

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EFFECTOS A MEDIANO PLAZO DE LA INTERSIEMBRA DE DISTINTAS
VARIETADES DE LOTUS Y DE LA FERTILIZACIÓN FOSFATADA EN UNA
COMUNIDAD DE CAMPO NATURAL DE BASALTO**

por

**María Jesús GARCÍA PINTOS BERISSO
Inés PUPPO CORTABARRÍA**

**Trabajo final de grado
presentado como uno de los
requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2023**

Página de aprobación

Trabajo final de grado aprobado por:

Director:

Ing. Agr. Pablo Speranza

Tribunal:

Lic. en Biol. Felipe Lezama

Lic. en Biol. Pedro Pañella

Ing. Agr. Amabelia del Pino

Ing. Agr. Martín Jaurena

Ing. Agr. Rafael Reyno

Fecha:

06 de octubre de 2023

Estudiante:

María Jesús García Pintos Berisso

Inés Puppo Cortabarría

Agradecimientos

A la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República por todos los conocimientos brindados en los años de la carrera.

A nuestros tutores Felipe Lezama y Pedro Pañella por su gran disponibilidad, orientación y apoyo durante la realización de nuestra tesis de grado.

Al INIA Glencoe por darnos la posibilidad de realizar esta tesis, en particular a Rafael Reyno por brindarnos la información necesaria.

A nuestras familias, por el apoyo incondicional que nos han dado durante toda la carrera.

A nuestros amigos y compañeros, por el apoyo y los buenos momentos compartidos.

A Chichi Bengochea por su aliento para la realización de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

Página de aprobación	2
Agradecimientos	3
Lista de tablas y figuras	6
Resumen	7
Abstract	8
1. Introducción	9
1.1 Objetivos	10
2. Revisión bibliográfica	11
2.1 El bioma Pastizal	11
2.2 Los Pastizales del Río de la Plata y su importancia ecológica	11
2.3 Mejoramientos extensivos a través de interseembra de leguminosas y fertilización fosfatada y sus efectos en la biodiversidad	14
2.4 Género Lotus	26
2.4.1 <i>Lotus corniculatus</i>	28
2.4.2 <i>Lotus pedunculatus</i>	30
2.5 Problema de estudio	32
2.6 Hipótesis	32
3. Materiales y métodos	34
3.1 Sitio de estudio	34
3.2 Antecedentes meteorológicos	35
3.3 Diseño experimental	36
3.4 Obtención de datos	39
3.5 Análisis estadístico	39
4. Resultados	41
4.1 Riqueza de especies	41
4.2 Riqueza de especies exóticas	42
4.3 Cobertura de leguminosas	43
4.4 Cobertura de anuales	45
4.5 Cobertura de gramíneas perennes invernales	46
5. Discusión	48
5.1 Primera hipótesis: Impacto sobre la riqueza de especies	48
5.2 Segunda hipótesis: ¿qué ocurrió con las exóticas y anuales?	49
5.3 Tercera hipótesis: ¿los mejoramientos invernalizan el campo?	50
5.4 Efecto de especie de leguminosa intersebrada	51
5.5 Resiliencia del campo natural de Basalto	52

	5
5.6 Consideraciones y restricciones metodológicas	54
6. Conclusiones	56
7. Bibliografía.....	58
8. Anexos	73

Lista de tablas y figuras

Tabla No.	Página
Tabla 1 Fechas de siembra y fertilizaciones iniciales de los tratamientos con intersiembras de Lotus y fertilización fosfatada.....	38
Tabla 2 Refertilizaciones de los tratamientos con intersiembras de Lotus y fertilización fosfatada	39
Tabla 3 Tabla ANOVA de dos vías. Se presentan las diferencias significativas según Antigüedad, Tratamiento o por la interacción entre ambos (Antigüedad x Tratamiento), para las distintas variables estudiadas.....	47
Figura No.	Página
Figura 1 Temperaturas y precipitaciones medias para el período 2016-2021 vs. medias históricas de la estación experimental INIA Glencoe	36
Figura 2 Esquema simplificado del experimento de evaluación de intersiembra de variedades de Lotus.....	37
Figura 3 Riqueza de especies en las cuatro antigüedades de siembra y fertilización evaluadas.....	41
Figura 4 Riqueza de especies exóticas en las cuatro antigüedades de siembra y fertilización evaluadas.....	42
Figura 5 Cobertura de leguminosas en las cuatro antigüedades de siembra y fertilización evaluadas.....	43
Figura 6 Cobertura de especies anuales en las cuatro antigüedades de siembra y fertilización evaluadas.....	45
Figura 7 Cobertura de gramíneas perennes invernales en las cuatro antigüedades de siembra y fertilización evaluadas	46

Resumen

El presente trabajo estudió los efectos a mediano plazo de la intersiembra de distintas especies y tipos de Lotus y de la fertilización fosfatada en una comunidad de campo natural de basalto en Uruguay. Se evaluó la riqueza total de especies exóticas, anuales y la cobertura de gramíneas perennes invernales y leguminosas. Los resultados indican que los mejoramientos extensivos con *Lotus corniculatus* y *Lotus pedunculatus*, junto con la fertilización fosfatada, produjeron cambios en la composición florística, pero estos cambios fueron revertidos en el mediano plazo de cinco años. Cumplido este plazo, no se encontraron diferencias significativas en la riqueza de especies total, la riqueza de especies exóticas y la cobertura de leguminosas, especies anuales y gramíneas perennes invernales entre los tratamientos y el campo natural. Los mejoramientos con *Lotus corniculatus* lograron una mayor cobertura de leguminosas en los primeros años, pero a costa de una disminución en la riqueza de especies. Por otro lado, el mejoramiento con *Lotus pedunculatus* resultó en una menor cobertura de leguminosas, y no impactó en la diversidad de especies. La fertilización exclusiva con fósforo aumentó la cobertura de especies anuales pero no disminuyó la riqueza de especies. Las respuestas observadas son atribuibles a la resiliencia del campo natural, y a las características del manejo usados en el ensayo. Estos hallazgos resaltan la importancia de seguir investigando los efectos de los mejoramientos extensivos y tomar decisiones que permitan obtener ventajas productivas sin comprometer la salud del pastizal.

Palabras Clave: campo natural, mejoramientos extensivos, Lotus, fertilización fosfatada, composición florística, cuesta basáltica

Abstract

This study examined the medium-term effects of overseeding different *Lotus species and types*, and phosphorus fertilization in a natural grassland community on basalt soil in Uruguay. Total species richness, exotic species richness, annual species richness and coverage of perennial winter grasses and legumes were measured. The results indicate that the overseeding of *Lotus corniculatus* and *Lotus pedunculatus*, along with phosphorus fertilization, resulted in changes in the floristic composition, but these changes were reversed in the medium term of five years. After this period, no significant differences were found in total species richness, exotic species richness, and coverage of legumes, annual species, and winter perennial grasses between the treatments and the natural grassland. The overseeding of *Lotus corniculatus* achieved higher legume coverage in the early years but at the expense of a decrease in species richness. On the other hand, the ones with *Lotus pedunculatus* resulted in lower coverage but greater species diversity. Exclusive phosphorus fertilization increased the coverage of annual species without reducing species richness. Responses can be attributed to the resilience of the natural campos and the characteristics of the management practices used in the experiment. These findings highlight the importance of further research on the effects of overseeding with legumes and fertilizing with phosphorous and making decisions that allow productivity benefits without compromising the health of the grassland.

Keywords: native grasslands, extensive improvements, Lotus, phosphate fertilization, floristic composition, basaltic slope

1. Introducción

El campo natural es fundamental para la producción agropecuaria del Uruguay al ser la base alimenticia de los sistemas ganaderos (Rovira, 2008), una de las actividades productivas más importantes del país (Oficina de Estadísticas Agropecuarias [DIEA], 2011). Además, constituye el ecosistema con mayor diversidad de plantas en la región, y es de suma importancia su provisión de servicios ecosistémicos, siendo estos fundamentales para el bienestar humano y el funcionamiento de los sistemas naturales, por lo que su preservación es de gran importancia (Altesor, 2011).

El campo natural presenta una marcada dominancia de gramíneas estivales y una escasa presencia de leguminosas provocada por el bajo contenido de fósforo asimilable en los suelos. Por tanto, como recurso para la producción agropecuaria, éste tiene como principales limitantes la marcada estacionalidad en la oferta de forraje en la época estival y la baja calidad nutricional del forraje (Carámbula, 2008). Estas limitantes se intentan superar a través de los mejoramientos extensivos, en que se agregan insumos como fertilizante y semillas de leguminosas en algunos casos, para intentar suplir las deficiencias de nutrientes características de estos sistemas (Pallarés & Pizzio, 1998), y buscar cambiar la estacionalidad y calidad del forraje (Carámbula, 1996b). Es clave conocer la composición de especies del campo natural y como ésta responde a los mejoramientos extensivos, para conocer el beneficio productivo y su sostenibilidad en el tiempo. Los efectos ecológicos de los mejoramientos extensivos sobre la composición florística han sido estudiados en diversos trabajos, pero los resultados no son claros, ya que se han encontrado efectos contradictorios, donde algunos trabajos describen aumentos en la riqueza de especies, y otras disminuciones de la riqueza de especies y promociones de la invasión de especies exóticas y/o anuales. A su vez estos impactos en la composición florística del campo natural variaron según la zona donde se realizaron los ensayos (Del Pino et al., 2021; Jaurena et al., 2016; Pañella et al., 2020).

1.1 Objetivos

En este contexto, el presente trabajo, llevado a cabo en la estación experimental INIA Glencoe, ubicada en la región Cuesta Basáltica, se enfoca en estudiar los efectos a mediano plazo de la intersiembra de distintas variedades de *Lotus* y de la fertilización fosfatada sobre la composición florística. Los datos de composición de especies se obtuvieron en un experimento de campo con tratamientos de edad variable, lo que permitió representar una cronosecuencia de estados sucesionales de 2 a 5 años.

El objetivo consistió en evaluar el efecto de tres cultivares del género *Lotus*, distintos morfológicamente, y de la fertilización fosfatada sobre dos variables de respuesta: riqueza y cobertura de distintos grupos funcionales. En términos de riqueza, se examinó tanto la riqueza total de especies como de especies exóticas, mientras que, en cuanto a los grupos funcionales, se analizó la cobertura de leguminosas, especies anuales y gramíneas perennes invernales. Mediante este estudio, se busca obtener información relevante sobre los cambios en la diversidad y en grupos funcionales de interés productivo, así como comprender las principales relaciones entre las variables analizadas y los tratamientos aplicados, a efectos de contribuir al diseño de estrategias de manejo sustentable que promuevan la conservación de la biodiversidad y la productividad en los sistemas agrícolas basados en el campo natural.

2. Revisión bibliográfica

2.1 El bioma Pastizal

Los pastizales son el bioma más amenazado del planeta, los cuales han sido sometidos a lo largo de la historia humana a diversos cambios y los más recientes han sido drásticos, conduciendo a la degradación y a la pérdida de los mismos. Las principales amenazas a nivel mundial para este bioma, son la transformación o cambio de uso del suelo, principalmente debido a la agricultura y a la urbanización, la fragmentación, las especies exóticas invasoras, los cambios en la dinámica de quema, la desertificación, y el sobrepastoreo (Gibson, 2009). Si bien la conversión y degradación de los pastizales puede ocurrir rápidamente, la restauración del ecosistema perdido supone un gran desafío a largo plazo, existiendo estudios que indican que estos son procesos de largo aliento que pueden tomar décadas para recuperar su antigua riqueza de especies y demás características de pastizal maduro (Buisson et al., 2022).

2.2 Los Pastizales del Río de la Plata y su importancia ecológica

La totalidad del Uruguay se encuentra comprendido en el bioma pastizal, dentro de una región fitogeográfica conocida como “pastizales del Río de la Plata”, la cual es una de las áreas más extensas de pastizales naturales del mundo. Estos pastizales templados subhúmedos se extienden en la parte oriental de América del Sur ocupando más de 700.000 km² (Soriano, 1991). En la actualidad, estos pastizales o campos naturales (Allen et al., 2011) ocupan 10.517.836 hectáreas del Uruguay, es decir, aproximadamente un 64% de la superficie explotada del país (DIEA, 2011).

Los campos naturales en Uruguay albergan una gran diversidad de especies (Altesor, 2011), estando representado el 80% del total de especies registrado para el país (Rodríguez et al., 2003), entre las cuales se incluye 126 especies endémicas (Andrade et al., 2018). La diversidad florística tiene gran importancia dado que constituye un servicio ecosistémico, beneficiando a los humanos directa e indirectamente (Altesor, 2011). Muchas especies vegetales de los campos naturales son importantes para la captura y almacenamiento de carbono en el suelo, contribuyendo a la regulación del clima. Además, estas plantas son esenciales para la producción de forraje para el ganado, lo que a su

vez tiene un impacto directo en la producción de alimentos (Altesor, 2011). La riqueza de plantas favorece el número y actividad de los organismos descomponedores, aumenta la calidad del mantillo y la concentración de nutrientes en el suelo (Balvanera et al., 2006, como se cita en Altesor, 2011). La diversidad de especies también implica diferente sensibilidad a las condiciones ambientales, lo que puede conducir a una mayor estabilidad en el funcionamiento ecosistémico. De hecho, se relaciona positivamente con la resistencia biótica de los ecosistemas a la invasión por especies exóticas (Elton, 1958). Esto promueve complementariedad en el uso de los recursos y mayores interacciones entre especies, produciendo resistencia frente a la sequía y a la presión de consumo por herbívoros (Balvanera et al., 2006, como se cita en Altesor, 2011). Por otro lado, muchas especies animales, como los polinizadores, son esenciales para la producción de cultivos y la reproducción de plantas silvestres, lo que también contribuye a la producción de alimentos y la regulación del clima. Por lo mencionado anteriormente, se destaca la necesidad de conservar y gestionar estos ecosistemas de manera sostenible para garantizar la continuidad de los servicios ecosistémicos (Altesor, 2011).

A nivel de los pastizales del Río de la Plata, la expansión de las plantaciones forestales y de la agricultura son dos de las transformaciones más importantes que han operado en las últimas décadas, las que a su vez causaron un desplazamiento local de la ganadería que llevó a una intensificación ganadera del resto del territorio (Paruelo et al., 2006). Además, la biodiversidad también puede ser afectada por el manejo del pastoreo, dependiendo como se lleve a cabo (Boggiano & Berretta, 2006). Considerando que la ganadería extensiva es una de las actividades agropecuarias más importantes en Uruguay, donde un gran número de explotaciones tienen al campo natural como principal recurso forrajero (Rovira, 2008), y que debido a la reducción de las áreas de pastizales naturales se produce una concentración de la ganadería en áreas de menor potencial, bajo un planteo de intensificación, se avizora un uso más intensivo que conduce al sobrepastoreo y a la degradación. Por ello se plantea un escenario con desafíos a enfrentar, como aumentar la eficiencia y productividad de los sistemas ganaderos sin perder de vista la preservación del nivel de provisión de servicios ecosistémicos (Ayala & Bermúdez, 1992; Paruelo et al., 2011).

Los campos naturales se caracterizan por ser complejos mosaicos compuestos por un gran número de especies que se adaptan a las condiciones

cambiantes del material geológico, suelo, topografía y efecto del manejo del pastoreo, variando su frecuencia y sus hábitos ecológicos y fisiológicos. El principal componente del campo natural son las gramíneas de bajo y mediano porte, seguido por dicotiledóneas dentro de las que se destacan las leguminosas y las compuestas, y otras monocotiledóneas graminoides como ciperáceas y juncáceas (Milot et al., 1987). Hierbas, graminoides y especies arbustivas pueden llegar a ser dominantes, dependiendo principalmente del régimen de pastoreo (Altesor et al., 2006). A su vez, Olmos (1992) y Olmos et al. (2005) concluyeron que la composición botánica del campo natural depende de las características del suelo y el clima al que se encuentran sometidos, pero también de la intensidad de uso que presentan, o la intensidad de uso histórica que han tenido. Se entiende la composición botánica como el ordenamiento de las especies en un área determinada, siendo considerada la mejor propiedad para identificar sitios ecológicos. Es una medida dinámica utilizada para detectar cambios impuestos por diferentes medidas de manejo que introducen cambios en el ecosistema pastoril, ya que el interrelacionamiento de las especies depende del ambiente (Berretta & Do Nascimento, 1991).

Dado que los suelos del Uruguay se caracterizan por la baja cantidad de fósforo disponible, se observa una baja contribución y frecuencia de especies leguminosas, repercutiendo negativamente sobre la calidad y cantidad de forraje producido (Carámbula, 1996a). Otra limitante importante es la carencia de nitrógeno, la cual determina mayor abundancia de las gramíneas de tipo C4 en relación a las C3, debido a que las primeras son más eficientes en el uso del nitrógeno y el agua, y en consecuencia están mejor adaptadas a suelos de baja fertilidad. Es en gran parte debido a esto que la mayor producción de forraje suele ocurrir en primavera y verano. Si bien en otoño e invierno aumenta la participación relativa de las especies invernales, éstas nunca llegan a superar la de las estivales (Berretta, 1996). De acuerdo con Bemhaja (2006), la producción estacional de primavera-verano explica cerca del 80 % del total anual, variando este porcentaje en las diferentes zonas del país. Por lo tanto, el campo natural se caracteriza por su marcada estacionalidad, siendo el invierno la época en la cual la oferta de forraje es la principal limitante dada por su cantidad y calidad para la producción animal (Ayala et al., 1993). Por otra parte, los suelos más fértiles y profundos del país ofrecen una distribución estacional más equilibrada (Carámbula, 2008).

Dada la mencionada marcada estacionalidad de la producción primaria, acompañada de una carga animal fija a lo largo del año, se provoca un sobrepastoreo en los momentos de escasez de forraje y un subpastoreo en las estaciones de primavera y verano (Carámbula, 2008). A su vez, por la variabilidad tanto en la cantidad como en la calidad del forraje producido intra e interanualmente, se ocasionan pérdidas en la productividad ganadera ya que en muchas ocasiones los requerimientos de los animales no son cubiertos (Scaglia, 1995).

Los géneros de gramíneas estivales dominantes son *Andropogon*, *Axonopus*, *Bothriochloa*, *Bouteloua*, *Mnesithea*, *Cynodon*, *Digitaria*, *Eleusine*, *Eragrostis*, *Paspalum*, *Schizachyrium*, *Setaria* y *Sporobolus*; mientras que, los géneros de gramíneas invernales más encontrados son *Chascolytrum*, *Bromus*, *Hordeum*, *Lolium*, *Piptochaetium*, *Poa* y *Nassella* (Berretta & Levratto, 1990; Carámbula, 1991; Montossi et al., 2000).

2.3 Mejoramientos extensivos a través de interseembra de leguminosas y fertilización fosfatada y sus efectos en la biodiversidad

Considerando las características mencionadas de los campos naturales en nuestro país, como la dominancia de especies estivales que resultan en una baja producción de forraje en invierno y de baja calidad, y el bajo contenido de fósforo asimilable en los suelos que limita la presencia de leguminosas, es que se plantean los mejoramientos extensivos. Estas prácticas involucran tecnologías que tienen como objetivo aumentar la producción total de forraje en los campos naturales, mejorar la producción estacional y la calidad nutricional (Pallarés & Pizzio, 1998). Por este medio se buscan aumentos de la producción a través de la dinamización del campo natural cuando el mismo presenta condiciones favorables, implicando una meta más conservadora que con las pasturas cultivadas, pero con una mayor estabilidad en el tiempo por modificar en menor medida el ecosistema pastoril (Millot et al., 1987).

El mejoramiento de los campos naturales puede realizarse utilizando distintas tecnologías como la subdivisión, manejo del pastoreo, control de malezas, fertilización, introducción de especies, etcétera.Cuál tecnología usar o qué combinación de ellas depende de factores como el ambiente, las especies presentes, la fertilidad del suelo, los sistemas productivos y la financiación

disponible (Pallarés & Pizzio, 1998). Se considera a la fertilización fosfatada e intersiembra de leguminosas adaptadas sin destrucción completa o sustitución del tapiz vegetal, como tecnologías que resultan muy interesantes desde el punto de vista práctico y económico para mejorar, en forma sostenible, la producción forrajera de campos naturales en diversas regiones ganaderas del país (Risso, 1998).

El fósforo, a diferencia de lo que ocurre con el nitrógeno, que se puede fijar desde la atmósfera, sólo puede ingresar a través del fertilizante (Morón, 1996). Además del bajo nivel de fósforo, el suelo tiene una gran habilidad de retenerlo, debido a los contenidos de óxidos de hierro libres y arcilla (Escudero & Morón, 1978). En el invierno es el momento donde se dan las mayores respuestas al agregado de fertilizante fosfatado, ya que, debido a las bajas temperaturas de esta época, el fósforo del suelo se encuentra menos disponible para el crecimiento de las plantas (Zamalvide, 1998). Hatchondo (1958) establece que la fertilización fosfatada en campo natural no mostró un cambio en la producción ni composición botánica en el primer año, sino que fue recién al segundo año cuando aumentó el porcentaje de leguminosas nativas de un 5% a un 42% con la fertilización, y la producción se triplicó. El fósforo es un nutriente imprescindible para la implantación y mantenimiento de la producción de las pasturas, y a su vez, puede modificar la composición botánica dado que existen comportamientos diferenciales entre especies. Los niveles óptimos de fertilización fosfatada dependen tanto de los suelos, como de las especies que se encuentren presentes (Ayala & Bermúdez, 1992; Bermúdez, 1992; Mas, 1992; Vidiella, 1972). Mas (1992) señaló que la fertilización exclusivamente con fósforo como mejoramiento de campo natural no es una solución para levantar las limitantes, ya que si bien esta práctica registra aumentos entre un 10-30% de producción dependiendo del tipo de suelo, en términos absolutos no es tal y los problemas como déficit invernal, variabilidad entre años y baja calidad del forraje continúan. Conociendo esta realidad es importante entonces contar con especies en el tapiz que respondan al agregado de fósforo (Mas, 1992). Por lo tanto la introducción de leguminosas es un paso complementario, dada la ausencia o baja proporción de leguminosas nativas en los campos naturales lo cual es una de las explicaciones a la escasa respuesta obtenida en términos de producción (Mas, 1992).

Por otra parte, el nitrógeno, al igual que el fósforo, es un nutriente limitante en los suelos de Uruguay. A través de la fertilización nitrogenada en un campo

natural, Rodríguez Palma et al. (2004) observaron un aumento en la contribución de gramíneas invernales, del orden del 40 a 50%, especialmente las de tipo productivo fino, como el *Bromus auleticus*. Rodríguez Palma (1998) en un campo natural de Basalto con un marcado predominio de especies invernales como *Nassella neesiana*, *Lolium multiflorum* y *Hordeum stenostachys*, constató repuestas de 44% de aumento en la producción de forraje con fertilizaciones otoño-invernales de 100 kg/ha/año de nitrógeno, la cual permitió un aumento en el crecimiento bruto y neto del componente gramínea, a través de un aumento en la densidad de macollos del 40%. En concordancia con lo anterior, Montossi et al. (2000) encontraron aumentos en la contribución de especies invernales en un campo natural fertilizado con nitrógeno, respecto al campo natural sin fertilizar. Asociado a esos aumentos de las especies invernales, Rodríguez Palma et al. (2008) registraron además reducciones en las contribuciones de gramíneas estivales, malezas de campo sucio, malezas menores y enanas, y leguminosas. A diferencia de lo anterior, André et al. (2016) observaron que el efecto de la fertilización nitrogenada y la introducción de leguminosas (*Lotus tenuis* y *Trifolium repens*) no tuvieron una respuesta sobre la composición botánica.

Otro modo de incorporar nitrógeno al sistema es a través de la introducción de leguminosas, práctica usada en los mejoramientos extensivos, fundamental para la incorporación económica y ecológicamente conveniente de dicho nutriente al ecosistema mediante la fijación biológica del nitrógeno atmosférico (FBN), favoreciendo a las gramíneas asociadas (Carámbula, 1992). El método más común para la instalación de leguminosas es la interseembra (Carámbula, 1996b). En cuanto al aporte de nitrógeno por medio de las leguminosas, Carámbula (2002-2004) establece que el mismo tiene como ventaja que depende menos de las condiciones climáticas que el agregado de nitrógeno como fertilizante. Por tanto, los campos naturales con introducción de leguminosas más la fertilización fosfatada, generan situaciones en las que se espera una gran entrada de nitrógeno al sistema vía FBN (Cardozo, 2019). Este proceso evaluado a escala regional, mostró niveles muy variados de funcionamiento, donde algunos factores (edáficos, del estatus de la planta, climáticos) pueden influenciar, pero ninguno de manera fundamental. En Uruguay, Cardozo (2019) estimó que 67% del nitrógeno proviene de FBN, con una eficiencia de 19,4 kg N fijado por Mg MS, ambas con gran variabilidad. Las características del suelo ofrecen una explicación limitada respecto a los niveles de FBN, sin embargo, se destaca la influencia positiva que tiene el nivel acumulado de fósforo proveniente de la fertilización en la FBN

(Cardozo, 2019). Además, se planteó que el incremento en la disponibilidad de nitrógeno reduce la FBN y la presencia de leguminosas a escala de potrero en muchas situaciones (Ledgard et al., 2001, Schipanski & Drinkwater, 2012, como se cita en Cardozo, 2019), afectando también los ciclos de competencia entre la leguminosa y las gramíneas en pasturas mezclas (Ledgard & Steele, 1992; Schwinning & Parsons, 1996). La alta frecuencia de casos con bajos niveles de porcentaje y eficiencia de FBN muestran que existen limitaciones en la asociación biológica entre leguminosas y bacterias en los mejoramientos extensivos de campo natural (Cardozo, 2019). Ledgard y Steele (1992) señalaron que las pasturas mixtas de leguminosas y gramíneas son sistemas dinámicos, donde la FBN es afectada principalmente por la productividad y persistencia de las leguminosas, la competencia con las gramíneas y el nivel de nitrógeno inorgánico en el suelo.

A su vez, esas leguminosas de alto valor forrajero son una alternativa para levantar las restricciones de calidad y cantidad de forraje que presenta el campo natural con baja proporción de leguminosas (Scaglia, 1995). Ayala et al. (1996) observaron que el campo natural presentó un 10% de proteína cruda y los mejoramientos extensivos un 19%, y que estos últimos tuvieron menor FDA respecto al campo natural, 31% y 40% respectivamente. Por tanto, en los mejoramientos existe una mejor calidad en primavera-verano que en el campo natural debido fundamentalmente al aporte de las leguminosas (Scaglia, 1995).

Bemhaja y Berretta (1991) encontraron que diferentes mejoramientos de campo natural con diferentes métodos de siembra, manejos de la fertilización y mezclas de especies leguminosas lograron en todos los casos a partir del segundo año niveles de producción de forraje significativamente superiores a los de un campo natural, destacándose que esa mayor producción de forraje anual, se explica por un aumento significativo en las cuatro estaciones del año. En general, la producción de los campos naturales mejorados por interseembra de leguminosas con fertilización, si bien varía por tipo de suelos y vegetaciones, es entre un 50 y 100% superior que la del campo natural, siendo la oferta de forraje invernal hasta tres y cuatro veces superior que a este último (Berretta & Levratto 1990). En el mismo sentido, Bemhaja (1998) indica que la tasa de crecimiento diaria durante el invierno fue considerablemente superior en campos naturales mejorados con leguminosas en relación al campo natural, donde se observó una gran contribución de las leguminosas y las gramíneas invernales nativas, estas

últimas promovidas por el aumento de la fertilidad en el suelo, pasando de tener una contribución del 8% en el tapiz del primer año a un 24% en el tercer año luego de realizado el mejoramiento. En la resultante vegetación con mayor aporte de las especies invernales perennes de buena calidad se destaca la participación de *Nassella neesiana* y *Poa lanigera* (Bemhaja, 1998). Eso condice con lo que Carámbula (1992) fundamenta, que en la medida que aumenta la disponibilidad de nitrógeno en el suelo, aparecen cambios botánicos graduales hacia un incremento de especies C3 en respuesta al aumento de fertilidad. Esto sucede al producirse una transferencia del nitrógeno de las leguminosas a las gramíneas asociadas, a través de la materia orgánica del suelo, como consecuencia de la muerte y descomposición de parte aérea, raíces y nódulos (Carámbula, 1992). Otro medio por el cual se transfiere nitrógeno es mediante el reciclaje de nutrientes que sucede a través de las deyecciones de los animales que están pastando, dado que el nitrógeno consumido que no es utilizado por los mismos regresa al suelo en las excretas. Potencialmente un kilogramo de nitrógeno puede pasar por varios ciclos de consumo animal-excreción-absorción de las plantas antes de perderse (Ledgard, 2001). Por el contrario, según Cardozo (2019), el bajo valor de la relación N:P para gramíneas-C4 y gramínoideas-C3, muestra una deficiencia relativa de nitrógeno o exceso de fósforo en los mejoramientos extensivos de campo natural a pesar de la entrada de nitrógeno vía FBN, al resultar limitada la transferencia directa en el corto plazo de este nutriente de la leguminosa a las no-leguminosas.

Las leguminosas introducidas a través de interseembra frecuentemente presentan problemas de establecimiento y de persistencia (Berretta & Levratto, 1990), entendiéndose que ésta última se alcanza cuando las poblaciones de las especies sembradas están a una densidad estable (mantenimiento del stand de plantas), que alcanza a cubrir las expectativas económicas, productivas y/o culturales de un ecosistema específico (Marten et al., 1984, como se cita en García, 1992; Sheath, 1980, como se cita en Carámbula, 2002-2004). La persistencia depende de la sobrevivencia de las plantas originalmente sembradas y estará asegurada por el reclutamiento continuo de nuevas plántulas, proceso que se debe cumplir preferentemente todos los años (Bologna, 1996; Carámbula, 2002-2004). Los problemas de persistencia están asociados generalmente a un manejo que no favorece a estas especies (Berretta & Levratto, 1990), además de otros factores como el clima, variedades, enfermedades, plagas, competencia, que interaccionan de forma diferente en cada ambiente dando origen a un

problema complejo y propio de cada situación en particular (García, 1992). Por este motivo, las especies elegidas deben ser capaces de persistir en la pastura, de modo de amortiguar los costos a lo largo de los años (Ayala & Carámbula, 1996). Cabe destacar, que las leguminosas normalmente poseen un menor rango de adaptación y de elasticidad a los estreses ambientales en comparación con las gramíneas, por lo que requieren una mayor atención para asegurar su permanencia productiva por más tiempo (Buxton, 1989).

Teniendo en cuenta que la interseembra de leguminosas en el tapiz natural se realiza en condiciones poco favorables para la germinación, emergencia y establecimiento, el manejo de la densidad de siembra resulta fundamental en la persistencia de un mejoramiento (Risso, 1990). En estas siembras sobre tapiz natural, para lograr una mayor probabilidad de sobrevivencia, se puede aumentar la cantidad de semillas a sembrar, de manera que se produzca una ocupación más rápida de los espacios favorables para la germinación, por un número de individuos que forman un grupo competitivo frente a otros ya establecidos (Linhart, 1976, como se cita en Castrillón & Pirez, 1987). También es fundamental una efectiva nodulación a través de la bacteria altamente específica *Rhizobium*, la cual es responsable de la FBN (Carámbula, 1996b). La simbiosis *Rhizobium* – leguminosa es altamente dependiente del fósforo, por lo que el déficit de este elemento limita el buen desempeño de la FBN resultando ser un nutriente necesario para el buen establecimiento y persistencia de las leguminosas (Baraibar et al., 1999; Carámbula 1996a). De hecho, dentro los factores edáficos que más inciden en la persistencia de las pasturas se encuentra la carencia natural generalizada del nutriente fósforo, problemas de acidez y compactación superficial de los suelos (Carámbula, 2002-2004). En el mismo sentido, Mas (1992) registró que las especies sembradas tienen mayor exigencia de fósforo que las adaptadas a los suelos de la región, quienes presentan requerimientos más bajos. Las leguminosas son promovidas por fertilizaciones a la siembra para su implantación, y se deben fertilizar anual o bienalmente con fosfatos para poder persistir en la pastura como ya se mencionó. Poblaciones eficientes de leguminosas se logran más rápido con los más altos niveles de P, elevándose más rápido la fertilidad del suelo, logrando una mejor productividad de las pasturas (Carámbula, 2002-2004).

La persistencia de las leguminosas introducidas por interseembra en el campo natural es limitada además por el progresivo y sostenido enriquecimiento del nitrógeno del suelo dado por la FBN que realizan esas mismas leguminosas, llevando a que estas sean menos competitivas y pasando a dominar las

gramíneas, evidenciándose una respuesta dinámica a la disponibilidad de nitrógeno de las gramíneas y leguminosas. Se determina así una baja probabilidad de mantener un alto contenido de leguminosas en los campos nativos si los suelos se enriquecen simultáneamente con nitrógeno y fósforo (Jaurena et al., 2016). En relación a este tema, Tognetti et al. (2021) llevaron a cabo un experimento en 45 pastizales distribuidos en 6 continentes, con el objetivo de investigar los efectos de las actividades antropogénicas que aumentan los suministros de nitrógeno a través de la deposición atmosférica y la fertilización directa. Los resultados revelaron tendencias globales de enriquecimiento antropogénico de nutrientes, lo que representa un riesgo particular para los tipos funcionales de plantas que fijan nitrógeno atmosférico, como las leguminosas. Estas leguminosas experimentaron una disminución significativa en su cobertura, riqueza y biomasa debido a las adiciones de nitrógeno, especialmente en suelos con deficiencia de este nutriente, mientras que la cobertura de las plantas que no fijan nitrógeno aumentó. Si bien las leguminosas se beneficiaron de la presencia de fósforo, potasio y otros nutrientes, éstos no lograron mitigar la disminución inducida por el nitrógeno en las leguminosas. En resumen, el aumento en los suministros de nitrógeno tiene el potencial de reducir la diversidad y abundancia de leguminosas en pastizales de todo el mundo, independientemente de la disponibilidad de otros nutrientes, debido a una desventaja competitiva de las leguminosas frente a las plantas que no fijan nitrógeno, posiblemente mediada por la disponibilidad de luz (Tognetti et al., 2021).

Para mantener una buena persistencia de las especies introducidas, además de las refertilizaciones, es necesario realizar adecuados manejos de resiembra natural y defoliación (Carámbula, 1996b). Si falla la implantación, la única solución es la resiembra, en cambio si hay problemas durante la vida útil del mejoramiento, si hubo manejo adecuado de resiembra, el mejoramiento debería persistir por medio del banco de semillas (Mas, 1992). Se recomienda un manejo del mejoramiento de campo natural de primer año donde es importante visualizar la instalación y afianzamiento de las especies introducidas, de forma de obtener una pastura vigorosa y longeva. Este manejo cuidadoso implica fundamentalmente una utilización moderada, retirando los animales a fines de primavera para permitir la semillazón de las especies, no recomendándose la cosecha de semilla o conservación de forraje. Este proceso permitirá contar con un banco de semillas en el suelo que posibilitará el rejuvenecimiento futuro del mejoramiento.

En los años subsiguientes del mejoramiento, Ayala y Carámbula (1996) recomiendan un manejo estacional del mismo. Los mismos autores proponen que el otoño se deben efectuar limpiezas a fondo eliminando restos secos, especialmente de las gramíneas nativas, buscando promover en base al stand de leguminosas presentes, la aparición de nichos para la activación del banco de semillas favoreciendo el rejuvenecimiento de la pastura, y realizar, dependiendo de la estrategia de refertilizaciones elegida (anual o bianual), aplicaciones de fertilizante fosfatado. En el caso de usos estratégicos y de acuerdo con el tipo de pastura se pueden efectuar cierres para diferimiento en pie hacia el invierno (Ayala & Carámbula, 1996). Siguiendo con las recomendaciones de los mismos autores, en el invierno se debe aumentar al máximo la eficiencia de utilización dado el escaso crecimiento de la pastura en este período, evitando acumulaciones de forraje que se traducen en pérdida de materia seca en los estratos inferiores. Es importante mantener pasturas en estado joven, capaces de soportar más favorablemente las heladas, sin perder calidad (Ayala & Carámbula, 1996). En primavera evitar la acumulación, con el consiguiente desperdicio de forraje en cantidad y calidad; se acortan los períodos de descanso e intensifica la utilización (pastoreos intensos con descansos cortos); es debido definir previamente el uso de los excedentes (incremento de la carga, reservas, etc.), considerando reducir la carga a fines de primavera para permitir la semillazón, manejo que puede alternarse en los distintos años (Ayala & Carámbula, 1996). En verano retirar los lanares como forma de evitar el pastoreo selectivo sobre las leguminosas, y teniendo en cuenta las condiciones climáticas utilizar bajas dotaciones o suprimirlas para mantener remanentes razonables de forraje, evitando el sobrepastoreo. A finales del verano se debe comenzar la limpieza de las pasturas (Ayala & Carámbula, 1996).

Los factores climáticos que más afectan el crecimiento y persistencia de las leguminosas son los déficits hídricos, los excesos hídricos y las altas temperaturas (García, 1992). Las enfermedades son otro factor importante que afectan la productividad y persistencia de las leguminosas en las pasturas (Carámbula, 2002-2004), las cuales, al estar debilitadas por la ocurrencia de enfermedades crónicas, están expuestas a mayores efectos por competencia de la vegetación, daño por insectos, condiciones ambientales adversas o patógenos oportunistas (Bologna, 1996; Null & Wheaton, 1993). La prevalencia de ciertas enfermedades depende en gran medida de las condiciones ambientales (temperatura, humedad, situaciones de estrés), las cuales se relacionan al

ambiente local del sitio en consideración y a las prácticas de manejo (Halpin et al., 1963, como se cita en Olmos, 2004). Respecto al control de las mismas, únicamente en los casos de semilleros parece factible plantearse el uso de fungicidas como herramientas de control; en cambio en pasturas para uso directo de animales, el empleo de variedades resistentes a las enfermedades prevalentes en cada región y el manejo, son las estrategias a utilizar (García, 1992; Seaney & Henson, 1970).

En relación a la extensión de los mejoramientos extensivos en los campos naturales de Uruguay, se estima que aproximadamente el 1,5% del territorio nacional (243.805 ha) corresponde a mejoramientos realizados a través de la fertilización, teniendo en cuenta los que se les ha realizado al menos una aplicación de fertilizantes en los últimos tres años. Por otro lado, se estima que alrededor del 2,7% del territorio nacional (439.571 ha) corresponde a mejoramientos realizados mediante la intersembrado de leguminosas en el tapiz, considerando únicamente los que se les ha sembrado especies forrajeras sin eliminar el tapiz natural existente (DIEA, 2011). Cabe aclarar que, en la declaración de los mejoramientos, los productores muchas veces no tienen en cuenta mejoramientos viejos, por lo que esa superficie mejorada puede ser una subestimación de la realidad.

En cuanto al impacto ecológico de estas prácticas, la introducción de leguminosas y la fertilización fosfatada del campo natural, si bien son más compatibles con la conservación del campo natural en comparación con pasturas sembradas, agricultura o forestación, no existe un consenso en cuanto a su efecto sobre la composición de especies a largo plazo (Del Pino et al., 2021). Aunque existen diversos trabajos nacionales e internacionales en el tema, los efectos de los mejoramientos extensivos sobre la conservación del campo natural no son claros, ya que se han encontrado efectos contradictorios.

Es amplia la bibliografía que vincula distintos tipos de mejoramientos extensivos a la pérdida de diversidad. A nivel internacional, Koukoura et al. (2005) encontraron resultados en Irán, donde la riqueza de especies disminuyó a causa de fertilizaciones nitrogenadas. En un trabajo llevado a cabo en los pastizales del Noroeste de Europa, por Ceulemans et al. (2011), se encontraron efectos perjudiciales de mayor disponibilidad de fósforo para la biodiversidad, asociando esa pérdida de especies a la eutrofización y al impacto que tiene el

enriquecimiento de fósforo sobre las interacciones micorrícicas. Esto último también fue estudiado a nivel nacional por García et al. (2016), obteniendo resultados concordantes en especies nativas (*Paspalum dilatatum* y *Mnesithea selloana*). En más antecedentes nacionales se encuentran coincidencias con la bibliografía internacional, como el caso de Jaurena et al. (2016) que encontró una relación negativa entre la diversidad de especies y la concentración de fósforo extraíble del suelo en pastizales nativos, donde los pastos perennes nativos eran particularmente sensibles, disminuyendo su cobertura al pasar de los años, y el espacio que dejaban no era aprovechado u ocupado por las leguminosas implantadas, sino que se encontraron aumentos en cobertura relativa de especies exóticas como *Lolium multiflorum* y *Cynodon dactylon*. Estos autores, proponen un modelo en que un campo natural mejorado con leguminosas y fósforo puede evolucionar hacia dos estados alternativos al desaparecer las leguminosas. Dependiendo de la concentración de fósforo en el suelo y de la abundancia de especies nativas retornaría a un estado de "pastizal nativo" o la transición a un estado "dominado por hierbas exóticas". En sentido opuesto, Boggiano y Berretta (2006) observaron un aumento en el número de especies del campo natural con tratamientos de fertilización NP y tratamientos con siembra de leguminosas y fertilización P. Pinto et al. (2004) establecen que en general se necesitan varios años para constatar cambios claros en la composición botánica.

El fenómeno de la reducción de especies ante un aumento de nutrientes es atribuible a varias hipótesis, como la del "dimensionamiento del nicho", la cual predice que ante un decrecimiento en el número de factores limitantes (por ejemplo, por aplicación de fertilizantes o por incorporación de nitrógeno mediante FBN), habrá un descenso en el número de especies (Harpole & Tilman, 2007; Tilman, 2004). Existen además otras teorías que intentan explicar los cambios en la diversidad de especies. La "hipótesis de la asimetría lumínica" indica que ante un incremento de nutrientes se incrementará la biomasa, dado que algunas especies tendrán mayor crecimiento y tamaño, compitiendo mejor por luz y realizando sombreado (DeMalach, 2018). La "hipótesis de la competencia total" establece que además de la competencia por luz, hay un mayor desarrollo de biomasa subterránea que lleva a una competencia por nutrientes (DeMalach, 2018). Por último, la "hipótesis de la densidad" establece que se perderán plantas por el sombreado debido a la mayor biomasa, disminuyendo la riqueza (Rajaniemi, 2002). Estas cuatro teorías pueden ser complementarias entre sí.

La reducción de la diversidad en términos de riqueza no es el único impacto ecológico que se plantea a estos mejoramientos. Diversos autores plantean también, debido al enriquecimiento en nitrógeno del suelo incorporado mediante la FBN realizada por las leguminosas intersembradas, un incremento en la invasión de especies exóticas (Gurevitch & Padilla, 2004, Melbourne et al., 2007, como se cita en Del Pino et al., 2021; Jaurena et al., 2016; Pañella et al., 2020), y según Jaurena et al. (2016) la misma también resulta generalmente en una promoción de especies anuales que presentan un rápido crecimiento frente a especies perennes.

Los mecanismos por los cuales el enriquecimiento de fósforo y la intersiembra de leguminosas afectan las especies nativas de los pastizales pueden ser múltiples, no mutuamente excluyentes, y algunos aún desconocidos. Por ello, se justifica un enfoque de precaución al considerar el nivel de fertilización fosfatada, y los análisis de suelo para cuantificar el fósforo extraíble deberían ser parte del manejo agronómico estándar para evitar insumos innecesarios y prevenir pérdidas de diversidad, teniendo en cuenta la compensación entre corto plazo (respuesta económica) y la sostenibilidad a largo plazo, considerando los límites ecológicos de la intensificación (Jaurena et al., 2016; Pañella et al., 2020).

Teniendo en cuenta la heterogeneidad de los campos de Uruguay, estos han sido clasificados según distintos criterios, por ejemplo, por regiones geomorfológicas y geológicas, identificando grandes unidades de vegetación (Chebataroff, 1969; Millot et al., 1987; Rosengurtt, 1944). Utilizando las regiones geomorfológicas predominantemente ganaderas (Panario, 1988), Lezama et al. (2011) profundizaron en esta clasificación, describiendo la variación florística de cuatro grandes unidades de pastizal: Cuesta Basáltica, Centro Sur, Sierras del Este y Cuenca Sedimentaria del Noreste. En estas regiones se han realizado diferentes trabajos investigando los efectos de los mejoramientos de campo natural.

En un estudio sobre el efecto a largo plazo sobre la composición florística y la diversidad de los mejoramientos extensivos de campo con *Lotus suaveolens*, cultivar “El rincón” en las comunidades vegetales, Cáceres (2019) comparó pares de Campo Natural y Mejoramiento extensivo encontrando que los mejoramientos produjeron de forma general un cambio en la composición florística del campo natural, donde los resultados muestran un claro patrón de reemplazo de especies

de gramíneas y hierbas perennes y nativas, principalmente, por especies anuales y exóticas, sin embargo algunos de estos efectos dependieron de la región. Para los pares de la Cuesta Basáltica no se presentaron diferencias significativas en la riqueza, la cobertura de especies anuales y de *Cynodon dactylon*, mientras que para los pares de la región Centro Sur/Sierras si se presentaron diferencias. Por ello, el autor plantea al igual que Millot et al. (1987) que la Cuesta Basáltica podría presentar una comunidad de campo natural más resistente que la región Centro Sur / Sierras del Este, debido a una mayor presencia de especies que forman la matriz de gramíneas C4 perennes y postradas del CN. Además, hay que tener en cuenta que el grado de fragmentación del ecosistema, lo cual se asocia al incremento de la cobertura de plantas invasoras, es mucho menor en la Región de Basalto que en la región Centro Sur / Sierras del Este (Cáceres, 2019; Guido et al., 2016). Esto contribuye a que haya un pronunciado banco de semillas de especies de campo natural, lo que Millot (1991) señala como la memoria genética del ecosistema y por tanto se deben conservar para poder revertir situaciones de sobrepastoreo. Hernández et al. (1995) destacaron la mayor capacidad de retención de fósforo de los suelos de Basalto, a lo cual Cáceres (2019) atribuye en parte la capacidad de absorber cambio de estos campos.

Pañella et al. (2020) en un estudio realizado en Sierras del Este y Cuesta Basáltica observó que, ante el agregado de fósforo mediante fertilización, disminuyó la riqueza de especies aproximadamente un 20% en ambos sitios y hubo un aumento de las especies exóticas, destacando que el tratamiento fertilizado, sin siembra de leguminosas resultó invadido por contaminación con plantas de *L. angustissimus*. Estas dos últimas observaciones fueron de mayor magnitud para Sierras del Este que para la Cuesta Basáltica. Al tratar de explicar el fenómeno de pérdida de especies observado, en la Cuesta Basáltica el mismo no fue concomitante a una respuesta en biomasa aérea, por lo que se descartó la “hipótesis de la asimetría de luz” y la “hipótesis de la densidad”. En cuanto a la “hipótesis de la competencia total” no la descartó ya que no realizó medición de biomasa subterránea. Por último, la “hipótesis del dimensionamiento del nicho” fue respaldada por sus resultados, donde ante un enriquecimiento en nutrientes, las especies con capacidad de aprovechar de mejor manera la nueva estequiometría del suelo compitieron por esos recursos, principalmente fósforo y nitrógeno, y lograron excluir a las peores competidoras, disminuyendo la riqueza total de especies (Pañella et al., 2020). Otros autores como Tilman (1993), como se cita en Del Pino et al. (2021), atribuyen los efectos negativos sobre la diversidad

vegetal de los pastizales naturales al enriquecimiento de nitrógeno del suelo, aportado por la FBN realizada por las leguminosas intersembradas. A pesar de esto, no se puede descartar la posibilidad de coexistencia a largo plazo de una diversa gama de especies nativas con leguminosas intersembradas, especialmente, al haber altas probabilidades de interacciones con la disponibilidad de fósforo y el manejo del pastoreo (Schwinning & Parsons, 1996).

Del Pino et al. (2021) también estudiaron los efectos de la intersemebra de una leguminosa en la Cuesta Basáltica, tratándose en este caso de los efectos a largo plazo de la introducción de *Lotus corniculatus* y fertilización fosfatada, no detectando cambios sobre las propiedades del suelo evaluadas (pH, contenido de C orgánico, P disponible y orgánico), ni en la composición florística y diversidad de especies del pastizal.

Las diferencias de especies exóticas entre las regiones que arrojan los antecedentes, se podrían explicar por los distintos perfiles de suelos, variando la capacidad de almacenar agua y por tanto de presentar déficits hídricos, lo cual afectaría a las especies nativas abriendo espacios en el suelo disponibles para la invasión de especies exóticas (Baeza et al., 2019; Guido et al., 2016; Modernel et al., 2016; Pañella et al., 2020). También se deben considerar las diferentes densidades de la caminería entre estas regiones (Guido et al., 2016), lo cual al igual que la pérdida de campo natural debido a cambios sufridos en la cobertura de suelo (Modernel et al., 2016), implica una mayor posibilidad de llegada de propágulos de especies exóticas (Pañella et al., 2020).

2.4 Género Lotus

La familia Leguminosae constituye un elemento imprescindible de las pasturas, de gran interés agronómico, debido a que son fijadoras de nitrógeno y a que generalmente poseen una excepcional calidad alimenticia (Carámbula, 2002-2004). Esta es debida a sus elevados contenidos proteicos y minerales, su menor contenido de fibra y la mayor relación que poseen de hidratos de carbono solubles/hidratos de carbono insolubles, presentando una alta digestibilidad, de manera que promueven una elevada ingestión voluntaria de los animales en pastoreo (Carámbula, 2002-2004). A su vez, las mismas son capaces de producir cambios en la estructura del suelo, particularmente en profundidad resultando en una mejor preparación del suelo y un mejor enraizamiento para un eventual cultivo

precedente, y realizan un aporte de una masa importante de residuos particularmente fermentescibles que activan la vida microbiana del suelo (Carámbula, 2002-2004)

No obstante, las leguminosas presentan varias debilidades tales como su menor capacidad para competir por nutrientes y por luz, tanto las de hábito de crecimiento rastrero como las de hábito erecto; mayor riesgo de plagas y enfermedades que las gramíneas; mayor riesgo de provocar meteorismo; y mayor necesidad de resiembra para mantener buenas poblaciones (Carámbula, 2002-2004).

El género *Lotus*, perteneciente a la familia de las Leguminosas, presenta crecimiento a partir de la corona (Zanoniani & Ducamp, 2004), posee un par de estípulas en la base de los pecíolos que presenta una forma similar a la de los folíolos, diferenciándose así del resto de las leguminosas forrajeras utilizadas en la región. Las dos estípulas más los tres folíolos dan la apariencia de hoja pentafoliada, además estos últimos son asimétricos y terminan en una punta aguda generalmente (Carámbula et al., 1998). Las especies de este género presentan diferencias en los tallos de las plantas adultas, pueden ser de porte erecto, decumbente, postrado, llegando a ser glabros totalmente o pubescentes así como macizos o huecos (Carámbula et al., 1998). El cáliz presenta cinco sépalos unidos, dentados, glabros o pubescentes, mientras que cinco pétalos conforman la corola, acompañada de un estambre superior, dos laterales y la quilla formada por pétalos unidos encerrando allí los órganos sexuales (Carámbula et al., 1998). Su inflorescencia es una umbela, que posee entre 1 y 12 flores, generalmente de coloración amarillo, pero presentan tonalidades pálidas a intensas casi anaranjadas, incluyendo matices rojos en sus nervaduras, estas variaciones dependen de la especie y el grado de madurez de la flor (Carámbula et al., 1998).

Si bien las especies de este género se caracterizan por ser mejores competidoras que los géneros *Trifolium* y *Medicago* en los ambientes de baja fertilidad y disponibilidad de fósforo, también son capaces de incrementar significativamente la producción ante cambios en la oferta de fósforo (Ayala & Deregibus, 1995, como se cita en Zanoniani & Ducamp, 2004), es decir que se comporta muy bien en suelos con deficiencia de fósforo pero también incrementa

su producción de forma notable cuando se la fertiliza con cantidades bajas de este nutriente (Ayala Torales et al., 2000; Vignolio et al., 2002).

Este género se encuentra distribuido básicamente en todo el mundo, siendo probablemente su centro de origen el mediterráneo, ya que ahí se encuentra la mayor diversidad de especies (Blumenthal & McGraw, 1999; Frame et al., 1998; Lagler, 2003; Seaney & Henson, 1970). Está constituido por especies perennes y anuales, estimándose que existe un número cercano a 200 de las mismas (Grant, 1965). En el mundo se destacan cinco especies dentro del género *Lotus* de importancia agronómica. Las de ciclo de vida anual son *Lotus angustissimus* y *L. suaveolens*, y las perennes *L. glaber*, *L. corniculatus*, y *L. pedunculatus* (MacDonald, 1946). Ninguna especie de este género produce meteorismo (Carámbula, 1996b), lo cual las hace un forraje muy seguro para pastoreo directo, además de otras características ya mencionadas, como su excelente calidad y alta digestibilidad.

2.4.1 *Lotus corniculatus*

Lotus corniculatus es una leguminosa perenne estival, de porte erecto a semierecto, creciendo sus tallos a partir de una corona, la cual se desarrolla al final del primer año; posee una característica raíz pivotante muy ramificada, este sistema radicular profundo le confiere mayor tolerancia a la sequía frente al resto de los *Lotus* perennes. Sus folíolos son obovado-lanceolados, siendo su ancho de por lo menos la mitad de su largo, a menudo glabros pero a veces levemente pilosos. Los tallos son rara vez huecos, fuertes y con entrenudos relativamente largos. La flor es amarilla con forma de umbela y tiene de 7 a 3 flores por inflorescencia. El fruto es una chaucha, variando el número de semillas de 2 a 8, tiene alto grado de dehiscencia durante la madurez cuando la humedad relativa es menor a 40%, lo que determina buena resiembra natural. Las semillas son de color marrón claro a oscuro, en ocasiones con manchas marrones (Carámbula, 1977, 2002-2004; Carámbula et al., 1998; Díaz, 1995; Smetham, 1981).

Es una especie muy plástica que se adapta a un rango muy amplio de suelos, pudiendo presentar buen desarrollo tanto en suelos arenosos como en arcillosos, secos, de baja fertilidad, con niveles notablemente bajos de fósforo y potasio, y son capaces de competir por niveles bajos de nutrientes vegetales

disponibles con mayor éxito que *Trifolium repens* (trébol blanco) (Carámbula, 2002-2004; Langer, 1981) Tiene buenas producciones de forraje, lográndola con menos cantidad de fósforo que el trébol blanco (NC 10-12 ppm), de buen valor nutritivo durante la estación de crecimiento. Esta leguminosa presenta una menor eficiencia para aportar nitrógeno al suelo, en relación a otras leguminosas (Formoso, 1993). Se recomienda en suelos donde *Medicago sativa* (alfalfa) no prospera; su resistencia a la sequía y su valor nutritivo, hacen que su heno sea comparable al de alfalfa y su forraje al del trébol blanco. Su persistencia hace de ella una especie muy recomendable para ser incluida en mezclas forrajeras de larga duración (Carámbula, 1977).

L. corniculatus ofrece un buen potencial de producción primavera-estivo-otoñal con posibilidades de producción a fines de invierno en cultivares tempranos, cabe destacar que su baja producción invernal se debe a la latencia que presenta esta especie bajo las condiciones climáticas de Uruguay (Carámbula, 2002-2004). En este sentido Formoso (1993) establece que en Uruguay la mayor producción de forraje ocurre en primavera, cayendo la misma en verano y manteniéndose relativamente baja durante otoño e invierno, principalmente en este último. Además de disminuir la cantidad en producción de forraje a medida que el mejoramiento aumenta en edad, la producción se concentra cada vez más en primavera-verano, disminuyendo consecuentemente el crecimiento en otoño-invierno. Según Formoso (1993) la máxima producción de forraje ocurre en el segundo año del mejoramiento. A su vez, tiene un elevado valor nutritivo que declina poco en pleno verano con la madurez (Carámbula, 2002-2004; Langer, 1981).

Carámbula (2002-2004) afirma que esta especie presenta lento crecimiento inicial y pobre establecimiento debido a su lenta germinación y bajo vigor de las semillas, no pudiendo competir exitosamente con especies de crecimiento más rápido. De esta manera, Carámbula (1996a) indica que la densidad de siembra para *Lotus corniculatus* puro, al voleo y en cobertura, es de 10 a 12 Kg/ha. En cuanto al manejo de la defoliación o pastoreo, esta especie, se beneficia con pastoreos rotativos, frecuentes pero poco intensos (Díaz Lago et al., 1996).

Esta leguminosa se considera formadora de corona según su estrategia de persistencia, dado que mantiene su perennidad mediante la formación de un

sistema radicular profundo y una corona leñosa. Estas especies son especialmente vulnerables al daño causado por el pastoreo, principalmente en el primer año de vida donde la corona no ha sido completamente desarrollada. Generalmente son intolerantes al pastoreo intenso o frecuente, reduciendo su rendimiento y vigor bajo pastoreo continuo, debido a la reducción progresiva de la capacidad fotosintética y agotamiento de las reservas (Forde et al., 1989, Nelson & Smith, 1967, como se cita en Bologna, 1996). Su persistencia es asegurada además por la gran producción de semillas y la dehiscencia de las vainas durante la maduración (Anderson, 1955). Esta especie tiene una limitante importante en cuanto a su persistencia dado que presenta una incidencia importante de enfermedades de raíz y corona, provocadas principalmente por los hongos *Fusarium oxysporum* y *Fusarium solani*, lo que limita la producción de esta leguminosa al tercer-cuarto año (Altier, 1997). En relevamientos realizados en el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria [INIA] La Estanzuela, se determinó que en *Lotus corniculatus* sólo un 15% de las plantas sobrevivieron el tercer año, debido principalmente a enfermedades de raíz y corona (Altier, 1997). Beuselinck et al. (1984) reportaron reducciones del 90% en la densidad de plantas de *Lotus corniculatus* durante un período de dos años, asociado igualmente a enfermedades de raíz y corona. Por este motivo, la mejora genética en Uruguay se ha focalizado en la búsqueda de nuevas fuentes de tolerancia a enfermedades de raíz y corona, además de plantas con estructuras radiculares más extendidas que permitan coronas más ramificadas con mayor cantidad de puntos de crecimiento (R. Reyno, comunicación personal, s.f.).

2.4.2 *Lotus pedunculatus*

L. pedunculatus (ex *uliginosus*) es una especie perenne estival que presenta diferentes hábitos de crecimiento, variable entre postrado, semipostrado, semierecto y erecto, según el origen y el momento fenológico que se considere (Ayala & Carámbula, 2009). Presenta folíolos anchos obovados con posible presencia de pelos en el envés o en los bordes, mientras que sus tallos a menudo son huecos en su centro, con tonalidades rojizas en la inserción de las hojas y en su parte basal (Carámbula, 2002-2004; Carámbula et al., 1998). Las plantas adultas poseen un sistema radicular muy ramificado y superficial, concentrado en los primeros centímetros del suelo formado por una corona primaria central y una raíz primaria pivotante a los que se agrega una importante red de rizomas, estolones y raíces fibrosas (Ayala & Carámbula, 2009; Carámbula, 2002-2004;

Carámbula et al., 1998). Según los mismos autores, esta red entramada le otorga una gran capacidad colonizadora del tapiz y estabilizadora de suelos.

El *Lotus pedunculatus* cultivar Maku, es tetraploide y es el más usado en Uruguay (Hernández et al., 2005), debido a su valor proteico y producción de forraje, así como a la capacidad de desarrollarse en suelos ácidos y soportar anegamientos (Díaz et al., 2005). El sistema radicular superficial y la existencia de espacios con aire en la corteza de la raíz le permiten a *Lotus* Maku sobrevivir bajo suelos húmedos con condiciones de anegamiento (Soper, 1959, como se cita en Sheath, 1980). La principal desventaja de este cultivar es el bajo rendimiento en la producción de semilla en las condiciones ambientales del Uruguay (Hernández et al., 2005), lo que lleva al alto costo de las mismas. Por este motivo el programa de mejoramiento genético de INIA desarrolló el cultivar LE 205 de *L. pedunculatus*, de mayor producción de semillas que Lotus Maku. El cultivar LE 205 es tetraploide, perenne, de crecimiento primavero-estivo-otoñal.

Si bien la calidad de forraje en términos de proteína cruda y fibra es menor en *L. pedunculatus* respecto a otras leguminosas, ha tomado importancia debido a su contenido de taninos condensados, que mejoran la protección de la proteína vegetal y por ende la producción animal, es decir, hacen posible ganancias de peso similares, que pasturas de mayor calidad (Carámbula et al., 1994; Montossi, 1996). Su adaptación a condiciones de baja fertilidad y sus bajos requerimientos de manejo han permitido su destaque y promoción en nuestros sistemas de producción. Esta especie se utiliza principalmente en siembra en cobertura, aunque también ha sido destacado su valor para la incorporación en pasturas mezclas en sistemas más intensivos (Carámbula et al., 1994). En general los datos obtenidos en el país demuestran una baja producción al primer año, y un marcado aumento a partir del segundo, con una distribución de producción de forraje marcadamente en primavera – otoño.

Esta especie de Lotus se considera según su estrategia para persistir, dentro de las especies formadoras de clones, que se propagan vegetativamente mediante estructuras especializadas como estolones o rizomas. Éstas se encuentran más adaptadas a ambientes menos estables, con mayores disturbios. Poseen características que permiten un rápido crecimiento y una temprana reproducción vegetativa, más tolerantes frente a una defoliación frecuente en comparación con aquellas especies de crecimiento erecto o a partir de corona

(Allan & Keoghan, 1994, como se cita en Bologna, 1996). El crecimiento o propagación vegetativa es bastante menos dependiente de la disponibilidad inmediata de recursos que en el caso de reproducción sexual y además permite una mayor flexibilidad en comparación con la producción de semilla en lo que respecta a regeneración y dispersión (Lovett Doust, 1981, como se cita en Bologna, 1996). Las especies de hábito rizomatoso, como lo es el *L. pedunculatus* poseen gran resistencia a condiciones climáticas extremas, al igual que a la defoliación, debido básicamente al crecimiento subterráneo de estructuras protegidas y por ende extremadamente persistentes (Chapman et al., 1996, como se cita en Bologna, 1996).

La densidad de siembra recomendado para *L. pedunculatus* es de 2-5 Kg/ha, puro al voleo, dependiendo de la cantidad de fertilizante agregado (Zanoniani, 1998; Carámbula, 2002-2004).

2.5 Problema de estudio

La realización de intersembras de leguminosas y la fertilización fosfatada en el campo natural parece ser una intervención compleja, con efectos productivos y ambientales que requieren de mayor investigación para ser comprendidos. Mientras que las mejoras en producción que puede conllevar la realización de estas prácticas son evidentes, al menos en los primeros años de establecimiento (Ayala et al., 1996; Bemhaja, 1998; Bemhaja & Berretta, 1991; Berretta & Levratto, 1990; Mas, 1992; Montossi et al., 2000; Pallarés & Pizzio, 1998; Scaglia, 1995), existe evidencia que afirma que estos conducen a la pérdida de diversidad de especies (Cáceres, 2019; Jaurena et al., 2016; Pañella et al., 2020). Este trabajo pretende aportar a conocer más a fondo los efectos que tienen estos mejoramientos extensivos en el campo natural.

2.6 Hipótesis

1- La introducción de leguminosas combinada con la fertilización fosfatada, así como solamente la fertilización fosfatada, producen una reducción de la riqueza de especies por desplazamiento competitivo, tanto por luz como por recursos subterráneos. A partir de esta hipótesis se espera que la magnitud del

impacto esté relacionada con el éxito de la instalación de la leguminosa, lo cual se cuantifica a partir de la cobertura de la misma.

2- El aumento en la disponibilidad de nutrientes, tanto por fertilización fosfatada como por la fijación biológica de nitrógeno, provoca un aumento en la riqueza de especies exóticas y cobertura de especies anuales.

3- Al aumentar la fertilidad del suelo aumenta la cobertura de especies invernales (con metabolismo C_3), particularmente de gramíneas perennes invernales de interés forrajero, debido a la pérdida de la ventaja competitiva que tienen las especies estivales (con metabolismo C_4) en suelos con restricciones de nutrientes.

3. Materiales y métodos

3.1 Sitio de estudio

Este trabajo se realizó en la Unidad Experimental INIA “Glencoe”, ubicada en la Colonia “Fernando J. Baccaro” del Instituto Nacional de Colonización en el departamento de Paysandú, con coordenadas 32°0'26"S, 57°8'2"O.

La unidad experimental INIA Glencoe se encuentra en la región de la Cuesta Basáltica, la cual ocupa aproximadamente 4.200.000 hectáreas, siendo la de mayor superficie y representando el 24,6% del territorio nacional (Panario et al., 2015).

Esta región se extiende por los Departamentos de Artigas, Salto, Paysandú, Tacuarembó, Rivera, y Durazno, en un paisaje de planicies, ondulaciones y pequeñas colinas que varía entre 20 y 300 m de altura sobre el nivel del mar (Berretta et al., 1998). Las pendientes son suaves, pero en algunas zonas de colinas pueden superar el 12% (Berretta et al., 1998). Esta región presenta suelos originados a partir de derrames basálticos, de los cuales resultaron dos formaciones geológicas conocidas como Arapey (basaltos toleíticos) y Puerto Gómez (basaltos espilíticos) (Berretta et al., 1998). A su vez, estos suelos se pueden clasificar según su grado de desarrollo en superficiales y profundos, los cuales se pueden asociar en distintas proporciones, dentro de una misma Unidad, dando lugar a un ambiente edáfico con cambios notorios en cortas distancias, es decir en pocos metros de distancia, se puede encontrar desde la roca desnuda, suelos superficiales, hasta suelos profundos como Brunosoles eútricos o Vertisoles (Berretta et al., 1998).

El experimento se instaló sobre un suelo Brunosol Eútrico Típico del grupo coneat 12.21, el cual es un suelo asociado que ocupa los quiebres de pendiente. El relieve que ocupa este grupo es de valles con escarpas accesorias, presentando como suelos dominantes a los Vertisoles Háplicos y como suelos asociados que ocupan los quiebres de pendiente y las escarpas aparecen los Brunosoles Eútricos Típicos moderadamente profundos y superficiales y Litosoles Eútricos Melánicos (Dirección General de Recursos Naturales [DGNR], 1976). Estos suelos son de uso fundamentalmente pastoril presentando un índice de

productividad de 153. Cabe destacar que el ensayo, a su vez, está instalado sobre la unidad Itapebí - Tres Árboles de la carta a escala 1:1.000.000 (D.S.F.).

3.2 Antecedentes meteorológicos

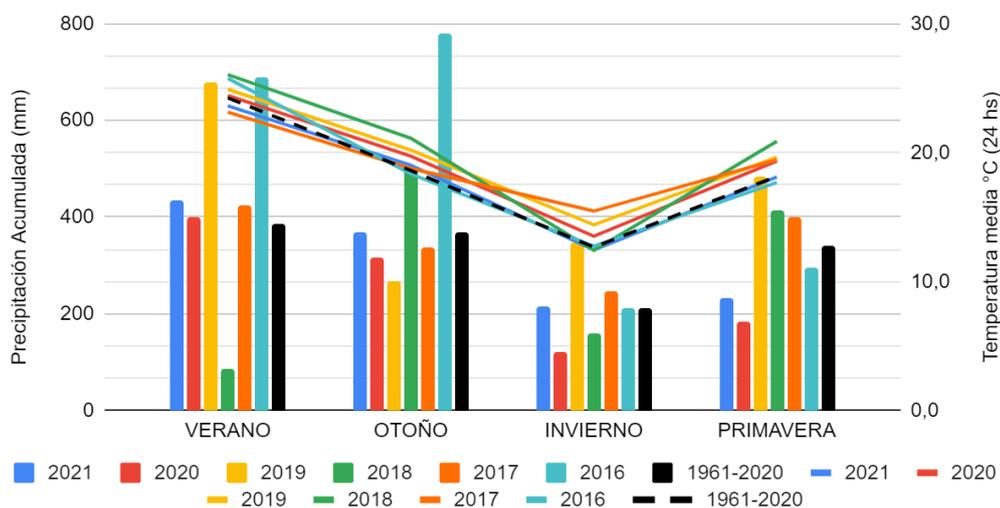
El clima en Uruguay es subtropical templado con fluctuaciones estacionales muy marcadas. El clima debe considerarse como subhúmedo, debido a que la evapotranspiración potencial en verano es mayor que las precipitaciones, lo que ocasiona deficiencias de agua en el suelo (Corsi, 1978)

Según los datos históricos (1961-2020) que se presentan en la página web accesible del Instituto Uruguayo de Meteorología [INUMET], en la sección de Climatología 1961-1990, el promedio de la temperatura media anual de los departamentos de Salto y Paysandú, como referencia para el sitio de estudio, es de 18,4° C y la precipitación media anual es de 1300 mm (INUMET, s.f.), mientras que para el período 2016-2021, según la página web de INIA (s.f.a), en la sección estadísticas de la estación INIA Glencoe la temperatura media en el sitio de estudio fue de 19,2°C y la precipitación media anual fue de 1360 mm (INIA, s.f.a)

En la Figura 1 se muestra la evolución estacional de las temperaturas medias (Temperatura media °C (24 hs)) y precipitaciones (Precipitación Acumulada (mm)) ocurridas en el período de 2016-2021 en la estación experimental INIA Glencoe (INIA, s.f.a) contrastándola con los datos históricos (1961-2020) obtenidos de INUMET, para ambas variables (INUMET, s.f.).

Figura 1

Temperaturas y precipitaciones medias para el período 2016-2021 vs. medias históricas de la estación experimental INIA Glencoe



Nota. Elaborado a partir de INUMET (s.f.) e INIA (s.f.a).

Se observa que en general, entre los años 2016 y 2021, tanto las temperaturas como las precipitaciones se comportaron de manera similar a las medias históricas. Se deben destacar los veranos lluviosos de los años 2016 y 2019, así como los otoños de los años 2016 y 2018, llamando la atención las precipitaciones extremadamente elevadas en algunos meses en particular, como en abril del año 2016 con 640 mm acumulados y mayo del año 2018 con 340 mm acumulados. También se dieron estaciones con menores precipitaciones registradas en comparación con el promedio histórico, como el verano del 2018, invierno y primavera del año 2020 y la primavera del 2021.

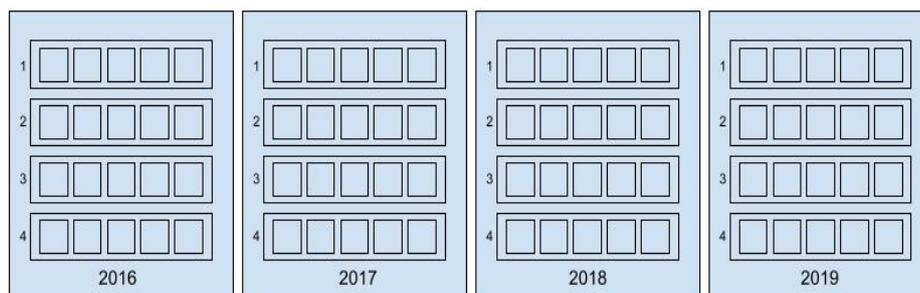
3.3 Diseño experimental

El ensayo en el que se realizó este trabajo cuenta con un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones, donde se estudian distintas variedades de *Lotus* y el efecto de la fertilización fosfatada sobre el campo natural en distintos años de siembra. Se trabajó con 5 tratamientos, con el fin de evaluar el efecto sobre el campo natural de distintos cultivares de *Lotus* morfológicamente contrastantes entre sí, así como el de la sola adición de fósforo. Adicionalmente a los diversos tratamientos y sus réplicas se encuentran reiterados en el espacio de manera consecutiva cuatro veces, con cada reiteración correspondiendo a un distinto año de siembra consecutivas en cuatro años, dando

una cronosecuencia del efecto de la antigüedad de las intersembras sobre el campo natural (Figura 2).

Figura 2

Esquema simplificado del experimento de evaluación de interseembra de variedades de Lotus



Los cinco tratamientos escogidos para realizar este trabajo fueron: campo natural (CN), campo natural fertilizado con fósforo (CNP), campo natural intersembrado con *Lotus pedunculatus* cultivar INIA Gemma o LE 205 sembrado a razón de 5kg/ha (LpG), campo natural intersembrado con *Lotus corniculatus* cultivar INIA Rigel o LE 212 (LcR) y otro tratamiento también de campo natural intersembrado con *Lotus corniculatus*, pero en este caso con el cultivar LE 304-C1 Bulk 14 (Lc304), estos últimos dos tratamientos, sembrados a razón de 10 kg/ha. La línea experimental LE 304-C1 bulk14, es el producto de selección de plantas de coronas muy ramificadas, alta densidad de tallos y hojas, productividad alta, excelente sanidad y hábito semipostrado (Reyno com. pers.). Por tanto, este último cultivar se diferencia del otro *Lotus corniculatus*, cultivar Rigel, por ser menos erecto que el mismo (R. Reyno, comunicación personal, s.f.).

Dichos tratamientos fueron sembrados en instancias sucesivas, las parcelas relevadas para el trabajo fueron las sembradas en los años: 2019, 2018, 2017 y 2016. A estas se les denominará en lo que sigue del trabajo A2, A3, A4 y A5 respectivamente, haciendo referencia a los años de antigüedad que tenían al momento del muestreo. Las fechas de siembra fueron el 27 de abril en el 2016, el 05 de abril en el 2017, el 27 de abril en el 2018 y el 03 de mayo en el 2019. En la Tabla 1 se detallan las fertilizaciones iniciales.

Tabla 1

Fechas de siembra y fertilizaciones iniciales de los tratamientos con intersembras de Lotus y fertilización fosfatada

Siembra	Fuente (%N y %P₂O₅)	Kg de fertilizante/ha	Kg P₂O₅/ha
27/4/2016	18-46	100	46
5/4/2017	00-46	150	70
27/4/2018	00-46	150	70
3/5/2019	00-46	173	80

A su vez cada año posee cuatro réplicas de las 5 parcelas de tratamiento, por lo que por cada año se tienen 20 parcelas, siendo el total de parcelas consideradas en este trabajo 80 (20 parcelas x 4 años). Las mismas tienen un dimensionamiento de 1,25 x 5 m.

Para el acondicionamiento del tapiz previo a la siembra se realizaron cortes mecánicos, con una pastera, durante el verano previo, siendo estos cortes intensos pero poco frecuentes, con el objetivo de llegar al otoño con aproximadamente un 10-20% de suelo descubierto o cubierto por mantillo. Una vez instalados los mejoramientos el corte de las parcelas se definía por altura cuando alcanzaban aproximadamente los 15 cm de altura y se dejaba un remanente de aproximadamente 5 cm. Los cortes se realizaron en promedio cada 45-60 días, definiendo la frecuencia en función del crecimiento de las parcelas. La refertilización realizada se indica en la Tabla 2, según la antigüedad que tenían al momento del muestreo. La fertilización acumulada para las distintas antigüedades de los tratamientos se presentan en el Anexo F.

Cabe destacar que la historia del sitio fue siempre campo natural, donde los animales se excluyeron desde el año 2016, siendo la fecha de siembra del primer ensayo.

Tabla 2

Refertilizaciones de los tratamientos con intersembras de Lotus y fertilización fosfatada

	Fecha	Fuente (%N y % P ₂ O ₅)	Kg de fertilizante /ha	Kg P ₂ O ₅ /ha
A5 (instalados en 2016)	28/3/2017	18-46	100	46
	26/4/2018	18-46	100	46
	22/5/2019	7-40	150	60
A4 (instalados en 2017)	23/5/2019	7-40	150	60
A3 (instalados en 2018)	23/5/2019	7-40	150	60

3.4 Obtención de datos

Se realizó un muestreo florístico en cada parcela de manera que se identificó y registró todas las especies presentes dentro del área de un cuadro de muestreo de 1m² la cual era ubicada en el centro de la parcela. A su vez, a cada especie se le asignó un valor de cobertura estimado visualmente (Dengler et al., 2008). También se estimó visualmente el porcentaje de suelo desnudo y el porcentaje de restos secos. Para el caso del campo natural, se muestreó únicamente las parcelas correspondientes al año 2019, y estas fueron tomadas como línea de base para comparar el resto de las parcelas. Estos muestreos se realizaron entre el 6 y el 8 de diciembre del año 2021.

Además, para cada parcela se realizó un análisis de fósforo del suelo, mediante el método P Ácido Cítrico, y un análisis de pH del suelo. Estos datos se reportan en el Anexo A.

3.5 Análisis estadístico

A partir de los datos recabados en cada parcela, se clasificaron las especies registradas según su ciclo (anuales, perennes), origen (nativa o exótica) y tipo funcional (gramíneas perennes invernales, leguminosas) (Anexo B), y se calculó la superficie cubierta por cada una descontando la proporción ocupada por el suelo desnudo y el material seco. Posteriormente se calculó para cada parcela las siguientes variables: riqueza de especies, riqueza de especies exóticas,

cobertura de leguminosas, cobertura de especies anuales, y cobertura de gramíneas perennes invernales.

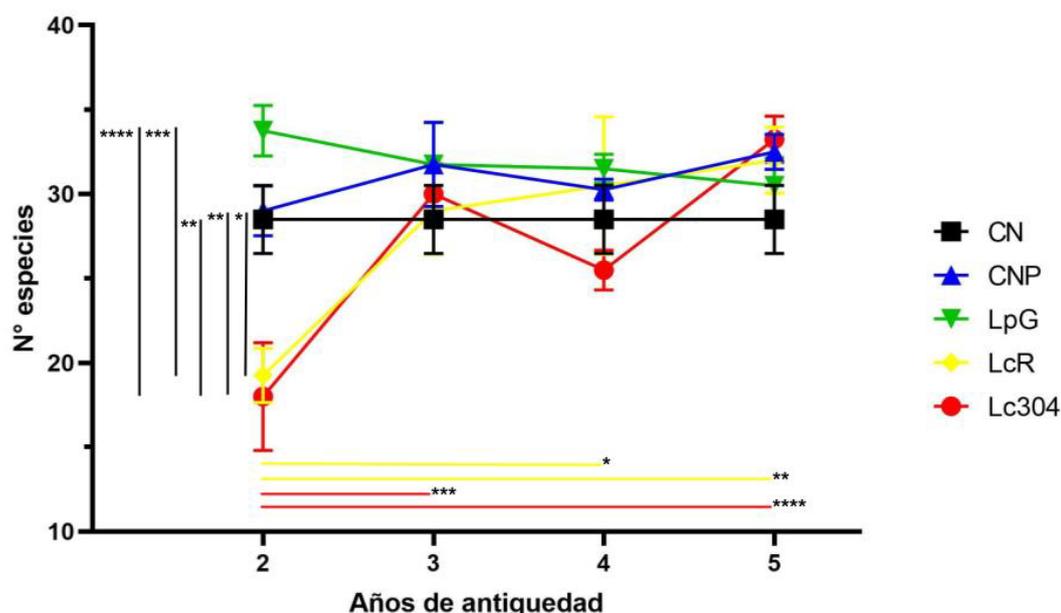
Una vez culminada la etapa de procesamiento de datos se procedió al análisis estadístico de la información obtenida para cada variable. Los datos de la riqueza y riqueza de exóticas fueron transformados por logaritmo neperiano para cumplir supuestos de los análisis. Los efectos de los tratamientos y de la antigüedad, así como sus interacciones se evaluaron a través de análisis ANOVA de dos vías (Tratamiento y Antigüedad), y test a posteriori de Tukey. Estos análisis estadísticos y las salidas gráficas se realizaron con el programa GraphPad Prism 6.0.

4. Resultados

4.1 Riqueza de especies

Figura 3

Riqueza de especies en las cuatro antigüedades de siembra y fertilización evaluadas



Nota. Las líneas horizontales y verticales señalan diferencias significativas entre dos antigüedades del mismo tratamiento o entre dos tratamientos en la misma antigüedad, y los asteriscos que las acompañan simbolizan la magnitud del p-valor de la diferencia observada. *: p-valor = ≤ 0.05 ; **: p-valor ≤ 0.01 ; ***: p-valor ≤ 0.001 ; ****: p-valor ≤ 0.0001 (cuanto menor p-valor más cantidad de asteriscos, siendo el máximo 4). CN: Campo natural; CNP: campo natural fertilizado con fósforo. LpG: campo natural intersembrado con *L. pedunculatus* cv. INIA Gemma. LpR y Lc304: campo natural intersembrado con *L. corniculatus* cv. INIA Rigel y cv. LE 304-C1 Bulk 14, respectivamente.

La riqueza de especies fue afectada por el tratamiento, la antigüedad y por la interacción de ambos factores (Tabla 3) (Figura 3). Los tratamientos sólo se diferenciaron entre sí en A2, donde se dividieron en tres grupos: en un extremo los de mayor riqueza, LpG, CNP, con un promedio de 31,4 especies y en el otro extremo los de menor riqueza, Lc304 y LcR, con un promedio de 18,6 especies. El CN presentó una riqueza intermedia entre ambos, de 28,5 especies. A su vez, los tratamientos que presentaron menor cantidad de especies en A2 (LcR y Lc304)

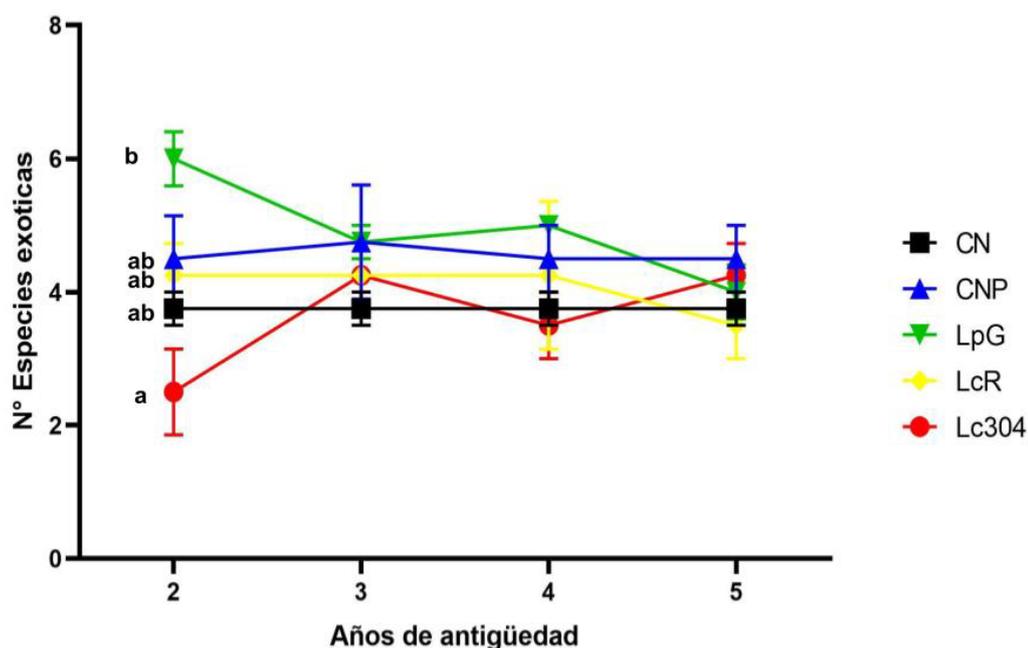
también presentaron diferencias significativas entre distintos años de antigüedad. La riqueza de LcR varió de 19,25 especies en A2, a 32 especies en A5, mientras que Lc304 pasó de 18 especies en A2, a 33,3 especies en A5.

Los p-valores de las diferencias significativas mencionadas anteriormente se presentan a continuación. En A2 entre LcR y CNP, $p=0,0449$; Lc304 y CN, $p=0,0045$; Lc304 y CNP, $p=0,0023$; LcR y LpG, $p=0,0005$; y entre Lc304 y LpG, $p<0,0001$. Entre años LcR presentó diferencias significativas entre A2 y A4, $p=0,023$; y entre A2 y A5, $p=0,0031$; y Lc304 presentó diferencias significativas entre A2 y A3, $p=0,0008$; y entre A2 y A5, $p<0,0001$.

4.2 Riqueza de especies exóticas

Figura 4

Riqueza de especies exóticas en las cuatro antigüedades de siembra y fertilización evaluadas



Nota. Las letras a la izquierda del gráfico señalan diferencias significativas entre los tratamientos en el total de los años. CN: Campo natural; CNP: campo natural fertilizado con fósforo. LpG: campo natural intersembrado con *L. pedunculatus* cv. INIA Gemma. LpR y Lc304: campo natural intersembrado con *L. corniculatus* cv. INIA Rigel y cv. LE 304-C1 Bulk 14, respectivamente.

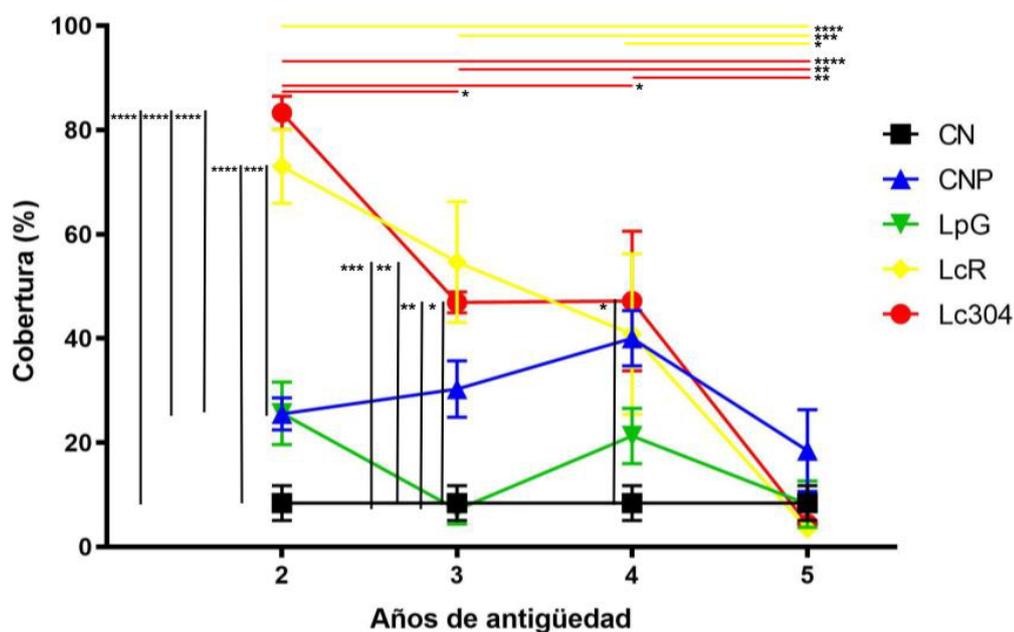
La riqueza de especies exóticas fue afectada solamente por el factor tratamiento (Tabla 3). Únicamente se encontraron diferencias significativas entre

Lc304 y LpG, siendo el número de especies exóticas promedio de 2,8 y de 3,9, respectivamente (Figura 4). El p-valor de esta diferencia significativa fue de 0,0271.

4.3 Cobertura de leguminosas

Figura 5

Cobertura de leguminosas en las cuatro antigüedades de siembra y fertilización evaluadas



Nota. Las líneas horizontales y verticales señalan diferencias significativas entre dos antigüedades del mismo tratamiento o entre dos tratamientos en la misma antigüedad, y los asteriscos que las acompañan simbolizan la magnitud del p-valor de la diferencia observada. *: p-valor = ≤ 0.05 ; **: p-valor ≤ 0.01 ; ***: p-valor ≤ 0.001 ; ****: p-valor ≤ 0.0001 (cuanto menor p-valor más cantidad de asteriscos siendo el máximo 4). CN. Campo natural; CNP: campo natural fertilizado con fósforo. LpG: campo natural intersembrado con *L. peduncuatus* cv. INIA Gemma. LpR y Lc304: campo natural intersembrado con *L. corniculatus* cv. INIA Rigel y cv. LE 304-C1 Bulk 14, respectivamente.

La cobertura de leguminosas fue afectada por el tratamiento, la antigüedad y por la interacción de ambos factores (Tabla 3). En A2 se separaron los tratamientos en dos grupos según su cobertura de leguminosas (Figura 5). Por un lado los que presentaron mayor cobertura que fueron LcR y Lc304, con un valor promedio de la misma de 78,2%, y por el otro los de menor cobertura de

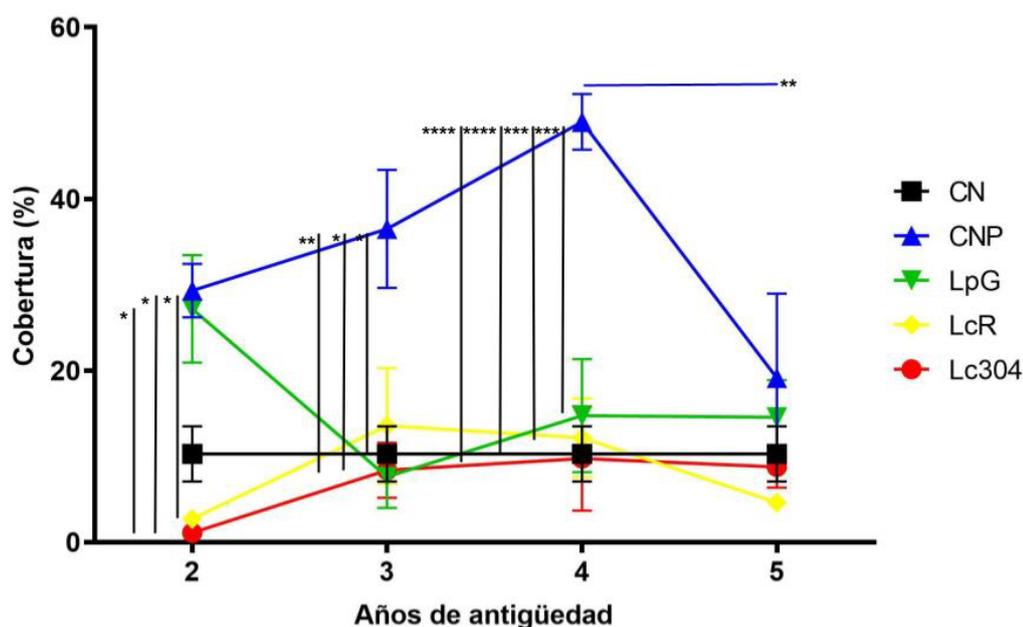
leguminosas que fueron CN, CNP, y LpG, con un valor promedio de la misma de 19,9%. En A3 también se separaron los tratamientos en los dos grupos mencionados anteriormente salvo que CNP presentó una cobertura de leguminosas intermedia. En el grupo de mayor cobertura, la misma tuvo un valor promedio de 50,8%, en el CNP 30,3% y en el de menor cobertura, un 7,8%. A su vez, para algunos tratamientos se encontraron diferencias significativas entre los años de antigüedad, siendo estos LcR y Lc304. El primero pasó de tener una cobertura de leguminosas de 73% en A2 a 3,5% en A5, y el segundo de 83,3% en A2 a 4,4% en A5.

Los p-valores de las diferencias significativas mencionadas anteriormente en A2 fueron entre CNP y LcR, $p= 0,0007$; CN y LcR, $p= <0,0001$; LpG y Lc304, $p= <0,0001$; CNP y Lc304, $p= <0,0001$; y entre CN y Lc304, $p= <0,0001$. En A3 los p-valores de las diferencias significativas fueron entre CN y Lc304, $p=0,0168$; LpG y Lc304, $p=0,011$; CN y LcR, $p= 0,0011$; y entre LpG y LcR, $p=0,0007$. En A4 solamente hubieron DS entre CN y Lc304 ($p= 0,0153$), mientras que en A5 no se encontraron DS entre los tratamientos. Para los tratamientos que variaron entre años, los p-valores de estas diferencias significativas fueron para LcR, entre A4 y A5, $p=0,0241$; A3 y A5, $p= 0,0002$; y entre A2 y A5, $p=<0,0001$; y para Lc304 fueron entre A2 y A3, $p= 0,0321$; A2 y A4, $p= 0,0348$; A4 y A5, $p=0,004$; A3 y A5, $p= 0,0044$; y entre A2 y A5, $p= <0,0001$.

4.4 Cobertura de especies anuales

Figura 6

Cobertura de especies anuales en las cuatro antigüedades de siembra y fertilización evaluadas



Nota. Las líneas horizontales y verticales señalan diferencias significativas entre dos antigüedades del mismo tratamiento o entre dos tratamientos en la misma antigüedad, y los asteriscos que las acompañan simbolizan la magnitud del p-valor de la diferencia observada. *: p-valor = ≤ 0.05 ; **: p-valor ≤ 0.01 ; ***: p-valor ≤ 0.001 ; ****: p-valor ≤ 0.0001 (cuanto menor p-valor más cantidad de asteriscos siendo el máximo 4 CN). CN: campo natural; CNP: campo natural fertilizado con fósforo. LpG: campo natural intersembrado con *L. pedunculatus* cv. INIA Gemma. LpR y Lc304: campo natural intersembrado con *L. corniculatus* cv. INIA Rigel y cv. LE 304-C1 Bulk 14, respectivamente.

La cobertura de especies anuales varió por el efecto del tratamiento, y por la interacción del factor antigüedad con el tratamiento, (Tabla 3). En A2 se encontraron diferencias significativas entre Lc304 y LpG, entre Lc304 y CNP, y entre LcR y CNP (Figura 6). En A3 la cobertura de especies anuales de CNP fue la mayor de todos los tratamientos. En A4 la cobertura de anuales de CNP alcanzó valores máximos con un promedio de 49,0 % y se diferenció de los restantes tratamientos, los cuales presentaron una cobertura de anuales promedio de 11,7%. En A5 no se encontraron diferencias significativas entre la cobertura de

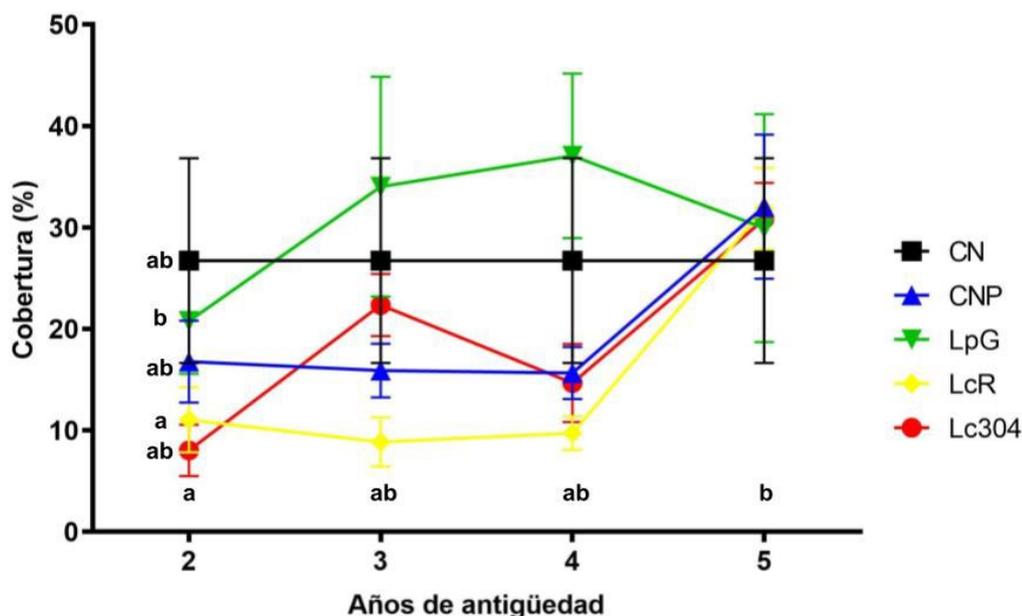
especies anuales de los distintos tratamientos. El único tratamiento que tuvo diferencias significativas entre distintas antigüedades fue CNP, entre A4 y A5, representando la cobertura de especies anuales un 49% y un 19,1% respectivamente (Figura 6). En el anexo D se presentan los datos de cobertura del *Lotus angustissimus*, especie exótica anual que ingresó de manera espontánea a los ensayos ya que no fue sembrada, que se consideró de gran relevancia por ser determinante en gran parte de la cobertura de especies anuales observada.

Los p-valores de las diferencias significativas mencionadas anteriormente fueron en A2 entre Lc304 y LpG, $p=0,0302$; entre Lc304 y CNP, $p=0,0124$; y entre LcR y CNP, $p=0,0243$; en A3 entre CN y CNP, $p=0,0243$; entre Lc304 y CNP, $p=0,011$; y entre LpG y CNP, $p=0,0069$. Y en A4 los valores fueron entre LpG y CNP, $p=0,0005$; LcR y CNP, $p=0,0001$; CN y CNP, $p<0,0001$; y entre Lc304 y CNP, $p<0,0001$. Para la diferencia significativa que se presentó entre A4 y A5 en el tratamiento CNP, el p-valor fue 0,0048.

4.5 Cobertura de gramíneas perennes invernales

Figura 7

Cobertura de gramíneas perennes invernales en las cuatro antigüedades de siembra y fertilización evaluadas



Nota. Las letras a la izquierda del gráfico señalan diferencias significativas entre los tratamientos en el total de los años. CN: Campo natural; CNP: campo natural

fertilizado con fósforo. LpG: campo natural intersembrado con *L. pedunculatus* cv. INIA Gemma. LpR y Lc304: campo natural intersembrado con *L. corniculatus* cv. INIA Rigel y cv. LE 304-C1 Bulk 14, respectivamente.

La cobertura de gramíneas perennes invernales varió por efecto del tratamiento y por el factor antigüedad, pero no lo hizo por la interacción de ambos (Tabla 2). Las diferencias significativas encontradas fueron entre los tratamientos LpG y LcR, siendo la cobertura de gramíneas perennes invernales promedio entre años de LpG 30,5% y de LcR 15,4%; y entre los años de antigüedad 2 y 5, siendo la cobertura de estas gramíneas promedio entre tratamientos en A2 de 16,7% y en A5 de 30,4%.

Los p-valores de las diferencias significativas mencionadas anteriormente fueron entre los tratamientos LpG y LcR, $p=0,0144$; y entre los años de antigüedad A2 y A5, $p=0,0114$.

Tabla 3

Tabla ANOVA de dos vías. Se presentan las diferencias significativas según Antigüedad, Tratamiento o por la interacción entre ambos (Antigüedad x Tratamiento), para las distintas variables estudiadas.

	Antigüedad		Tratamiento		Antigüedad x tratamiento	
	F	P	F	P	F	P
Riqueza	8,742	<0,0001	5,213	0,0011	3,554	0,0005
Riqueza de exóticas	0,3840	0,7649	3,498	0,0124	0,8168	0,6325
Cobertura de leguminosas	23,36	<0,0001	24,08	<0,0001	5,866	<0,0001
Cobertura de anuales	2,251	0,0916	21,20	<0,0001	2,465	0,0109
Cobertura de GPI	3,625	0,0179	3,321	0,0160	0,9323	0,5215

5. Discusión

5.1 Primera hipótesis: Impacto sobre la riqueza de especies

Los resultados obtenidos apoyan de manera parcial la hipótesis que planteaba una reducción de la riqueza de especies como consecuencia de la exclusión competitiva que ejercen las especies competitivamente superiores, relacionando la magnitud de ese impacto con la cobertura de las leguminosas implantadas. El impacto negativo en la riqueza se observó en aquellos mejoramientos en los cuales la cobertura de leguminosas fue mayor, siendo éstos los tratamientos con interseembra de *Lotus corniculatus*, Lc304 y LcR, mientras que en el mejoramiento donde la leguminosa introducida tuvo una peor instalación, *Lotus pedunculatus* (LpG), la riqueza de especies no se vió afectada. El efecto sobre la riqueza observado en los tratamientos con inclusión de *Lotus corniculatus* desapareció con la evolución de estos mejoramientos en los años estudiados, a la par de una disminución en la cobertura de leguminosas.

Por otro lado, los datos obtenidos evidenciaron que en el tratamiento en que solo se fertilizó con fósforo (CNP), no hubo una disminución en la riqueza de especies a pesar de los altos valores de cobertura alcanzados por *L. angustissimus* (leguminosa espontánea). A diferencia de lo planteado por Jaurena et al. (2016) y Pañella et al. (2020) los resultados permiten interpretar que en este caso la relación entre la fertilización fosfatada y la disminución de la riqueza es indirecta, es decir que está mediada por la cobertura de leguminosas. Esta diferencia puede ser atribuible a la notable resiliencia de las comunidades de campo natural de basalto descrita en antecedentes como Cáceres (2019) y Millot et al. (1987). Si bien la fertilización fosfatada probablemente haya sido un factor importante para lograr las altas coberturas de *Lotus corniculatus* observadas en Lc304 y LcR, en el tratamiento CNP, que solamente se fertilizó con fósforo, no se evidenció una disminución de la riqueza. Es decir que en este caso, el fósforo no actuó como factor que limite y excluya especies.

En cuanto a las hipótesis planteadas sobre las causas de la disminución de la riqueza asociadas al enriquecimiento en nutrientes, se concluye que el estudio no cuenta con la evidencia necesaria para afirmar o descartar una u otra, visto que no se contó con los datos de las producciones tanto aéreas como subterráneas de los distintos tratamientos, aunque en el anexo E se presenta el

promedio de la producción en kilogramos totales de materia seca de cada tratamiento. Sí se observa que fue en los tratamientos con mayor cobertura de leguminosas (Lc304 y LcR) en los que disminuyó la riqueza, pero este efecto puede ser atribuible a varias causas, como son la competencia por la luz que ellas ocasionan, el aumento en la competencia subterránea, o el mayor enriquecimiento en nitrógeno del suelo.

5.2 Segunda hipótesis: ¿qué ocurrió con las especies exóticas y anuales?

En cuanto a la segunda hipótesis, la cual proponía que ante aumentos en la disponibilidad de nutrientes se producirían aumentos en la riqueza de especies exóticas así como de la cobertura de especies anuales, los resultados no coincidieron con lo esperado según los antecedentes (Gurevitch & Padilla, 2004, Melbourne et al., 2007, como se cita en Del Pino et al., 2021; Jaurena et al., 2016; Pañella et al., 2020).

En términos de riqueza de exóticas la única diferencia observada fue entre dos tratamientos con inclusión de leguminosas, Lc304 y LpG, encontrándose menor cantidad en el primero que en el segundo. Este efecto se le podría atribuir a que al tener una alta cobertura de leguminosas en el tratamiento Lc304, ésta compete en gran medida con las demás especies determinando no sólo una menor riqueza de especies total, sino que también una menor cantidad de especies exóticas (riqueza de exóticas). En cuanto al LpG se podría plantear la posibilidad de que la mayor cantidad de especies exóticas, relativa exclusivamente a Lc304, se deba a una pobre implantación o baja permanencia de la leguminosa, que a su vez fueron favorecidas por los tratamientos previos realizados al tapiz (buscando la instalación de *L. pedunculatus*), y la fertilización.

Respecto a la cobertura de anuales, esta aumentó exclusivamente en CNP en relación a CN. Por otro lado, se evidenciaron diferencias en la cobertura de especies anuales entre LpG y Lc304 en A2, siendo mayor la cantidad de estas en el primero. La anualización tan marcada se atribuye a la invasión de *L. angustissimus*, que parecería ser la principal especie encargada de explicar los patrones de anualización en el experimento. Esto se evidencia en la caída en la cobertura de especies anuales observada en CNP al quinto año (A5), que se corresponde con la caída de la cobertura de este Lotus anual (Anexo A). Cabe destacar que se esperaba que el aumento en cobertura de anuales actuara en detrimento de la riqueza de especies (Jaurena et al., 2016), lo cual no se observó,

ya que para el caso de CNP no se registró evidencia de pérdida de especies. En cuanto a los tratamientos con leguminosas, de acuerdo a los antecedentes (Jaurena et al., 2016) se esperaba encontrar un aumento en la cobertura de especies anuales, con respecto a CN, sin embargo esto no fue lo observado en los resultados. Si bien la presencia de leguminosas enriquece el suelo en nitrógeno (Cardozo, 2019), esto no resultó en un aumento de la cobertura de especies anuales, ni actuó en detrimento del número total de especies.

Es de importancia considerar por qué fueron invadidos estos tratamientos por *Lotus angustissimus*. En cuanto al tratamiento CNP lo observado se puede atribuir a lo anteriormente descrito por Pañella et al. (2020) que planteó que algunos de los tratamientos de campo natural con fertilización fosfatada fueron invadidos por *L. angustissimus*, afirmando que ante un enriquecimiento de fósforo, el campo natural es más proclive a la invasión de especies exóticas, en caso de existir foco de propágulos en las inmediaciones (Carámbula, 2002-2004; Guido et al., 2016; Mas, 1992; Tognetti et al., 2021). Por otro lado, la abundancia de *Lotus angustissimus* en el primer año de los mejoramientos de LpG se le atribuye a la baja cobertura lograda por esta leguminosa en el primer año, dando condiciones similares a las de CNP, o incluso más favorables por el tratamiento de las parcelas previo a la siembra.

Para entender cómo *Lotus angustissimus* impacta en las variables estudiadas es importante caracterizar esta especie exótica, en este caso invasora. El *Lotus angustissimus* es una especie anual a bianual, de ciclo invernal (Chrtková-Žertová, 1968), que tiene una excelente adaptación a suelos medios y superficiales de la región de basalto, cristalino, lomadas y sierras del este, suelos livianos de la región de areniscas (INIA, s.f.b). La especie cercana *Lotus suaveolens* tiene una larga historia de estudio y uso en Uruguay, por lo que sus características productivas a nivel país sirven como una aproximación a lo esperable para *L. angustissimus*. Se caracteriza por su rusticidad, competitividad y rápido crecimiento, que favorece su integración a la vegetación nativa sin dificultades, adaptándose a un amplio rango de suelos (Ayala & Carámbula, 2009).

5.3 Tercera hipótesis: ¿los mejoramientos invernalizan el campo?

La última hipótesis, que sugería aumentos en la cobertura de gramíneas perennes invernales al aumentar la fertilidad del suelo tanto por la fertilización fosfatada como por el agregado de leguminosas que fijan nitrógeno, fue rechazada

dado que no se observaron aumentos en la cobertura de las mismas por efecto de los distintos tratamientos con respecto al CN. Esto no era lo esperado de acuerdo a los antecedentes (Bemhaja, 1998; Carámbula, 1992), en los que los mejoramientos de campo natural aumentaban la contribución de gramíneas invernales perennes. Por otro lado, los resultados obtenidos se condicen en mayor medida con Del Pino et al. (2021) que no registraron diferencias en la cobertura de gramíneas perennes invernales a largo plazo en campo con introducción de leguminosas y fertilización fosfatada.

Cabe destacar que en los trabajos nacionales que registran aumentos en la cobertura de gramíneas perennes invernales realizan manejos de los mejoramientos extensivos que tienden a favorecer a este grupo de especies. Sin embargo, en el experimento estudiado en este caso, los manejos apuntaron a favorecer a las especies implantadas. Es probable que, para poder encontrar los resultados esperados según los antecedentes, sería de especial importancia realizar un manejo acorde, que tenga en cuenta los procesos y necesidades de las especies invernales, tanto de defoliación (intenso en verano, aliviado en otoño, moderado en invierno y en primavera una recarga y alivio) como de refertilizaciones, fertilización inicial, densidad y época de siembra, entre otros (Ayala & Carámbula, 1996). Por otro lado, es de importancia considerar que si bien no se registró un aumento en la proporción de especies invernales, no se puede descartar que la producción de las mismas haya aumentado, producto del nitrógeno aportado por las leguminosas. Para terminar de dilucidar este punto resta evaluar si la invernización se expresó en términos de producción de biomasa.

Por último, se registraron diferencias significativas entre la cobertura de gramíneas perennes invernales de los tratamientos LpG y LcR. Este efecto podría atribuirse a la menor cobertura lograda por LpG que ocasionó la menor supresión de las gramíneas perennes invernales, acompañado a que en este caso la invasión de *Lotus angustissimus* solamente fue registrada en parcelas de primer año de antigüedad, lo que coincide con la menor cobertura de gramíneas perennes invernales de este experimento.

5.4 Efecto de especie de leguminosa intersebrada

Es posible agrupar a las dos variedades de *L. corniculatus* (LcR y Lc304) dado que mostraron un patrón similar de pérdida y recuperación de riqueza total

y cobertura de anuales entre el comienzo y fin del ensayo, y diferenciarlas de lo registrado para el tratamiento intersembrado con *L. pedunculatus* (LpG). Se atribuyen estas diferencias a que los mejoramientos de *Lotus corniculatus* lograron una cobertura de leguminosas mucho mayor y de merma más gradual que la lograda por LpG. Se explican por esta diferencia en la cobertura muchas de las respuestas observadas en las variables estudiadas, ya que al menos en este caso, la competencia que ejerce la leguminosa introducida con las especies de campo natural varía en función de ello. La diferencia de cobertura lograda por ambas especies, puede estar explicada por varios factores. Una de las causas principales puede ser sus diferentes morfologías. Mientras que *Lotus pedunculatus* cuenta con un sistema radicular superficial (Ayala & Carámbula, 2009), *Lotus corniculatus* tiene un sistema radicular mucho mayor, otorgándole esto una menor susceptibilidad a eventuales déficit hídricos (Carámbula, 1977; Díaz, 1995; Smetham, 1981), como los ocurridos en el lapso de tiempo estudiado. El *Lotus corniculatus* puede haber soportado de mejor manera estas condiciones que el *Lotus pedunculatus* alcanzando mayores coberturas que el mismo.

5.5 Resiliencia del campo natural de Basalto

Un patrón consistente en las respuestas observadas en las distintas variables a los distintos tratamientos, fue que los efectos que se detectaron en los primeros años del experimento se vieron mitigados al quinto año del mismo. Esto coincide con antecedentes de la cuesta Basáltica como Cáceres (2019) y Del Pino et al. (2021) cuyos estudios abarcaron una ventana temporal más amplia que este, pero igualmente obtuvieron resultados similares. Sin embargo, dicho patrón no fue descrito por Pañella et al. (2020), que tuvo una extensión temporal de estudio similar a este y un sitio próximo con manejo similar, pero con *L. angustissimus* como especie cultivada. Es posible que *L. angustissimus* tenga un efecto negativo más marcado sobre la riqueza de especies nativas y exóticas que los cultivares de *Lotus* estudiadas en este trabajo, y que la siembra de ésta en lugar de que su presencia sea espontánea lleve a un efecto más agudo sobre la riqueza y el ingreso de exóticas, explicando las diferencias entre los resultados de este trabajo y los reportados por Pañella et al. (2020).

En los tratamientos en los que se implantaron leguminosas, la recuperación de las cualidades estudiadas en el plazo de 5 años se atribuye tanto a la desaparición de las mismas como a la recuperación de las especies de campo natural originales. En cuanto a la desaparición de estas leguminosas, esto se

atribuye principalmente a lo planteado por Tognetti et al. (2021) y Jaurena et al. (2016), de que ante aumentos en el suministro de nitrógeno, se puede reducir la abundancia de las mismas debido a una menor ventaja competitiva de éstas plantas sobre las que no fijan nitrógeno. Otro factor que puede haber limitado la persistencia de las leguminosas implantadas son las bajas precipitaciones a la cual se sometieron los mejoramientos en el verano del 2018, invierno-primavera del 2020 y primavera del 2021, dado que las sequías llevan a mortandad de especies, destacando la mayor sensibilidad de las leguminosas implantadas frente a las gramíneas perennes nativas (Carámbula, 2002-2004; García, 1992). También se considera la posibilidad de ocurrencia de enfermedades crónicas, que hayan debilitado las leguminosas implantadas exponiéndolas aún más a condiciones ambientales adversas, efectos por competencia de la vegetación, daño por insectos, o patógenos oportunistas (Bologna, 1996; Null & Wheaton, 1993). Finalmente, el manejo bajo cortes mecánicos buscaba evitar la semillazón de las especies perennes, por lo que es posible que la desaparición de las leguminosas se deba a la senescencia paulatina de los individuos a lo largo de los años, acompañado por un pobre reclutamiento de nuevas plantas que sólo podría originarse del banco de semillas a través de propágulos que no germinaron al momento de la siembra (que es esperable que sea una proporción pequeña en cultivos mejorados). Por otro lado, el *L. angustissimus*, al ser una especie anual, depende plenamente de la resiembra para su permanencia, por lo que la misma fue especialmente limitada por estos manejos. Se observó que junto con la desaparición de las leguminosas también se diluyeron los efectos que la introducción de las mismas ocasionó, tendiendo a volver a la comunidad de especies original.

Se atribuye la recuperación de las cualidades originales del campo natural, al sitio donde fue realizado el experimento: como fue observado por varios autores (Cáceres, 2019; Del Pino et al., 2021; Pañella et al., 2020) la Cuesta Basáltica muestra una notable resiliencia en cuanto a recuperar su composición florística tras perturbaciones. La mencionada resiliencia de Basalto, puede deberse a mayor presencia de especies C4 perennes postradas dominantes (Cáceres, 2019; Millot et al., 1987), el menor grado de fragmentación y transformación de la región, que implica menos pérdida de campo natural lo cual contribuye a tener una importante fuente de propágulo de las especies nativas, mientras que propágulos de especies exóticas invasoras tienen menor probabilidad de llegada (Baeza et

al., 2019; Bresciano et al., 2014; Cáceres, 2019; Guido et al., 2016; Modernel et al., 2016; Pañella et al., 2020).

En cuanto al fertilizado con fósforo, también se observó que en el plazo estudiado las distorsiones en cantidad, tipo y cobertura de distintas especies desaparecen, y las parcelas recuperan sus características originales. Esto se explica debido a que el basalto tiene una gran capacidad de fijar fósforo (Hernández et al., 1995; Cáceres, 2019) o sea que al cesar la fertilización, los efectos del agregado del mismo disminuyen, demostrando esto también parte de la explicación de la capacidad de absorber los cambios producidos que tiene el mismo. Además, se debe considerar la invasión de la especie *Lotus angustissimus* en este tratamiento, que si bien es una especie anual, también responde a algunos de los factores que limitan la permanencia de los *Lotus* implantados en los otros experimentos.

5.6 Consideraciones y restricciones metodológicas

Este trabajo presenta varias limitaciones de tipo experimental que dificultan la extrapolación a las condiciones actuales de los campos naturales con intersiembras de leguminosas y fertilización fosfatada a nivel nacional.

En primer lugar, se realizó el mantenimiento del experimento a través del método de corte mecánico, que si bien presenta la ventaja de que es más sencillo delimitar y mantener las parcelas, hay que tener en cuenta que los campos con intersiembra de leguminosas y fertilización fosfatada “reales” se encuentran bajo pastoreo. Esto determina que al haber diferencia entre métodos de corte, se puedan obtener resultados distintos (Tälle et al., 2016), debido a que no se reflejan otros efectos de la interacción pastura-animal que no son el consumo, como el pisoteo (Lezama & Paruelo, 2016; Virkajärvi et al., 2004). Otro de los efectos que no se considera es el consumo diferencial que realiza el ganado bajo pastoreo, lo cual se observa al comparar sitios con exclusión del pastoreo y sitios pastoreados, mostrando tendencias a aumentar la cantidad de especies menos palatables para el ganado en los sitios pastoreados, visto que no son consumidas, en cambio con cortes mecánicos el corte es homogéneo en cuanto a la altura para todas las especies presentes, pudiendo ser esto un factor de cambio en las comunidades vegetales (Rodríguez et al., 2003). Otro de los principales efectos de esta interacción que no se dieron en el experimento son el reciclaje y transferencia de nutrientes del animal a la pastura mediante heces y orina. Además, al no retornar

la biomasa que se cortaba de las parcelas, implica la extracción constante de macro y micronutrientes.

Se debe tener en cuenta el diseño del experimento, que fue en parcelas relativamente pequeñas, estando estas rodeadas por vastas extensiones de campo natural de basalto. Es probable que esto haya facilitado la recuperación de las especies originales de las parcelas, por favorecer la propagación de dichas especies de nuevo a las mismas. Por el contrario, en situaciones comerciales, con potreros mejorados de varias hectáreas es probable que la recolonización presente mayores dificultades.

Por otro lado, si bien las cronosecuencias son una gran herramienta para interpretar los cambios que se dan en un ecosistema, estas tienen en cuenta algunos supuestos, como por ejemplo, que el clima y la topografía es constante a lo largo del estudio (Wardle et al., 2004, como se cita en Gallardo et al., 2012). Como se evidencia (Figura 1), esto no fue así, presentándose una importante variabilidad en las precipitaciones entre años dentro del período de estudio y entre estaciones del año.

Por último, el experimento se vió ampliamente invadido por la especie *Lotus angustissimus* lo cual determinó muchas de las respuestas de algunos tratamientos en las variables observadas. Es importante tener en cuenta qué tan invadidos han sido los tratamientos a la hora de estudiar su impacto ecológico. Sin embargo, se debe considerar que es posible que la respuesta de la comunidad vegetal a estos tratamientos hubiera sido distinta en ausencia de propágulos de *Lotus angustissimus*.

6. Conclusiones

Los mejoramientos extensivos con intersembrado de *Lotus corniculatus*, cultivares Rigel y 304, y *Lotus pedunculatus* cultivar Gemma, además de la fertilización fosfatada, realizados en la Cuesta Basáltica, produjeron cambios en la composición florística del campo natural, pero los mismos fueron revertidos en el mediano plazo. Es decir, a los 5 años no se encontraron diferencias en la riqueza de especies total, riqueza de especies exóticas, cobertura de leguminosas, cobertura de especies anuales, cobertura de gramíneas perennes invernales de los distintos tratamientos y el campo natural.

Los mejoramientos de *Lotus corniculatus*, fueron los que lograron mayor cobertura de leguminosas en desmedro de la riqueza de especies en sus primeros años, frente al campo natural. Esa elevada cobertura inicial, dado que se trata de un mejoramiento extensivo, tal vez fue excesiva, por lo que se debería considerar investigar prácticas de manejo más apropiadas que ayuden a balancear la relación gramínea-leguminosa, a mitigar los efectos provocados en el ecosistema, pero sin perder de vista su persistencia en el ambiente. Por otro lado, el mejoramiento de *Lotus pedunculatus*, logró una cobertura mucho menor luego del segundo año de instalación, teniendo como efecto una mayor riqueza de especies, riqueza de especies exóticas, y cobertura de gramíneas perennes invernales, respecto a los otros tratamientos pero no frente al campo natural. Se cuestiona entonces si la instalación lograda del *Lotus pedunculatus* fue satisfactoria, ya que si bien se observaron efectos en la diversidad a mediano plazo mucho menores que para los *Lotus corniculatus*, se debe tener en cuenta qué tan importante fue su aporte como mejorador del campo natural, considerando su baja cobertura lograda. En la aplicación exclusiva de fósforo, sobresale un aumento en la cobertura de especies anuales con respecto a los otros tratamientos y el testigo campo natural, debido a la invasión de *Lotus angustissimus*, destacando además que en este caso, no ocasionó una disminución en la riqueza de especies.

Cuánto de las respuestas observadas es atribuible a la particular resiliencia del campo natural de Basalto y cuánto a las propias características del manejo de los cultivares y/o fertilización es un aspecto que se desconoce.

Por último, teniendo en cuenta que los mejoramientos extensivos son una intervención en el ecosistema de campo natural y tiene sus consecuencias, no sólo productivas, sino ambientales, como lo es los efectos sobre la composición

florística, las mismas deberán seguirse estudiando y conocerse para lograr tomar decisiones de si llevar a cabo y cómo su realización, intentando acceder a las ventajas productivas de los mejoramientos pero sin afectar la salud del pastizal.

7. Bibliografía

- Allen, V. G., Batello, C., Berretta, E. J., Hodgson, J., Kothmann, M., Li, X., McIvor, J., Milne, J., Morris, C., Peeters, A., & Sanderson, M. (2011). An international terminology for grazing lands and grazing animals. *Grass and Forage Science*, 66(1), 2-28. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2010.00780.x>
- Altesor, A. (2011). Servicios ecosistémicos de los pastizales naturales. En A. Altesor, W. Ayala, & J. M. Paruelo (Eds.), *Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales* (pp. 221-234). INIA. <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/18429020511100111.pdf>
- Altesor, A., Piñeiro, G., Lezama, F., Jackson, R. B., Sarasola, M., & Paruelo, J. M. (2006). Ecosystem changes associated with grazing in subhumid South American grasslands. *Journal of Vegetation Science*, 17(3), 323-332. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2006.tb02452.x>
- Altier, N. (1997). *Enfermedades de Lotus en Uruguay*. INIA. <http://inia.uy/en/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219240807103125.pdf>
- Anderson, S. R. (1955). Development of pods and seeds of Birdsfoot Trefoil, *Lotus corniculatus* L., as related to maturity and to seed yields. *Agronomy Journal*, 47(10), 483-487.
- Andrade, B. O., Marchesi, E., Burkart, S., Setubal, R. B., Lezama, F., Perelman, S., Schneider, A. A., Trevisan, R., Overbeck, G. E., & Boldrini, I. I. (2018). Vascular plant species richness and distribution in the Río de la Plata grasslands. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 188(3), 250-256. <https://doi.org/10.1093/botlinnean/boy063>
- André, M., Pedoja, M. B., & Ramírez, C. (2016). *Respuesta productiva de un campo natural sometido a niveles crecientes de intervención* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibrí. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/19678>
- Ayala, W., & Bermúdez, R. (1992). Fertilización fosfatada de pasturas. En C. Mas, M. Carámbula, R. Bermúdez, W. Ayala, & E. Carriquiry (Eds.), *Mejoramientos extensivos en la región este: Resultados experimentales 1991-92* (pp. 49-59). INIA. <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/14445040313113623.pdf>

- Ayala, W., Bermúdez, R., & Carámbula, M. (1996). Manejo y utilización de mejoramientos extensivos. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Jornada Anual de Producción Animal* (pp. 69-88). <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/14445040313090449.pdf>
- Ayala, W., & Carámbula, M. (1996). Mejoramientos extensivos en la región este: Implantación y especies. En D. F. Risso, E. J. Berretta, & A. Morón (Eds.), *Producción y manejo de pasturas: Seminario Técnico INIA Tacuarembó 17-19 de octubre, 1995* (pp. 169-176). INIA. <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219240807135431.pdf>
- Ayala, W., & Carámbula M. (2009). *El valor agronómico del género Lotus*. INIA.
- Ayala, W., Carriquiry, E., & Carámbula, M. (1993). Caracterización y estrategias de utilización de pasturas naturales en la región este. En C. Mas, M. Carámbula, R. Bermúdez, W. Ayala, & E. Carriquiry (Eds.), *Campo natural: Estrategia invernal, manejo y suplementación* (pp. 1-28). INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/501/1/14445130912133845.pdf>
- Ayala Torales, A. T., Deregibus, V. A., & Moauro, P. R. (2000). Differential response of forage legumes to phosphorus application. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 43(4), 473-480. https://www.researchgate.net/publication/288633849_Differential_response_of_forage_legumes_to_phosphorus_application
- Baeza, S., Rama, G., & Lezama, F. (2019). Cartografía de los pastizales naturales en las regiones geomorfológicas de Uruguay predominantemente ganaderas: Ampliación y actualización. En A. Altessor, L. López-Mársico, & J. M. Paruelo (Eds.), *Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales II* (pp. 27-47). INIA. https://www.researchgate.net/publication/332936932_Cartografia_de_los_pastizales_naturales_en_las_regiones_geomorfológicas_de_Uruguay_predominantemente_ganaderas_Ampliacion_y_actualizacion
- Baraibar, A., Frioni, L., Guedes, M. E., & Ljunggren, H. (1999). Symbiotic effectiveness and ecological characterization of indigenous *Rhizobium loti* populations in Uruguay. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 34(6), 1011-1017.

- Bemhaja, M. (1998). Caracterización de mejoramiento de campo bajo diferentes cargas con novillos durante tres años. En E. J. Berretta (Ed.), *Seminario de Actualización en Tecnologías para Basalto* (pp. 83-90). INIA.
<http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/15630011107100024.pdf>
- Bemhaja, M. (2006). Productividad forrajera de comunidades del campo natural. En M. Bemhaja & O. Pittaluga (Eds.), *30 años de investigación en suelos de areniscas INIA Tacuarembó* (pp. 33-38). INIA.
<http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/18429250309101451.pdf>
- Bemhaja, M., & Berretta, E. J. (1991). Respuesta a la siembra de leguminosas en Basalto profundo. En M. Carámbula, D. Vaz Martins, & E. Indarte (Eds.), *Pasturas y producción animal en áreas de ganadería extensiva* (pp. 103-114). INIA.
<http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219220807115854.pdf>
- Bermúdez, R. (1992). Implantación de mejoramientos. En C. Mas, M. Carámbula, R. Bermúdez, W. Ayala, & E. Carriquiry (Eds.), *Mejoramientos extensivos en la región este: Resultados experimentales 1991-92* (pp. 17-24). INIA.
<http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/14445040313112714.pdf>
- Berretta, E. J. (1996). Campo natural: Valor nutritivo y manejo. En D. Risso, E. Berretta, & A. Morón (Eds.), *Producción y manejo de pasturas: Seminario Técnico INIA Tacuarembó 17-19 de octubre, 1995* (pp. 113-127). INIA.
<http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219240807135431.pdf>
- Berretta, E. J., & Do Nascimento, D. (1991). *Glosario estructurado de términos sobre pasturas y producción animal: Español-portugués*. IICA; PROCISUR. https://www.procisur.org.uy/adjuntos/procisur_32-dialogo-xxxii-glosario-estructurado-de-terminos-sobre-pasturas-y-produccion-animal_168.pdf
- Berretta, E. J., & Levratto, J. C. (1990). Estudio de la dinámica de una vegetación mejorada con fertilización e introducción de leguminosas. En *II Seminario Nacional de Campo Natural* (pp. 225-232). Hemisferio Sur.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/15924/1/Segundo-seminario-nacional-de-campo-natural-15-y-16-noviembre-1990-Tacuarembó-UY.pdf>

- Berretta, E. J., Risso, D. F., & Bemhaja, M. (1998). Tecnologías para la mejora de la producción de forraje en suelos de Basalto. En D. F. Risso & E. J. Berretta (Eds.), *Tecnologías forrajeras para sistemas ganaderos de Uruguay* (pp. 1-37). INIA.
<http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/15630031107111008.pdf>
- Beuselinck, P. R., Peters, E. J., & McGraw, R. L. (1984). Efectos del cultivo y del manejo sobre la persistencia del rodal del trébol pata de pájaro. *Diario de Agronomía*, 76(3), 490-492.
<https://doi.org/10.2134/agronj1984.00021962007600030030x>
- Blumenthal, M. J., & McGraw, R. L. (1999). Lotus adaptation, use, and management. En P. R. Beuselinck (Ed.), *Trefoil: The science and technology of the Lotus* (pp. 97-119). American Society of Agronomy; Crop Science Society of America.
<https://doi.org/10.2135/cssaspecpub28.c6>
- Boggiano, P., & Berretta, E. (2006). Factores que afectan la biodiversidad vegetal del campo natural. En A. Mittelman & J. C. L. Reis (Eds.), *Reunião do Grupo Técnico em Forrageiras do Cone Sul: Grupo Campos: Desafios e oportunidades do bioma campos frente à expansão e intensificação agrícola* (pp. 93-104). EMBRAPA.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/6841/1/Factores-que-afectan-la-biodiversidad-2006.pdf>
- Bologna, J. (1996). *Studies on strategies for perennial legume persistence in lowland pastures* [Tesis de maestría]. Lincoln University.
- Bresciano, D., Rodríguez, C., Lezama, F., & Altesor, A. (2014). Patrones de invasión de los pastizales de Uruguay a escala regional. *Ecología Austral*, 24(1), 83-93. <https://doi.org/10.25260/EA.14.24.1.0.40>
- Buisson, E., Archibald, S., Fidelis, A., & Suding, K. (2022). Ancient grasslands guide ambitious goals in grassland restoration. *Science*, 377(6606), 594-598. <https://doi.org/10.1126/science.abo4605>
- Buxton, D. R. (1989). Major climatic and edaphic stresses in the United States. En G. C. Marten, A. G. Matches, R. F. Barnes, R. W. Brougham, R. J. Clements, & G. W. Sheath (Eds.), *Persistence of forage legumes* (pp. 217-232). American Society of Agronomy; Crop Science Society of America; Soil Science Society of America.
<https://doi.org/10.2134/1989.persistenceofforagelegumes.c15>

- Cáceres, D. (2019). *Cambios en el largo plazo en la salud del campo natural asociados a la tecnología de mejoramientos extensivos con Lotus subbiflorus cv "El rincón"* [Tesis de maestría, Universidad de la República]. Colibrí.
<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/22380/1/uy24-19430.pdf>
- Carámbula, M. (1977). *Producción y manejo de pasturas sembradas*. Hemisferio Sur.
- Carámbula, M. (1991). *Aspectos relevantes para la producción forrajera*. INIA.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2921/1/111219220807114541.pdf>
- Carámbula, M. (1992). Mejoramientos extensivos: Fundamentos. En C. Mas, M. Carámbula, R. Bermúdez, W. Ayala, & E. Carriquiry (Eds.), *Mejoramientos extensivos en la región este: Resultados experimentales 1991-92* (pp. 12-16). INIA.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4130/1/Mejoramientos-Extensivos-en-la-Region-Este-1992.pdf>
- Carámbula, M. (1996a). Mejoramientos extensivos: Fundamentos. En D. F. Risso, E. J. Berretta, & A. Morón (Eds.), *Producción y manejo de pasturas: Seminario Técnico INIA Tacuarembó 17-19 de octubre, 1995* (pp. 241-245). INIA.
<http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219240807135431.pdf>
- Carámbula, M. (1996b). *Pasturas naturales mejoradas*. Hemisferio Sur.
- Carámbula, M. (2002-2004). *Pasturas y forrajes*. Hemisferio Sur.
- Carámbula, M. (2008). *Pasturas naturales mejoradas* (2ª ed.). Hemisferio Sur.
- Carámbula, M., Ayala, W., & Carriquiry, E. (1998). Algunos aspectos de manejo de mejoramientos extensivos. En E. J. Berretta (Ed.), *Reunión del Grupo Técnico Regional del Cono Sur en mejoramiento y utilización de los recursos forrajeros del área tropical y sub-tropical: Grupo Campos: Anales* (pp. 45-48). INIA.
<http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219240807103205.pdf>
- Carámbula, M., Carriquiry, E., & Ayala, W. (1994). *Mejoramientos de campo con Lotus subbiflorus cv El Rincón*. INIA.

- Cardozo, G. A. (2019). *Causas y consecuencias de la entrada de nitrógeno por fijación biológica en campo natural* [Tesis de maestría, Universidad de la República]. Colibrí. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/29814>
- Castrillón, A., & Pirez, C. (1987). *Evaluación de la capacidad de instalarse de especies forrajeras en el campo natural con diferentes tratamientos de laboreo* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Ceulemans, T., Merckx, R., Hens, M., & Honnay, O. (2011). A trait based analysis of the role of phosphorus vs nitrogen enrichment in plant species loss across Northwest European grasslands. *Journal of Applied Ecology*, 48(5), 1155-1163. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.02023.x>
- Chebataroff, J. (1969). *Relieve y costas*. Nuestra Tierra.
- Chrtková-Žertová, A. (1968). The variability of critical species of Lotus L. in Iran and in the neighbouring countries II. *Folia Geobotanica & Phytotaxonomica*, 3(1), 99-110.
- Corsi, W. (1978). Clima. En Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger" (Ed.), *Pasturas IV* (pp. 303-317). <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4799/1/miscelanea-18.pdf>
- Del Pino, A., Lezama, F., Pezzani, F., & Parodi, G. (2021). Persistencia de efectos a largo plazo de la fertilización fosfatada y la introducción de leguminosas en pastizales del Uruguay. *AgriScientia*, 38(1), 99-109. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1668-298X2021000100131&script=sci_arttext&tlng=en
- DeMalach, N. (2018). Toward a mechanistic understanding of the effects of nitrogen and phosphorus additions on grassland diversity. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 32, 65-72. <http://doi.org/10.1016/j.ppees.2018.04.003>
- Dengler, J., Chytrý, M., & Ewald, J. (2008). Phytosociology. En S. E. Jørgensen & B. D. Fath (Eds.), *Encyclopedia of ecology* (pp. 2767-2779). Elsevier. <http://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00533-4>
- Díaz, J. E. (1995). *Estudios sobre la producción de forraje estacional y anual de leguminosas forrajeras* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Díaz, P., Borsani, O., & Monza, J. (2005). Lotus related-species and their agronomy importance. En A. J. Márquez (Ed.), *Lotus japonicus handbook* (pp. 25-37). Springer. https://doi.org/10.1007/1-4020-3735-X_2
- Díaz Lago, J., García, J., & Rebuffo, M. (1996). *Crecimiento de leguminosas en La Estanzuela*. INIA.

- Dirección General de Recursos Naturales. (1976). *Descripción de grupos de suelos CO.N.E.A.T.* MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-03/Descripci%C3%B3n%20de%20Grupos%20de%20suelos%20CONEA_T_0.pdf
- Elton, C. S. (1958). *The ecology of invasions by animals and plants*. Springer. <http://doi.org/10.1007/978-1-4899-7214-9>
- Escudero, J., & Morón, A. (1978). *Caracterización de la capacidad de fijación de fósforo de distintos suelos del Uruguay* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibrí. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/24660/1/EscuderoFidanzaJorgeL.%26Mor%c3%b3nYacoelAlejandro.pdf>
- Formoso, F. (1993). *Lotus corniculatus: I. Performance forrajera y características agronómicas asociadas*. INIA. <http://inia.uy/en/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219220807121236.pdf>
- Frame, J., Charlton, J. F. L., & Laidlaw, A. S. (1998). *Temperate forage Legumes*. CABI.
- Gallardo, M. B., Pérez, C., Núñez-Ávila, M., & Armesto, J. J. (2012). Desacoplamiento del desarrollo del suelo y la sucesión vegetal a lo largo de una cronosecuencia de 60 mil años en el volcán Llaima, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 85(3), 291-306. <http://doi.org/10.4067/S0716-078X2012000300004>
- García, J. A. (1992). Persistencia de leguminosas. *Revista INIA de Investigaciones Agronómicas*, 2(1), 143-156. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8843/1/15630031207140751.pdf>
- García, S., Pezzani, F., Rodríguez, A., & Del Pino, A. (2016). Micorrizas en gramíneas nativas: Efecto de la fertilización fosfatada a largo plazo. *Agrociencia (Uruguay)*, 20(1), 7-16. http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482016000100002
- Gibson, D. J. (2009). *Grasses and grassland ecology*. Oxford University Press
- Grant, W. F. (1965). A chromosome atlas and interspecific hybridization index for the genus *Lotus* (leguminosae). *Canadian Journal of Genetic Cytology*, 7, 457-471. <https://doi.org/10.1139/g65-060>

- Guido, A., Vélez-Martin, E., Overbeck, G. E., & Pillar, V. D. (2016). Landscape structure and climate affect plant invasion in subtropical grasslands. *Applied Vegetation Science*, 19(4), 600-610.
<https://doi.org/10.1111/avsc.12263>
- Harpole, W. S., & Tilman, D. (2007). Grassland species loss resulting from reduced niche dimension. *Nature*, 446(7137), 791-793.
<http://doi.org/10.1038/nature05684>
- Hatchondo, J. (1958). Efectos de fertilizantes en campo natural. *Revista de la Asociación de Ingenieros Agrónomos*, 30(103), 18-23.
- Hernández, J., Otegui, O., & Zamalvide, J. P. (1995). *Formas y contenidos de fósforo en algunos suelos del Uruguay*. Facultad de Agronomía.
https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/32661/1/boletin_de_investigacion_1995_43.pdf
- Hernández, S., Rebuffo, M., Arrivillaga, S., Jaurena, M., Labandera, C., Risso, D., & Ciliuti, J. (2005). Evaluación de la interacción genotipo-ambiente en el establecimiento de *Lotus uliginosus* (Schkuhr) mediante cilindros de suelo. *Lotus Newsletter*, 35(1), 120-130.
<http://www.inia.org.uy/sitios/InI/vol35/hernandez2.pdf>
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (s.f.a). *Banco datos agroclimatico*. <http://www.inia.uy/gras/Clima/Banco-datos-agroclimatico>
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (s.f.b). *Lotus angustissimus*.
<https://catalogoforrajas.inia.uy/leguminosas/leguminosas-anuales/lotus-angustissimus/inia-basalto/>
- Instituto Uruguayo de Meteorología. (s.f.). *Tablas estadísticas*.
<https://www.inumet.gub.uy/clima/estadisticas-climatologicas/tablas-estadisticas>
- Jaurena, M., Lezama, F., Salvo, L., Cardozo, G., Ayala, W., Terra, J., & Nabinger, C. (2016). The dilemma of improving native grasslands by overseeding legumes: Production intensification or diversity conservation. *Rangeland Ecology and Management*, 69(1), 35-42.
<https://doi.org/10.1016/j.rama.2015.10.006>

- Koukoura, Z., Kyriazopoulos, A., & Mantzanas, K. (2005). Effects of fertilization on floristic diversity and herbage production in a grazed natural rangeland. En R. Lillak, R. Viiralt, A. Linke, & V. Geherman (Eds.), *Integrating efficient grassland farming and biodiversity* (pp. 307-310). Grassland Science in Europe.
https://www.europeangrassland.org/fileadmin/documents/Infos/Printed_Matter/Proceedings/EGF2005_GSE_vol10.pdf
- Lagler, J. C. (2003). Lotus: Un género que no acaba en dos especies. *Revista Forrajes y Granos*, 62, 72-76.
- Langer, R. H. M. (1981). *Las pasturas y sus plantas*. Hemisferio Sur.
- Ledgard, S. F. (2001). Nitrogen cycling in low input legume-based agriculture, with emphasis on legume/grass pastures. *Plant and Soil*, 228(1), 43-59.
<https://www.jstor.org/stable/42950944>
- Ledgard, S. F., & Steele K. W. (1992). Biological nitrogen fixation in mixed legume/grass pastures. *Plant and Soil*, 141(1-2), 137-153.
<http://doi.org/10.1007/BF00011314>
- Lezama, F., Altesor, A., Pereira, M., & Paruelo, J. M. (2011). Descripción de la heterogeneidad florística de las principales regiones geomorfológicas de Uruguay. En A. Altesor, W. Ayala, & J. M. Paruelo (Eds.), *Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales* (pp. 15-32). INIA.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8812/1/Fpta-26-p.15-32.pdf>
- Lezama, F., & Paruelo, J. M. (2016). Disentangling grazing effects: Trampling, defoliation and urine deposition. *Applied Vegetation Science*, 19(4), 557-566. <http://doi.org/10.1111/avsc.12250>
- MacDonald, H. A. (1946). *Birdsfoot trefoil (Lotus corniculatus L.): Its characteristics and potentialities as a forage legume*. Cornell University.
- Mas, C. (1992). Mejoramientos extensivos: Antecedentes. En C. Mas, M. Carámbula, R. Bermúdez, W. Ayala, & E. Carriquiry (Eds.), *Mejoramientos extensivos en la región este: Resultados experimentales 1991-92* (pp. 1-11). INIA.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4130/1/Mejoramientos-Extensivos-en-la-Region-Este-1992.pdf>

- Millot, J. C. (1991). Manejo del pastoreo y su incidencia sobre la composición botánica y productividad del campo natural. En M. Carámbula, D. Vaz Martins, & E. Indarte (Eds.), *Pasturas y producción animal en áreas de ganadería extensiva* (pp. 68-70). INIA.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8323/1/111219220807115854-p.68-70.pdf>
- Millot, J. C., Risso, D., & Methol, R. (1987). *Relevamiento de pasturas naturales y mejoramientos extensivos en áreas de ganadería extensiva*. MAP.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/6305/1/Relevamiento-de-pasturales-y-mejora-extensivos-en-areas-ganad-del-Urug-Millot-1987ainfo-incompleto.pdf>
- Modernel, P., Rossing, W. A., Corbeels, M., Dogliotti, S., Picasso, V., & Tiftonell, P. (2016). Land use change and ecosystem service provision in Pampas and Campos grasslands of southern South America. *Environmental Research Letters*, 11, Artículo e113002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/11/113002>
- Montossi, F. (1996). El valor nutricional de los taninos condensados en el género Lotus. En D. F. Risso, E. J. Berretta, & A. Morón (Eds.), *Producción y manejo de pasturas: Seminario Técnico INIA Tacuarembó 17-19 de octubre, 1995* (pp. 107-111). INIA.
<http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219240807135431.pdf>
- Montossi, F., Pigurina, G., Santamarina, I., & Berretta, E. (2000). *Selectividad animal y valor nutritivo de la dieta de ovinos y vacunos en sistemas ganaderos: Teoría y práctica*. INIA.
<http://inia.uy/en/Publicaciones/Documentos%20compartidos/15630081007130656.pdf>
- Morón, A. (1996). El fósforo en los sistemas productivos: Dinámica y disponibilidad en el suelo. En E. J. Berretta, A. Morón, & D. F. Risso (Eds.), *Producción y manejo de pasturas: Seminario Técnico INIA Tacuarembó 17-19 de octubre, 1995* (pp. 33-40). INIA.
<http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219240807135431.pdf>
- Null, D. E., & Wheaton, H. N. (1993). *Birdsfoot trefoil*. University of Missouri Extension.

- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2011). *Censo general agropecuario 2011: Resultados definitivos*. MGAP. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-02/censo2011.pdf>
- Olmos, F. (1992). *Aportes para el manejo de campo natural: Efecto de la carga animal y el período de descanso en la producción y evolución de un campo natural de Caraguatá (Tacuarembó)*. INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2923/1/15630191107130926.pdf>
- Olmos, F. (2004). Trébol blanco. En F. Olmos (Ed.), *Factores que afectan la persistencia y productividad de pasturas mejoradas con Trébol blanco (Trifolium repens L.)* (pp. 13-52). INIA. <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/11309021107123418.pdf>
- Olmos, F., Franco, J., & Sosa, M. (2005). Impacto de las prácticas de manejo en la productividad y diversidad de pasturas naturales. En R. Gómez Miller & M. M. Albicette (Eds.), *Seminario de Actualización Técnica en Manejo de Campo Natural* (pp. 93-104). INIA. <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/15630021107142110.pdf>
- Pallarés, O. R., & Pizzio, R. M. (1998). Introducción de especies para el mejoramiento del campo natural en el sur de Corrientes-Argentina. En E. J. Berretta (Ed.), *Reunión del Grupo Técnico Regional del Cono Sur en mejoramiento y utilización de los recursos forrajeros del área tropical y subtropical: Grupo Campos: Anales* (pp. 31-38). INIA. <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219240807103205.pdf>
- Panario, D. (1988). *Geomorfología del Uruguay*. Facultad de Humanidades y Ciencias. https://www.researchgate.net/publication/267210334_Geomorfologia_del_Uruguay_Propuesta_de_un_marco_estructural_y_un_esquema_de_evolucion_del_modelado_del_relieve_uruguayo

- Panario, D., Gutiérrez, O., Achkar, M., Bartesaghi, L., & Ceroni, M. (2015). Clasificación y mapeo de ambientes de Uruguay. En A. Brazeiro (Ed.), *Eco-Regiones de Uruguay: Biodiversidad, presiones y conservación: Aportes a la estrategia nacional de biodiversidad* (pp. 32-45). Facultad de Ciencias; CIEDUR; Vida silvestre; SZU.
https://www.researchgate.net/profile/Juan-Andres-Martinez-Lanfranco/publication/309313328_Mapeo_de_la_biodiversidad_de_Uruguay/links/580a3ed908ae74852b530147/Mapeo-de-la-biodiversidad-de-Uruguay.pdf
- Pañella, P. G., Cardozo, G., Cuadro, R., Reyno, R., & Lezama, F. (2020). La fertilización fosforada disminuye la riqueza y aumenta el número de especies exóticas de plantas en pastizales intersembrados con leguminosas. *Ecología Austral*, 30(3), 354-365.
<https://doi.org/10.25260/EA.20.30.3.0.1063>
- Paruelo, J. M., Guerschman, J. P., Piñeiro, G., Jobbágy, E. G., Verón, S. R., Baldi, G., & Baeza, S. (2006). Cambios en el uso de la tierra en Argentina y Uruguay: Marcos conceptuales para su análisis. *Agrociencia (Uruguay)*, 10(2), 42-62. <http://doi.org/10.31285/AGRO.10.929>
- Paruelo, J. M., Oyarzabal, M., & Oesterheld, M. (2011). El seguimiento de los recursos forrajeros mediante sensores remotos: Bases y aplicaciones. En A. Altesor, W. Ayala, & J. M. Paruelo (Eds.), *Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales* (pp. 135-146). INIA.
<http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/18429020511100111.pdf>
- Pinto, J., Borba, M., & Genero, T. (2004). Manejo de la pastura natural: Una forma de sustentabilidad del ecosistema en campos del Sur de Brasil. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Reunión del Grupo Técnico Regional del Cono Sur en mejoramiento y utilización de los recursos forrajeros del área tropical y subtropical: Grupo Campos: Sustentabilidad, desarrollo y conservación de los ecosistemas: Memorias* (pp. 39-46).
- Rajaniemi, T. K. (2002). Why does fertilization reduce plant species diversity? Testing three competition-based hypotheses. *Journal of Ecology*, 90(2), 316-324. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2001.00662.x>
- Risso, D. F. (1990). Efecto de la densidad de siembra y fertilización inicial en el comportamiento de tres leguminosas sembradas en cobertura. En // *Seminario Nacional de Campo Natural* (pp. 243-247). Hemisferio Sur.

- Risso, D. F. (1998). Mejoramientos extensivos en el Uruguay. En E. J. Berretta (Ed.), *Reunión del Grupo Técnico Regional del Cono Sur en mejoramiento y utilización de los recursos forrajeros del área tropical y subtropical: Grupo Campos: Anales* (pp. 23-28). INIA.
<http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219240807103205.pdf>
- Rodríguez, C., Leoni, E., Lezama, F., & Altesor, A. (2003). Temporal trends in species composition and plant traits in natural grasslands of Uruguay. *Journal of Vegetation Science*, 14(3), 433-440.
<http://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2003.tb02169.x>
- Rodríguez Palma, R. (1998). *Fertilización nitrogenada de un pastizal de la Pampa deprimida: Crecimiento y utilización del forraje bajo el pastoreo de vacunos* [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Mar del Plata.
- Rodríguez Palma, R., Rodríguez, T., Andión, J., & Vergnes, P. (2008). Fertilización de campo natural: Respuesta en producción de forraje. En W. Ayala, F. Lezama, E. Barrios, M. Bemhaja, H. Saravia, D. Formoso, & P. Boggiano (Eds.), *Reunión del Grupo Técnico en Forrajeras del Cono Sur: Grupo campos: Bioma campos: Innovando para mantener su sustentabilidad y competitividad: Memorias* (p. 197-198). INIA.
- Rodríguez Palma, R., Saldanha, S., Andión, J., & Vergnes, P. (2004). Fertilización nitrogenada de un campo natural de Basalto: I. Producción de forraje. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Reunión del Grupo Técnico Regional del Cono Sur en mejoramiento y utilización de los recursos forrajeros del área tropical y subtropical: Grupo campos: Sustentabilidad, desarrollo y conservación de los ecosistemas: Memorias* (pp. 298-299).
- Rosengurtt, B. (1944). Las formaciones campestres y herbáceas del Uruguay. *Agros*, 7(134), 1-45.
- Rovira, J. (2008). *Manejo nutritivo de los rodeos de cría en pastoreo*. Hemisferio Sur.
- Scaglia, G. (1995). Aspectos nutricionales en el uso de los mejoramientos. En M. Carámbula, W. Ayala, & G. Scaglia (Eds.), *Mejoramientos extensivos: Manejo y utilización* (pp. 19-25). INIA.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/10887/1/Ad-75.pdf>
- Schwinning, S., & Parsons, A. J. (1996). Analysis of the coexistence mechanisms for grasses and legumes in grazing systems. *Journal of Ecology*, 84(6), 799-813.

- Seaney, R. R., & Henson, P. R. (1970). Birdsfoot trefoil. *Advances in Agronomy*, 22, 119-157. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60267-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60267-9)
- Sheath, G. W. (1980). Effects of season and defoliation on the growth habit of Lotus Pedunculatus Cav. cv. Grassland Mak. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 23(2), 191-200. <https://doi.org/10.1080/00288233.1980.10430786>
- Smetham, M. L. (1981). Especies y variedades de leguminosas forrajeras. En R. H. L. Langer (Ed.), *Las pasturas y sus plantas* (pp. 97-147). Hemisferio Sur.
- Soriano, A. (1991). Río De Plata Grasslands. En R. T. Coupland (Ed.), *Natural grasslands: Introduction and western hemisphere* (pp. 367-408). Elsevier.
- Tälle, M., Deák, B., Poschlod, P., Valkó, O., Westerberg, L., & Milberg, P. (2016). Grazing vs. mowing: A meta-analysis of biodiversity benefits for grassland management. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 222, 200-212. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.02.008>
- Tilman, D. (2004). Niche tradeoffs, neutrality, and community structure: A stochastic theory of resource competition, invasion, and community assembly. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(30), 10854-10861. <https://doi.org/10.1073/pnas.0403458101>
- Tognetti, P. M., Prober, S. M., Báez, S., Chaneton, E. J., Firn, J., Risch, A. C., Schuetz, M., Simonsen A. K., Yahdjian L., Borer E. T., Seabloom E. W., Arnillas, C. A., Bakker, J. D., Brown, C. S., Cadotte, M. W., Caldeira, M. C., Daleo, P., Dwyer J. M., Fay, P. A., ... Sankaran, M. (2021). Negative effects of nitrogen override positive effects of phosphorus on grassland legumes worldwide. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(28), Artículo e2023718118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2023718118>
- Vidiella, J. C. (1972). *Evaluación de métodos de mejoramiento de campo natural y su respuesta a la fertilización fosfatada* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República
- Vignolio, O. R., Fernández, O. N., & Maceira, N. O. (2002). Biomass allocation to vegetative and reproductive organs in Lotus glaber and L. corniculatus (Fabaceae). *Australian Journal of Botany*, 50(1), 75-82. <http://dx.doi.org/10.1071/BT01012>

- Virkajärvi, P., Sairanen, A., Nousiainen, J. I., Khalili, H. (2004). *Growth and utilization of Timothy-Meadow fescue pastures* [Disertación doctoral]. University of Helsinki.
<https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/f6a65530-5671-401d-ba6a-0b6e080ada37/content>
- Zamalvide, J. (1998). Fertilización de pasturas. En E. J. Berretta (Ed.), *Reunión del Grupo Técnico Regional del Cono Sur en mejoramiento y utilización de los recursos forrajeros del área tropical y subtropical: Grupo Campos: Anales* (pp. 97-108). INIA.
<http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219240807103205.pdf>
- Zanoniani, R. (1998). *Mejoramiento y manejo de bajos*. Plan Agropecuario.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/3854/1/Cartilla-13-INIA-Plan-1998.pdf>
- Zanoniani, R., & Ducamp, F. (2004). Leguminosas forrajeras del género *Lotus* en el Uruguay. *Cangüé*, (25), 5-11.
http://www.eemac.edu.uy/cangué/joomdocs/Cangué_25/5-11.pdf

8. Anexos

Anexo A

Tabla A1

Cuadro de los valores de fósforo ($\mu\text{g P/g}$) por método de análisis cítrico y valores de pH (H_2O) por tratamiento y por año.

Tratamiento	2016		2017		2018		2019	
	pH (H ₂ O)	Cítrico $\mu\text{g P/g}$	pH (H ₂ O)	Cítrico $\mu\text{g P/g}$	pH (H ₂ O)	Cítrico $\mu\text{g P/g}$	pH (H ₂ O)	Cítrico $\mu\text{g P/g}$
CN					5,5	6,1	5,4	3,9
CN+P	5,6	15,4	5,6	11,0	5,5	10,5	5,4	13,0
Gemma	5,5	9,6	5,7	9,0	5,5	10,5	5,4	18,0
LE 304	5,4	8,3	5,6	7,7	5,5	8,8	5,3	12,6
Rigel	5,5	8,4	5,6	8,4	5,5	8,1	5,4	13,9

Tabla A2

Cuadro de los valores de fósforo ($\mu\text{g P/g}$) por método de análisis cítrico y valores de pH (H_2O) por año y tratamiento agrupando los de intersemebra de leguminosas.

Tratamiento	2016		2017		2018		2019	
	pH (H ₂ O)	Cítrico $\mu\text{g P/g}$	pH (H ₂ O)	Cítrico $\mu\text{g P/g}$	pH (H ₂ O)	Cítrico $\mu\text{g P/g}$	pH (H ₂ O)	Cítrico $\mu\text{g P/g}$
CN					5,5	6,1	5,4	3,9
CN+P	5,6	15,4	5,6	11,0	5,5	10,5	5,4	13,0
Intersiembras leguminosas	5,5	8,8	5,6	8,4	5,5	9,2	5,4	14,8

Anexo B*Especies relevadas y su caracterización.*

Especie	Tipo vegetativo	Ciclo de vida	Origen	Gramínea	Leguminosa
Acmeila decumbens	Perenne	Estival	Nativa		
Adesmia bicolor	Perenne	Invernal	Nativa		*
Agrostis montevidensis	Perenne	Invernal	Nativa	*	
Andropogon ternatus	Perenne	Estival	Nativa	*	
Anthraenantia lanata	Perenne	Estival	Nativa	*	
Aristida murina	Perenne	Estival	Nativa	*	
Aristida uruguayensis	Perenne	Estival	Nativa	*	
Aristida venustula	Perenne	Estival	Nativa	*	
Asclepias mellodora	Perenne	Estival	Nativa		
Axonopus fissifolius	Perenne	Estival	Nativa	*	
Baccharis coridifolia	Perenne	Estival	Nativa		
Baccharis spicata	Perenne	Estival	Nativa		
Baccharis trimera	Perenne	Estival	Nativa		
Bothriochloa imperatoides	Perenne	Estival	Nativa	*	
Bothriochloa laguroides	Perenne	Estival	Nativa	*	
Bouchetia anomala	Perenne	Estival	Nativa		
Briza minor	Anual	Invernal	Nativa	*	
Bromidium tandilense	Anual	Invernal	Nativa	*	
Bromus auleticus	Perenne	Invernal	Nativa	*	
Buchnera longifolia	Perenne	Invernal	Nativa		
Bulbostylis sp.	Perenne	Invernal	Nativa		
Carex bonariensis	Perenne	Invernal	Nativa		
Carex phalaroides	Perenne	Invernal	Nativa		
Carex sp.	Perenne	Invernal	Nativa		
Cerastium glomeratum	Anual	Invernal	Exótica		

Chaptalia piloselloides	Perenne	Invernal	Nativa		
Chascolytrum brizoides	Perenne	Invernal	Nativa	*	
Chascolytrum subaristatum	Perenne	Invernal	Nativa	*	
Chevreulia sarmentosa	Perenne	Invernal	Nativa		
Cinnagrostis alba	Perenne	Invernal	Nativa	*	
Cirsium vulgare	Anual	Invernal	Exótica		
Clara ophiopogonoides	Perenne	Invernal	Nativa		
Commelina erecta	Perenne	Estival	Nativa	*	
Conyza bonariensis	Anual	Estival	Nativa		
Conyza primulifolia	Perenne	Estival	Nativa		
Cuphea glutinosa	Perenne	Estival	Nativa		
Cyclospermum leptophyllum	Anual	Invernal	Nativa		
Cypella sp.	Perenne	Invernal	Nativa		
Cyperus sp.	Perenne	Estival	Nativa		
Danthonia cirrata	Perenne	Invernal	Nativa		
Desmanthus virgatus	Perenne	Estival	Nativa		*
Dichondra sericea	Perenne	Estival	Nativa		
Dorstenia brasiliensis	Perenne	Estival	Nativa		
Eleocharis sp.	Perenne	Estival	Nativa		
Eragrostis lugens	Perenne	Estival	Nativa	*	
Eryngium echinatum	Perenne	Invernal	Nativa		
Eryngium nudicaule	Perenne	Invernal	Nativa		
Eustachys paspaloides	Perenne	Estival	Nativa		
Evolvulus sericeus	Perenne	Estival	Nativa		
Facelis retusa	Anual	Invernal	Nativa		
Festuca australis	Anual	Invernal	Nativa	*	
Galactia australis	Perenne	Invernal	Nativa		*
Galactia marginalis	Perenne	Invernal	Nativa		*

Galium richardianum	Perenne	Invernal	Nativa		
Gamochaeta americana	Perenne	Invernal	Nativa		
Gamochaeta sp.		Invernal	Nativa		
Gaudinia fragilis	Anual	Invernal	Exótica	*	
Geranium sp.	Anual	Invernal	Exótica		
Heimia salicifolia	Perenne	Estival	Nativa		
Herbertia lahue	Perenne	Estival	Nativa		
Hybanthus nanus	Perenne	Estival	Nativa		
Hydrocotyle exigua	Perenne	Estival	Nativa		
Hypochaeris albiflora	Perenne	Invernal	Nativa		
Hypochaeris sp.	Perenne	Invernal	Nativa		
Jarava plumosa	Perenne	Invernal	Nativa	*	
Juncus capillaceus	Perenne	Estival	Nativa		
Juncus imbricatus	Perenne	Estival	Nativa		
Leguminosa anual	Anual	Invernal	Exótica		*
Lepidium aletes	Anual	Invernal	Exótica		
Lolium multiflorum	Anual	Invernal	Exótica	*	
Lotus angustissimus	Anual	Invernal	Exótica		*
Lotus corniculatus	Perenne	Estival	Exótica		*
Lotus pedunculatus	Perenne	Estival	Exótica		*
Lotus pedunculatus (gemma)	Perenne	Estival	Exótica		*
Melica sp.	Perenne	Invernal	Nativa	*	
Micropsis spathulata	Anual	Invernal	Nativa		
Mnesithea selloana	Perenne	Estival	Nativa	*	
Nassella neesiana	Perenne	Invernal	Nativa	*	
Nothoscordum sp.	Perenne	Invernal	Nativa		
Nuttallanthus canadensis	Anual	Invernal	Etica		
Panicum bergii	Perenne	Estival	Nativa	*	

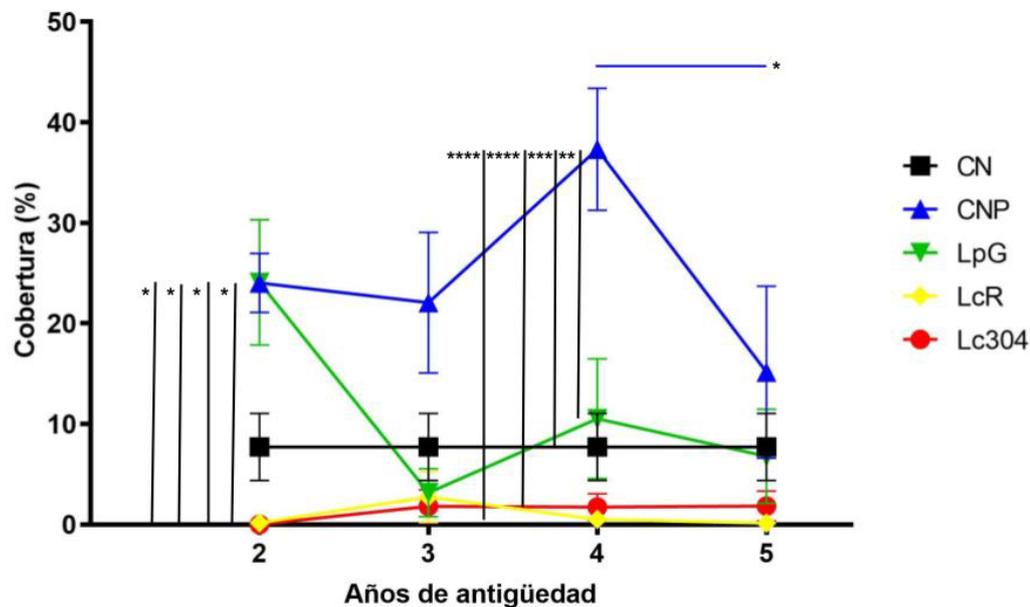
Paspalum dilatatum	Perenne	Estival	Nativa	*	
Paspalum notatum	Perenne	Estival	Nativa	*	
Paspalum plicatulum	Perenne	Estival	Nativa	*	
Pfaffia gnaphaloides	Perenne	Estival	Nativa		
Pfaffia tuberosa	Perenne	Estival	Nativa		
Phalaris sp.	Anual	Invernal	Nativa	*	
Picrosia longifolia	Perenne	Invernal	Nativa		
Piptochaetium montevidense	Perenne	Invernal	Nativa	*	
Piptochaetium sp.	Perenne	Invernal	Nativa	*	
Piptochaetium stipoides	Perenne	Invernal	Nativa	*	
Plantago myosurus	Anual	Invernal	Nativa		
Plantago tomentosa	Perenne	Invernal	Nativa		
Poa lanigera	Perenne	Invernal	Nativa	*	
Podocoma hirsuta	Perenne	Estival	Nativa		
Polygala duarteana	Perenne	Invernal	Nativa		
Polygala pulchella	Perenne	Invernal	Nativa		
Pterocaulon polystachyum	Perenne	Estival	Nativa		
Pterocaulon sp.	Perenne	Estival	Nativa		
Rhynchosia sp.	Perenne	Estival	Nativa		*
Richardia humistrata	Perenne	Estival	Nativa		
Richardia stellaris	Perenne	Estival	Nativa		
Schizachyrium microstachyum	Perenne	Estival	Nativa	*	
Schizachyrium spicatum	Perenne	Estival	Nativa	*	
Scutellaria racemosa	Perenne	Estival	Nativa		
Setaria parviflora	Perenne	Estival	Nativa	*	
Setaria vaginata	Perenne	Estival	Nativa	*	

Silene gallica	Anual	Invernal	Exotica		
Sisyrinchium micranthum	Perenne	Invernal	Nativa		
Sisyrinchium pachyrhizum	Perenne	Invernal	Nativa		
Solidago chilensis	Perenne	Estival	Nativa		
Soliva sessilis	Anual	Invernal	Nativa		
Sporobolus indicus	Perenne	Estival	Nativa	*	
Steinchisma hians	Perenne	Estival	Nativa	*	
Stemodia verticillata	Anual	Invernal	Nativa		
Stenandrium dulce	Perenne	Estival	Nativa		
Stylosanthes leiocarpa	Perenne	Estival	Nativa		*
Symphyotrichum squamatum	Perenne	Estival	Nativa		*
Tragia geraniifolia	Perenne	Estival	Nativa		
Trifolium polymorphum	Perenne	Invernal	Nativa		*
Trifolium sp.		Invernal	Nativa		*
Verbena gracilescens	Perenne	Estival	Nativa		
Verbena montevidensis	Perenne	Estival	Nativa		
Wahlenbergia linaroides	Perenne	Invernal	Nativa		

Anexo C*Cortes de forraje realizados en el experimento.*

		a5	a4	a3	a2		
Fecha	Días	Cortes	Cortes	Cortes	Cortes		Referencias
29-sept-16	120	1					Año 1
17-nov-16	49	2					Año 2
21-dic-16	34	3					Año 3
8-feb-17	49	4					Año 4
21-mar-17	41	5					Año 5
6-jul-17	107	6					Año 6
19-sept-17	75	7	1 (11-oct-17)				
14-nov-17	56	8	2 (29-nov-17)				
27-dic-17	43	9	3 (4-ene18)				
8-jun-18	163	10	4 (155 días)				
4-oct-18	118	11	5	1			
15-nov-18	42	12	6	2			
19-dic-18	34	13	7	3			
20-feb-19	63	14	8	4			
16-may-19	85	15	9	5			
14-ago-19	90	16	10	6			
10-oct-19	57	17	11	7			
21-nov-19	42	18	12	8	1		
27-dic-19	36	19	13	9	2		
29-ene-20	33	20	14	10	3		
21-abr-20	83	21	15	11	4		
15-sept-20	146	22	16	12	5		
28-oct-20	43	23	17	13	6		
21-dic-20	54	24	18	14	7		
9-mar-21	78	25	19	15	8		
13-jul-21	126	26	20	16	9		
28-sept-21	77	27	21	17	10		

Anexo D

Cobertura de *Lotus angustissimus*

La cobertura de *Lotus angustissimus*, especie anual de presencia muy importante en el experimento, varió por el efecto del tratamiento, y por la interacción del factor antigüedad con el tratamiento, mientras que no lo hizo por el factor antigüedad (tabla N° 2 ANOVA). Hallándose DS en A2 entre: CNP y LcR ($p=0,0132$), LpG y LcR ($p=0,0128$), Lc304 y CNP ($p=0,0119$), y Lc304 y LpG ($p=0,0115$). En A4 se encontraron diferencias entre: CNP y LpG ($p=0,0025$), CN y CNP ($p=0,0005$), Lc304 y CNP ($p=<0,0001$), y CNP y LcR ($p=<0,0001$). El único tratamiento que tuvo DS entre distintas antigüedades fue CNP, entre A4 y A5 ($p=0,0316$). Siendo la cobertura de *Lotus angustissimus* promedio entre años de: CNP 24,65%, LpG 11,14%, CN 7,72%, Lc304 1,35%, LcR 0,90%.

Anexo E*Productividad promedio de cada tratamiento según año de antigüedad*

	A2 (KgMS)	A3 (KgMS)	A4 (KgMS)	A5 (KgMS)
CN	3652	3543	2598	1930
CN+P	4408	4309	3265	2693
INIA Gemma	5667	5356	3810	2987
INIA Rigel	6844	7454	4656	3321
LE304-C1- 24	7755	8132	5707	4275
Total general	5665	5759	4007	3041

Anexo F

Fertilización acumulada de los tratamientos con intersembras de Lotus y fertilización fosfatada

Año de instalación	Kg de fertilizante/ha
2016	450
2017	300
2018	300
2019	173