)
Media	5,6	9,5	0,37
Mediana	5,5	7,1	0,37
Desvío Estándar (DE)	0,7	6,3	0,10
Coeficiente Variación (CV)	13,2%	66,7%	28,1%
Mínimo	4,8	2,5	0,20
Máximo.	7,9	29,0	0,57

Los suelos estudiados se desarrollan en condiciones de moderada acidez (5,6), con una baja variabilidad (CV 13,2). Los valores observados varían desde un máximo de 7,9 a un mínimo de 4,8. Por su parte, el nivel medio de Fósforo fue de 9,5 ( $\mu$ g P/g), con una importante dispersión de los datos (CV 66,7), con un amplio rango desde un máximo de 29,0 y mínimo de 2,5. Para el análisis de la variable K (meq/100g) se observa una media de 0,37, con un coeficiente de variación promedio alto (28,1) y con un amplio rango entre 0,20 y 0,57 (Cuadro 7).

#### 6.3.1. Variabilidad y Correlación de variables de suelo

Para entender mejor la variabilidad existente en las variables de suelo analizadas se comparó por medio del coeficiente de variación (CV), dentro de cada sitio de muestreo (intra-sitio) y entre los sitios medidos. El pH mostro un CV mayor entre los sitios que intra-sitio, en cambio P y K tienen un CV superior intra-sitio, lo que implica una alta variabilidad a una escala espacial reducida (micrositios). El P se muestra más variable que el K en la medida que el rango de CV dentro de los sitios más uniformes y heterogéneos son de 28,3 a 80,0 y de 15,7 y 30,9, respectivamente (Cuadro 8).

**Cuadro 8.** Coeficiente de variación % intra y entre sitios de las variables pH, P ( $\mu\text{g P/g}$ ), K (meq/100g)

	Intra		Entre
	Min	Max	
pH (0-14)	2,0	10,2	13,0
P ( $\mu\text{g P/g}$ )	28,3	80,0	55,1
K (meq/100g)	15,7	30,9	20,4

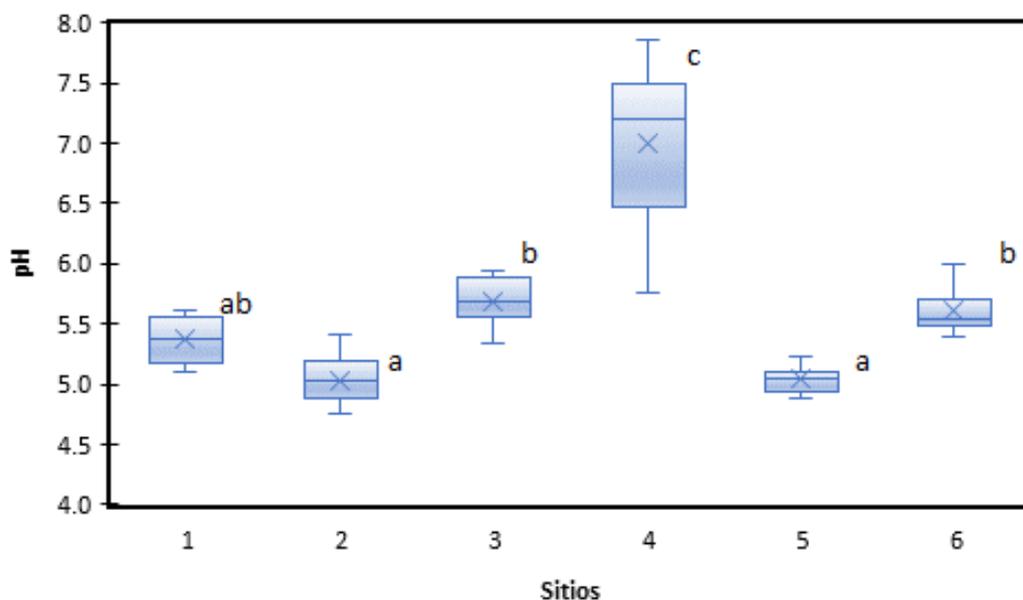
Por otra parte, las variables de suelo suelen estar interrelacionadas dado que el suelo es un ambiente particularmente complejo. pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ) y P ( $\mu\text{g P/g}$ ) son las variables que tienen mayor correlación (0,63), siendo esta una correlación alta y significativa. Por su parte, la correlación entra las variables P y K, y entre pH y K es baja o no significativa (Cuadro 9).

**Cuadro 9.** Coeficiente de correlación de Pearson y probabilidad de las variables pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ), P ( $\mu\text{g/g}$ ) y K (meq/100g).

	pH ( $\text{H}_2\text{O}$ )	P ( $\mu\text{g P/g}$ )	K (meq\100 g)
pH ( $\text{H}_2\text{O}$ )	1,00	<0,01	0,15
P ( $\mu\text{g P/g}$ )	0,63	1,00	0,03
K (meq\100 g)	0,19	0,28	1,00

### 6.3.2. Nivel de acidez (pH) y desarrollo de la leguminosa

Los valores de pH para los sitios evaluados tienen una media 5,46, donde es posible identificar un grupo de sitios con suelos algo más ácidos, con un pH en torno a 5 (sitios 2 y 5), un grupo de sitios con valores de pH cercanos a 5,5 (sitios 3 y 6) y el sitio 1 en un nivel intermedio, todos con una variabilidad acotada en torno al promedio (Figura 7).



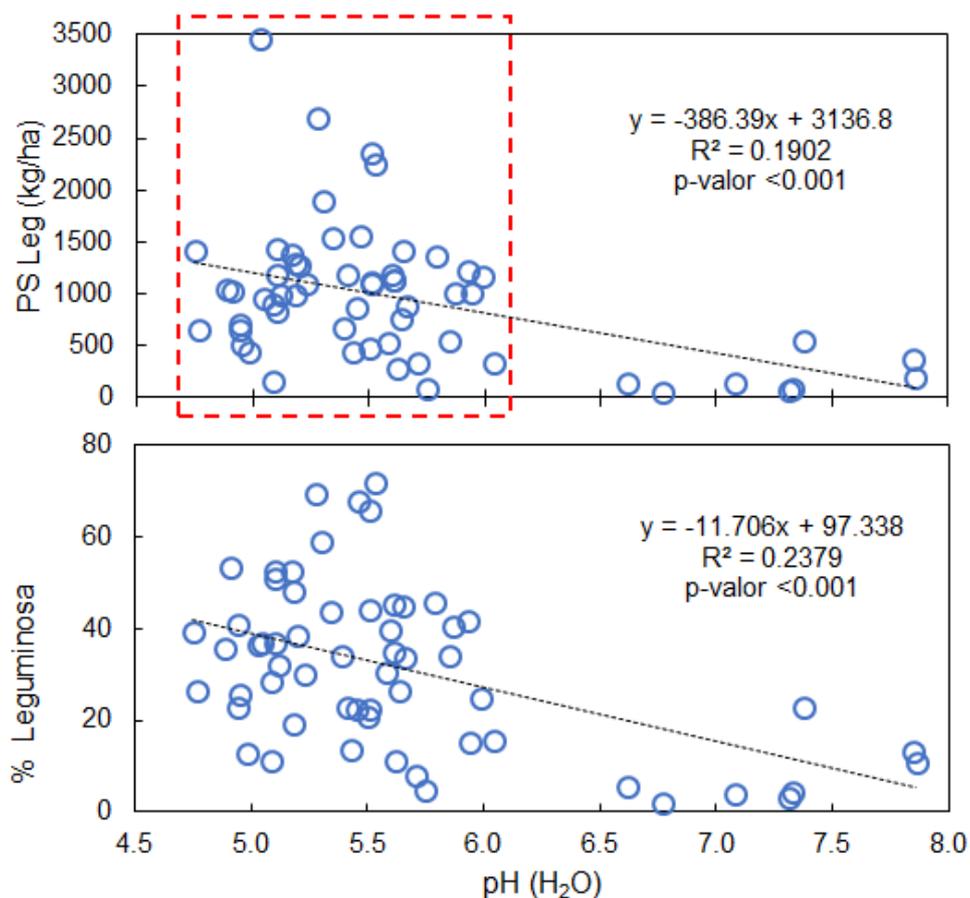
**Figura 7.** Diagrama de caja del nivel de pH (H<sub>2</sub>O) según sitio. Las líneas de la caja representan percentiles 0,25, 0,50 y 0,75. La cruz indica la media, los bigotes son los percentiles 0,10 y 0,90. Las letras diferentes muestran diferencia significativa (ANOVA, p-valor < 0,001).

Por su parte, el sitio 4 muestra un pH claramente superior a los demás, con un rango de 5,8 a 7,9, el mayor de todos, con una media 19.5 % superior a la media general (7,01 vs. 5,64) y una mediana 26 % mayor a la mediana general (7,20 vs. 5,30). El mínimo y máximo para el sitio 4 también representan un 17 % y 25 % superior al valor mínimo y máximo general respectivamente (Figura 7).

**Cuadro 10.** Media, Desvío Estándar (DE) y Coeficiente de variación (CV) para la variable pH según sitio. Letras diferentes muestran diferencia significativa (ANOVA, p-valor < 0,001).

Sitio	Media	DE	CV
2	5,03 a	0,20	3.9
5	5,05 a	0,11	2.0
1	5,38 ab	0,19	3.4
6	5,60 b	0,19	3.6
3	5,69 b	0,20	3.5
4	7,00 c	0,71	10.2

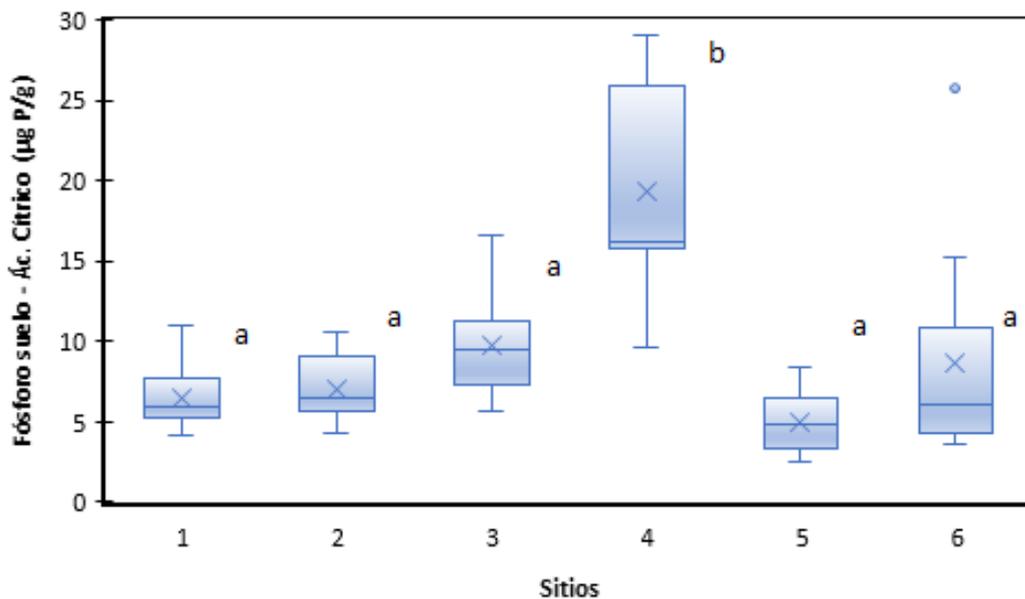
A pesar de que el rango de pH observado es amplio 4,8 -7,9, cerca del 85 % de los casos se ubica entre 4,8 y 6,0 (recuadro en Figura 8), identificándose valores de pH superiores a 6 solo en el sitio 4. Dado que la acidez del suelo es una de las variables que afecta el crecimiento y desarrollo de las leguminosas, se exploró la relación del pH del suelo con la disponibilidad de leguminosa en peso seco (PS Leg k/ha) y la proporción de la misma frente al resto de los componentes de la pastura (% leguminosa). Ambas variables se comportaron de forma similar frente al pH. Si bien existe una tendencia a reducir la presencia de la leguminosa en los suelos más neutros, esta tendencia es poco explicativa ( $R^2 = 0,19$ ) y está muy condicionada por uno de los sitios evaluados. Por otro lado, dentro del rango de pH de mayor densidad de puntos no es posible identificar ninguna tendencia (recuadro en Figura 8).



**Figura 8.** Relación entre la disponibilidad de leguminosa en peso seco (PS Leg (k/ha)) y el % Leguminosa, en función del pH.

### 6.3.3. Nivel de fósforo y desarrollo de la leguminosa

Los valores de P para los sitios evaluados tienen una media general de 9,5  $\mu\text{g P/g}$ , con la mayoría de los sitios por debajo de este valor de P y con una mediana de 7,1. Por otra parte, el sitio 4 muestra valores de P superior a los demás, con un rango de 9,7 a 29,0, el mayor de todos, con una media 105 % superior a la media general (19,3 vs. 9,5) y una mediana 128 % mayor a la mediana general (16,2 vs. 7,1). El mínimo para el sitio 4 también representa un 72 % superior al valor mínimo general, mientras que el máximo general representa un valor de 51 % superior al máximo del sitio 4 (Figura 9).



**Figura 9.** Diagrama de caja del nivel de P ( $\mu\text{g P/g}$ ) según sitio. Las líneas de la caja representan percentiles 0,25, 0,50 y 0,75. La cruz indica la media, los bigotes son los percentiles 0,10 y 0,90. Las letras diferentes muestran diferencia significativa (ANOVA,  $p$ -valor < 0,001).

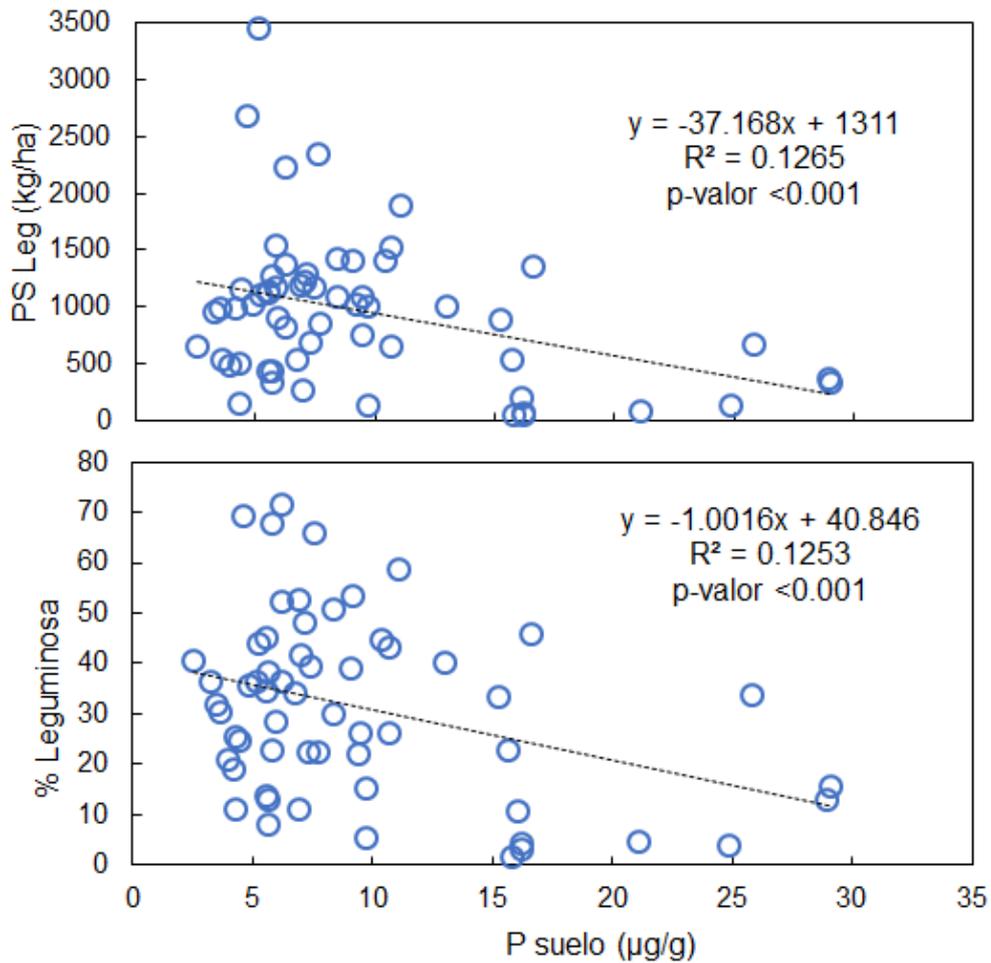
Para la variable P ( $\mu\text{g P/g}$ ) se observan diferencias significativas entre el sitio 4 y el resto de los sitios y sin diferencias significativas entre estos. El desvío estándar presenta una media de 3,7, con el mayor valor en el sitio 6 y el menor valor en el sitio 5 (Cuadro 11).

**Cuadro 11.** Media, Desvío Estándar (DE) y Coeficiente de variación (CV) para la variable P ( $\mu\text{g P/g}$ ) según sitio.

Sitio	Media	DE	CV
5	4,98 a	1,88	37.7
1	6,48 a	2,00	30.9
2	7,05 a	1,99	28.3
6	8,66 a	6,93	80.0
3	9,74 a	3,21	33.0
4	19,34 b	6,39	33.0

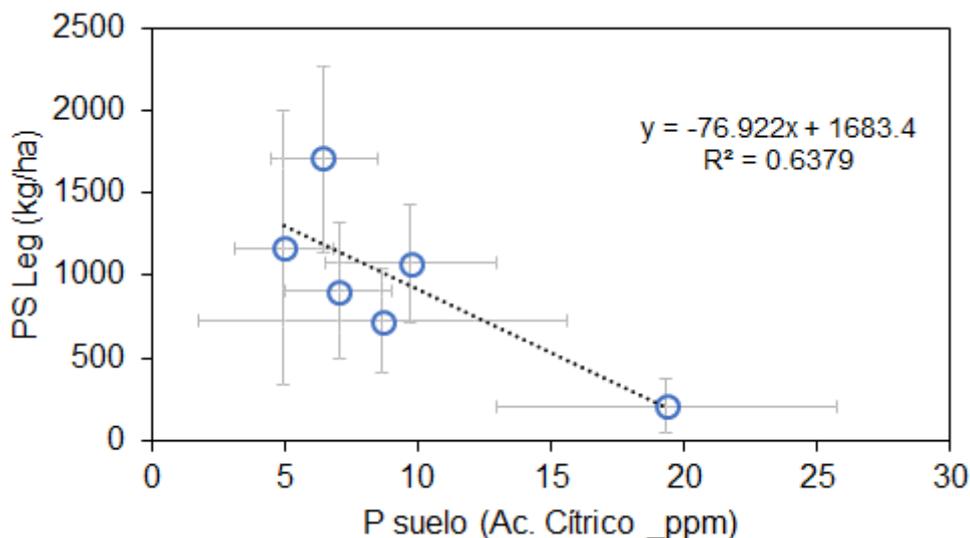
Letras diferentes muestran diferencia significativa (ANOVA, p-valor < 0,01).

La relación entre el P del suelo ( $\mu\text{g P/g}$ ) y la disponibilidad de leguminosa medida como peso seco o % de la pastura mostró un comportamiento similar, con una tendencia a reducirse a mayores niveles de fertilidad fosfatada en el suelo. En ambos casos la relación es significativa (p-valor <0,001), pero poco explicativa, dado que el  $R^2$  es bajo (Figura 10). La tendencia observada entre P del suelo y la leguminosa está fuertemente asociada a los altos valores de P presentes en el sitio 4. Si se reduce el rango de puntos evaluados hasta 17 ( $\mu\text{g P/g}$ ), las regresiones dejan de ser significativas (p-valor >0.05).



**Figura 10.** Relación entre la disponibilidad de leguminosa en peso seco (PS Leg (k/ha)) y el % Leguminosa, en función del P suelo (µg P/g).

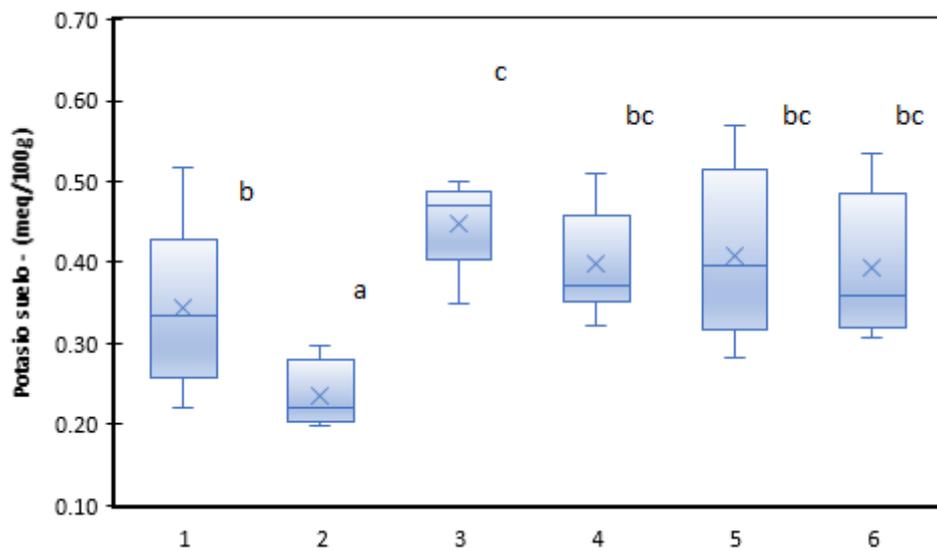
El efecto del sitio 4, con un alto contenido de P y baja proporción de leguminosa en las pasturas se ve claramente en la Figura 11. Si bien la regresión mejora su ajuste al considerar las medias de cada sitio y no los puntos individuales, también se observa la influencia del sitio 4 en la regresión. Eliminando este sitio es imposible observar una tendencia clara asociada a contenido de P en el suelo.



**Figura 11.** Relación entre la disponibilidad media de leguminosa en peso seco (PS Leg (kg/ha)) en función del nivel medio P suelo ( $\mu\text{g P/g}$ ), para cada sitio. Barras grises indican desvío estándar.

#### 6.3.4. Nivel de potasio y desarrollo de la leguminosa

Los valores de K para los sitios evaluados tienen una media de 0,37 meq/100g, con un grupo de sitios algo menor en torno a valores de K 0,29 meq/100 g (sitios 1 y 2), un grupo de sitios con valores mayores a la media de 0,41 meq/100 g (sitios 3, 4, 5 y 6). Por su parte, el sitio 3 muestra valores promedios de K superior a los demás, con un rango de 0,35 y 0,50 meq/100g, el mayor de todos, con una media 17,8 % superior a la media general (0,45 vs. 0,37 meq/100 g) y una mediana 21,3 % mayor a la mediana general (0,47 vs. 0,37 meq/100 g). El mínimo para el sitio 3 también representa un 42,9 % superior al valor mínimo general, mientras que el máximo general representa un valor de 12,3 % superior al máximo del sitio 3 (Figura 12).



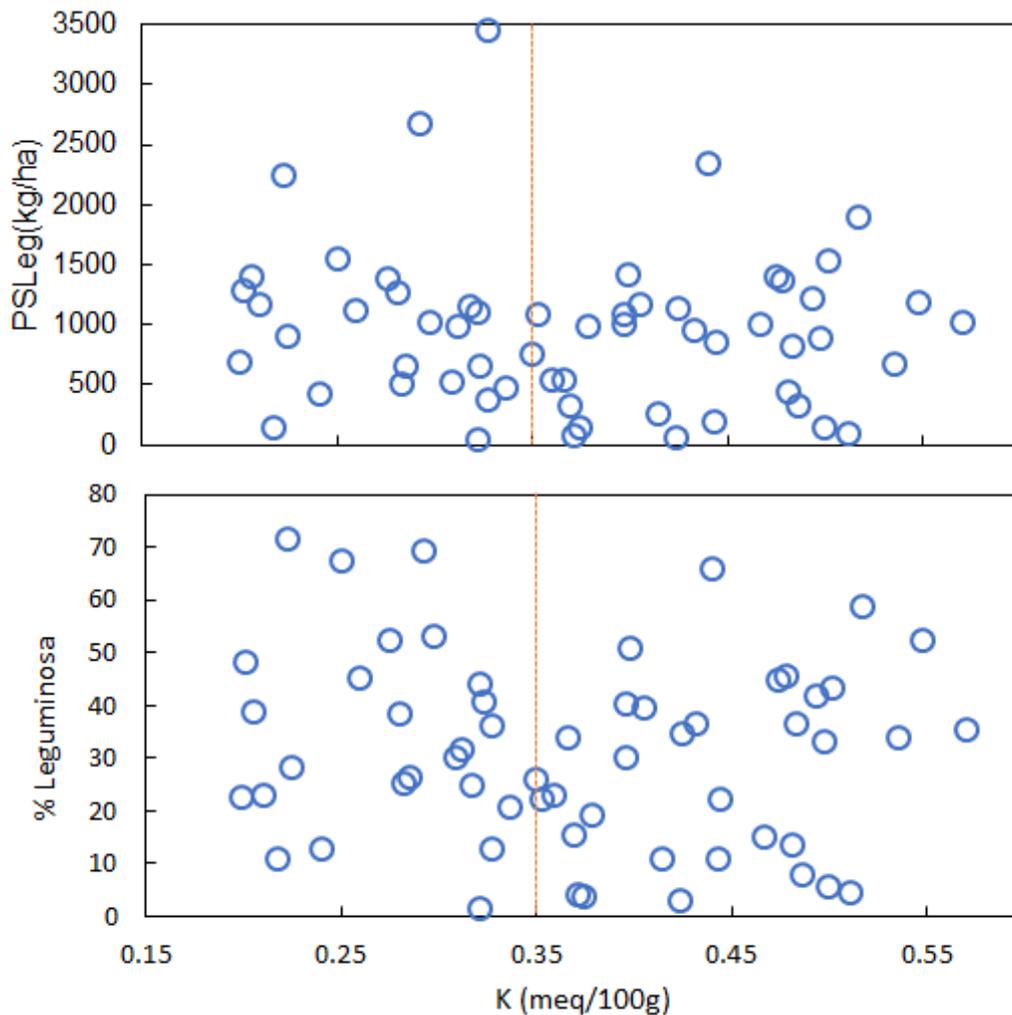
**Figura 12.** Diagrama de caja del nivel de K suelo (meq/100g) según sitio. Las líneas de la caja representan percentiles 0,25, 0,50 y 0,75. La cruz indica la media, los bigotes son los percentiles 0,10 y 0,90. Las letras diferentes muestran diferencia significativa (ANOVA, p-valor < 0,01).

Según el análisis de varianza se observan diferencias significativas entre los sitios para la variable K ( $p < 0,01$ ). El sitio 2 presenta diferencias significativas con el resto de los sitios. Las localidades 1, 6, 4 y 5 no presentan diferencias significativas entre sí. Las localidades 6, 4, 5 y 3 tampoco presentan diferencias significativas entre sí. El promedio del desvío estándar es de 0,075 con un mayor valor en el sitio 5 y un menor valor en el sitio 2 (Cuadro 12).

**Cuadro 12.** Media, Desvío Estándar (DE) y Coeficiente de variación (CV) para la variable K (meq/100g) según sitio. Letras diferentes muestran diferencia significativa (ANOVA, p-valor < 0,01).

Sitio	Media	DE	CV
2	0,24 a	0,04	21.0
1	0,35 b	0,10	30.9
6	0,39 bc	0,08	22.5
4	0,40 bc	0,07	16.7
5	0,41 bc	0,11	28.0
3	0,45 c	0,05	15.7

Para la variable K (meq/100 g), no es posible observar una tendencia asociada al nivel de disponibilidad de leguminosa ni como peso seco (kg/ha) ni como porcentaje. El K no condicionaría en gran medida los niveles de leguminosa, ya que con valores de regresión por debajo o por encima del nivel crítico, hay situaciones de alto y bajo nivel de leguminosa (figura 13).



**Figura 13.** Relación entre la disponibilidad de leguminosa en peso seco (PS Leg (kg/ha)) y el % Leguminosa, en función del K (meq/100g). Línea roja, nivel crítico sugerido por Morón (2008).

#### 6.4. CARACTERIZACIÓN DEL NIVEL NUTRICIONAL EN PLANTA

El estado nutricional de los diferentes componentes de la pastura fue determinado a través del contenido de N (%) y P (%), y su relación N:P. Por un lado, se analizó el estado nutricional de la leguminosa presente en el MECN y por otro, el promedio ponderado de los restantes componentes no leguminosos (Prom o Resto), esto debido a que la presencia de los componentes gramínea de verano (Gra.Ver.(C4)), gramínea de invierno (Gra.Inv.(C3)) y graminoide (Groide.(C3)) no es consistente en todos los cuadros medidos. La diferencia entre sitios para los valores

medios de la leguminosa y del resto fue significativa para las tres variables estudiadas (Cuadro 13), sin embargo para algunos sitios en particular esto no es así (Figura 14 b.c.). Esta diferencia es mayor para el caso de N, lo cual es lógico y esperable dado que las leguminosas por medio de la FBN tienen mayor nivel de este nutriente, siendo el % de N en planta de leguminosas un 87 % mayor que el resto de la comunidad. Para P la diferencia es menor a favor de la leguminosa de 0,03 %, un 14 % más que el resto de la comunidad. Por su parte, la relación N:P en planta está muy afectada por el contenido de N y la leguminosa muestra un promedio cercano a 15 y las no leguminosas están por debajo de 10 (Cuadro 13).

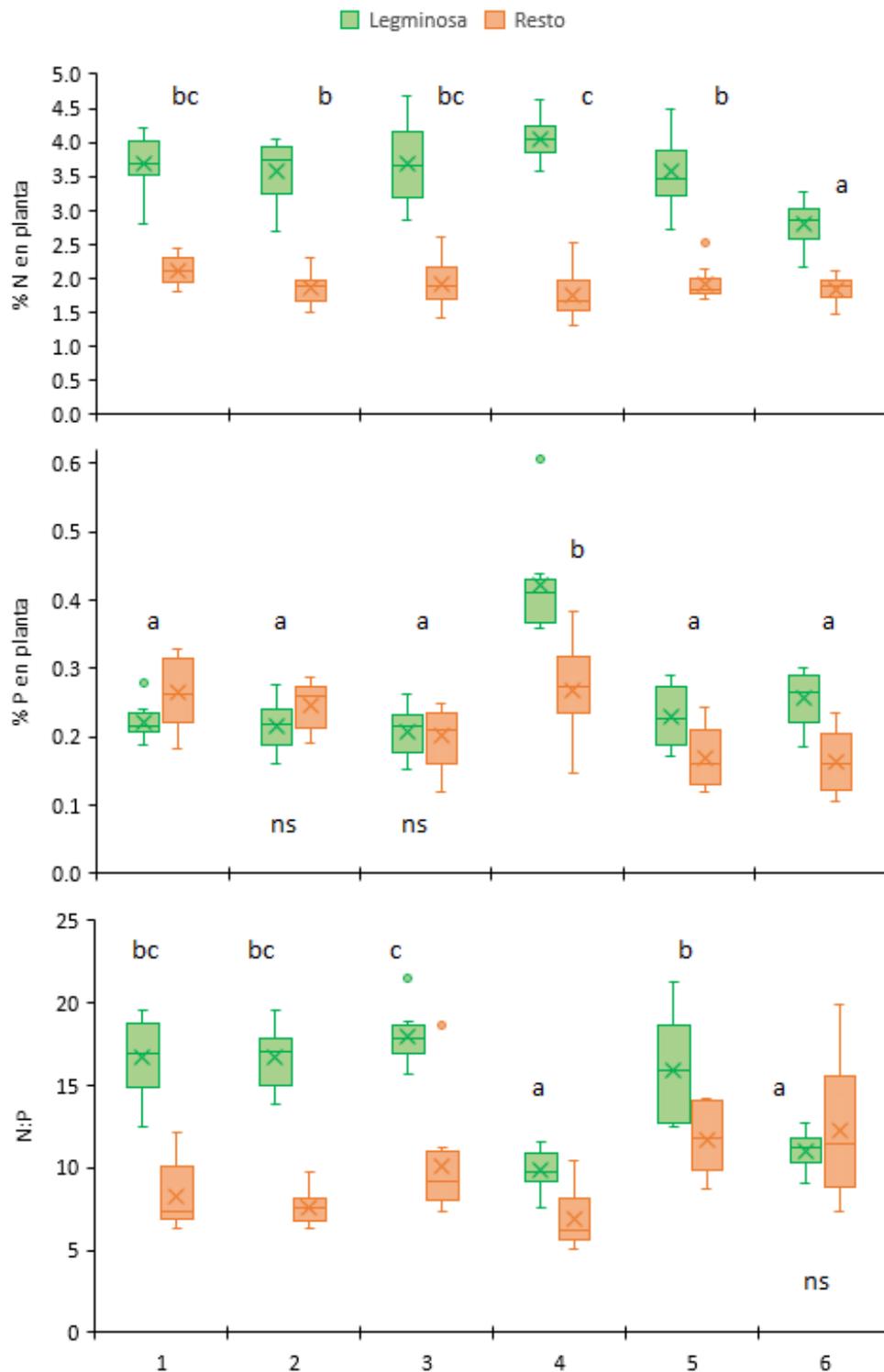
Desde el punto de vista de la variabilidad (CV) que presentan las variables de nutrición en plantas de leguminosas y No leguminosas, se observa que el contenido de P es más variable que el de N y que las leguminosas presentan una mayor heterogeneidad que las No leguminosas. La variabilidad dentro de cada sitio evaluado muestra un rango (CV Sitios) que su valor máximo es próximo a la variabilidad que existe entre los sitios. La relación N:P muestra una alta variabilidad asociada a la de P pero con un comportamiento similar entre y dentro sitios (Cuadro 13).

**Cuadro 13.** Media, Desvío Estándar (D.E.) y Coeficiente de Variación (CV) general y rango por sitios, para N, P y la relación N:P, discriminado por componente leguminosa y No leguminosa. Letras diferentes en misma columna muestran diferencia significativa (ANOVA, p-valor < 0,05).

	Leguminosa				No Leguminosa			
	Media	DE	CV	CV Sitios	Media	DE	CV	CV Sitios
<b>N</b>	3,56 a	0,58	16,2	7,7 - 16,0	1,90 b	0,28	14,8	10,0 - 19,7
<b>P</b>	0,25 a	0,09	35,6	11,0 - 39,9	0,22 b	0,06	29,2	14,0 - 26,7
<b>N:P</b>	14,8 a	3,6	24,5	8,9 - 20,0	9,4 b	3,2	34,1	13,5 - 33,8

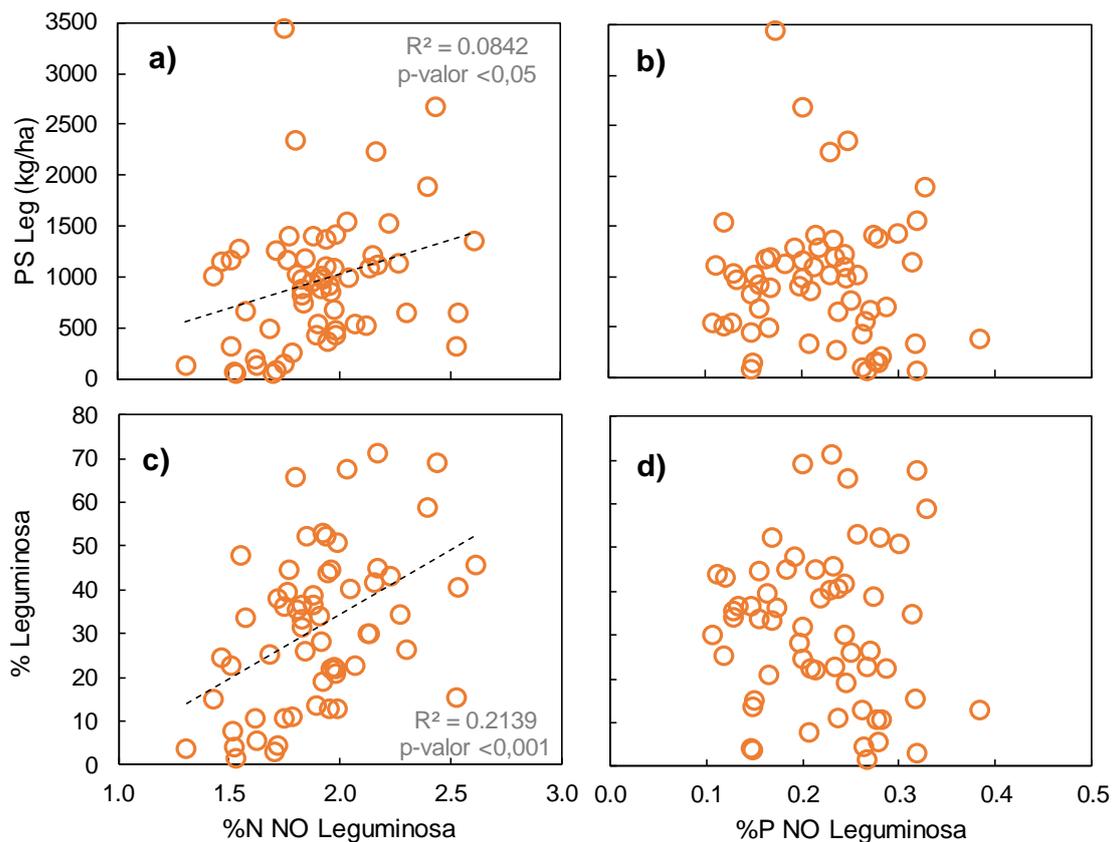
Las diferencias entre sitios evaluados muestran una diversidad de situaciones desde el punto de vista de su nivel de N y P, que reflejan por un lado el nivel de FBN o el N disponible en suelo, y por otro el efecto de los diferentes niveles de fertilización fosfatada. Dos sitios para el caso del contenido de P (2 y 3) y uno para el

caso de la relación N:P (6) no muestran diferencias entre la leguminosa y la No leguminosa. Se destaca por un lado el sitio 4 con los valores más altos de N y P, pero más bajos para la relación N:P. El sitio 6 es el que presenta menor nivel de N, un nivel de P promedio y un valor bajo de la relación N:P. En el resto de los sitios (1, 2, 3 y 5), si bien hay diferencias entre ellos, tienen un comportamiento parecido más próximo al promedio. Para P, si bien hay 2 sitios (2 y 3) de los cuales no es diferente la leguminosa del resto y un caso (1) en el que el resto presenta valores superiores a la leguminosa, en los casos que sí es diferente (4, 5 y 6) la diferencia es proporcionalmente menor que la que hay en las demás variables N y N:P (14 % vs. 87 % y 57 %) (Figura 14).



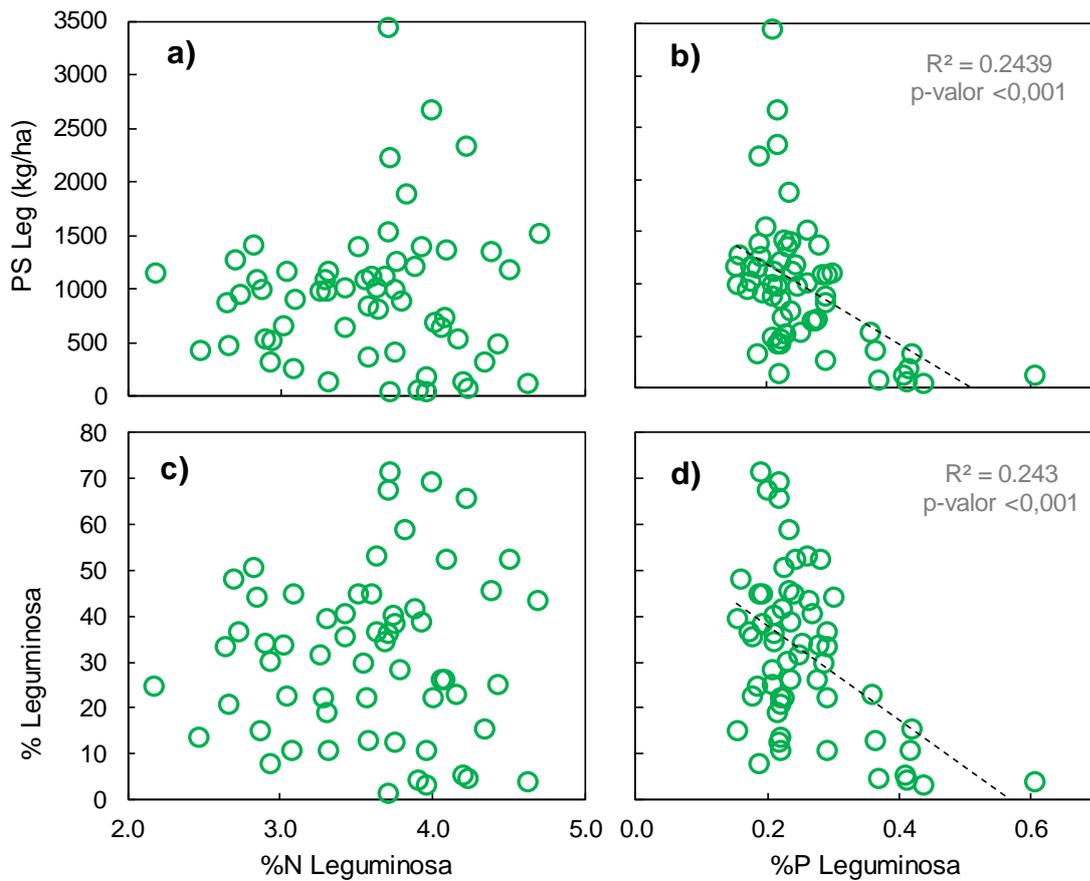
**Figura 14.** Diagrama de caja del % N, % P y relación N:P en plantas de leguminosa y Resto (No leguminosa), según sitio. Letras diferentes muestran diferencia significativa (ANOVA, p-valor < 0,001) para la leguminosa. ns: sin diferencia estadística entre leguminosa y Resto para un mismo sitio.

La siguiente figura (Figura 15) representa el peso seco de las leguminosas (k/ha) y el % de leguminosas en función al % de N y P en planta del componente no leguminoso de la comunidad. El N en el resto de la comunidad explica por regresión lineal el 8 % de la variación que se observa en los kg MS/ha disponibles de leguminosa; aunque el  $R^2$  es bajo, es significativo ( $p$ -valor $<0,05$ ) (Figura 15.a). Para el caso del % de Leguminosa hay una distribución más heterogénea, se observa casos en los que hay muy poco aporte hasta otros donde se encuentran también altos % de leguminosas, encontrándose un grupo más concentrado cerca de 40 %; en cambio el disponible en peso seco está muy concentrado en el entorno de 1000 k/ha, con menos valores extremos (Figura 15.a.c). El N en el resto de la comunidad explica por regresión lineal más del 20 % ( $p$ -valor $<0,001$ ) del % leguminosa observado en los MECN evaluados. El P en planta del resto de la comunidad, no mostró ninguna tendencia clara, encontrándose valores altos y bajos a igual nivel de P (Figura 15.b.d).



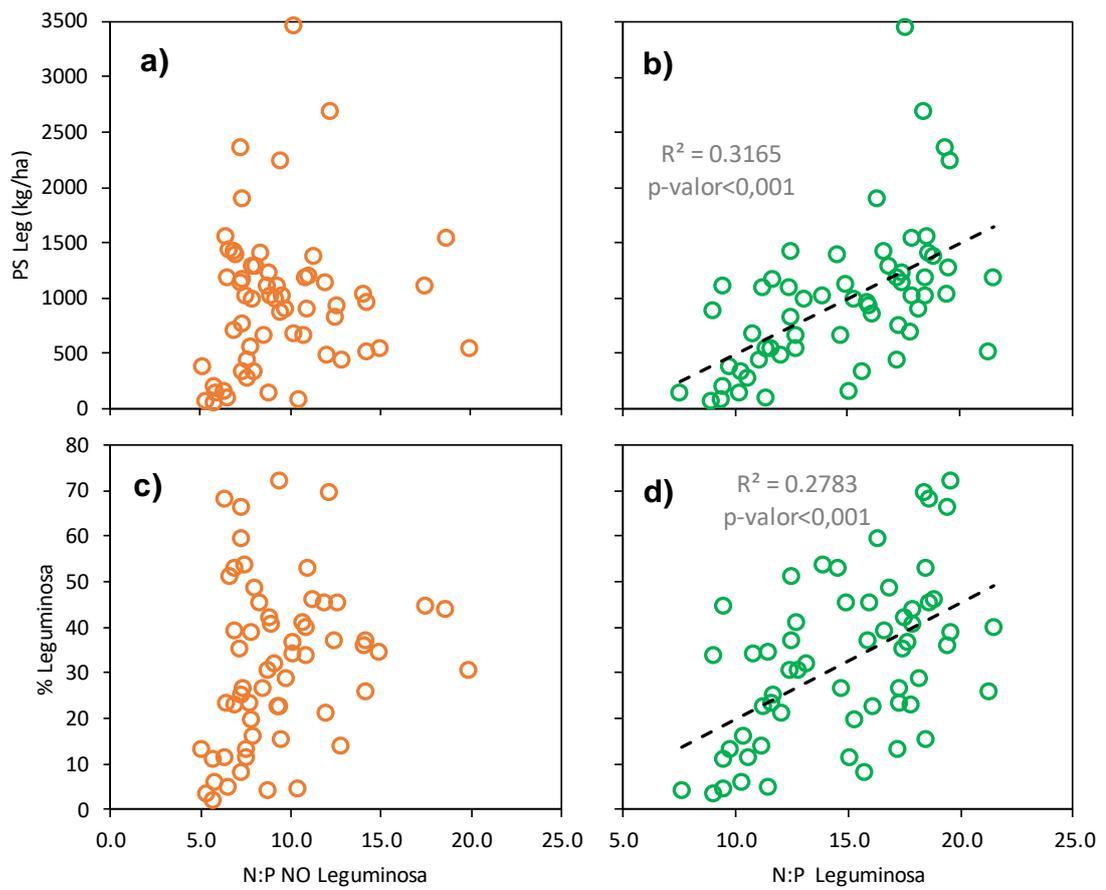
**Figura 15.** Relación del disponible en peso seco de leguminosas (kg/ha) y % de leguminosas con respecto al % de N y % P en las no leguminosas.

A pesar de que se observa una tendencia con mayores porcentajes de leguminosa y PS Leg (kg/ha) a medida que aumenta el % N en las no leguminosas (Figura 15.a.c), el contenido de N en la propia leguminosa no tiene relación alguna con el nivel de leguminosa presente (Figura 16.a.c). Sin embargo, el % P en planta de la leguminosa, muestra una fuerte relación inversa, explicando más del 20 % de la variabilidad de manera significativa por regresión lineal en ambas variables (p-valor < 0,001). A pesar de que a niveles mayores de P en planta hay menos leguminosas tanto en peso seco como en proporción, esta regresión está fuertemente apalancada por un conjunto de datos (~9) con % P en planta superiores a 0,3. En el rango de mayor concentración de puntos (0,15 a 0,3) no es posible identificar ninguna tendencia (Figura 16.b.d).



**Figura 16.** Relación del disponible en peso seco de leguminosas (kg/ha) y % de leguminosas con respecto al % de N y % P en la leguminosa.

En la Figura 17, se presenta el nivel de leguminosa en peso seco (PSLeg kg/ha) y de forma porcentual en función de la relación nitrógeno:fósforo (N:P) del componente no leguminoso y de la leguminosa. Se observa una tendencia a aumentar el nivel de leguminosa a medida que la relación N:P de la propia leguminosa aumenta. Esta relación lineal es significativa ( $p\text{-valor} < 0,001$ ) para ambas variables, peso seco y % de leguminosa, explicando 32 % y 28 % de la variabilidad observada respectivamente (Figura 17.b.d). Sin embargo, no es posible determinar una tendencia entre la variable N:P de la no leguminosa y el nivel de leguminosa ni en biomasa seca ni en % (Figura 17.a.c).



**Figura 17.** Relación del disponible en peso seco de leguminosas (kg/ha) y % de leguminosas con respecto a la relación N:P de la leguminosa y la no leguminosa.

## 6.5. ANÁLISIS MULTIVARIADO

Del análisis de las variables asociadas a la fertilidad de suelo y del estado nutricional de las leguminosas y del resto de los componentes integrantes de los MECN, se desprende la gran variabilidad presente entre y dentro de los sitios. También se puede ver que ningún factor explica, por sí solo, más del 30 % de la variabilidad observada en el nivel de leguminosa disponible, tanto como peso seco como % Leguminosa en el tapiz en cada MECN. Esto muestra la gran cantidad de factores que afectan el desarrollo de las leguminosas en los MECN y la alta complejidad de las relaciones entre los mismos. Para comprender mejor la variabilidad y el peso relativo de las variables estudiadas en explicar el desarrollo de las leguminosas se exploraron herramientas de análisis multivariado como Análisis de Componentes Principales (ACP) y Árboles de Regresión, así como también regresiones múltiples.

Del análisis de componentes principales se puede identificar que la suma de los ejes 1 y 2 representan el 56 % de la variabilidad total de los datos, un porcentaje explicativo bajo para extraer conclusiones fuertes (mayor a 75 %). De todas formas, la CP1 (eje X) explica el 36,8 % de la variabilidad total de los datos, donde se verifican las mayores diferencias entre las variables. Mientras el contenido de P de la leguminosa junto al pH y el P del suelo se ubican en un extremo, en el extremo contrario encontramos la relación N:P de la leguminosa, el % Leguminosa en el tapiz y la disponibilidad de Leguminosa (kg/ha). En el otro sentido, la CP2 (eje Y) explica el 19,2 % de la variabilidad total de los datos, donde las variables con más inercia son, por un lado, el % P y N del resto de la comunidad y el %N de la Leguminosa, y en el extremo contrario se ubica la relación N:P de la comunidad y el K de suelo (Figura 18 y Anexo 1.ACP).

Esto nos confirma que vamos a encontrar más leguminosa en los sitios que tienen relación N:P más alta en la leguminosa y menos presencia de leguminosa en donde el % P en planta de la leguminosa, el pH y el P en el suelo tengan valores elevados. Un ejemplo claro de esto es el sitio 4 con valores de altos de pH y P, y que presenta poco aporte de la leguminosa.

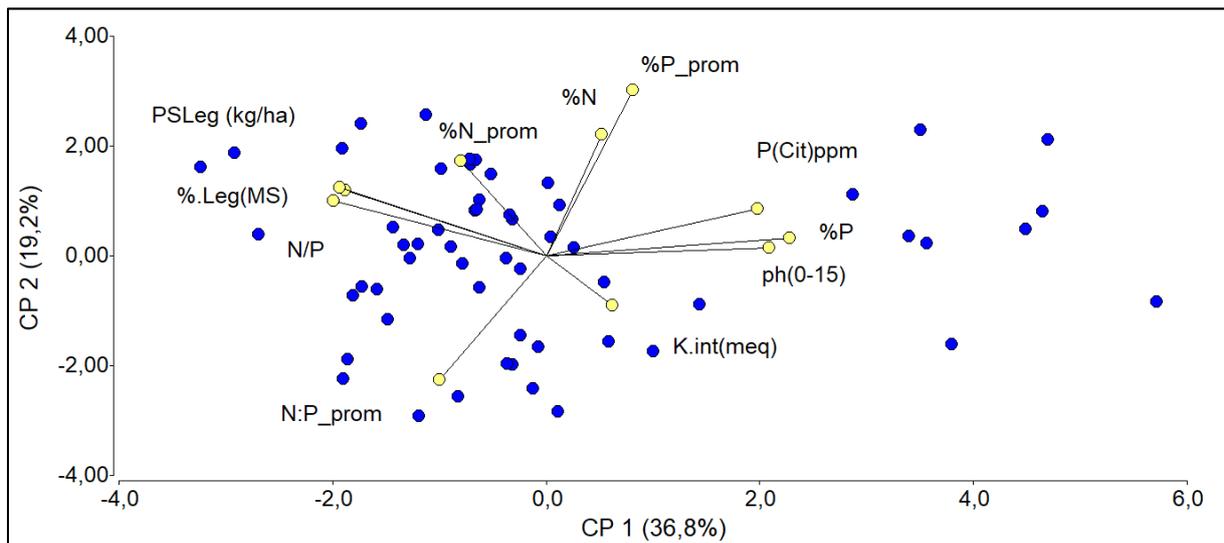


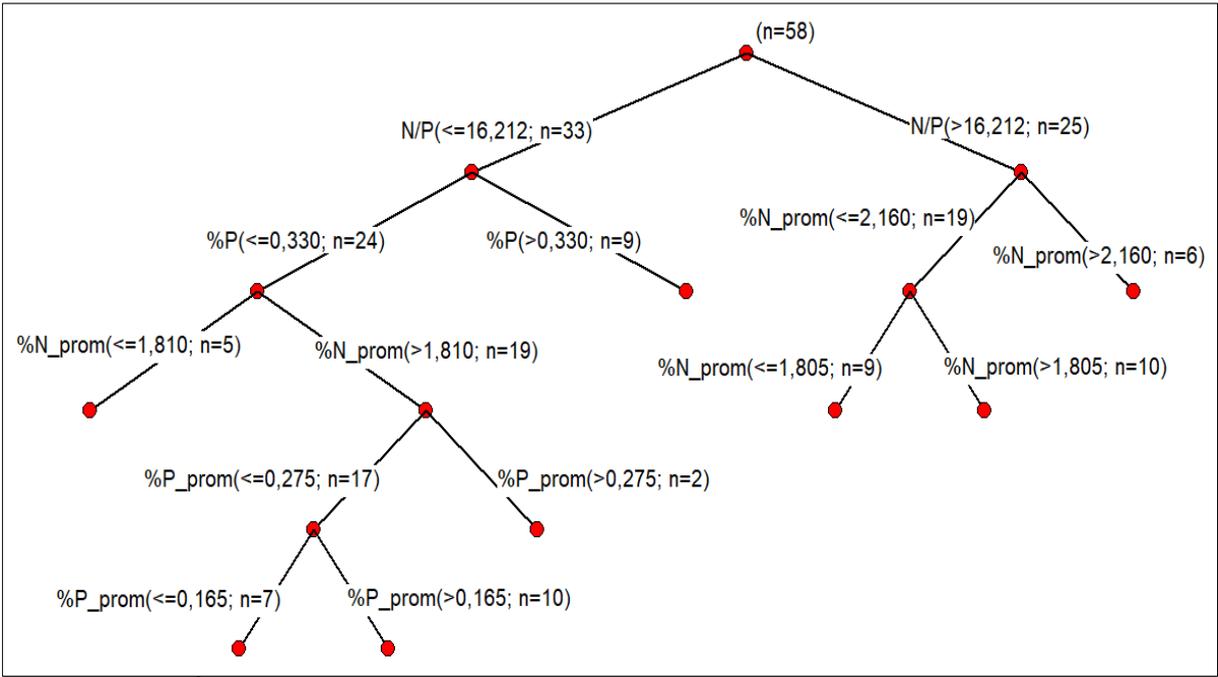
Figura 18. Gráfico Biplot del Análisis de Componente Principal de las 11 variables principales consideradas en el presente estudio.

A partir de lo observado en el ACP se realizó el análisis de árbol de regresión para las dos variables respuesta de interés, biomasa de leguminosa disponible y % leguminosa en el tapiz. Los árboles de regresión nos permiten jerarquizar las variables con mayor poder discriminante e identificar umbrales de estas para separar grupos.

En el árbol de regresión para peso seco de la leguminosa (kg/ha) se evidencia que la variable con mayor poder de discriminación de grupos es la relación N:P de la leguminosa, separando un grupo de 33 y 25 casos. Cuando la relación N:P de la leguminosa es  $\leq 16,2$ , el disponible medio del grupo es inferior al grupo que posee una relación N:P de la leguminosa  $> 16,2$  (650 y 1392 kg MS/ha, respectivamente). En el grupo de menor nivel de N:P de la leguminosa (n=33), la variable que divide es el % P de leguminosa, separando un grupo menor, de 9 casos con alto valor de P en planta ( $> 0,33$ ) y bajos niveles de disponible (222 kg MS/ha). El otro grupo (n=24) que posee menor % P en planta de leguminosa ( $\leq 0,33$ ) y tiene un disponible mayor de leguminosa (832 kg/ha), es dividido nuevamente por el contenido de N de la comunidad acompañante o resto. Allí se separa un grupo menor de 5 casos con valores muy bajos de N ( $< 1,81$ ) y de disponible de leguminosa (522 kg/ha) frente al

grupo mayor con mejor estatus de N y mayor disponible (913 kg/ha). Por último, aparece el % P en planta de la comunidad acompañante como variable discriminante de este grupo en dos oportunidades, separando un pequeño grupo de alta disponibilidad de leguminosa y alto % P en el resto de la comunidad.

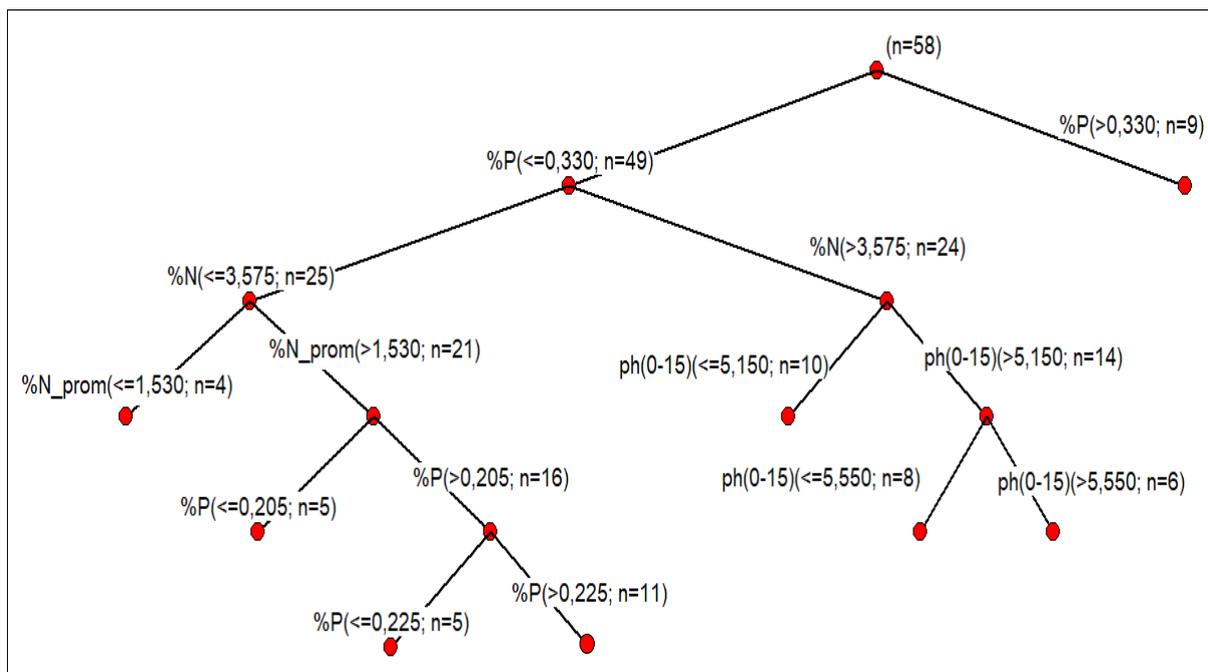
Respecto al segundo grupo generado en el primer nodo del árbol con niveles mayores de N:P en la leguminosa, se observa que la variable que discrimina grupos a la interna es el % N de la comunidad en dos oportunidades, separando en definitiva 3 grupos, unos de alto nivel de N (>2,16) y de leguminosa (1814,2 kg/ha), otro de bajo nivel de N y medio de leguminosa, y por último un grupo de niveles intermedio de N y con valores bajos de leguminosa (Figura 19, Anexo 2).



**Figura 19.** Árbol de regresión para peso seco de la leguminosa(kg/ha). Dónde: la relación N:P de la leguminosa (N:P), % N de comunidad acompañante (% N\_prom), % P de la leguminosa (% P) y % P de comunidad acompañante (% P\_prom).

Al realizar el árbol para % Leguminosa en el tapiz, lo que se pudo observar inmediatamente es que la variable con mayor poder discriminante es % P de la leguminosa, identificando un grupo de 9 casos con alto niveles de P en leguminosa pero que tiene una baja presencia de leguminosa en la pastura (9 %). Por otro lado, el grupo mayoritario, que tiene menos P ( $\leq 0,33$ ) en planta (n=49) es el que posee mayor disponible de leguminosa con un promedio de 36 %. A partir de esta variable se separan, en función del contenido de N en la leguminosa, dos grupos equilibrados de 25 y 24 casos, tomando como valor umbral un % N de 3,575. Por un lado, el grupo con mayores niveles de N está asociado a mayores % de leguminosa en el tapiz con una media de 43 % y es partido en dos oportunidades consecutivas por el pH, identificando 3 grupos. Un grupo de pH más ácido ( $\leq 5,15$ ) y con menor aporte de la leguminosa (30 %), un segundo grupo con valores intermedios de pH ( $>5,15$  y  $\leq 5,55$ ) con un aporte importante de la leguminosa en el tapiz (59 %) y, por último, un grupo de pH menos ácido ( $>5,55$ ) donde el % de leguminosa es medio (39 %).

Por otro lado, el grupo con menor contenido de N en leguminosa (n=25) y menor % de leguminosa (29 %), se divide nuevamente por el contenido de N, pero esta vez de la comunidad acompañante o resto, discriminando un grupo de casos con bajo contenido de N ( $\leq 1,53$ ) y baja presencia de leguminosa (18 %). En el otro sentido, el grupo con mejor nivel nutricional (n=21) y mayor presencia de leguminosa (31 %), se divide dos veces por el contenido de P de la leguminosa separando 3 grupos sin un patrón claro. Se observan altos aportes de leguminosa (41 %) en situaciones de bajo nivel de P en la leguminosa ( $\leq 0,205$ ) y también altos aportes (33 %) en situaciones de más P en planta ( $>0,225$ ) (Figura 20 y Anexo 3).



**Figura 20.** Árbol de regresión del % de biomasa de leguminosa. Dónde: % P de la leguminosa (% P), % N de la leguminosa (% N), % N de comunidad acompañante (% N\_prom) y pH (0-15cm) en el suelo.

Por último, y dada la dificultad de encontrar alguna variable central que sea lo suficientemente relevante para explicar una gran proporción de la variabilidad observada, es que se justifican las herramientas que integran más de una variable de manera conjunta. A partir de regresiones lineales múltiples definidas por el método stepwise se logra explicar para el caso de peso seco de leguminosa y para la proporción de leguminosa en el tapiz, un 35 % y 41 % de la variabilidad de manera significativa ( $p$ -valor  $<0,05$ ) respectivamente. En ambos casos, la relación N:P de la leguminosa fundamentalmente y el contenido de N de la comunidad son las dos variables retenidas y con poder explicativo (Anexo 4).

$$\text{Kg MS Leg/Ha} = -1251,41 + 95,59*(\text{N:P}) + 429,2*(\%N\_prom)$$

$$\% \text{ Leg} = -45 + 2*(\text{N:P}) + 23*(\%N\_prom)$$

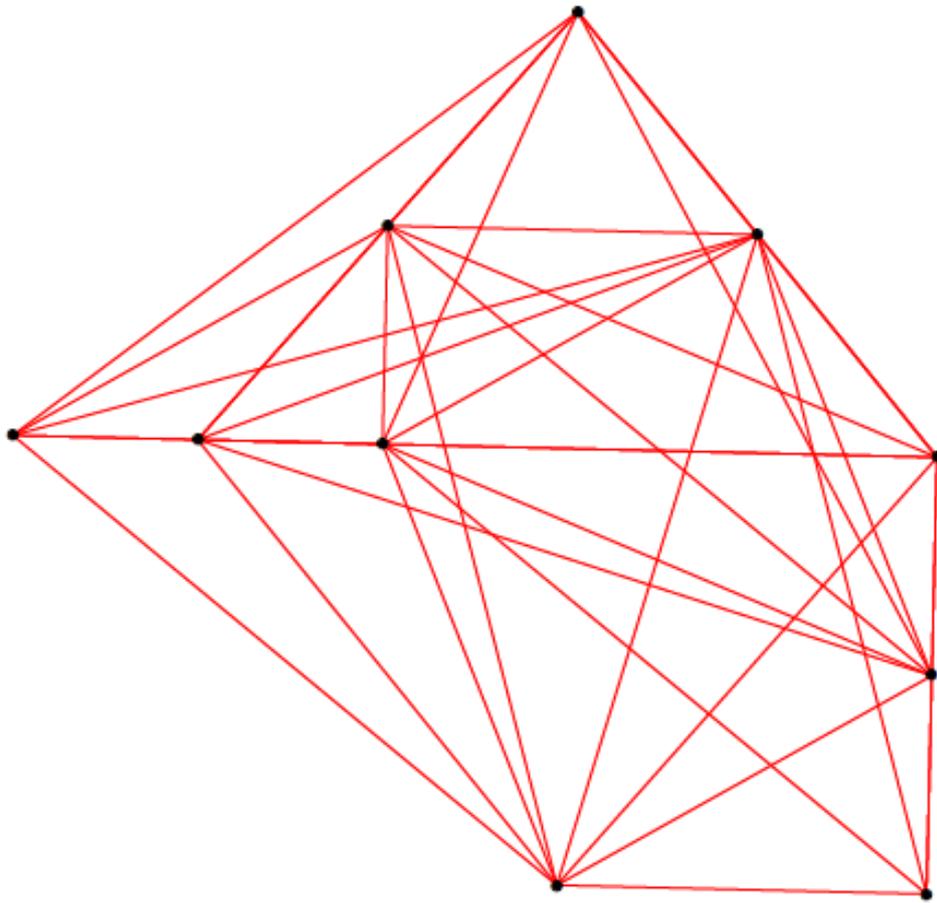
## 6.6. VARIABILIDAD ESPACIAL

Para explorar la variabilidad espacial presente en los potreros evaluados se usó la información de las variables medidas espacialmente referenciadas a través de un GPS. El primer paso consistió en la transformación de las coordenadas geográficas a coordenadas cartesianas en el sistema de proyección UTM (Universal Transverse Mercator). Dado el número limitado de puntos medidos en cada potrero (10), no se hizo ningún ajuste de depuración de datos, tomándose todos los puntos disponibles. En las Figuras 21 y 22 se muestra un ejemplo de los datos tomados en campo y de su proyección en el plano para un potrero de la Unidad Experimental Palo a Pique (UEPP), INIA Treinta y Tres (demás potreros en Anexo, Figura 24 a 28).



**Figura 21.** Representación del muestreo realizado en un potrero de la Unidad Experimental Palo a Pique (UEPP) INIA Treinta y Tres.

**Fuente:** Elaborado con base en Google Earth 2020.

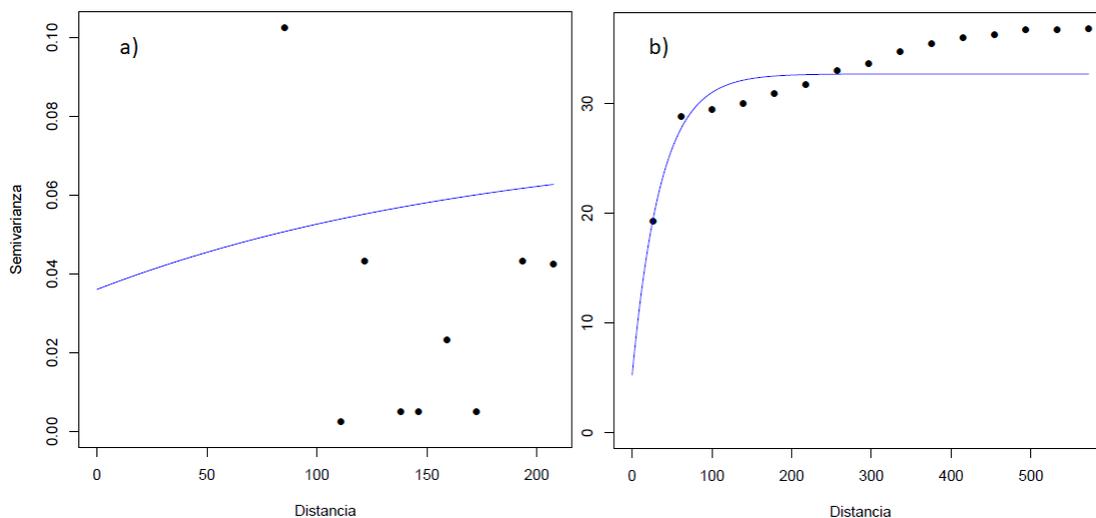


**Figura 22.** Representación en el plano y red de vecinos del muestreo realizado en un potrero de la Unidad Experimental Palo a Pique (UEPP), INIA Treinta y Tres.

A partir de las coordenadas transformadas, se calculó autocorrelación espacial a través del Índice de Moran, para cada sitio y cada una de las 11 variables consideradas en el presente estudio. La conexión entre los puntos, para evaluar si hay autocorrelación espacial es definida como la red de vecinos que se determina por la distancia a considerar en metros, en la Figura 22 se muestra un ejemplo considerando 400 m para el sitio 2. El Índice de Moran, cuantifica la magnitud de la estructuración espacial de los datos, cuanto más cercanos a 1 y más significativo es, mayor es la autocorrelación espacial de los datos. Dado un grupo de datos que pertenecen a diferentes vecindarios, el Índice de Moran es aplicado a cada dato individualmente y da idea del grado de similitud o diferencia entre el valor de una observación respecto al valor de sus vecinos (Córdoba et al, 2019).

Para los sitios evaluados la autocorrelación espacial es baja en general, como se puede ver en el Cuadro 14, siendo el sitio 2 el que presenta más variables con correlación espacial positivas y significativas. Para todos los casos que es positivo y significativo se puede señalar que los valores son bajos, todos menores a 0,1; por tanto, la estructuración espacial de los datos es débil.

El paso siguiente es evaluar la posibilidad de ajuste de un semivariograma para determinar en los caso positivos y significativos de autocorrelación, cómo es la estructura y la naturaleza de la dependencia espacial del conjunto de observaciones geo-referenciadas. Para los cuatro casos positivos y significativos se calculó el semivariograma; los mismos fueron de muy mal ajuste. En la Figura 23 se muestra el semivariograma calculado para % de leguminosa en el sitio 6 y para un ejemplo de alta estructuración espacial de los datos. A partir de esto es imposible modelar la distribución de las variables en el espacio (potrero) usando métodos de interpolación, ni la generación de mapas.



**Figura 23.** Semivariograma, a) para la variable % de leguminosa en el sitio 6, y b) ejemplo de variable con alta estructuración espacial.

**Cuadro 14.** Matriz de autocorrelación espacial según Índice de Moran, para cada sitio y variable estudiada. Se resaltan los casos que son significativos (p-valor <0,05).

	1		2		3		4		5		6	
Variable	Estadístico	p-valor	Estadístico	p-valor	Estadístico	p-valor	Estadístico	p-valor	Estadístico	p-valor	Estadístico	p-valor
<i>Fertilidad de Suelo</i>												
ph.0.15	-0.096	0.325	<b>0.040</b>	<b>0.030</b>	-0.112	0.490	-0.125	0.500	-0.125	0.500	-0.022	0.070
P.Cit.ppm	-0.088	0.062	-0.090	0.330	-0.164	0.941	-0.125	0.657	-0.125	0.500	-0.097	0.311
K.int.meq	-0.138	0.848	-0.220	0.940	-0.071	0.140	-0.125	0.500	-0.125	0.500	-0.172	0.855
<i>Nivel de Biomasa de Leguminosa</i>												
PSLeg.kg.ha	-0.235	0.995	-0.130	0.600	-0.122	0.654	-0.125	0.185	-0.125	0.666	-0.062	0.188
%Leg.MS	-0.165	0.956	-0.150	0.700	-0.157	0.873	-0.125	0.791	-0.125	0.500	<b>0.042</b>	<b>0.013</b>
<i>Nivel de Nutrición de la Leguminosa y Resto</i>												
N	-0.145	0.905	<b>0.020</b>	<b>0.020</b>	-0.090	0.257	-0.125	0.500	-0.125	0.500	-0.184	0.919
P	-0.122	0.764	-0.090	0.310	-0.073	0.169	-0.125	0.500	-0.125	0.500	-0.201	0.918
N.P	-0.167	0.941	-0.090	0.380	-0.145	0.860	-0.125	0.500	-0.125	0.500	-0.142	0.766
N_Resto	-0.068	0.088	-0.040	0.110	-0.105	0.386	-0.125	0.500	-0.125	0.500	-0.105	0.416
P_Resto	-0.154	0.923	<b>0.010</b>	<b>0.040</b>	-0.085	0.241	-0.125	0.500	-0.125	0.500	-0.079	0.276
N.P_Resto	-0.128	0.708	-0.150	0.770	-0.109	0.345	-0.125	0.500	-0.125	0.500	-0.088	0.300
metros	200		400		400		400		400		400	

## 7. DISCUSIÓN

### 7.1. NIVEL DE LAS PRINCIPALES VARIABLES

La caracterización a nivel de suelo y planta de los sitios de MECN evaluados en el presente trabajo buscó, por un lado, captar la variabilidad presente a diferentes escalas, y por otro, entender mejor las relaciones entre fertilidad de suelo, estado nutricional de la plantas y nivel de desarrollo de las leguminosas. Entre las variables de suelo estudiadas se destaca el pH, en general levemente ácidos y con un rango entre 4,8 -7,9, con un valor promedio 5,64, similar al observado por Morón (2008) en pasturas de trébol blanco y algo menor al encontrado por Barbazán et al (2007) de 6,05. En todos los casos se verificó una baja variabilidad, menor al 10 % en los estudios previos y superior al 13 % en el presente. Para el caso de los MECN evaluados se observa que el 75 % de los cuadros se ubica entre 5,0 y 6,0; rango no limitante del desarrollo de las leguminosas (Carámbula, 2007).

El fósforo del suelo es un elemento central para el desarrollo de las leguminosas; el nivel medio encontrado en los suelos evaluados es de  $9,5 \pm 6,3$  ( $\mu\text{g P/g}$ ), inferior a los niveles críticos mínimos sugeridos de 13 ( $\mu\text{g P/g}$ ) (Cuadro et al, 2019). Una proporción importante (78 %) de los mismos se encuentra por debajo de los niveles críticos y más del 60 % por debajo de 9 ( $\mu\text{g P/g}$ ), lo que es considerado una deficiencia severa (Cuadro et al, 2019). A nivel comercial, en otros relevamientos para cultivos de trébol blanco en el Este del país, se observan niveles de P como Ácido Cítrico de  $8,9 \pm 5,1$  ( $\mu\text{g P/g}$ ), con gran variabilidad dada por las estrategias de fertilización de cada sitio (Morón, 2008). En relevamientos de pasturas de *Lotus corniculatus*, se reportan valores medios para P en suelo de  $12 \pm 11$  ( $\mu\text{g P/g}$ ), medidos como P-Bray 1 (Barbazán et al, 2007). En todos los casos la variabilidad

encontrada en el nivel de P del suelo es de alta a muy alta, con CV entre 60 y más del 90 %, verificándose un 67 % para el presente estudio.

El nivel promedio de K en los muestreos,  $0,37 \pm 0,1$  meq/100g, está apenas por encima del nivel crítico de 0,35 meq/100g sugerido por Morón (2008) y por encima también del nivel encontrado en los relevamientos de trébol blanco en el Este de Uruguay con suelos muy pobres en K intercambiable (0,28 meq/100g) (Morón, 2008). Sin embargo, la media de los MECN evaluados está por debajo del nivel reportado en pasturas de *L. corniculatus* relevadas en todo el país de 0,46 meq/100g (Barbazán et al, 2007). Se observa también, que 42 % de los cuadros muestran valores por debajo de 0,35 meq/100g, lo que representa un número considerable de casos con alguna limitación de K.

El contenido medio de N en las plantas de leguminosas evaluadas ( $3,56 \pm 0,58$  %) se ubicó por encima del nivel crítico de N para *L. corniculatus* de 2,0 % (poniendo como ejemplo alfalfa) sugerido por Barbazán et al (2007), pero por debajo del nivel crítico de 4,8 % propuesto por Morón (2008) para trébol blanco. Para el caso específico del sitio con trébol blanco (4) el promedio es también inferior al nivel crítico con una media de 4,1 %. El rango de valores observado en el presente estudio para las leguminosas se ubicó enteramente entre los dos niveles de referencia presentados (2,2 % y 4,7 %). En cambio, el resto de la comunidad muestra señales de estar en muchos casos limitado por N, con un valor medio de  $1,90 \pm 0,28$  % (Cuadro 13 y Figura 14).

Por su parte, la concentración de P en planta muestra un rango amplio desde 0,15 % a 0,61 % para la leguminosa y de 0,11 % a 0,38 % para el promedio del resto de la comunidad, con una media cercana de 0,25 % y 0,22 % respectivamente (Cuadro 13 y Figura 14). En ambos casos más de la mitad de las muestras (57 % y 53 %) están por debajo del nivel crítico para el fósforo en planta de 0,24 % sugerido por Kelling y Matocha, citados

por Barbazán (2007) y muy por debajo de los niveles críticos de P en planta de trébol blanco 0,35 % sugeridos por Morón (2008).

En referencia a la relación de N:P que integra de mejor manera el estado nutricional de las plantas, nuestros datos analizados se mostraron en categorías similares a los obtenidos por Cardozo (2019) en MECN, mostrando una variedad de situaciones de relativa limitación de N, P y de co-limitación de N y P para el caso del componente leguminosas. La media general del presente trabajo para las leguminosas es algo inferior a la reportada por Cardozo (2019), ( $14,3 \pm 3,6$  vs.  $18,2 \pm 6,5$ ), mientras que para el resto de los componentes del MECN es similar con un promedio de 9,46 (Cuadro 13 y Figura 14). Esto demuestra el gran abanico en el que se encuentran las leguminosas, pero claramente diferente del resto de la comunidad que está fuertemente limitada por N.

## 7.2. VARIABILIDAD INTRA VS. INTER-SITIOS

La variabilidad es un elemento central de este trabajo y se analizó a escala de potrero y entre potreros de diferentes regiones, así como también se buscó modelar la distribución de las variables para entender su comportamiento en el espacio. Para el conjunto de factores asociados a la fertilidad de suelo se observó, por un lado, al pH con una variabilidad baja en general coincidente con otros trabajos (Barbazán et al, 2007; Morón, 2008), pero donde se destaca una mayor variación entre sitios de diferentes regiones que dentro de cada potrero (Cuadro 8 y 10). El pH se muestra más estable a escala de potrero y más condicionado por la región, la geomorfología y los materiales geológicos formadores de suelo.

Por otro lado, y con un comportamiento opuesto al pH se ubica el nivel de P en suelo; el mismo presenta una gran variabilidad, similar a las referencias nacionales disponibles (Barbazán et al, 2007; Morón, 2008) y donde se identifica mayor variabilidad dentro del potrero que entre potreros

(CV 80 % vs. 55 %). Sin embargo, para la mayoría de los potreros el CV está próximo a 30 % (Cuadro 11). La variabilidad en el P de suelo parece estar afectada por las prácticas de fertilización y por cambios a escala micro asociados a múltiples factores (micro relieve, pastoreo, deyecciones, etc.). Aunque el pH y el P del suelo presentan un patrón tan diferente desde el punto de la variabilidad, ambas variables están fuertemente correlacionadas positivamente, encontrando mayores niveles de P en los suelos más neutros dentro del rango evaluado en el presente trabajo (Cuadro 9).

El K del suelo está en una situación intermedia con respecto a pH y P, ya que la variabilidad dentro de los sitios esta próxima a la que se observa entre sitios (CV 20,4 %), con algunos potreros por encima y debajo de ese nivel (Cuadro 8 y 12). Los niveles de K presentes en cada muestra se asocian levemente con el P del suelo, pero no con el pH (Cuadro 9).

Desde un punto de vista regional y comparando los resultados reportados por Barbazán et al (2007) en pasturas de *L. corniculatus* con los del presente estudio, para el pH de suelo se puede observar que los valores encontrados son más ácidos a los reportados para cada región del país. Se destacan que las regiones lomadas este y basalto tienen valores muy por debajo de los reportados para esa región (5,04 vs. 5,7 y 5,04 vs. 5,9), y en el otro sentido la región bajos litoral algo superior a la media de la región (7,01 vs. 6,5).

Por su parte, el nivel de P en los potreros evaluados está algo por encima de las medias de cada región, aunque los métodos de análisis no son estrictamente comparables, encontrando también los valores superiores en los suelos sobre Fray Bentos (sitio 4) y los niveles más bajos en los suelos sobre Basalto y Cristalino (sitio 5 y 2).

El K en los sitios estudiados se mostró en valores muy parecidos a los encontrados para cada región del país por Barbazán et al (2007), destacándose por un lado el mismo patrón con suelos más pobres en el

Cristalino del Este, niveles medios en el Cristalino del Centro y mayores en Basalto. Por otro lado, dos suelos aparecen con niveles muy distintos al reportado para su región, el sitio 4 en el Litoral con un nivel 50 % menor al de la región (0,40 vs. 0,81 meq/100g) que parece muy afectado por altas fertilizaciones con K y el sitio 3 donde el potrero medido tiene un nivel 80 % superior al de la región (0,40 vs. 0,26 meq/100g), asociado a que son suelos con alto nivel de materia orgánica.

El estado nutricional de las plantas medido a través del contenido de N, P y la relación N:P permite observar que la variabilidad es mayor en P que en N e intermedia para la relación N:P, con CV entre sitios próximos al nivel de máxima variación dentro de cada sitio (Cuadro 13). A nivel de regiones del país para % N en planta no se observa ningún patrón, con niveles muy parecidos entre zonas, al igual que lo señala Barbazán et al (2007), pero con un nivel general menor al presente estudio. Para el % P en planta en los potreros evaluados tampoco se observa ningún patrón claro, a diferencia de lo señalado por Barbazán et al (2007), donde el Cristalino del Este aparece con los niveles más bajos.

Del análisis de los resultados de los sitios evaluados se puede aceptar en términos generales la hipótesis primera, donde “La variabilidad entre los sitios de mejoramientos de Campo Natural evaluados es mayor a la variabilidad dentro de cada sitio para las variables de respuesta y las variables explicativas.”; sin embargo, para algunos sitios y variables en particular es posible encontrar una mayor variabilidad dentro que entre potreros.

Por último, la variabilidad espacial dentro de cada potrero no fue posible de modelar de manera precisa, primero porque la autocorrelación espacial para la mayoría de las variables fue baja y no significativa, y en los casos positivos no fue posible ajustar un semivariograma. Este hecho puede estar dado en parte por la insuficiente cantidad de muestras tomadas en

cada potrero para captar los patrones espaciales o porque algunas de las variables no tienen un patrón espacial claro y son totalmente aleatorias.

### 7.3. FACTORES QUE MÁS AFECTAN NIVEL DE LEGUMINOSA

El nivel de leguminosa presente en los potreros estudiados se mostró mucho más afectado por el estado nutricional de la propia leguminosa o del resto de la comunidad, que de los parámetros asociados a la fertilidad de suelo. Las relaciones observadas entre el nivel de leguminosa, tanto en peso seco como en %, y el pH y P del suelo son bajas y están fuertemente condicionadas por el sitio 4 que tiene alto pH y P y bajo nivel de leguminosas (Figuras 8, 10 y 11). En los análisis multivariados la única variable de suelo que aparece con poder explicativo es el pH, en el árbol de regresión para % de leguminosa en los MECN (Figura 20).

Por su parte las variables de nutrición de planta tienen un mayor poder explicativo, si bien hay algunos parámetros que no guardan relación con el nivel de leguminosa presente, otros explican más del 30 % por sí solos, como es el caso de la relación N:P de la leguminosa. También es llamativo el rol que tiene el % N del resto de la comunidad para explicar la disponibilidad de leguminosa apareciendo junto a la relación N:P de la leguminosa como las 2 principales variables para modelar el nivel de leguminosa en peso seco y en % a través de regresiones lineales múltiples. Estas dos variables no se encuentran asociadas entre sí ya que la correlación es muy baja y no significativa. Adicionalmente a estas dos variables, el % de P de la leguminosa y de la comunidad aparece explicando parte de los resultados que se muestran en las Figuras 19 y 20.

La segunda hipótesis original de que, “El nivel de leguminosa presente en los mejoramientos de campo natural depende mayormente de la disponibilidad de nutrientes del suelo” se debe rechazar, primero porque no son las variables de suelo las que más explican y si las de planta, aunque el

estado nutricional está fuertemente asociado al nivel de fertilidad de suelo. Segundo, porque no es posible explicar más del 35 % a 45 % de la variabilidad observada en el nivel de leguminosa. Finalmente se debe mencionar que parte de la variación no explicada en los niveles de leguminosa presente, podría estar dada por factores no estudiados en el presente trabajo como la temperatura o la disponibilidad de agua en el suelo, o factores de manejo asociados a la intensidad y frecuencia de pastoreo que determina el rebrote (Ayala y Carámbula 2009).

#### 7.4. COMPETENCIA DETERMINADA POR NITRIGENO O FOSFORO

La presencia del componente leguminoso está fuertemente determinada por la competencia con el resto de los componentes presentes en el MECN; en tal sentido, la tercera hipótesis inicialmente planteada contemplaba que “La competencia entre la leguminosa y el resto de la comunidad está más determinada por la disponibilidad de nitrógeno que de fósforo, favoreciéndose la leguminosa en la medida que la comunidad está más limitada por nitrógeno”. Esta hipótesis que contempla los planteos de Ledgard et al (2001) y Schwinning y Pearson (1996), debe rechazarse por dos elementos. Primero ni la disponibilidad de N o P individualmente son tan determinantes como la relación N:P en planta, que sintetiza no solo la disponibilidad sino lo que la planta absorbe y la relación entre ambos elementos. Por otro lado, debe rechazarse en la medida que la segunda parte de la afirmación es contraria a lo observado en el análisis de datos, donde se observa mayores niveles de leguminosa a mayores niveles de % N de la comunidad acompañante. Este último elemento es contrario a los planteos de Ledgard et al (2001) y Schwinning y Pearson (1996), ambos realizados sobre pasturas sembradas y mezclas de raigrás y trébol blanco. Para el caso de los MECN el N que ingresa por FBN en muchos casos no es el suficiente para cubrir las demandas de la planta y el N de la solución del

suelo es importante para aumentar el crecimiento. Igual comportamiento reporta Cardozo (2019), donde el estado nutricional de N de la leguminosa está más asociado al estado nutricional de la no leguminosa que al nivel de FBN.

## **8. CONCLUSIONES**

El estado nutricional de la leguminosa, medido a través de la relación N:P, es el principal factor en determinar el nivel de la leguminosa presente en los MECN, seguido por el nivel de N del resto de la comunidad de los MECN. Las variables de suelo explican poco el nivel de leguminosa encontrado, condicionado por un sitio extremo. Todo esto reafirma la importancia de la nutrición de la leguminosa y del rol del N, que a pesar de ingresar por FBN es de alguna forma “completado” por el aporte de la solución del suelo para alcanzar mayores niveles de leguminosa

Por otro lado, la variabilidad encontrada entre y dentro de los sitios para las variables medidas en general se hace máxima entre potreros de regiones diferentes y es menor dentro de cada sitio. Sin embargo, aparecen algunas variables como P de suelo, en que es posible encontrar situaciones de altísima variabilidad dentro de un potrero. P es la variable de suelo que presenta niveles más limitantes para el desarrollo de las leguminosas y donde aparece un espacio para mejorar el manejo de la fertilidad, contemplando la variabilidad espacial, aunque la misma fue imposible de modelar a escala de potrero en el presente estudio.

Finalmente, los factores analizados en este estudio no logran de manera agregada explicar más del 35 % a 45 % de la variabilidad observada en los niveles de leguminosa, por lo que es importante considerar otros factores en futuros trabajos, como las variables climáticas (temperatura, radiación y agua disponible en el suelo), así como factores de manejo asociados al pastoreo en términos de intensidad y frecuencia. En todos los

sitios se midió en pasturas con buenos niveles de disponibilidad, producto del crecimiento reciente, pero no se conoce con precisión el manejo anterior. Por último, se deberían considerar en futuros trabajos los aspectos asociados a la rizobiología que son determinantes de la FBN y del desempeño de la leguminosa que no fueron evaluados en el presente estudio.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, J.P.F.; HARTWIG, U.A.; FREHNER, M.; NÖSBERGER, J.; LÜSCHER, A. 2000. Evidence that P deficiency induces N feedback regulation of symbiotic N<sub>2</sub> fixation in white clover (*Trifolium repens* L.). *Journal of Experimental Botany*. 51(348):1289-97.
- ANDRÉ-CABRERA, M.; PEDOJA-BALPARDA, M.; RAMÍREZ-FERNÁNDEZ, C. 2016. Respuesta productiva de un campo natural sometido a niveles crecientes de intervención. Tesis Ingeniero Agrónomo. Montevideo, Uruguay. UDELAR. Facultad de Agronomía. 103 p.
- AYALA, W.; CARÁMBULA, M. 2009. El valor agronómico del género *Lotus*. Montevideo, Uruguay. INIA. 424 p.
- BARBAZÁN, M.; FERRANDO, M.; ZAMALVIDE, J. 2007. Estado nutricional de *Lotus corniculatus* en Uruguay. (en línea). Montevideo. Consultado: 15 Jun. 2019. Disponible en: <http://www.acuedi.org/doc/5751/estado-nutricional-de-lotus-corniculatus-l-en-uruguay.html>
- BEMHAJA, M.; BERETTA, E.; BRITO, G.; 1994. Respuesta a la fertilización nitrogenada de campo natural en basalto profundo. (en línea). Montevideo. Consultado: 12 Jul. 2020. Disponible en: <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219240807103205.pdf>
- BERMÚDEZ, R.; AYALA, W. 2005. Implantación de gramíneas en los mejoramientos de campo con leguminosas. En: Jornada Anual de Producción Animal: Resultados Experimentales. (2005, Treinta y Tres, Uruguay). INIA. p. 1-9. (Actividades de Difusión no. 429).
- CARÁMBULA, M. 1978. Producción de pasturas. En: "Uruguay Centro de Investigaciones Agrícolas" "Alberto Boerger" "(CIAAB)". Pasturas 4. Miscelánea CIAAB. (18): 5-7.
- CARÁMBULA, M. 1997. Pasturas naturales mejoradas. Montevideo: Hemisferio Sur. 524 p.

- CARÁMBULA, M. 2002. Pasturas y forrajes; insumos, implantación y manejo de pasturas. Montevideo: Hemisferio Sur. 357 p.
- CARDOZO, G. 2019. Causas y consecuencias de la entrada de nitrógeno por fijación biológica en campo natural. Tesis Maestría en Ciencias Agrarias. Montevideo, Uruguay. UDELAR. Universidad de la República. 114 p.
- CÓRDOBA, M.; PACCIORETTI, P.; GIANNINI-KURINA, F.; BRUNO, C.; BALZARINI, M. 2019. Guía para el análisis de datos espaciales en agricultura. Córdoba: Brujas. 235 p. (Serie Estadística Aplicada).
- CUADRO, R.; QUINCKE, A.; GIORELLO, D.; BERMÚDEZ, R. 2019. Fertilización de pasturas de leguminosa: resultado para el manejo del fósforo y el azufre. En: estimación de umbrales críticos de P extractable en suelo para Trébol blanco y Lotus corniculatus. Quincke, A. y Cuadro, R. (eds). Montevideo, Uruguay. INIA. p. 15-24. (Serie Técnica no. 248)
- DI RIENZO J.; CASANOVES F.; BALZARINI M.; GONZÁLEZ L.; TABLADA M.; ROBLEDO C. 2011. InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- DIVITO, G.A.; SADRAS, V.O. 2014. ¿Cómo afectan el fósforo, el potasio y el azufre al crecimiento de las leguminosas y la fijación biológica de nitrógeno? Un meta-análisis. (en línea). Canadá. Consultado: 15 Mar. 2020. Disponible en: [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/6D2E0FE9B75C74E285257CE9007C82D2/\\$FILE/2.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/6D2E0FE9B75C74E285257CE9007C82D2/$FILE/2.pdf)
- GOOGLE EARTH. 2020. Mapa. (en línea). España. Consultado: Disponible en: <https://earth.google.com/web/@0,0,0a,22251752.77375655d,35y,0h,0t,0r>
- INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria). Uruguay. 2010. Lotus corniculatus como leguminosa forrajera perenne. (en línea). Montevideo. Consultado: 15 Jul. 2020. Disponible en: <http://www.inia.org.uy/productos/cvforrajeras/lcorniculatuses.html>
- INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria). Uruguay. 2017. Catálogo de cultivares INIA de especies forrajeras. (en línea). Montevideo. Consultado: 15 Jul. 2020. Disponible en: <https://pasturas.inia.org.uy/catalogo/index.php?id=149>

- LEA, P.J.; SODEK, L.; PARRY, M.A.J.; SHEWRY, P.R.; HALFORD, N.G. 2007. Asparagine in plants. *Annals of Applied Biology*. 156: 1-26.
- LEDGARD, S.F.; SPROSEN, M.S.; PENNO, J.W.; RAJENDRAM, G.S. 2001. Nitrogen fixation by white clover in pastures grazed by dairy cows: Temporal variation and effects of nitrogen fertilization. *Plant Soil*. 229(2):177-187 .
- LEZAMA, F.; ALTESOR, A.; PEREIRA, M.; PARUELO, J. 2011. Descripción de la heterogeneidad florística en los pastizales naturales de las principales regiones geomorfológicas de Uruguay. En: Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales. Altesor, A; Ayala, W; Paruelo, J. (eds). INIA. p. 15-31. (Serie FPTA-INIA no. 26).
- MGAP (Ministerio de Agricultura y Pesca. Dirección de Suelos). Uruguay. 1979. Carta de reconocimientos de suelos del Uruguay. Tomo III. Parte I, descripciones y datos físico y químicos de los suelos dominantes. (en línea). Consultado: 11 Dic. 2020. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/>
- MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias). Uruguay. 2013. Anuario Estadístico Agropecuario 2013. (en línea). Montevideo. Consultado: 7 Jul. 2020. Disponible en: [http://www.mgap.gub.uy/Dieaanterior/Anuario2013/DIEA\\_Anuario\\_2013.pdf](http://www.mgap.gub.uy/Dieaanterior/Anuario2013/DIEA_Anuario_2013.pdf).
- MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias). Uruguay. 2017. Anuario Estadístico Agropecuario 2017. (en línea). Montevideo. Consultado: 7 Jul. 2020. Disponible en <https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2017/DIEA-Anuario2017.pdf>
- MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias). Uruguay. 2019. Anuario Estadístico Agropecuario 2019. (en línea). Montevideo. Consultado: 7 Jul. 2020. Disponible en: <https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2019/Anuario2019.pdf>

- MILLOT, J.; RISSO, D.; METHOL, R. 1987. Relevamiento de pasturas naturales y mejoramientos extensivos en áreas ganaderas del Uruguay. Montevideo, Uruguay. MAP-FUCREA. 199 p. (Informe Técnico).
- MORÓN, A. 2008. Relevamiento del estado nutricional y la fertilidad del suelo en cultivos de trébol blanco en la zona este de Uruguay. En: Seminario de Actualización Técnica: Fertilización fosfatada de pasturas en la región Este. Montevideo, Uruguay. INIA. p. 17-29. (Serie Técnica no. 172).
- MORÓN, A.; PÉREZ-GOMAR, E. 1994. La acidez del suelo y su corrección. Montevideo, Uruguay. INIA. 98 p. (Serie Técnica no. 42).
- OLMOS-LÓPEZ, F. 2001a. Mejoramiento de pasturas con lotus en la región noreste. (en línea). Montevideo. Consultado 11 Dic. 2020. Disponible en: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2868/1/111219240807141015.pdf>
- OLMOS-LÓPEZ, F. 2001b. Mejoramiento de pasturas con Lotus en la región noreste. (en línea). Uruguay. Consultado: 11 Dic. 2020. Disponible en: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2868/1/111219240807141015.pdf>
- RIBET, J.; DREVON, J.J. 1995. Increase in permeability to oxygen and in oxygen uptake of soybean nodules under limiting phosphorus nutrition. *Physiologia Plantarum*. 94: 298-304.
- RISSO, D.; AYALA, W.; BERMUDEZ, R.; BERRETTA, E. 2005. Seminario de actualización técnica en manejo de campo natural. (en línea). Uruguay. Consultado: 27 Ago. 2019. Disponible en: <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/15630021107142110.pdf>
- RISSO, D.; CARÁMBULA, M. 1998. Lotus El Rincón: producción y utilización de los mejoramientos. (en línea). Montevideo. Consultado: 8 Jul. 2020. Disponible en: <http://www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/tb/bd/1998/bd65.pdf>

- RISSO, D.F.; CUADRO, R.; MORÓN, A. 2014. Respuesta de un mejoramiento de campo a estrategias de fertilización fosfatada en un suelo sobre Basalto. En: Alternativas tecnológicas para los sistemas ganaderos del basalto. Montevideo, Uruguay. INIA. 568 p. (Serie Técnica no. 217).
- ROEL, A.; TERRA, J. 2006. Muestreo de suelos y factores limitantes del rendimiento. En: BONGIOVANNI, R.; CARTUNI-MANTOVANI, E.; BEST, S.; ROEL, Á. Roel, A.; TERRA, J.A. (eds.). Agricultura de precisión: integrando conocimientos para una agricultura moderna y sostenible. Montevideo: PROCISUR - IICA. p. 66-80.
- RÖMHELD, V.; KIRKBY E. 2010. Research on potassium in agriculture: needs and prospects. *Plant Soil*. 335: 155-180.
- SCHWINNING, S.; PARSONS, A.J. Analysis of the Coexistence Mechanisms for Grasses and Legumes in Grazing Systems. *Journal of Ecology* 84(6): 799-813.
- VANCE, C.P.; GRAHAM, P.H.; ALLAN, D.L. 2000. Biological Nitrogen Fixation: Phosphorus a critical future need?. En: PEDEROSA, F.O.; HUNGRIA, M.; YATES, M.G.; NEWTON, W.E. (eds.). Nitrogen Fixation from Molecules to Crop Productivity. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. p. 509-518.
- ZANETTI, S.; HARTWIG, U.A.; LÜSCHER, A.; HEBEISEN, T.; FREHNER, M.; FISCHER, B.U.; BLUM, H.; NÖSBERGER, J. 1996. Stimulation of Symbiotic N<sub>2</sub> Fixation in *Trifolium repens* L. under Elevated Atmospheric pCO<sub>2</sub> in a Grassland Ecosystem. *Plant Physiology*. 112: 575-583.
- ZANONIANI, R.A. s.f. Cartilla 13. (en línea). Uruguay. Consultado: 19 Jul. 2020. Disponible en : <http://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/uedy/Publica/Cart13/Cart13.htm>
- ZANONIANI, R.A.; DUCAMP, F. 2004. Leguminosas forrajeras del género Lotus en el Uruguay. (en línea). Uruguay. Consultado: 15 Jul. 2020. Disponible en: [http://www.eemac.edu.uy/cangue/joomdocs/Cangue\\_25/5-11.pdf](http://www.eemac.edu.uy/cangue/joomdocs/Cangue_25/5-11.pdf)

## **ANEXOS**

### 1) Componente Principal de las 11 variables principales.

#### **Análisis de componentes principales**

*Datos estandarizados*

*Casos leídos 60*

*Casos omitidos 2*

#### **Variables de clasificación**

Caso

#### **Autovalores**

Lambda	Valor	Proporción	Prop	Acum
1	4,04	0,37		0,37
2	2,11	0,19		0,56
3	1,50	0,14		0,70
4	0,91	0,08		0,78
5	0,79	0,07		0,85
6	0,68	0,06		0,91
7	0,38	0,03		0,95
8	0,33	0,03		0,98
9	0,19	0,02		0,99
10	0,04	4,0E-03		1,00
11	0,02	1,7E-03		1,00

#### **Autovectores**

Variables	e1	e2
ph(0-15)	0,40	0,03
P(Cit)ppm	0,38	0,16
K.int(meq)	0,12	-0,17
PSLeg (kg/ha)	-0,36	0,23
%.Leg(MS)	-0,37	0,24
%N	0,10	0,42
%P	0,43	0,06
N/P	-0,38	0,19
%N_prom	-0,15	0,33
%P_prom	0,15	0,57
N:P_prom	-0,19	-0,43

### 2) Peso seco de la leguminosa (k/ha).

### Árboles de clasificación-regresión

H= Suma de cuadrados corregida

Nodo	Formación	H	Predicción	n	Media	Varianza	Mínimo	Máximo
Raiz			978,77	58	978,77	428726,36	62,30	3455,10
1	N/P(<=16,212)	5546648,29	665,37	33	665,37	173332,76	62,30	1428,70
1,1	%P(<=0,330)	2894298,92	831,64	24	831,64	125839,08	152,30	1428,70
1.1.1	%N_prom(<=1,810)	668115,17	521,72	5	521,72	167028,79	152,30	1163,50
1.1.2	%N_prom(>1,810)	1619543,08	913,20	19	913,20	89974,62	444,50	1428,70
1.1.2.1	%P_prom(<=0,275)	1072276,68	855,04	17	855,04	67017,29	444,50	1330,80
1.1.2.1.1	%P_prom(<=0,165)	417851,77	702,47	7	702,47	69641,96	444,50	1113,00
1.1.2.1.2	%P_prom(>0,165)	377443,68	961,83	10	961,83	41938,19	657,90	1330,80
1.1.2.2	%P_prom(>0,275)	890,42	1407,60	2	1407,60	890,42	1386,50	1428,70
1,2	%P(>0,330)	219380,32	221,97	9	221,97	27422,54	62,30	550,30
2	N/P(>16,212)	11370871,52	1392,46	25	1392,46	473786,31	435,60	3455,10
2,1	%N_prom(<=2,160)	8281703,83	1259,28	19	1259,28	460094,66	435,60	3455,10
2.1.1	%N_prom(<=1,805)	6072330,51	1520,71	9	1520,71	759041,31	509,20	3455,10
2.1.2	%N_prom(>1,805)	1040643,45	1023,99	10	1023,99	115627,05	435,60	1555,50
2,2	%N_prom(>2,160)	1684888,91	1814,22	6	1814,22	336977,78	1141,40	2690,30

### 3) % de biomasa de leguminosa.

#### Árboles de clasificación-regresión

H= Suma de cuadrados corregida

Nodo	Formación	H	Predicción	n	Media	Varianza	Mínimo	Máximo
Raiz			0,32	58	0,32	0,03	0,03	0,72
1	%P(<=0,330)	1,19	0,36	49	0,36	0,02	0,08	0,72
1,1	%N(<=3,575)	0,36	0,29	25	0,29	0,02	0,08	0,51
1.1.1	%N_prom(<=1,530)	0,02	0,18	4	0,18	0,01	0,08	0,25
1.1.2	%N_prom(>1,530)	0,28	0,31	21	0,31	0,01	0,11	0,51
1.1.2.1	%P(<=0,205)	0,01	0,41	5	0,41	2,7E-03	0,36	0,48
1.1.2.2	%P(>0,205)	0,21	0,28	16	0,28	0,01	0,11	0,51
1.1.2.2.1	%P(<=0,225)	0,01	0,17	5	0,17	2,2E-03	0,11	0,22
1.1.2.2.2	%P(>0,225)	0,11	0,33	11	0,33	0,01	0,11	0,51
1.1.2.2.2.1	%N(<=2,865)	0,02	0,43	3	0,43	0,01	0,33	0,51
1.1.2.2.2.2	%N(>2,865)	0,06	0,29	8	0,29	0,01	0,11	0,41
1,2	%N(>3,575)	0,58	0,43	24	0,43	0,03	0,13	0,72
1.2.1	ph(0-15) (<=5,150)	0,15	0,33	10	0,33	0,02	0,13	0,53
1.2.2	ph(0-15) (>5,150)	0,27	0,50	14	0,50	0,02	0,26	0,72
1.2.2.1	ph(0-15) (<=5,550)	0,11	0,59	8	0,59	0,02	0,38	0,72
1.2.2.2	ph(0-15) (>5,550)	0,03	0,39	6	0,39	0,01	0,26	0,46
2	%P(>0,330)	0,04	0,09	9	0,09	4,7E-03	0,03	0,23

#### 4) Kg MS Leg/Ha - % Leg

##### Análisis de regresión lineal

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
PSLeg (kg/ha)	58	0,35	0,33	321722,97	898,80	907,04

Selección Stepwise.

Máximo p-valor para entrar: 0,15

Máximo p-valor para retener: 0,15

Número original de regresoras: 9, regresoras retenidas en el modelo 2

##### Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	-1251,41	531,79	-2317,15	-185,68	-2,35	0,0222		
N/P	95,59	19,77	55,97	135,20	4,84	<0,0001	24,38	1,03
%N prom	429,20	255,89	-83,62	942,01	1,68	0,0992	3,81	1,03

Error cuadrático medio: 288892,638080

##### Análisis de regresión lineal

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
%Leg(MS)	58	0,41	0,39	0,02	-60,52	-52,27

Selección Stepwise.

Máximo p-valor para entrar: 0,15

Máximo p-valor para retener: 0,15

Número original de regresoras: 9, regresoras retenidas en el modelo 2

##### Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	-0,45	0,14	-0,72	-0,18	-3,31	0,0017		
N/P	0,02	0,01	0,01	0,03	4,46	<0,0001	20,89	1,03
%N prom	0,23	0,07	0,10	0,36	3,48	0,0010	13,14	1,03

Error cuadrático medio: 0,018948

**Figura 24.** Representación del muestreo realizado en un potrero del SUL.



**Figura 25.** Representación del muestreo realizado en un potrero de Grecco, Río Negro.



**Figura 26.** Representación del muestreo realizado en un potrero de Masoller, Rivera.



**Figura 27.** *Representación del muestreo realizado en un potrero de Glencoe, Tacuarembó*



**Figura 28.** *Representación del muestreo realizado en un potrero de Chuy, Rocha.*

