



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

TESIS DE MAGÍSTER EN CIENCIAS AGRARIAS

Fertilización nitroazufrada en verdes invernales
puros y consociados con vicias y efectos sobre el suelo

Germán Pablo Balbarrey

Bahía Blanca, Argentina

2009

Prefacio

Esta Tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Magíster en Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional del Sur y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el ámbito del Departamento de Agronomía y la Agencia de Extensión Rural INTA Coronel Rosales perteneciente a la Estación Experimental Agropecuaria Bordenave en el período 2006-2009, bajo la dirección de la Ingeniera Agrónoma (Mg.) María de las Mercedes Ron y la supervisión del Ingeniero Agrónomo (Mg.) Tomás Loewy de la EEA INTA Bordenave.

.....

Germán Pablo Balbarrey



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

Secretaría General de Posgrado y Educación Continua

La defensa oral de la presente tesis ha sido aprobada el día (...../...../.....) mereciendo la calificación de (.....)

Dedicatoria

A mi esposa Gianina y mi hijo Francisco

Agradecimientos

Con la satisfacción de una etapa cumplida y por el camino compartido deseo expresar mi agradecimiento a:

- Mi familia y en especial a mis viejos por su compañía, comprensión y aliento.
- María de las Mercedes Ron y Tomás Loewy por la oportunidad que me brindaron de aprender junto a ellos, la confianza que depositaron en mí, su paciencia y generosidad.
- Silvina Bracamonte por su comprensión y acompañamiento día a día.
- Jorge Orazi y familia por abrirme la tranquera y acompañarme en todo momento. Gracias por las enseñanzas de la vida rural.
- José y Mara Aicega por permitirme trabajar en su campo, aún en tiempos complicados para la familia rural.
- Rodrigo Fernández, Santiago Venanzi, Nelson Gibelli, Josefina Zilio y Emanuel Lageyre que desde su amistad supieron facilitarme el camino.
- Liliana Gallez, Alicia Morant, Hugo Kruger, Juan Galantini, Martín Arzadún, Eduardo Campi, Aníbal Fernández Mayer y Daniel Larrea por su atención y apoyo.
- María Isabel Cuevas de Puricelli y Marino Puricelli por su ayuda y estímulo aún en momentos tan difíciles para su familia.
- Jorge Carrizo y Héctor Pelta por mostrarme la amplitud de nuestra profesión. Gracias por su confianza y estímulo.
- Fernando Giménez y Juan Carlos Tomaso por su permanente asistencia y sugerencias.
- Roberto Macagno e integrantes del grupo CREA *Ventania* por sus aportes.
- Juan Rochon, Rubén Giménez, Marcelo Kinter, Mario González y Sergio Sardiña por su ayuda en los trabajos de campo de Bordenave.

- Mario Enrique, Josefina Marinissen y Marisa Gómez por su asesoría en el desarrollo de esta tesis.
- María de los Angeles Braun, Andrea Fibiger, Elisabet Ferlan, Graciela Kinder, Gastón Telez, Ariel Rollhauser, Grisela Fibiger, Yamila Bascal y Zulma Rivas, compañeros de Secretaría y Administración de la EEA Bordenave por facilitarme la actividad laboral durante este periodo de capacitación.
- A mis compañeros del Área de Extensión de la EEA Bordenave por sus opiniones y sugerencias que enriquecieron este trabajo.
- María Ester Mandolesi y Aldana Lucchi del D^{to} de Agronomía, y Mónica Tulesi, Daniela Gómez, Miguel Giménez y Julieta Calzada de la EEA INTA Bordenave por su colaboración en las determinaciones analíticas.
- Al Departamento de Agronomía de la UNS por haberme permitido realizar mis estudios y al INTA por las facilidades para la concreción de este trabajo.

Financiamiento

Esta tesis fue generada con fondos de:

- Programa de capacitación de posgrado del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), aprobados por resolución 513/04 y disposición 88/07 del Consejo Directivo.
- Proyecto "Mejora de la competitividad y sustentabilidad de los sistemas mixtos ganadero agrícolas en el área del CERBAS" (BASUR 09). Centro Regional Buenos Aires Sur, INTA.
- Proyectos Grupo de Investigación (PGI) "Gestión de nutrientes en suelos y cultivos del sur de la provincia de Buenos Aires" (24/A175). Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur.

Índice general

Contenido	Pag.
PREFACIO	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
FINANCIAMIENTO	VI
ÍNDICE GENERAL	VII
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS	XVI
ORGANIZACIÓN DE LA TESIS	XIX
RESUMEN	XX
SUMMARY	XXII
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
CAPÍTULO 1: RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN NITROAZUFRA DA EN VERDEOS INVERNALES PUROS Y CONSOCIADOS CON VICIA; EFECTOS SOBRE COMPOSICIÓN BOTÁNICA.	4
Resumen	4
Palabras Claves	5
Introducción	6
La consociación de cereales de invierno y vicias	6
Fertilización en verdeos invernales puros y consociados con vicia	9
Objetivos	9
Nitrógeno	9
Azufre	11
Hipótesis	13
Objetivos	13
Materiales y métodos	13
Sitios experimentales	13
Ubicación	13

VIII

Descripción climatológica	14
Características de paisaje y edáficas	15
Características de los ensayos de campo	16
Insumos y equipamientos utilizados	16
Diseño experimental	16
Número y dimensiones de unidades experimentales	18
Aspectos de manejo y determinaciones de productividad	18
Análisis estadístico	20
Resultados	22
Bajo Hondo	22
Producción acumulada de forraje	22
Partición en gramíneas y leguminosas en la producción acumulada de forraje	24
Comparación de producción acumulada de vicias y de avenas de las consociaciones en cada nivel de fertilización	26
Tasas de crecimiento entre evaluaciones sucesivas de los tratamientos	26
Bordenave	29
Producción acumulada de forraje	29
Partición en gramíneas y leguminosas en la producción acumulada de forraje	30
Comparación de producción acumulada de vicias y de avenas de las consociaciones en cada nivel de fertilización	32
Tasas de crecimiento entre evaluaciones sucesivas en los tratamientos	33
Discusión	36
Conclusiones e implicancias	39
Referencias	40
CAPITULO 2: CALIDAD NUTRICIONAL DEL FORRAJE EN VERDEOS DE AVENA PURA Y CONSOCIADA CON VICIAS; EFECTOS DE LA FERTILIZACIÓN NITROAZUFRA	47
Resumen	47
Palabras Claves	48
Introducción	49
Variables de calidad nutricional forrajera y su interrelación en cereales forrajeros y vicia	49

El nitrógeno	49
Los carbohidratos no estructurales solubles	51
Relación entre N y CNES	52
Contenido de fibra detergente neutro y digestibilidad "in vitro"	53
El azufre	54
Calidad nutricional de forrajes de consociaciones	55
Cambios inducidos en el forraje por fertilización con N y S	56
Restricciones de calidad para la producción animal	57
Hipótesis	59
Objetivos	59
Materiales y métodos	59
Ensayo	59
Análisis estadístico	62
Resultados	64
Análisis preliminar de las variables estudiadas	64
Asociación de tratamientos y relación entre variables	66
Efecto de la fertilización en avena	67
Calidad nutricional de los componentes de la consociación	69
Efecto del factor corte en avena y consociaciones	70
Efectos de la participación avena-vicia en las consociaciones	71
Comparación entre avena fertilizada con N y verdeos de avena-vicia sin fertilizar	73
Discusión	74
Asociación de tratamientos y relación entre variables	76
Efecto de la fertilización en avena	77
Calidad nutricional de los componentes de la consociación	79
Efecto del factor corte	80
Efectos de la participación avena-vicia en las consociaciones	81

Comparación entre avena fertilizada con N y verdes de avena-vicia sin fertilizar	82
Conclusiones e implicancias	83
Referencias	84
CAPITULO 3: EFECTOS DE LA FERTILIZACIÓN EN AVENA Y DE LA CONSOCIACIÓN CON VICIAS SOBRE VARIABLES EDÁFICAS	93
Resumen	93
Palabras claves	94
Introducción	94
Hipótesis	97
Objetivos	98
Materiales y métodos	98
Ensayos	98
Análisis estadístico	102
Resultados	104
Nitrógeno inorgánico en Bajo Hondo	104
Nitrógeno inorgánico en Bordenave	108
Azufre extraíble en Bajo Hondo	110
Fracción de carbono lábil en Bajo Hondo	111
Estudio de raíces de vicias en Bajo Hondo	111
Discusión	113
Nitrógeno inorgánico	113
Azufre extraíble	117
Carbono lábil	117
Nodulación temprana en vicias	118
Conclusiones e implicancias	119
Referencias	120
CAPITULO 4: INTEGRACIÓN DE CONTENIDOS	126
Resumen	126

Introducción	128
Objetivos	129
Materiales	129
Metodología	130
Resultados y discusión	131
A) Complementación cereal-vicia en la utilización de recursos ambientales	131
B) Tasas de acumulación de N y S en biomasa aérea	132
C) Eficiencias y requerimientos	135
D) Balance global de N	135
E) Producción, distribución y costo de la proteína bruta en Bajo Hondo	136
Conclusiones	138
Referencias	139
CONCLUSIONES GENERALES	141
A) Consideraciones técnicas y productivas	141
B) Contribución global a los sistemas productivos	143

Índice de tablas

Contenido	Pag.
Tabla 1.1: Precipitaciones mensuales y anual (mm) en los sitios experimentales, durante el año 2007.	15
Tabla 1.2: Niveles de los factores cultivos y fertilización que definen los 30 tratamientos y su notación.	17
Tabla 1.3: Fechas de siembra, de evaluación de forraje y duración de períodos de crecimiento para ambos sitios experimentales durante 2007.	19
Tabla 1.4: Grupos de tratamientos de fertilización comparados por contrastes ortogonales. Notación ver Tabla 1.2.	21
Tabla 1.5: Producción total de forraje (kg MS ha ⁻¹) en Bajo Hondo según cultivo y nivel de fertilización. Notación ver Tabla 1.2.	23
Tabla 1.6: Comparación en Bajo Hondo de la producción total de forraje (kg MS ha ⁻¹) en grupos de tratamientos de fertilización por contrastes ortogonales en cada cultivo. Detalle de efecto y notación de cultivos ver Tabla 1.4 y Tabla 1.2, respectivamente.	24
Tabla 1.7: Modelos de regresión en Bajo Hondo de la producción total de forraje (PT) en kg MS ha ⁻¹ en función de la fertilización nitroazufrada para los tres cultivos. Notación ver Tabla 1.2.	24
Tabla 1.8: Producción de forraje particionada entre gramíneas y leguminosas (kg MS ha ⁻¹) en Bajo Hondo. Prueba de DMS por componente y prueba de Hotelling para comparación bivariada de medias. Coeficiente de correlación de Pearson entre componentes. Notación ver Tabla 1.2.	25
Tabla 1.9: Comparación de producción acumulada de forraje (kg MS ha ⁻¹) en los componentes vicia y avena de las consociaciones en Bajo Hondo. Notación ver Tabla 1.2.	26
Tabla 1.10: Tasas de acumulación diaria de materia seca (kgMS ha ⁻¹ día ⁻¹) según cultivo y fertilización en cada periodo de crecimiento y global, en Bajo Hondo. Notación ver Tabla 1.2.	27
Tabla 1.11: Producción total de forraje (kg MS ha ⁻¹) en Bordenave según cultivo y nivel de fertilización. Notación ver Tabla 1.2.	29
Tabla 1.12: Comparación en Bordenave de la producción total de forraje (kg MS ha ⁻¹) en grupos de tratamientos de fertilización por contrastes ortogonales en Centeno. Detalle de efecto ver Tabla 1.4.	30

Tabla 1.13: Regresión en Bordenave de la producción total de forraje (PT) en kg MS ha ⁻¹ en función de la fertilización nitroazufrada en centeno. Notación ver Tabla 1.2.	30
Tabla 1.14: Producción de forraje particionada entre gramíneas y leguminosas (kg MS ha ⁻¹) en Bordenave. Prueba de DMS por componente y prueba de Hotelling para comparación bivariada de medias. Coeficiente de correlación de Pearson entre componentes. Notación ver Tabla 1.2.	31
Tabla 1.15: Comparación de producción acumulada de forraje (kg MS ha ⁻¹) en los componentes vicias y cereales de las consociaciones en Bordenave. Notación ver Tabla 1.2.	33
Tabla 1.16: Tasas de acumulación diaria de materia seca (kg MS ha ⁻¹ día ⁻¹), en cada periodo de crecimiento y globales, según cultivo y fertilización de centeno puro y consociado en Bordenave. Notación ver Tabla 1.2.	34
Tabla 1.17: Tasas de acumulación diaria de materia seca (kg MS ha ⁻¹ día ⁻¹) según cultivo y fertilización en el segundo periodo de crecimiento de avenas puras y consociadas en Bordenave. Notación ver Tabla 1.2.	34
Tabla 2.1: Número de muestras y notación para calidad nutricional de tratamientos y de componentes de las mezclas en tratamientos consociados.	61
Tabla 2.2: Expresión y métodos de determinación de las variables de calidad nutricional.	62
Tabla 2.3: Tratamientos y componentes utilizados para estudiar efectos sobre la calidad nutricional del forraje de la fertilización y la consociación en los cortes sucesivos. Notación ver Tabla 2.1.	63
Tabla 2.4: Probabilidad del F de los factores fertilización, corte y su interacción, para las variables de calidad nutricional. Notación ver Tabla 2.2.	68
Tabla 2.5: Efecto de la fertilización sobre las variables de calidad nutricional en avena en tres cortes. Notación ver Tabla 2.1.	68
Tabla 2.6: Probabilidad del F de los factores género, corte y su interacción para las variables de calidad nutricional. Notación ver Tabla 2.2.	69
Tabla 2.7: Diferencias entre géneros de la consociación en las variables de calidad nutricional en los tres cortes.	70
Tabla 2.8: Significancias, parámetros y coeficientes de determinación de los modelos de regresión lineal ajustados a las variables de calidad nutricional según porcentaje de participación de avena en la composición botánica de la materia seca de los verdeos consociados con vicias. Notación ver Tabla 2.1.	73

Tabla 3.1: Variables analizadas en muestras de suelo, unidades, notación, método de determinación y laboratorio.	100
Tabla 3.2: Subparcelas muestreadas para determinación de N _i , S _e y COX ₁₂ y notación de tratamientos.	101
Tabla 3.3: Momentos de muestreo y variables edáficas analizadas en ambos sitios experimentales. Notación de variables ver Tabla 3.1.	101
Tabla 3.4: Diseños específicos para el análisis de la información proveniente de los muestreos de suelo en la 1 ^a , 2 ^a y 3 ^a fecha para ambos sitios experimentales. Notación de tratamientos ver Tabla 3.2.	103
Tabla 3.5: Análisis de los suelos en presiembra de los dos sitios experimentales. Medias de 3 observaciones. Notación de variables ver Tabla 3.1.	104
Tabla 3.6: Probabilidad del F y coeficiente de variación de los diseños específicos para explicar efectos de la fertilización y consociación sobre el N inorgánico del suelo en Bajo Hondo en el 1 ^o , 2 ^o , 3 ^o y 4 ^o muestreo. Notación de tratamientos, momentos de muestreo y diseños específicos ver Tablas 3.2, 3.3 y 3.4.	106
Tabla 3.7: Efectos de la fertilización y consociación sobre el N inorgánico del suelo en Bajo Hondo en el 1 ^o , 2 ^o y 3 ^o muestreo (mg kg ⁻¹). Notación de tratamientos, momentos de muestreo y diseños específicos ver Tablas 3.2, 3.3 y 3.4.	106
Tabla 3.8: Probabilidad del F y coeficiente de variación de los diseños específicos para explicar efectos de la fertilización y consociación sobre el N inorgánico del suelo en Bordenave. Notación de tratamientos, momentos de muestreo y diseños específicos ver Tablas 3.2, 3.3 y 3.4.	109
Tabla 3.9: Efectos de la fertilización y consociación sobre el N inorgánico del suelo en Bordenave (mg kg ⁻¹). Notación de tratamientos, momentos de muestreo y diseños específicos ver Tablas 3.2, 3.3 y 3.4.	109
Tabla 3.10: Probabilidad del F y coeficiente de variación de los diseños específicos para explicar efectos de la fertilización y consociación sobre el S extraíble del suelo en Bajo Hondo. Notación de tratamientos, momentos de muestreo y diseños específicos ver Tablas 3.2, 3.3 y 3.4.	110
Tabla 3.11: Efectos de la fertilización y consociación sobre el S extraíble del suelo en Bajo Hondo (mg kg ⁻¹). Notación de tratamientos, momentos de muestreo y diseños específicos ver Tablas 3.2, 3.3 y 3.4.	110
Tabla 3.12: Características de la nodulación de Vicia villosa y sativa en los primeros estadios de crecimiento en Bajo Hondo.	112

Tabla 4.1: Variables productivas, de calidad nutricional y edáficas empleadas.	130
Tabla 4.2: Tasas de acumulación diaria de N y S en avena (kg de nutriente ha ⁻¹ día ⁻¹) según fertilización en cada periodo de crecimiento y global, en Bajo Hondo. Notación ver Tabla 1.2.	133
Tabla 4.3: Tasas de absorción diaria de N y S en avena consociada con vicias (kg de nutriente ha ⁻¹ día ⁻¹) según consociación en cada periodo de crecimiento y global, en Bajo Hondo. Notación ver Tabla 1.2.	133
Tabla 4.4: Balance simplificado de N en kg ha ⁻¹ en los cultivos de avena pura y consociada con <i>V. villosa</i> y <i>V. sativa</i> en Bajo Hondo. Notación de cultivos y momentos de muestreo de suelo ver Tablas 2.1 y 3.3, respectivamente.	136
Tabla 4.5: Cálculo de costos de los cultivos ensayados en \$ ha ⁻¹ . Elaborado con metodología utilizada por grupos de productores CREA con valores actualizados a noviembre de 2009. Notación de tratamientos ver Tabla 2.1.	137

Índice de figuras

Contenido	Pag.
Figura 1.1: Ubicación de los sitios experimentales (A) Bajo Hondo y (B) Bordenave.	14
Figura 1.2: Composición botánica porcentual de las consociaciones Av VV (A) y Av VS (B) en la producción acumulada de forraje en Bajo Hondo. Notación de niveles de fertilización ver Tabla 1.2. Estadística de comparación y análisis ver Tabla 1.8.	25
Figura 1.3: Evolución de la producción acumulada de MS según cultivos y niveles de fertilización en Bajo Hondo. Notación de cultivos ver Tabla 1.2. Estadística de comparación y análisis ver Tabla 1.10.	28
Figura 1.4: Composición botánica porcentual de las consociaciones Av VV (A), Av VS (B), Cn VV (C), Cn VS (D) en la producción acumulada de forraje en Bordenave. Notación de niveles de fertilización ver Tabla 1.2. Estadística de comparación y análisis ver Tabla 1.14.	32
Figura 1.5: Evolución de la producción acumulada de MS según cultivos y niveles de fertilización en Bordenave. Notación de cultivos ver Tabla 1.2. Estadística de comparación y análisis ver Tabla 1.16 y 1.17.	35
Figura 2.1: Estadística descriptiva de las variables de calidad nutricional según tratamientos y componentes de consociaciones. Valores de los 3 cortes integrados, n = 6. Notación ver tabla 2.1.	65
Figura 2.2: Análisis discriminante de las observaciones de los tratamientos en los tres cortes del ciclo de cultivo. n=2. Los contornos corresponden a elipses de predicción del 90 %.	66
Figura 2.3: Análisis de agrupamiento de tratamientos, con ligamento promedio y distancia de Mahalanobis. n=2. Notación ver tabla 2.1. Nros a la derecha de la notación de los tratamientos corresponden al corte.	66
Figura 2.4: Análisis de componentes principales para variables de calidad nutricional en cada corte de forraje. G-plot para las primeras dos componentes en cada corte. Circulo interno límite de reconstrucción del 70% en el plano de las componentes. Notación ver Tabla 2.2.	67
Figura 2.5: Relación de las variables de calidad nutricional con el nivel de participación de avena en la composición botánica de la materia seca de los verdeos consociados con vicias. Círculos, cuadrados y triángulos corresponden a 1 ^{er} , 2 ^{do} y 3 ^{er} corte respectivamente. Medias de dos observaciones. Líneas llenas y punteadas corresponden a ajuste de función lineal y división de clase de modelo discontinuo, respectivamente. Notación ver Tabla 2.8.	72

Figura 2.6: Comparación de avena fertilizada con nitrógeno y verdeos de avena consociados con vicias dentro de cada evaluación de forraje para variables de calidad con alguna diferencia significativa. Media de 2 observaciones. El asterisco corresponde a $p < 0,05$.	74
Figura 3.1: Precipitaciones mensuales del año 2007 y del periodo de experimentación en 2008.	99
Figura 3.2: Niveles de N inorgánico (0-30 cm) en la localidad de Bajo Hondo para los tratamientos testigos a lo largo de las evaluaciones sucesivas. Línea llena y punteada corresponden a tipo de barbecho químico y mecánico, respectivamente. Medias de 3 observaciones. Notación de tratamiento y momentos de muestreo ver Tablas 3.2 y 3.3.	105
Figura 3.3: Efectos de la fertilización, consociación y tipo de barbecho sobre el N inorgánico del suelo en la profundidad 0-30 cm en Bajo Hondo en el 4º muestreo (523 días de la siembra). Medias de 3 observaciones. En cada diseño, letras distintas difieren significativamente $p < 0,05$ según DMS. Notación de tratamientos y diseños específicos ver Tablas 3.2 y 3.4.	107
Figura 3.4: Efectos de la fertilización, consociación y tipo de barbecho sobre el N inorgánico del suelo en la profundidad 0-30 cm en Bajo Hondo en el 4º muestreo (523 días de la siembra). Medias de 3 observaciones. En cada diseño, letras distintas difieren significativamente $p < 0,05$ según DMS. Notación de tratamientos y diseños específicos ver Tablas 3.2 y 3.4.	108
Figura 3.5: Niveles de N inorgánico (0-30 cm) en la localidad de Bordenave para los tratamientos testigos a lo largo de las evaluaciones sucesivas. Medias de 3 observaciones. Notación de tratamiento y momentos de muestreo ver Tablas 3.2 y 3.3.	108
Figura 3.6: Cambios en una fracción lábil de carbono (0-12 cm) en el tiempo y por efecto de consociación, fertilización y tipo de barbecho en la localidad de Bajo Hondo en el 3º y 4º muestreo. Medias de 3 observaciones y error estándar. Notación de tratamiento y momentos de muestreo ver Tablas 3.2 y 3.3.	111
Figura 3.7: Fotografías de los sistemas radiculares de A) V. sativa y B) V. villosa en los primeros estadios de crecimiento en Bajo Hondo. Detalle de nódulos con 2X de aumento.	112
Figura 3.8: Efecto de la fertilización con 60 kg N ha^{-1} sobre el número de nódulos en raíces de V. villosa y de V. sativa en consociación con avena en los primeros estadios de crecimiento en Bajo Hondo. Medias de 9 observaciones. Letras distintas difieren significativamente $p < 0,05$ según Tukey.	113

Figura 4.1: Diferencia de rendimiento en t MS ha ⁻¹ entre las consociaciones y los cereales puros, según la producción de estos últimos. A) en Bajo Hondo con consociaciones de avena y V. villosa (Av VV) o V. sativa (Av VS) y B) en Bordenave con consociaciones de centeno con V. villosa (Cn VV) y V. sativa (Cn VS).	132
Figura 4.2: Cosecha acumulada en los periodos de crecimiento de N y S en la parte aérea de los cultivo avena pura (con y sin fertilización) y consociada con vicias en Bajo Hondo. Notación de tratamientos ver Tabla 2.1.	134
Figura 4.3: Producción y distribución en períodos de crecimiento sucesivos de la proteína bruta (PB) por hectárea en Bajo Hondo. Notación de tratamientos ver Tabla 2.1.	136
Figura 4.4: Costo por kg de materia seca (MS) y proteína bruta (PB) según tratamientos en Bajo Hondo. Notación ver Tabla 2.1.	138

Organización de la tesis

En primer lugar se presenta una *Introducción general* que incluye el enfoque técnico-metodológico del trabajo, sobre el que se sustenta la propuesta.

La investigación realizada se desarrolla en tres capítulos, con estructura de trabajo científico, bajo los títulos de:

- *Respuesta a la fertilización nitroazufrada en verdeos invernales puros y consociados con vicia; efectos sobre composición botánica.*
- *Calidad nutricional del forraje en verdeos de avena pura y consociada con vicias; efectos de la fertilización nitroazufrada.*
- *Efectos de la fertilización en avena y de la consociación con vicias sobre variables edáficas.*

A continuación, en un cuarto capítulo, la *Integración de contenidos* deriva de la combinan de resultados expuestos en los tres capítulos específicos, incluyendo nuevos análisis y estadística descriptiva. Por último, en las *Conclusiones generales*, se rescatan las ideas principales del trabajo.

Resumen

En los sistemas de producción mixtos del sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina), los cereales forrajeros de invierno (puros o mezclados con leguminosas anuales) forman parte de las secuencias o rotaciones de cultivos. En esta región la disponibilidad y calidad del forraje son herramientas críticas para definir la producción de carne. El objetivo de este trabajo fue estudiar el comportamiento productivo de verdeos de invierno, con diferente provisión de nitrógeno (N) y azufre (S), su calidad nutricional y los efectos sobre variables edáficas. Se realizaron dos ensayos, sobre lotes con antecesor trigo, en establecimientos rurales de producción de Bajo Hondo y de Bordenave. El diseño fue de parcelas divididas con factores fijos en bloques completos al azar. Los tratamientos resultaron de la combinación de dos factores: cultivo en parcelas mayores (avena y centeno, puros y en consociación con *Vicia villosa* y *V. sativa*) y fertilización en subparcelas (testigo sin fertilización y dosis de 30 y 60 kg N ha⁻¹, con y sin adición de 10 kg S ha⁻¹). Se determinó productividad de materia seca (MS), mediante corte en fechas fijas. En presiembra se extrajeron muestras de suelo, por bloque, para caracterizar los sitios. Durante y después del cultivo, se muestrearon subparcelas en 4 fechas para la determinación de nitrógeno inorgánico, azufre extraíble y una fracción lábil de carbono orgánico. En Bajo Hondo se incluyó el tipo de barbecho postcultivo (químico o mecánico), como un factor adicional en bloque dividido. Complementariamente, se examinaron las características de las raíces de las vicias. Sobre muestras de forraje de Bajo Hondo, se determinaron variables de calidad nutricional para estudiar los efectos de fertilización en avena pura, diferencias entre géneros de la consociación y de especies de vicia. Los procedimientos estadísticos incluyeron análisis descriptivos, univariados y multivariados. La producción de MS total acumulada estuvo en el rango de 1800 a 5300 kg MS ha⁻¹. En ambas localidades existió respuesta a la fertilización nitrogenada en la MS de verdeos puros y consociados, con valores de eficiencia agronómica entre 17 y 32 kg MS kg N⁻¹, incrementada hasta un 66 % por

la adición de 10 kg S ha⁻¹. Las características edáficas y la fecha de implantación determinaron las condiciones para el crecimiento de los cultivos, la calidad nutricional del forraje y sus relaciones, como así también los cambios en las variables edáficas monitoreadas. Las consociaciones resultaron hasta 49 y 76 % más productivas que las gramíneas puras en la MS total acumulada para Bajo Hondo y Bordenave, respectivamente, según cultivo y nivel de fertilización. Cuando las condiciones de temperatura y precipitación fueron favorables, la fertilización aumentó la MS en verdeos puros y consociados, reduciendo sus diferencias productivas. La fijación biológica de N y los residuos de raíces mejoraron la fertilidad del suelo, a través de incrementos en el carbono orgánico lábil y la capacidad para mineralizar N. Esta última fue evidente sólo bajo barbecho mecánico. En Bajo Hondo *V. villosa* se comportó productivamente mejor que *V. sativa*, pero en Bordenave no hubo diferencias. El centeno exhibió mayor rusticidad que la avena a través de su crecimiento otoño-invernal y fue más restrictivo de la participación de las vicias. Las especies de vicias ensayadas difirieron en características de nodulación y en su participación en la composición de la MS, pero no en su calidad nutricional. En la gramínea, la adición de N y de NS, mejoraron la calidad de la MS. Los valores de proteína bruta (PB) en avena pura y consociaciones con menos de 27 % de vicia podrían restringir altas tasas de crecimiento en rumiantes. La fertilización acrecentó el nitrógeno inorgánico del suelo, sólo durante el ciclo de los cultivos. A pesar de la buena disponibilidad de sulfatos en el suelo, el incremento en MS por adición de este elemento alcanzó 780 kg MS ha⁻¹, variando según localidad y cultivo. En las consociaciones S mejoró la productividad de *V. sativa*, contrarrestando los efectos negativos del N sobre su participación en la MS. En avena pura, la recuperación aparente de 60 kg de N ha⁻¹ fue de 58 %, en tanto que la adición de 10 kg de S ha⁻¹ la elevó a un 96 %. Las consociaciones exhibieron mayor potencial que los cultivos puros para aprovechar los recursos del ambiente, presentaron los costos más bajos de PB (0,8 \$ kg⁻¹) y MS (0,14 \$ kg⁻¹) y un balance global de nitrógeno más favorable.

Summary

In mixed production systems of the southwest of Buenos Aires province (Argentina) small grains for forage, in pure stands or mixed with vetch, form part of sequences or crop rotations. In this zone, forage availability and quality are a critical tools to define response in meat production. The objective of this work was to study productive behavior of these forage crops, at different levels of nitrogen (N) and sulfur (S), nutritional quality and residual effects on soil variables. Two experiments were carried out in farmer's fields, in Bajo Hondo and Bordenave, in which wheat was the previous crops,. A design of three randomized complete block with split plots was used. Treatments resulted from the combination of two fixed factors: crops (oats and rye, pure or mixed with *Vicia villosa* and *V. sativa*) and fertilization (check, 30 and 60 kg N ha⁻¹, with and without 10 kg S ha⁻¹). Dry matter (DM) production was evaluated by clipping the forage on fixed dates. Soil was sampled before sowing at block level to characterize the sites. During crop growth and ensuing fallow experimental subunits were sampled on 4 dates for determination of inorganic nitrogen, extractable sulfur and a labile fraction of organic carbon. *Vicia* roots were extracted and nodules were evaluated. In Bajo Hondo, type of fallow (chemical or mechanical) was included as an additional factor in a split block. Variables of nutritional quality were determined on forage samples to verify fertilization effects on oat in pure stands, differences between genus in the consociations and between vetch species. Statistical procedures included descriptive, univariate and multivariate analysis. Cumulative DM ranged between 1800 and 5300 kg ha⁻¹. In both sites there was response of DM to fertilization in mixed and pure stands. N agronomic efficiency was between 17 and 32 kg DM kg N⁻¹ and increased up to 66 % due to S addition. Soil characteristics and implantation dates affected crop growth and development, fertilizer response, nutritional quality variables and their relations, as well as changes in soil variables. Mixtures were 49 to 76 % more productive than pure grass stands in Bajo Hondo

and Bordenave, respectively, as related to crop and fertilization. N biological fixation and root residues improved soil fertility. Soil labile carbon and potential to mineralize nitrogen were increased, the latter being evident only under mechanical fallow. Rye exhibited greater rusticity than oats through its growth in autumn and winter and was more restrictive on vetch participation. The two species differed in growth cycle, root systems, nodulation characteristics and participation in DM composition but not in DM quality. N and NS applications improved DM quality in oat from pure stands. Crude protein values in pure oat and stands with less than 27 % vetch could restrict high growth rates in ruminants. Fertilization caused temporary changes in soil inorganic nitrogen only during crop growth. S addition increased DM production by up to 780 kg ha⁻¹, despite relatively high initial soil S. In the mixtures, S improved the competitive ability of *V. sativa*, thus reducing N negative effects. In pure oat stands nitrogen apparent recovery was 58 %, and S addition raised it to 96 %. These results show the advantages of consociations, over fertilization of pure grasses, as regards use of environmental resources, dry matter and crude protein cost and a more favorable nitrogen balance.

Introducción general

En los últimos 35 años la frontera agrícola de Argentina ha tenido una dinámica signada por los procesos de expansión territorial y de intensificación localizada. Entre otros efectos, se visualiza creciente reemplazo de áreas de pastoreo (naturales y cultivadas) por las de cultivo agrícola, un aumento generalizado del rendimiento por hectárea y un incremento de la carga animal (Viglizzo¹, 2008). Estos cambios, definen nuevas realidades productivas que requieren el uso estratégico de los insumos de producción y la revalorización de los recursos naturales, dentro de los sistemas productivos.

Diversos trabajos de investigación, en el INTA Bordenave, muestran la diversidad de estrategias adaptativas desarrolladas por los productores (y sus unidades familiares) en el sudoeste bonaerense, en busca de lograr continuidad en sus sistemas de producción. Una empresa sustentable debería tener una producción relativamente estable en el tiempo, ser viable económicamente, ser "amigable" respecto del ambiente y funcionar sobre la base de principios de equidad, donde beneficios y perjuicios se compartan en forma proporcional (Kruger², 2008).

La rotación de cultivos es una tecnología de proceso que configura estabilidad en los sistemas de producción sustentables, en ella la inclusión de leguminosas puede ser considerada dentro de las buenas prácticas agrícolas por sus efectos en la mejora del suelo (Galantini *et al.*³, 2002).

La consociación de gramíneas forrajeras anuales con leguminosas es reconocida por los beneficios de la fijación simbiótica de N₂ y el mayor valor

¹ Viglizzo, E.F. 2008. Agricultura, clima y ambiente en Argentina: Tendencias, interacciones e impactos. Capítulo 8 en: Agro y ambiente: una agenda compartida para el desarrollo sustentable. Coordinadores: Solbrig, O.T. y Adámoli, J. Foro de la cadena agroindustrial Argentina. Disponible en www.foroagroindustrial.org.ar

² Kruger, H. 2008. Nuestras empresas agropecuarias ¿son sustentables?. Revista "CONCIENCIA RURAL. La vida del campo". Nº10. p. 16-17.

³ Galantini, J.A.; Rosell, R.A.; Brunetti, G. y Senesi, N. 2002. Dinámica y calidad de las fracciones orgánicas de un Haplustol durante la rotación trigo-leguminosas. Ciencia del Suelo, 20(1):17-26.

nutritivo del forraje para la producción animal (Laidlaw y Teuber⁴, 2001). En el sudoeste bonaerense, la leguminosa de mayor relevancia utilizada en los sistemas mixtos, pertenece al género *Vicia* L., para el cual se ha impulsado su estudio, mejora y conservación en ambientes semiáridos desde mediados del siglo pasado, por los Ingenieros Agrónomos Guillermo Covas y Ramón Videla, técnicos pioneros del INTA.

Paralelamente, el uso estratégico del fertilizante nitrogenado en la rotación de cultivos, brinda beneficios a nivel global en el sistema (Galantini y Rosell⁵, 2006).

En este marco, el estudio conjunto de prácticas como la consociación con vicias y la fertilización nitrogenada de verdeos invernales adquieren particular relevancia y permite numerosos aportes a la sustentabilidad de los sistemas mixtos de la región semiárida y a la preservación del capital natural.

En el presente trabajo de Tesis se aborda la fertilización con nitrógeno (N) y azufre (S) de verdeos de invierno puros y consociados con dos especies de vicias. Los objetivos incluyen:

- Cuantificar la respuesta productiva y evaluar la interacción de especies en función de la disponibilidad de nutrientes (Capítulo 1).
- Estudiar las características de las consociaciones y los efectos de la fertilización con N y S en cuanto la calidad nutricional (Capítulo 2),
- Evaluar el efecto de los tratamientos sobre la dinámica del N inorgánico y el S extraíble en el perfil del suelo, durante el ciclo de los cultivos y en un barbecho posterior, examinando también, los efectos sobre la calidad de la materia orgánica (Capítulo 3).

⁴ Laidlaw, A.S. y Teuber, N. 2001. Temperate forage grass-legume mixtures: advances and perspectives. Proceedings of the XIX International Grassland Congress; 11–21 February 2001; Brazil: Sao Paulo, p. 85–92.

⁵ Galantini, J. y Rosell, R. 2006. Long-term fertilization effects on soil organic matter quality and dynamics under different production systems in semiarid pampean soils. Soil Tillage Res. 87:72-79.

- Estudiar la capacidad de aprovechamiento de los recursos ambientales en verdeos de invierno puros y consociados con vicias y analizar su viabilidad económica (Capítulo 4).

Con respecto a lo metodológico, las experiencias se establecieron en sistemas de producción agropecuarios, procurando generar espacios de trabajo que integrasen la experimentación y la extensión. De esta manera se logró enriquecer la investigación con factores reales de producción y aportar conocimiento de forma directa a las redes de diálogos de los productores, contribuyendo a los procesos de innovación en el seno de las explotaciones.

Capítulo 1

Respuesta a la fertilización nitroazufrada en verdeos invernales puros y consociados con vicia; efectos sobre composición botánica.

Resumen

En el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina) el bajo rendimiento de los verdeos de invierno frecuentemente limita la productividad de los sistemas mixtos. El objetivo de este trabajo fue estudiar el comportamiento de diferentes cereales forrajeros sembrados puros y en consociación con dos especies de vicia, como también la respuesta a diferentes niveles de fertilización de nitrógeno (N) y de azufre (S). Se realizaron dos ensayos en campos de producción con antecesor trigo en las localidades de Bajo Hondo y de Bordenave. El diseño fue de parcela dividida con factores fijos en bloques completos al azar. Los tratamientos quedaron definidos como combinación de un primer factor cultivos (avena y centeno, puros y en consociación con *V. villosa* y *V. sativa*) y un segundo factor fertilización (testigo y dos dosis de N con y sin adición de S). Se determinó productividad de materia seca (MS) mediante corte mecánico en fechas fijas para todos los tratamientos, realizando tres evaluaciones sucesivas en Bajo Hondo y dos en Bordenave. El efecto de la fertilización se estudió a nivel individual mediante comparación de tratamientos, y a nivel grupal con contrastes ortogonales planteados *a priori*. Para cada cultivo, cuando fue posible, se realizó un análisis continuo de la respuesta a la fertilización. A nivel de consociaciones, sobre los componentes se realizó un análisis bivariado y cuando se encontraron diferencias en la prueba global, se realizaron análisis univariados de los componentes (cereal y vicia), además de considerar la correlación entre ellos. En cada factor cultivo se completó el análisis comparando tasas de crecimiento globales y de los periodos anteriores a cada evaluación en los niveles de fertilización estudiados. En ambas localidades existió respuesta a la fertilización conforme a las características edáficas (principalmente textura y materia orgánica) y condiciones climáticas. Estas últimas

además impactaron el crecimiento de los cultivos según las fechas de implantación. Las consociaciones resultaron más productivas que los cultivos puros, pero mostraron respuestas inferiores a la fertilización. La mayor eficiencia agronómica de uso de N (EAGR) fue de 32 kg MS kg N⁻¹ en la avena pura de Bajo Hondo. La adición de S originó incrementos en la EAGR del N y en la producción de forraje a pesar de la buena disponibilidad en el suelo. La fertilización con N produjo reducciones de la participación y rendimiento de la vicia en la consociación. La adición de S, en cambio, mejoró la capacidad productiva de *V. sativa*, contrarrestando los efectos de N. Los resultados sugieren considerar la fertilización azufrada, en consociaciones con *V. sativa* para mejorar su comportamiento. Ante las condiciones de crecimiento de Bajo Hondo y desde el punto de vista productivo, *V. villosa* se comportó mejor que *V. sativa*. En Bordenave, con la limitante inicial por estrés hídrico y heladas frecuentes, el centeno, a diferencia de la avena, exhibió crecimiento durante el otoño e invierno. Esta característica resultaría de importancia para la productividad de los sistemas pastoriles del sudoeste bonaerense. La fertilización resultó útil para elevar el nivel productivo cuando las condiciones ambientales para el crecimiento fueron favorables, tanto en verdeos puros como consociados.

Palabras clave

Avena - centeno - *Vicia villosa* - *Vicia sativa* - productividad de materia seca - región semiárida.

Introducción

En la región semiárida pampeana el principal destino de los verdeos de invierno, es el consumo animal bajo pastoreo (Quiroga *et al.*, 2001). La avena es la especie de mayor difusión, principalmente por simplicidad operativa, buen resultado y plasticidad de utilización. El resto de las especies son usadas en menor medida, por el desconocimiento de su manejo, entre otras razones (Enrique y Pelta, 2000).

Actualmente y gracias al mejoramiento genético de los últimos 10 años, los cultivares nuevos de cereales forrajeros presentan en general elevada resistencia a heladas, mejor comportamiento ante sequías, mejor sanidad y aptitud para el pastoreo (Wehrhahne, 2008).

A nivel de sistemas productivos, en zonas con restricciones climáticas (principalmente por precipitación), el factor limitante es la baja productividad lograda (Moreira, 1989). Localmente, Tomaso (2003) menciona que en campos de productores sólo se obtiene 40 a 50 % del potencial productivo de los verdeos invernales. Este aspecto es crítico, por tratarse de la base forrajera de parte del otoño y el invierno (Quiroga *et al.*, 2001).

Dado los altos costos de implantación de este recurso anual en relación a cultivos perennes, el estudio de la productividad es importante al momento de establecer su conveniencia económica, además es necesario considerar su integración estratégica en la cadena de pastoreo. En tal sentido, Tomaso (2003) recomienda, entre otras pautas, la elección de especies y variedades a sembrar, la fertilización y, en las regiones semiáridas y subhúmedas, la consociación con leguminosas anuales. En tanto que, Puricelli *et al.* (1999) identifican la necesidad de mejoras en la implantación y el aprovechamiento de los verdeos de invierno.

La consociación de cereales de invierno y vicias

Especies y cultivares de cereales forrajeros presentan diferencias importantes, tanto en su ciclo como en su capacidad y velocidad de rebrote, en

buena medida por la tolerancia al frío, al estrés hídrico y a las plagas y enfermedades. Tomaso (2003), destaca que los cereales forrajeros de invierno presentaron, en los ensayos realizados en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Bordenave, diferentes curvas de producción donde la avena exhibió mejor crecimiento en otoño y principios de primavera, mientras que el centeno lo hace en otoño e invierno.

Dentro de las leguminosas anuales, el género *Vicia* L. es utilizado en consociación con avena por productores del sudoeste bonaerense, probablemente desde la década del '70, observándose mayor difusión en los partidos de Saavedra, Tornquist, Cnel. Rosales y Puan (Puricelli, 1996). Incluye especies de hábito de crecimiento rastrero a semi-rastrero y su consociación con cereales de invierno, facilita el sostén y desarrollo de las plantas (Droushiotis, 1985).

Originalmente para la región semiárida pampeana Covas (1954), en la EEA INTA Anguil, sugería la consociación de cereales forrajeros y *V. benghalensis*, con la finalidad de mejorar la producción y calidad del pasto. Esto concuerda con los primeros trabajos realizados en la EEA INTA Bordenave por Videla (1955) quien utilizaba la misma vicia, consociada con centeno. Posteriormente, en materiales de divulgación de INTA para la región semiárida en la década del '70, se recomienda la utilización de tres especies de vicia: *V. sativa*, *V. benghalensis* y *V. villosa*. Estas especies son mencionadas por Dimitri (1978), como forrajeras invernales cultivadas en la provincia de Buenos Aires, destacando la condición de subespontánea de la *V. villosa*. En tanto, Videla (1978) informa la obtención de dos subespecies, una de *V. benghalensis* y otra de *V. villosa*, mientras que Covas (1978) aconseja la conservación de germoplasma de especies de vicia indígenas.

En situaciones en que es necesario prolongar la utilización del verdeo, la abundante producción primaveral de *V. villosa* complementa la oferta otoño - invernal de los cereales forrajeros (Amigone *et al.*, 2005), mientras que *V. sativa* tiene un ciclo de crecimiento similar a estos últimos. La resistencia invernal y

adaptabilidad a un amplio rango de condiciones de suelo, son las principales razones que promueven la difusión creciente de *V. villosa* (Moreira, 1989). En el sur de la Provincia de Buenos Aires, Agamennoni y Vanzolini, (2006), exponen que la gran mayoría de los lotes de vicia están sembrados con *V. villosa* y que comparada con *V. sativa* está mejor adaptada al ambiente de la zona de secano. Por otra parte, Labarthe y Pelta (1971) mencionan como desventaja de *V. villosa* su menor palatabilidad para el ganado.

Vicia sativa, en cambio, posee mayor potencial de rendimiento de forraje y de semilla y su utilización es de mayor importancia bajo condiciones favorables de crecimiento (Abd El Monein *et al.*, 1988; Papastylianou, 1995).

La capacidad de las leguminosas de incrementar los rendimientos de materia seca (MS) en verdeos invernales consociados, bajo condiciones donde los cultivos puros encuentran restricciones de crecimiento, ha sido informada hace más de 50 años por Henderson y Davies (1955), Hodgson (1956) y Robinson (1960). Varios factores pueden afectar el crecimiento de las especies en la consociación, incluida la elección de cultivares, las tasas de siembra y la competencia o la cooperación entre los componentes de una consociación (Droushiotis, 1989; Carr *et al.*, 2004; Ron *et al.*, 2002). Altos rendimientos han sido informados cuando la competencia entre las dos especies de la mezcla es menor que la existente dentro de la misma especie (Dhima *et al.*, 2007). Los principales factores en juego son la disponibilidad de agua y de nutrientes y la radiación solar, que impactan sobre las tasas de crecimiento de los componentes y su habilidad competitiva.

Actualmente, en la región semiárida pampeana además de la producción de forraje, las vicias han adquirido difusión como cultivos de cobertura (Agamenoni y Vanzolini, 2006), y la producción de semilla constituye una alternativa económicamente viable, por su escasa disponibilidad en el mercado (Renzi y Cantamutto, 2007).

Fertilización en verdeos invernales puros y consociados con vicia

Objetivos

Una alta producción de forraje y su utilización eficientemente son esenciales para la intensificación productiva de la ganadería. La provisión de nutrientes a través de una fertilización balanceada es una de las mejores herramientas para incrementar la producción en verdeos invernales, lo que permite reducir significativamente el costo de la materia seca (Quiroga *et al.*, 1999).

En las zonas con mayores restricciones de humedad como el sudoeste y el sur bonaerense, la fertilización en verdeos invernales es una práctica escasamente utilizada (Enrique y Pelta, 2000). En la última década, el creciente uso de labranza conservacionista y de la siembra directa, conjuntamente con la mayor participación del girasol (*Helianthus annuus*), han tenido como consecuencia el desplazamiento de la ganadería a suelos de menor aptitud agrícola (Amigone y Kloster, 1997; Amigone *et al.*, 2005; Méndez y Davies, 2000), con inferior fertilidad relativa, donde mejoras en la disponibilidad de nutrientes resultan de trascendencia en diversos aspectos. Como ventajas asociadas a la fertilización nitrogenada se citan mejoras en la eficiencia del uso del agua y de la radiación (García *et al.*, 1999; Fernández Greco, 2007), cambios favorables en la calidad forrajera (Méndez y Davies, 2000) y mayor periodo de utilización del verdeo (Amigone y Kloster, 1997; Díaz Zorita, 2001), además, para la aplicación combinada con P se menciona la anticipación del primer pastoreo (Tomaso, 2003), y en fertilizaciones conjuntas de P y S un aumento en el aporte de N por fijación biológica en consociaciones (García, 2000).

Nitrógeno

El nitrógeno (N), más que ningún otro nutriente, es el responsable del desarrollo y rendimiento de los cultivos (Tisdale *et al.*, 1993) y es un factor determinante de la productividad de los cereales forrajeros, siempre que la disponibilidad de agua y otros nutrientes no sea limitante.

Al fertilizar con N en ambientes deficitarios, se alteran las variables morfogénicas y las características estructurales de la canopia de una gramínea (Gastal y Lemaire, 1988). Así, el N promueve la utilización de los carbohidratos para la síntesis de proteínas y de tejidos. Además, disminuye la concentración de carbohidratos solubles y su deposición en las paredes celulares primarias, incrementando la elasticidad. Los tejidos aumentan la turgencia y se favorece su expansión (Tisdale *et al.*, 1993; Montaldi, 1995). Estructuralmente, se incrementa la longitud, el ancho (Ryle, 1970) y el espesor de las hojas (Wilman y Wright, 1983), también aumenta la densidad, la tasa de emergencia y el peso de los macollos (Langer, 1963; Van Loo *et al.*, 1992; Wilman y Wright, 1983)

Quiroga *et al.* (1999 y 2001) identifican a la disponibilidad de agua y de nitratos en el suelo como los principales factores limitantes de la productividad de los verdeos de invierno responsabilizando a estos del 70 % de las variaciones en el rendimiento de MS. En 40 ensayos de fertilización nitrogenada en la región semiárida pampeana, la producción de materia seca fue incrementada significativamente en 36 % y en un 64 % en los sitios evaluados, al utilizar las dosis de 20 y 40 kg N ha⁻¹, con eficiencias agronómica de entre 4,5 y 20 kg MS (kg N)⁻¹, respectivamente. Para el sudoeste bonaerense se cita valores disímiles en la respuesta a la fertilización, que va desde altos niveles hasta ausencia cuando la humedad del suelo resulta restrictiva (Bolletta *et al.*, 2007).

Respecto al momento de la fertilización con N, aplicaciones tempranas están asociadas a una mayor disponibilidad de agua y por lo tanto se obtienen mayores respuestas que en aplicaciones fraccionadas durante el ciclo del cultivo. Luego del primer corte, suele establecerse un balance de agua, entre consumo y precipitación, negativo (Fernández *et al.*, 2004). La estrategia de fertilización nitrogenada puede combinarse, al igual que en trigo, con aplicaciones nitrofosforadas en la línea de siembra (Loewy, 2001).

La relación entre fertilización nitrogenada y verdeos consociados es compleja por la multiplicidad de factores que intervienen (Moreira, 1989). Bajo condiciones de crecimiento restrictivas, la respuesta de los verdeos decrece cuando se acompañan de vicia, dado que el nitrógeno de origen simbiótico es aprovechado por la gramínea (Quiroga *et al.*, 1999).

Papastylianou y Danso (1991) y Azam *et al.* (1995) presentan resultados en los cuales aplicaciones exógenas de N al suelo producen inhibición de la nodulación. Más aún, cuando se aplica N a una planta nodulada, se restringe la fijación y los nódulos alcanzan la senescencia prematuramente (Montaldi, 1995). Estos efectos también se verifican con altos niveles de N y la presencia de bacterias de *Rhizobium* no específicas en el suelo (FAO, 1995).

Con buena humedad de suelo y dosis crecientes de N, se favorece el crecimiento de los cereales y la vicia reduce su contribución al forraje (Hadjichristodoulou, 1978; Moreira, 1989), probablemente se debe a la menor habilidad competitiva de las leguminosas (Haynes, 1980). Otros aspectos suman a la complejidad de la interacción, dado que incrementos en la proporción de vicia en la mezcla reduce los índices de competitividad de los cereales. Estos, a su vez, difieren en esa habilidad, exhibiendo avena y cebada mejores índices que trigo y triticale (Dhima *et al.*, 2007).

Azufre

En el ambiente edáfico el azufre (S) se caracteriza por presentar una dinámica muy similar al N, existiendo alta correlación entre los contenidos de ambos en la materia orgánica (Bardsley y Lancaster, 1960). Las deficiencias generalmente se presentan en suelos arenosos y en suelos degradados con disminución de la fracción orgánica.

Las características mencionadas aportan a la localización de ambientes con diferente respuesta a la aplicación de este elemento (Díaz Zorita, 2001). Este método de diagnóstico presenta ventajas con respecto al análisis de S - sulfatos de

bajo valor predictivo, cuya interpretación - por otra parte - no responde a calibraciones locales. Tal es el caso de un estudio en suelos del sudeste y parte del sudoeste bonaerense (San Martín y Echeverría, 1995) en el que se reportaron niveles calificados en general como bajos, de acuerdo con la calibración de Fox *et al.*, (1964) para Nebraska, Estados Unidos. La información de estos autores sobre el sudoeste bonaerense es compatible con el diagnóstico retrospectivo realizado a partir del análisis de grano de trigo en ensayos conducidos más recientemente (Ron y Loewy, 2007a; Loewy *et al.*, 2007).

En la región pampeana, se han informado resultados de ensayos con respuesta significativa a la fertilización azufrada en cultivos forrajeros y de grano. En el oeste de Buenos Aires y este de La Pampa, sobre suelos Hapludoles, se han observado respuestas significativas en pasturas consociadas, alfalfa (*Medicago sativa*) pura y verdeos de invierno (Díaz Zorita, 2001; Fernández *et al.*, 2004). Los efectos se cuantificaron tanto en la producción de materia seca como también, en el caso de alfalfa, en el número de nódulos de *Rhizobium* o bien en el incremento de la fijación simbiótica en haba (*Vicia faba*), alfalfa y trébol rojo (*Trifolium pratense*) según lo informado por Scherer y Lange, (1996).

La fertilización azufrada también ha resultado en incrementos significativos en la producción de alfalfa en el centro de Santa Fe, donde se han registrado eficiencias agronómicas de 40 a 160 kg MS (kg de S aplicado)⁻¹ (Fontanetto *et al.*, 2004; citado por García, 2005).

En cereales invernales, la información principal sobre fertilización azufrada se presenta para el cultivo de trigo. Díaz Zorita, (2001) informó respuesta a S en el oeste de la provincia de Buenos Aires, en tanto en el sudeste, Reussi Calvo *et al.* (2004 y 2006) informaron incrementos de S en la biomasa aérea y en los granos.

Para el sudoeste bonaerense, el impacto del S sobre la producción de forraje en cereales invernales, al menos sería similar a lo informado por otros autores para trigo (Galantini *et al.*, 2007; Ron y Loewy, 2007b). En todos los casos, las

respuestas a S pueden asociarse con un aumento en la eficiencia agronómica del N (Loewy *et al.* 2007).

Hipótesis

- Los cereales forrajeros invernales presentan características morfológicas y de crecimiento específicas que afectan la producción y la composición de la mezcla (proporción gramínea:leguminosa) en las consociaciones.
- Debido a diferencias de adaptación de las especies *Vicia villosa* y *Vicia sativa* a las condiciones edafoclimáticas del sudoeste bonaerense, la especie más rústica puede destacarse en cuanto a producción de forraje y participación en una consociación con cereales forrajeros.
- La fertilización con N y S incrementa la producción de MS de los verdeos puros y consociados, y aumenta la proporción gramínea:leguminosa en las consociaciones.

Objetivos

- Determinar a través de la productividad de MS total y particionada entre gramíneas y leguminosas, el desempeño de diferentes cereales forrajeros invernales y distintas especies de vicia consociadas, en dos sitios del sudoeste bonaerense.
- Cuantificar los efectos de la fertilización con N y con S sobre la producción de MS y la composición de gramíneas - leguminosas en el forraje de verdeos de invierno integrados por cereales forrajeros puros o consociados con vicia.

Materiales y Métodos

Sitios experimentales

Ubicación

Se realizaron dos ensayos en campos de productores de la zona semiárida en el sudoeste bonaerense (Figura 1.1).

- Sitio Bajo Hondo: Campo propiedad del Sr. Jorge Orazi: Lat. $38^{\circ} 44' 49.82''$ S; Long: $61^{\circ} 51' 16.57''$ O; altura sobre el nivel del mar (ASNM): 84 m.; Cuartel VIII, localidad de Bajo Hondo, partido de Cnel. M. L. Rosales.
- Sitio Bordenave: Campo propiedad del Sr. José Aicega: Lat. $37^{\circ} 49' 43.51''$ S; Long: $63^{\circ} 7' 28.16''$ O ASNM: 201 m.; Cuartel V, localidad de Bordenave, partido de Puán.



Figura 1.1: Ubicación de los sitios experimentales (A) Bajo Hondo y (B) Bordenave.

Descripción climatológica

Los datos de clima del sitio Bordenave corresponden a la EEA INTA Bordenave, distante a 6 km y los de Bajo Hondo, al mismo campo (relevados por la Estación Experimental para el Proyecto Red de información Agropecuaria Nacional - RIAN - Campi, 2007).

En ambos casos el clima predominante es semiárido templado, con régimen térmico que responde al clima continental, atenuado por la influencia marítima. Los vientos predominantes son de nor-noroeste soplando con mayor intensidad en los meses de primavera y de verano, principalmente en diciembre y en enero.

Los sitios se encuentran adyacentes a la isoyeta de 600 mm y las precipitaciones se concentran en dos estaciones: otoño y primavera definiendo un suborden taxonómico de suelos ústico. La estación seca se presenta en invierno y durante el período estival a consecuencia de la alta evapotranspiración. Los promedios anuales de lluvia en el período 1996 - 2006, fueron de 785 mm en el sitio Bajo Hondo y 835 mm en el sitio Bordenave. De acuerdo al criterio de Thornthwaite, (1931) se lo define como sub-húmedo seco, mesotermal, con nulo o

pequeño exceso de agua. En la Tabla 1.1 se presenta para ambas localidades la distribución de precipitaciones durante el año 2007.

Tabla 1.1: Precipitaciones mensuales y anual (mm) en los sitios experimentales, durante el año 2007.

<i>Sitio</i>	<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>	<i>TOTAL</i>
Bordenave	43	156	182	85	10	0	0	6	137	112	45	38	814
Bajo Hondo	101	41	163	180	21	0	13	0	64	43	43	8	677

En Bordenave y en Bajo Hondo, la fecha de primera y última helada fue el 12 de abril y 24 de octubre, respectivamente. Este período no se diferenció de la media regional (20 de abril y 20 de octubre para primera y última helada respectivamente). En Bordenave el 9 de julio de 2007 se registró una temperatura de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, que fue la mínima absoluta más baja para la serie 1964 - 2008. El número de heladas durante el ciclo de cultivo, resultó de elevada magnitud con 139 y 131 para Bajo Hondo y Bordenave, respectivamente. En ambos caso casi duplicaron la media de 75 de la serie histórica mencionada.

Características de paisaje y edáficas

Bajo Hondo se emplaza en una planicie ondulada con lomas bajas, integrada por suelos de gran heterogeneidad constitutiva y evolución, con presencia de mantos de tosca limitantes de profundidad (Lorda *et al.*, 2008). El suelo en el sector del ensayo es un Argiustol Típico, limitado a los 70 cm por tosca, compuesto por horizontes A-B-C-2Ckm. Es de textura superficial franco arenosa, con niveles de P extraíble de 24 mg kg^{-1} y valores de materia orgánica cercanos a 30 g kg^{-1} . Al momento de la siembra se midieron altos niveles de N disponible y S extraíble en la profundidad 0-60 cm (22 y 24 mg kg^{-1} , respectivamente).

El paisaje en Bordenave corresponde a planicies altas extendidas, adosadas al pedemonte noroccidental de las sierras australes, dando lugar a mesetas flanqueadas por pendientes suaves (Lorda *et al.*, 2008). El suelo es un Paleustol Petrocálcico limitado a los 60 cm por tosca, poco evolucionado, con horizontes A-AC-C-2Ckm. La textura es arenosa franca en todo su perfil, presentando carbonato

de calcio diseminado en forma pulverulenta, muy bajos niveles P extraíble (5 mg kg^{-1}) y valores de materia orgánica próximos a 15 g kg^{-1} . Los niveles medidos al momento de la siembra de N disponible y S extraíble en la profundidad 0-60 cm fueron de 30 y 29 mg kg^{-1} , respectivamente.

En los dos ensayos el cultivo antecesor fue trigo. El mismo fue realizado sobre lotes con barbecho mecánico (rastra de discos) en el otoño de 2006 y sembrados en junio del mismo año de forma convencional con adición de bajos niveles de fertilizante nitrogenado (dosis menores a 20 kg N ha^{-1}).

Características de los ensayos de campo

Insumos y equipamiento utilizados

Se utilizaron semillas de centeno (*Secale cereale* L.) variedad Fausto, avena (*Avena sativa* L.) variedad Violeta INTA y dos especies de Vicia (*V. sativa* L. y *V. villosa* Roth.), identificadas de producción regional, marca Guash, que fueron inoculadas con *Rhizobium leguminosarum* biovar *viciae* en turba aplicando 200 g (25 kg de semilla de vicia) $^{-1}$, de acuerdo con las indicaciones del proveedor (Rizobacter Argentina S. A.).

Los fertilizantes utilizados fueron superfosfato triple de calcio (0 - 46 - 0) y los líquidos nitrogenados Sol UAN (32 - 0 - 0) y nitroazufrado Sol PLUS (12 - 0 - 0 - 26 S).

Para la siembra se empleó maquinaria no experimental, propiedad de los productores.

Diseño experimental

El diseño base de los ensayos de campo fue de parcelas divididas con factores fijos en bloques completos al azar. Los tratamientos quedaron definidos como combinación de niveles de un primer factor (cultivos) en parcelas principales y niveles de un segundo factor (fertilización) en subparcelas, como se presenta en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2: Niveles de los factores cultivos y fertilización que definen los 30 tratamientos y su notación.

Cultivos	Niveles de fertilización				
	Testigo (T)	30 kg ha ⁻¹ de nitrógeno (N1)	30 kg ha ⁻¹ de nitrógeno + 10 kg ha ⁻¹ de azufre (N1+S)	60 kg ha ⁻¹ de nitrógeno (N2)	60 kg ha ⁻¹ de nitrógeno + 10 kg ha ⁻¹ de azufre (N2+S)
avena (Av)	Av T	Av N1	Av N1+S	Av N2	Av N2+S
avena + <i>Vicia villosa</i> (Av VV)	Av VV T	Av VV N1	Av VV N1+S	Av VV N2	Av VV N2+S
avena + <i>Vicia sativa</i> (Av VS)	Av VS T	Av VS N1	Av VS N1+S	Av VS N2	Av VS N2+S
centeno (Cn)	Cn T	Cn N1	Cn N1+S	Cn N2	Cn N2+S
centeno + <i>Vicia villosa</i> (Cn VV)	Cn VV T	Cn VV N1	Cn VV N1+S	Cn VV N2	Cn VV N2+S
centeno + <i>Vicia sativa</i> (Cn VS)	Cn VS T	Cn VS N1	Cn VS N1+S	Cn VS N2	Cn VS N2+S

Debido a la importancia de separar la variación de unidades experimentales de dos tamaños diferentes (Schwarz, 2007), se especifica a continuación el modelo estadístico empleado:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + C_k + D_{ik} + \beta_j + \gamma_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

donde: Y_{ijk} es la observación de un tratamiento ij en el boque k , μ es la media general, α_i , β_j y γ_{ij} son efectos de cultivo (parcela), de la fertilización (subparcela) e interacción de los factores, respectivamente y C_k , D_{ik} y ε_{ijk} son variables aleatorias para los bloques y los efectos no controlados en las parcelas y subparcelas, respectivamente.

Número y dimensiones de las unidades experimentales

En ambas localidades se establecieron tres bloques. En la localidad de Bajo Hondo no se pudo implantar los centenos constituyéndose 15 tratamientos, mientras que en Bordenave fueron 30.

Basados en criterios de la FAO, (2001) el tamaño de las unidades experimentales se estableció para optimizar el acceso a los ensayos y los muestreos. En la localidad de Bajo Hondo las parcelas principales tuvieron una dimensión de 270 m² (20 m x 13,5 m) y las subparcelas de 54 m² (20 m x 2,7 m), mientras que en Bordenave las dimensiones fueron de 140 m² (10 m x 14 m) y de 28 m² (10 m x 2,8 m) para las parcelas principales y subparcelas, respectivamente.

Aspectos de manejo y determinaciones de productividad

La siembra en ambos sitios se realizó en los momentos que la humedad del suelo permitió el tránsito de la sembradora para la ejecución de los trabajos. Una hora antes se inoculó la vicia y se mezclaron las semillas de las consociaciones. La densidad de siembra fue de 240 semillas viables m⁻² en gramíneas puras y 160 + 80 semillas viables m⁻² de gramíneas + leguminosas, respectivamente en consociaciones, de acuerdo con las recomendaciones de Tomaso, (2003) para el sudoeste de la provincia de Buenos Aires.

Se fertilizó con 100 kg de superfosfato triple de calcio en la línea de siembra, para minimizar la variabilidad interbloque del P extraíble y lograr un efecto de arranque. La fertilización nitroazufrada se efectuó en forma líquida para maximizar la eficiencia de uso de los nutrientes aplicados. Se realizó con mochila de pulverización manual sobre el suelo en las entrelíneas de cultivo, a inicio de macollaje (30 días después de la siembra). Para la elección de los niveles de N y S se recurrió a la información local de fertilización nitroazufrada en Trigo (Loewy *et al.*, 2007). Las aplicaciones de N abarcaron el rango utilizado localmente por los productores, en tanto que con la dosis única de S se lograron dos proporciones de N/S. La menor (N/S=3) coincidió con la sugerida por Wooding *et al.* (2000) para

trigo pan, mientras que la mayor (N/S=6) se asemejó a la relación de los nutrientes en el tejido vegetal (Tallec *et al.*, 2009).

Durante el primer mes de crecimiento, para obtener una implantación libre de competencia, se realizó control de malezas en forma manual.

En la Tabla 1.3 se presentan las fechas de evaluación de forraje, definidas en función de la fenología de los cultivos. Las primeras evaluaciones se realizaron en prefloración de las gramíneas, dando posibilidad de crecimiento por rebrote. La última se efectuó sobre la finalización de floración de la leguminosa con la finalidad de maximizar la fijación simbiótica de N atmosférico. El número total de cortes por sitio estuvo en función de las condiciones edafoclimáticas. En Bajo Hondo se realizaron tres evaluaciones, mientras que en Bordenave fueron dos. Para este último sitio, los tratamientos que incluían avena no alcanzaron el desarrollo necesario para su cosecha en la primera fecha.

Tabla 1.3: Fechas de siembra, de evaluación de forraje y duración de períodos de crecimiento para ambos sitios experimentales durante 2007.

Sitio	Siembra	Días entre fechas sucesivas	1ª fecha de corte	Días entre fechas sucesivas	2ª fecha de corte	Días entre fechas sucesivas	3ª fecha de corte
Bajo Hondo	2 de marzo	111	21 de junio	94	23 de septiembre	69	01 de diciembre
Bordenave	3 de abril	147	28 de agosto	80	16 de noviembre		

La determinación de productividad de materia verde y el procesamiento posterior de las submuestras de forraje se basó en procedimientos descritos por Gardner (1967). El corte de muestras de forraje se efectuó en forma longitudinal, dentro de los tratamientos, mediante una segadora marca "Pavicich" (1 m efectivo de ancho de corte). Los tamaños muestrales fueron de 20 m² y 10 m² en Bajo Hondo y Bordenave, respectivamente. Luego del corte, se tomaron dos submuestras de forraje para determinación de materia seca y composición botánica, se rastrilló con escobillas de mano el forraje cortado y se pesó con balanza reloj de sensibilidad 0,01 kg. La tarea de campo culminó con el corte de la

totalidad de remanentes del ensayo, que fueron retirados para evitar acumulación de biomasa seca en superficie. No se utilizaron animales en el transcurso de los ensayos de campo. Las submuestras de forraje se secaron a 60°C en estufa con ventilación forzada, previa separación en fresco de los componentes gramíneas y leguminosas, en el caso de las consociaciones. Este último procedimiento se describe detalladamente en el Capítulo 2 de esta tesis.

Análisis estadístico

Los datos provenientes de la producción total acumulada de MS de forraje (PT) se analizaron mediante distintos procedimientos:

A) Con el objeto de evaluar globalmente los factores cultivo y fertilización se realizaron análisis de varianza (ANOVA) para el diseño de parcela dividida. Cuando se detectó interacción significativa, las medias de cada factor se analizaron dentro de cada nivel del otro factor, utilizando un cuadrado medio de error y grados de libertad estimados por la fórmula de Satterthwaite, (1946). En todos los casos, las comparaciones de medias se realizaron mediante la prueba de diferencia mínima significativa de Fisher (DMS) con $p < 0,05$.

B) Para la comparación de grupos de tratamientos de fertilización dentro de cada cultivo se realizaron ANOVAS individuales y contrastes ortogonales. Estos se plantearon "a priori" de acuerdo con las hipótesis a testear, lo cual se reflejó en la estructura de tratamientos. La Tabla 1.4 presenta los contrastes efectuados y los coeficientes empleados. En el contraste 1 se examinó el efecto general de la fertilización, en el contraste 2 se estudió el efecto del S en las subparcelas fertilizadas con N, en el tercero se compararon las dosis de N y el cuarto se diseñó para detectar posibles interacciones entre dosis de N x S en las subparcelas fertilizadas.

Tabla 1.4: Grupos de tratamientos de fertilización comparados por contrastes ortogonales. Notación ver Tabla 1.2.

Contraste	Efecto	Tratamientos		T	N1	N2	N1+S	N2+S
		Grupo 1	Grupo 2					
1	Fertilización	Testigo (1)	Fertilizados (4)	-4	1	1	1	1
2	Azufre	Fertilizados sin azufre (2)	Fertilizados con azufre (2)	0	-1	-1	1	1
3	Dosis de N	Fertilizados con dosis menor de N (2)	Fertilizados con dosis mayor de N (2)	0	1	-1	1	-1
4	Interacción	Dosis menor de N sin S y mayor de N con S (2)	Dosis mayor de N sin S y menor de N con S (2)	0	-1	1	1	-1

Valores entre paréntesis indican cantidad de tratamientos por grupos.

C) Con el objeto de realizar un análisis continuo de la respuesta a la fertilización se ajustó, para cada factor cultivo la siguiente ecuación:

$$PT = a + b N + c N \times S \text{ (Ecuación 1)}$$

donde a y b son coeficientes, mientras que N y S representan las dosis de N y S en kg ha⁻¹, respectivamente. Se realizaron análisis de residuales para evaluar la calidad de los ajustes lineales.

El efecto del S sólo pudo incluirse en interacción con el N por tratarse de un diseño de factorial incompleto. El coeficiente **b** de la "ecuación 1" provee una estimación integral de la eficiencia agronómica (EAGR) de N, mientras que el coeficiente **c** representa el incremento de la EAGR del N por la adición de 1 kg S ha⁻¹. Este último se incluyó en la ecuación cuando la probabilidad de su adición fue ≤ 0,25.

D) Para realizar un estudio ulterior sobre las consociaciones se realizó un análisis bivariado. Se empleó la prueba de Hotelling, (1936) que pondera la variación de ambos componentes en el cuadrado medio de error. En un análisis univariado, éste parámetro puede estar sesgado por la influencia del componente mayoritario. Cuando se encontraron resultados significativos en la prueba global de Hotelling, se realizaron análisis univariados de los constituyentes de la mezcla (Hummel y Sligo,

1971). Se consideró además la correlación entre ellos, a modo de cuantificar la importancia de las relaciones. Así, se realiza una comparación más realista, dado que los análisis bivariados permiten contemplar la interacción entre componentes restringiendo las dificultades particulares que presenta desde el punto de vista estadístico los experimentos con cultivos asociados (Pearce y Gilliver, 1978; Oyejola y Mead, 1982).

E) Complementariamente a los análisis univariados de los componentes, se evaluaron las diferencias individuales para cada género de las consociaciones dentro de los niveles de fertilización. Se trabajó sobre dos diseños de parcela dividida independientes, con las especies de vicias o los cereales acompañantes, como factor cultivo. Además, en Bordenave se arreglaron contrastes ortogonales para verificar las diferencias en producción de vicias y para establecer comparaciones entre la avena y el centeno.

F) Para cada cultivo y en los diferentes niveles de fertilización, se graficó la producción acumulada en función de los días desde siembra y se calcularon las tasas de acumulación de forraje para los períodos de crecimientos sucesivos. Se ajustó una regresión lineal entre la PT y los días de crecimiento desde la siembra para estimar la tasa de crecimiento promedio para el ciclo completo (global).

El procesamiento de datos se realizó mediante el software InfoStat Profesional® (2008).

Resultados

Bajo Hondo

Producción acumulada de forraje

Mediante un análisis de varianza de la producción total de los tratamientos se verificó la presencia de un comportamiento diferente del factor fertilización en los distintos niveles del factor cultivo (Tabla 1.5). Dentro de cada nivel de fertilización,

el comportamiento de las consociaciones difirió entre sí. En el caso de avena - *V. villosa*, la producción de forraje fue superior a la de avena pura a excepción de los tratamientos con S, mientras que avena - *V. sativa*, sólo difirió en el tratamiento N2+S donde fue inferior al cultivo puro.

Tabla 1.5: Producción total de forraje (kg MS ha^{-1}) en Bajo Hondo según cultivo y nivel de fertilización. Notación ver Tabla 1.2.

Cultivo	Fertilización									
	T		N1		N1+S		N2		N2+S	
Av	1832	a A	2687	a B	3306	ab C	3782	a D	4686	b E
Av VV	2732	b A	3398	b B	3834	b C	4349	b D	4895	b E
Av VS	2097	a A	2939	ab B	3200	a B	3686	a C	3889	a C

Medias de 3 observaciones. Letras minúsculas y mayúsculas distintas en columnas y filas respectivamente, difieren significativamente a $p < 0,05$ según DMS.

Efectos ANOVA: Cultivo $p=0,048$, Fertilización $p < 0,0001$, Interacción $p=0,0106$. CV%=6,13.

La fertilización estudiada tanto en los tratamientos individuales como en grupos de tratamientos (Tabla 1.6), presentó respuestas significativas a la aplicación de dosis crecientes de N en el cultivo puro de avena y en las consociaciones avena-vicia. Además, se observaron incrementos por adición de S que sólo fueron significativos para avena y avena - *V. villosa*.

El efecto de mayor magnitud correspondió a la fertilización en general con cerca de $1800 \text{ kg MS ha}^{-1}$ para la avena pura y unos $1350 \text{ kg MS ha}^{-1}$ para las consociaciones. La respuesta a las dosis de N y al S disminuyó en el orden Av, Av VV y Av VS. Los incrementos por dosis de N y de S fueron aditivos.

En las regresiones, los valores relativamente bajos en los coeficientes de determinación (R^2), se asocian al diseño en bloque del ensayo, aunque el análisis de residuales no evidenció problemas de ajuste, lo que confirmó la respuesta lineal al N para la avena pura y las consociaciones (Tabla 1.7). La EAGR del N fue mayor para la avena pura y se vio incrementada en $16 \text{ kg MS kg N}^{-1}$ por la adición de 10 kg S ha^{-1} . Ambas consociaciones presentaron igual EAGR para el N ($p > 0,25$) y ésta aumentó unos $10 \text{ kg MS kg N}^{-1}$ en las parcelas con S, sólo para Av VV.

Tabla 1.6: Comparación en Bajo Hondo de la producción total de forraje (kg MS ha⁻¹) en grupos de tratamientos de fertilización por contrastes ortogonales en cada cultivo. Detalle de efecto y notación de cultivos ver Tabla 1.4 y Tabla 1.2, respectivamente.

Cultivo	Efecto	Media grupo 1	n	Media grupo 2	n	Prob.
Av	Fertilización	1832	3	3614	12	<0,001
	Azufre	3232	6	3996	6	<0,001
	Dosis de N	2994	6	4234	6	<0,001
	Interacción	3684	6	3544	6	0,245
Av VV	Fertilización	2732	3	4119	12	<0,001
	Azufre	3873	6	4364	6	0,004
	Dosis de N	3616	6	4622	6	<0,001
	Interacción	4146	6	4091	6	0,6624
Av VS	Fertilización	2097	3	3428	12	<0,001
	Azufre	3312	6	3544	6	0,1101
	Dosis de N	3069	6	3787	6	<0,001
	Interacción	3414	6	3443	6	0,8286

Tabla 1.7: Modelos de regresión en Bajo Hondo de la producción total de forraje (PT) en kg MS ha⁻¹ en función de la fertilización nitroazufrada para los tres cultivos. Notación ver Tabla 1.2.

Cultivo	Ecuación	R ²	p
Av	PT = 1810 + 32,1 N + 1,62 NxS	0,61	0,004
Av VV	PT = 2697 + 26,7 N + 1,01 NxS	0,60	0,004
Av VS	PT = 2169 + 27,6 N	0,61	0,001

Partición entre gramíneas y leguminosas en la producción acumulada de forraje

El análisis bivariado exploró la relación entre componentes de las consociaciones y el grado en que ésta se vió afectada por los tratamientos. La fertilización alteró el desempeño de las especies, promoviendo el desarrollo de la gramínea en detrimento de la leguminosa. Este efecto se evidenció en la alta correlación negativa entre los componentes de la consociación y se verificó al analizar los efectos del N y del S mediante DMS en cada componente (Tabla 1.8).

Tabla 1.8: Producción de forraje particionada entre gramíneas y leguminosas (kg MS ha⁻¹) en Bajo Hondo. Prueba de DMS por componente y prueba de Hotelling para comparación bivariada de medias. Coeficiente de correlación de Pearson entre componentes. Notación ver Tabla 1.2.

Cultivo	Fertilización	T	N1	N1+S	N2	N2+S	Coef. Corr. Pearson
Av VV	Avena	1532	2517	3186	3843	4622	-0,9976
	DMS Univariado	a	b	c	d	e	
	Vicia	1200	881	648	506	272	
	DMS Univariado	d	c	b	b	a	
	Hotelling Bivariado	a	d	cd	c	b	
Av VS	Avena	1494	2715	2742	3518	3516	-0,7517
	DMS Univariado	a	b	b	c	c	
	Vicia	603	224	457	167	375	
	DMS Univariado	d	ab	cd	a	bc	
	Hotelling Bivariado	a	e	d	c	b	

Medias de 3 observaciones. Letras distintas en filas difieren significativamente a $p < 0,05$.

En ambas consociaciones se encontró disminución del componente leguminosa por fertilización. En *V. sativa* el agregado de S mitigó la respuesta negativa a N, dando como resultado una asociación menor entre componentes, que en avena - *V. villosa*. Los efectos sobre el componente avena son coincidentes con los ya descritos para la producción total de forraje por ser éste el componente principal (Figura 1.2).

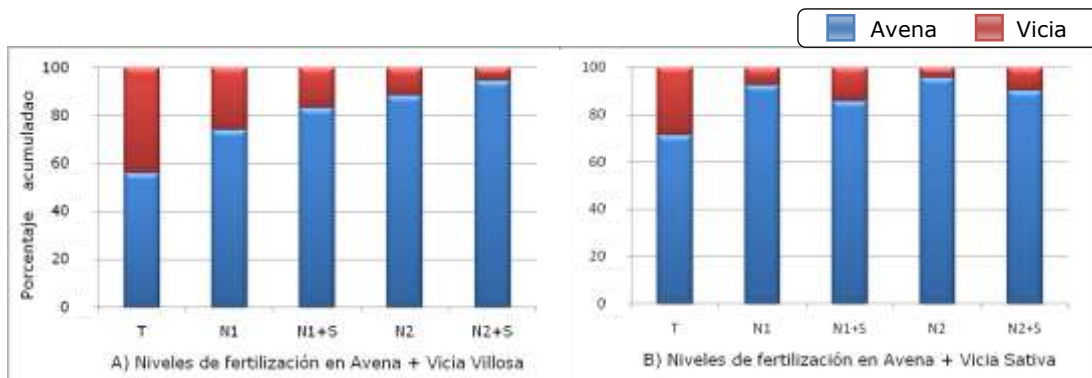


Figura 1.2: Composición botánica porcentual de las consociaciones Av VV (A) y Av VS (B) en la producción acumulada de forraje en Bajo Hondo. Notación de niveles de fertilización ver Tabla 1.2. Estadística de comparación y análisis ver Tabla 1.8.

Comparación de producción acumulada de vicias y de avena de las consociaciones en cada nivel de fertilización

Para evaluar el comportamiento por género, en cada nivel de fertilización, se efectuaron pruebas independientes para la producción acumulada de forraje de la avena acompañante y de las vicias (Tabla 1.9).

Tabla 1.9: Comparación de producción acumulada de forraje (kg MS ha⁻¹) en los componentes vicias y avena de las consociaciones en Bajo Hondo. Notación ver Tabla 1.2.

Componente	Fertilización				
	T	N1	N1+S	N2	N2+S
Avena de Av VV	1532 a	2517 a	3186 a	3843 a	4622 b
Avena de Av VS	1494 a	2715 a	2742 a	3518 a	3514 a

Componente	Fertilización				
	T	N1	N1+S	N2	N2+S
<i>Vicia villosa</i>	1200 b	881 b	648 a	506 b	272 a
<i>Vicia sativa</i>	603 a	224 a	457 a	167 a	375 a

Medias de 3 observaciones. Letras distintas dentro de columnas difieren significativamente a $p < 0,05$.

Efectos ANOVA: a) en avenas: Cultivo $p = 0,2175$, Fertilización $p < 0,0001$, Inter. $p = 0,0023$. CV% = 7,53.

b) en vicias: Cultivo $p = 0,0206$, Fertilización $p < 0,0001$, Inter. $p = 0,0001$. CV% = 19,65.

Las interacciones, en ambos ANOVAS, son consecuencia de la respuesta diferente de los factores cultivo a la fertilización. Las avena se diferenció sólo en N2+S y las vicias presentaron diferencias en los tratamientos sin adición de S.

Tasas de crecimiento entre evaluaciones sucesivas de los tratamientos

A nivel de cortes se exploraron las tasas de crecimiento de los diferentes cultivos sometidos a los niveles de fertilización (Tabla 1.10 y Figura 1.3). Para los dos primeros períodos de crecimiento las tasas mantuvieron el orden $T < N1 < N1+S < N2 < N2+S$ (con $p < 0,05$ en la mayoría de los casos), para los tres cultivos. El tercer período conservó igual orden en Av, en tanto que para consociaciones, en Av VS difirieron sólo las dosis mayores de N respecto del testigo, y en Av VV no se apreciaron diferencias para los niveles de fertilización. A nivel global el análisis fue coherente con lo relevado para la producción total de MS, presentando los tres cultivos incrementos significativos por dosis creciente de N, pero sólo Av y Av VV por adición de S.

Las tasas de crecimiento de avena en el segundo período, se duplicaron respecto al primero, mientras que para las consociaciones fueron 7 veces mayores en los testigos y 3-5 veces superiores en las parcelas fertilizadas. Para el tercer período se registraron tasas de crecimiento intermedias, similares a la tasa global, a excepción de la avena fertilizada con la dosis mayor de N.

Tabla 1.10: Tasas de acumulación diaria de materia seca ($\text{kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$) según cultivo y fertilización en cada periodo de crecimiento y global, en Bajo Hondo. Notación ver Tabla 1.2.

Cultivo	Período de crecimiento (días desde siembra)	Fertilización				
		T	N1	N1+S	N2	N2+S
AV	0-111	4,5 a A	6,9 a B	9,1 a C	10,4 a CD	11,9 a D
	111-205	9,6 b A	14,4 b B	17,5 b C	20,9 b D	27,4 b E
	205-274	6,2 ab A	8,2 a B	9,5 a B	9,6 a B	11,5 a C
	Global	6,5 A	9,7 B	12,1 C	13,9 D	17,2 E
Av VV	0-111	2,2 a A	4,7 a B	5,1 a B	9,2 a C	9,8 a C
	111-205	16,8 b A	20,0 b B	23,8 c C	25,7 b C	30,9 b D
	205-274	13,2 b A	14,4 b A	14,9 b A	13,4 a A	13,1 a A
	Global	10,0 A	12,4 B	14,0 C	15,9 D	17,9 E
Av VS	0-111	2,6 a A	4,1 a AB	4,5 a AB	6,2 a BC	7,3 a C
	111-205	13,8 c A	18,9 c B	20,9 c B	25,1 b C	26,0 b C
	205-274	7,4 b A	10,2 b AB	10,7 b AB	9,2 a B	9,2 a B
	Global	7,7 A	10,7 B	11,7 B	13,5 C	14,2 C

Medias de 3 observaciones. En cada cultivo, letras minúsculas y mayúsculas distintas, en columnas y filas respectivamente, difieren a $p < 0,05$ según DMS.

Efectos ANOVA: a) en Av: Período de crec. $p=0,0057$, Fert. $p < 0,0001$, Inter. $p < 0,0001$. $CV\%=7,39$.

b) en AvVV: Período de crec. $p=0,0042$, Fert. $p < 0,0001$, Inter. $p < 0,0001$. $CV\%=9,84$.

c) en AvVS: Período de crec. $p=0,0015$, Fert. $p < 0,0001$, Inter. $p=0,0008$. $CV\%=13,87$.

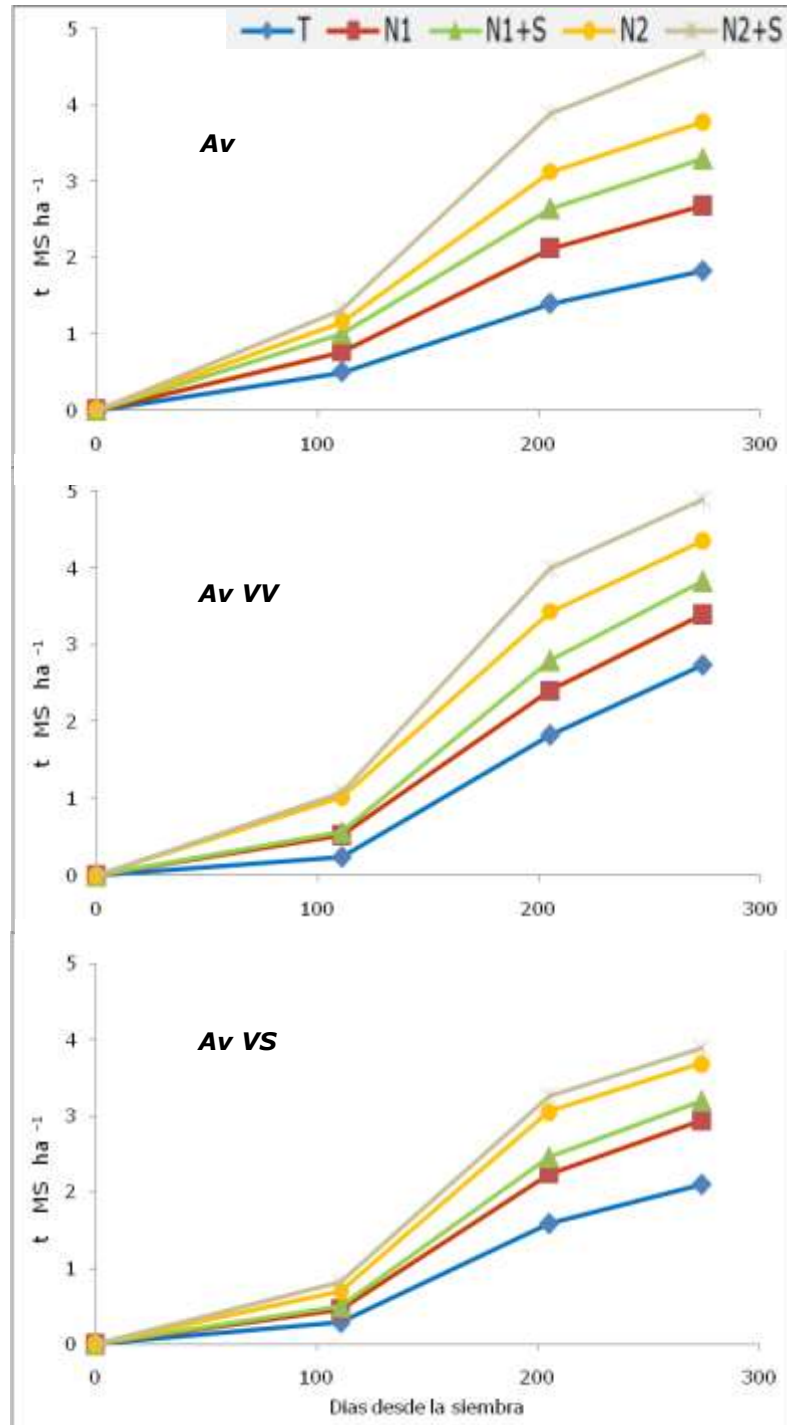


Figura 1.3: Evolución de la producción acumulada de MS según cultivos y niveles de fertilización en Bajo Hondo. Notación de cultivos ver Tabla 1.2. Estadística de comparación y análisis ver Tabla 1.10.

BordenaveProducción acumulada de forraje

De forma similar a lo sucedido en Bajo Hondo, el análisis de varianza de la producción acumulada en los tratamientos, exhibió interacción entre los niveles de ambos factores (Tabla 1.11). Sólo se observaron efectos de la fertilización en centeno y sus consociaciones. Dentro de los niveles de fertilización, los testigos de las consociaciones resultaron más productivos que los cereales puros, mientras que en ambas dosis de N, avena se mantuvo menor que en el resto de la especies. En los tratamientos con adición de S el centeno y sus consociaciones superaron a las consociaciones de avena y éstas a avena pura.

Tabla 1.11: Producción total de forraje (kg MS ha⁻¹) en Bordenave según cultivo y nivel de fertilización. Notación ver Tabla 1.2.

Cultivo	Fertilización				
	T	N1	N1+S	N2	N2+S
Av	3075 a A	3103 a A	2772 a A	2623 a A	2779 a A
Av VV	3933 bc A	4442 b A	4323 b A	4373 b A	4135 b A
Av VS	4362 c A	4602 b A	4678 bc A	4308 b A	4568 bc A
Cn	3376 ab A	4021 b B	4587 bc BC	4556 b C	4941 cd C
Cn VV	4627 c A	4549 b A	5072 c AB	4917 b AB	5326 d B
Cn VS	4398 c A	4515 b AB	4808 bc AB	4644 b AB	5043 cd B

Efectos ANOVA: Cultivo p=0,0006, Fertilización p=0,0003, Interacción p=0,0098. CV%=7,91.

Medias de 3 observaciones. Letras minúsculas y mayúsculas distintas en columnas y filas respectivamente, difieren significativamente a p<0,05 según DMS.

No existió interacción entre las dosis de N y el S en los cultivos con respuesta a la fertilización, y a nivel de grupos de tratamientos los efectos de la fertilización se verificaron sólo en el cultivo puro de centeno. El efecto de mayor magnitud correspondió a la fertilización en general con 1150 kg MS ha⁻¹, seguido por el incremento por el S y las dosis de N con 780 y 445 kg MS ha⁻¹, respectivamente (Tabla 1.12).

Tabla 1.12: Comparación en Bordenave de la producción total de forraje (kg MS ha⁻¹) en grupos de tratamientos de fertilización por contrastes ortogonales en Centeno. Detalle de efecto ver Tabla 1.4

Efecto	Media grupo 1	n	Media grupo 2	n	Prob.
Fertilización	3376	3	4526	3	<0,001
Azufre	3985	6	4764	6	0,0299
Dosis de N	4304	6	4749	6	0,0391
Interacción	4481	6	4572	6	0,6288

La EAGR del N en el modelo continuo aplicado a Centeno (Tabla 1.13), se incrementó en 9 kg MS Kg N⁻¹ por la adición de 10 kg S ha⁻¹.

Tabla 1.13: Regresión en Bordenave de la producción total de forraje (PT) en kg MS ha⁻¹ en función de la fertilización nitroazufrada en centeno. Notación ver Tabla 1.2.

Cultivo	Ecuación	R ²	p
Centeno	PT = 3515 + 17,3 N + 0,89 N x S	0,65	<0,002

Partición entre gramíneas y leguminosas en la producción acumulada de forraje

Con un tratamiento análogo a la información de Bajo Hondo, en la Tabla 1.14 se presentan los resultados de la prueba de Hotelling para comparación bivariada de medias y los resultados de la prueba de DMS, para cada componente de las consociaciones (cereal y vicia).

La adición de fertilizantes modificó el desempeño de las especies en todas las consociaciones, estableciendo asociaciones negativas entre componentes, sin diferenciación de los coeficientes de correlación.

En Av VV, las proporciones se modificaron por efecto de N, no así por S, situación relacionada a la reducción en la productividad de *V. villosa* por incremento de la dosis de N, dado que avena mostró respuesta a la fertilización, pero sin diferenciación. En tanto, en Av VS, todos los niveles de fertilización alteraron de igual forma las proporciones de los componentes. La *V. sativa* exhibió un comportamiento semejante al verificado en Bajo Hondo, con promoción de

desarrollo por efecto de S, mientras que la avena acompañante se comportó igual que en Av VV.

En Cn VV la proporción de componentes difirió principalmente entre testigo y fertilizados. La producción de *V. villosa* disminuyó por la fertilización, aunque no se modificó ante los cambios de dosis y nutrientes, comportamiento opuesto al centeno acompañante que presentó respuesta parcial a los niveles de fertilización. En Cn VS, los tratamientos N1 y N2+S mostraron igualdad estadística en su composición al considerar ambos componentes. Es este cultivo *V. sativa* exhibió igual comportamiento al mencionado en Av VS, limitando de forma análoga la respuesta del centeno de la consociación.

Tabla 1.14: Producción de forraje particionada entre gramíneas y leguminosas (kg MS ha⁻¹) en Bordenave. Prueba de DMS por componente y prueba de Hotelling para comparación bivariada de medias. Coeficiente de correlación de Pearson entre componentes. Notación ver Tabla 1.2.

Cultivo	Fertilización	T	N1	N1+S	N2	N2+S	Coef. Corr. Pearson
Av VV	Avena	2813	3554	3465	3834	3773	-0,871
	DMS univariado	a	b	b	b	b	
	Vicia	1120	888	858	539	362	
	DMS univariado	c	bc	b	a	a	
	Hotelling bivariado	a	c	c	b	b	
Av VS	Avena	3061	3842	3641	3666	3681	-0,846
	DMS univariado	a	b	b	b	b	
	Vicia	1301	760	1037	642	887	
	DMS univariado	c	ab	bc	a	ab	
	Hotelling bivariado	a	b	b	b	b	
Cn VV	Centeno	3903	3983	4522	4446	4902	-0,851
	DMS univariado	a	ab	c	bc	c	
	Vicia	724	566	550	471	424	
	DMS univariado	b	ab	ab	a	a	
	Hotelling bivariado	a	ac	bc	bc	b	
Cn VS	Centeno	3655	4195	4145	4492	4636	-0,751
	DMS univariado	a	bc	b	bc	c	
	Vicia	743	321	663	152	407	
	DMS univariado	c	b	c	a	b	
	Hotelling bivariado	a	d	c	b	d	

Medias de 3 observaciones. Letras distintas en filas difieren significativamente a $p < 0,05$.

La contribución porcentual de los componentes en la producción acumulada de forraje para las cuatro consociaciones (Figura 1.4) exhibe el efecto descrito de los niveles de fertilización sobre la composición botánica.

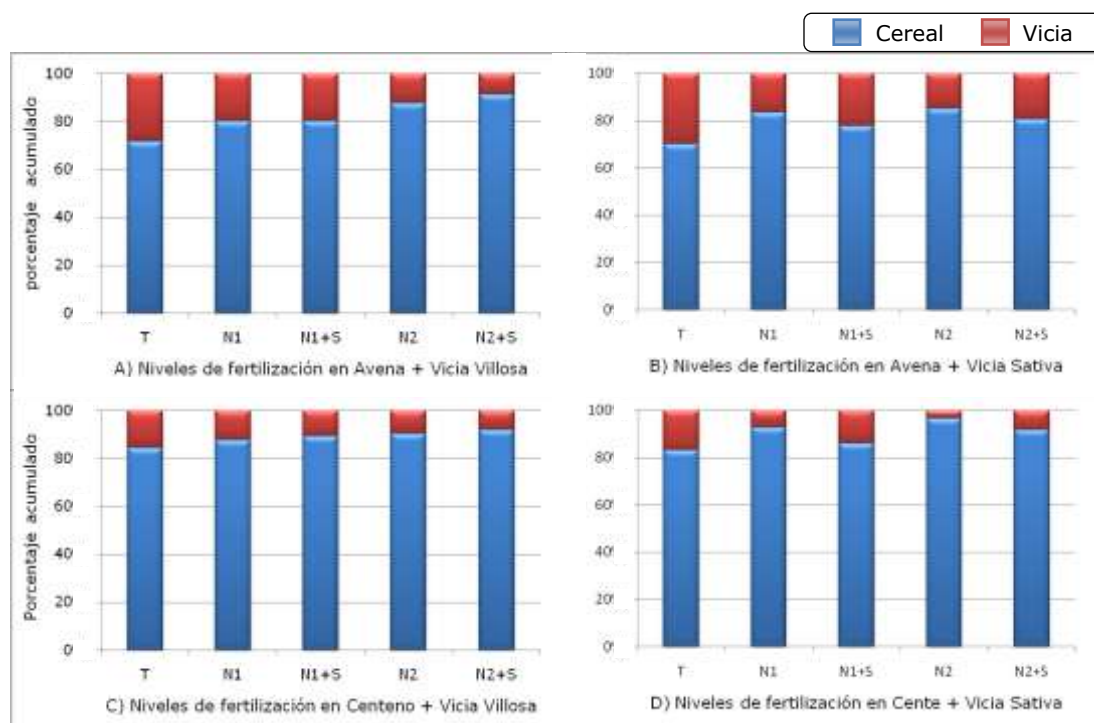


Figura 1.4: Composición botánica porcentual de las consociaciones Av VV (A), Av VS (B), Cn VV (C), Cn VS (D) en la producción acumulada de forraje en Bordenave. Notación de niveles de fertilización ver Tabla 1.2. Estadística de comparación y análisis ver Tabla 1.14.

Comparación de producción acumulada de vicias y de avenas de las consociaciones en cada nivel de fertilización

La evaluación del comportamiento por género en cada nivel de fertilización, se realizó, al igual que en Bajo Hondo, mediante pruebas independientes para la producción acumulada de forraje de los cereales acompañantes y las vicias (Tabla 1.15).

La interacción entre niveles del factor cultivo y fertilización, sólo fue significativa al evaluar las vicias, principalmente por el efecto de la adición de S, mientras que en los cereales acompañantes los valores se observaron siempre inferiores en la avena y los mayores, en el centeno.

Además de los análisis individuales, se realizan mediante contrastes, comparaciones en promedio para los cinco niveles de fertilización, lo cual reveló una disminución del 40 % ($p < 0,004$) en la productividad de las vicias asociadas al centeno, independientemente de la especie (*V. villosa* o *V. sativa*), en tanto que un análisis similar para los cereales mostró que el centeno produjo un 20% más ($p < 0,003$) que la avena en consociación.

Tabla 1.15: Comparación de producción acumulada de forraje (kg MS ha⁻¹) en los componentes vicias y cereales de las consociaciones en Bordenave. Notación ver Tabla 1.2.

Componente	Fertilización				
	T	N1	N1+S	N2	N2+S
Avena de Av VV	2813 a	3554 a	3465 a	3834 ab	3773 a
Avena de Av VS	3061 ab	3842 ab	3641 ab	3666 a	3681 a
Centeno de Cn VV	3902 c	3983 ab	4522 c	4446 bc	4902 b
Centeno de Cn VS	3655 bc	4195 b	4145 bc	4492 c	4636 b

Componente	Fertilización				
	T	N1	N1+S	N2	N2+S
<i>Vicia villosa</i> de Av VV	1120 b	888 c	858 bc	539 b	3612 a
<i>Vicia sativa</i> de Av VS	1301 b	760 bc	1037 c	642 b	887 b
<i>Vicia villosa</i> de Cn VV	724 a	566 ab	550 a	471 b	424 a
<i>Vicia sativa</i> de Cn VS	743 a	321 a	663 ab	152 a	407 a

Medias de 3 observaciones. Letras distintas dentro de columnas difieren significativamente a $p < 0,05$.

Efectos ANOVA: a) en cereales: Cultivo $p = 0,0167$, Fertilización $p < 0,0001$, Inter. $p = 0,2328$. CV% = 7,18.

b) en vicias: Cultivo $p = 0,0148$, Fertilización $p < 0,0001$, Inter. $p = 0,0031$. CV% = 19,04.

Tasas de crecimiento entre evaluaciones sucesivas en los tratamientos

En la Tabla 1.16 se presentan las tasas de crecimiento entre cortes del centeno según niveles de fertilización. En el primer periodo no existió respuesta a la fertilización en las tasas de ninguno de los cultivos, mientras que en el segundo, los resultados son consistentes con los encontrados para la producción total acumulada de MS de los tratamientos, y son los responsables de las diferencias en las tasas globales.

En los niveles de fertilización, el centeno exhibió en el segundo periodo de crecimiento tasas 4,5 veces mayores que las del primer periodo, en tanto que en

ambas consociaciones fue 7,5 superior. Las tasas globales correspondieron al 60 % de las tasas de crecimiento del segundo período.

Tabla 1.16: Tasas de acumulación diaria de materia seca ($\text{kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$), en cada periodo de crecimiento y globales, según cultivo y fertilización de centeno puro y consociado en Bordenave. Notación ver Tabla 1.2.

Cultivo	Período de crecimiento (días desde siembra)	Fertilización				
		T	N1	N1+S	N2	N2+S
Cn	0-147	7,0 a A	8,4 a A	8,6 a A	9,5 a A	9,5 a A
	147-227	29,2 b A	34,9 b B	41,6 b CD	39,5 b C	44,3 b D
	Global	18,1 A	21,6 B	25,1 C	24,5 BC	26,9 C
Cn VV	0-147	7,2 a A	6,6 a A	6,8 a A	6,5 a A	6,2 a A
	147-227	44,7 b A	44,7 b A	50,9 b BC	49,5 b AB	55,2 b C
	Global	25,9 A	25,7 A	28,9 AB	28,0 AB	30,7 B
Cn VS	0-147	7,0 a A	6,8 a A	6,7 a A	5,6 a A	6,1 a A
	147-227	42,2 b A	43,9 b AB	47,8 b BC	47,7 b BC	51,8 b C
	Global	24,6 A	25,4 AB	27,2 AB	26,7 AB	29,0 B

Medias de 3 observaciones. En cada cultivo, letras minúsculas y mayúsculas distintas, en columnas y filas respectivamente, difieren a $p < 0,05$ según DMS.

Efectos ANOVA: a) en Cn: Período de crec. $p=0,0177$, Fert. $p=0,0024$, Inter. $p=0,0040$. CV%=8,69.

b) en CnVV: Período de crec. $p=0,0115$, Fert. $p=1046$, Inter. $p < 0,0316$. CV%=9,66.

c) en CnVS: Período de crec. $p=0,0005$, Fert. $p < 0,1690$, Inter. $p=0,0884$. CV%=11,12.

La avena y sus consociaciones no presentaron crecimiento en el primer periodo, por lo cual se presenta en la Tabla 1.17 sólo las tasas correspondientes al segundo periodo (desde los 147 a 227 días desde la siembra). Las consociaciones presentaron tasas entre 26 y 40 % mayores respecto del cultivo puro.

Tabla 1.17: Tasas de acumulación diaria de materia seca ($\text{kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$) según cultivo y fertilización en el segundo periodo de crecimiento de avenas puras y consociadas en Bordenave. Notación ver Tabla 1.2.

Cultivo	Fertilización				
	T	N1	N1+S	N2	N2+S
Av	38,4 a A	38,8 a A	34,7 a A	32,8 a A	34,7 a A
Av VV	49,2 b A	55,5 b A	54,0 b A	54,7 b A	51,7 b A
Av VS	54,5 b A	57,5 b A	58,5 b A	53,9 b A	57,1 b A

Medias de 3 observaciones. Letras minúsculas y mayúsculas distintas en columnas y filas respectivamente, difieren significativamente a $p < 0,05$ según DMS.

Efectos ANOVA: Cultivo $p=0,0040$, Fertilización $p=0,3917$, Interacción $p=0,4885$. CV%=8,65.

Adicional al análisis de las tasas de crecimiento en la figura 1.5 se presentan la evolución de la producción acumulada de MS para todos los cultivos y niveles de fertilización.

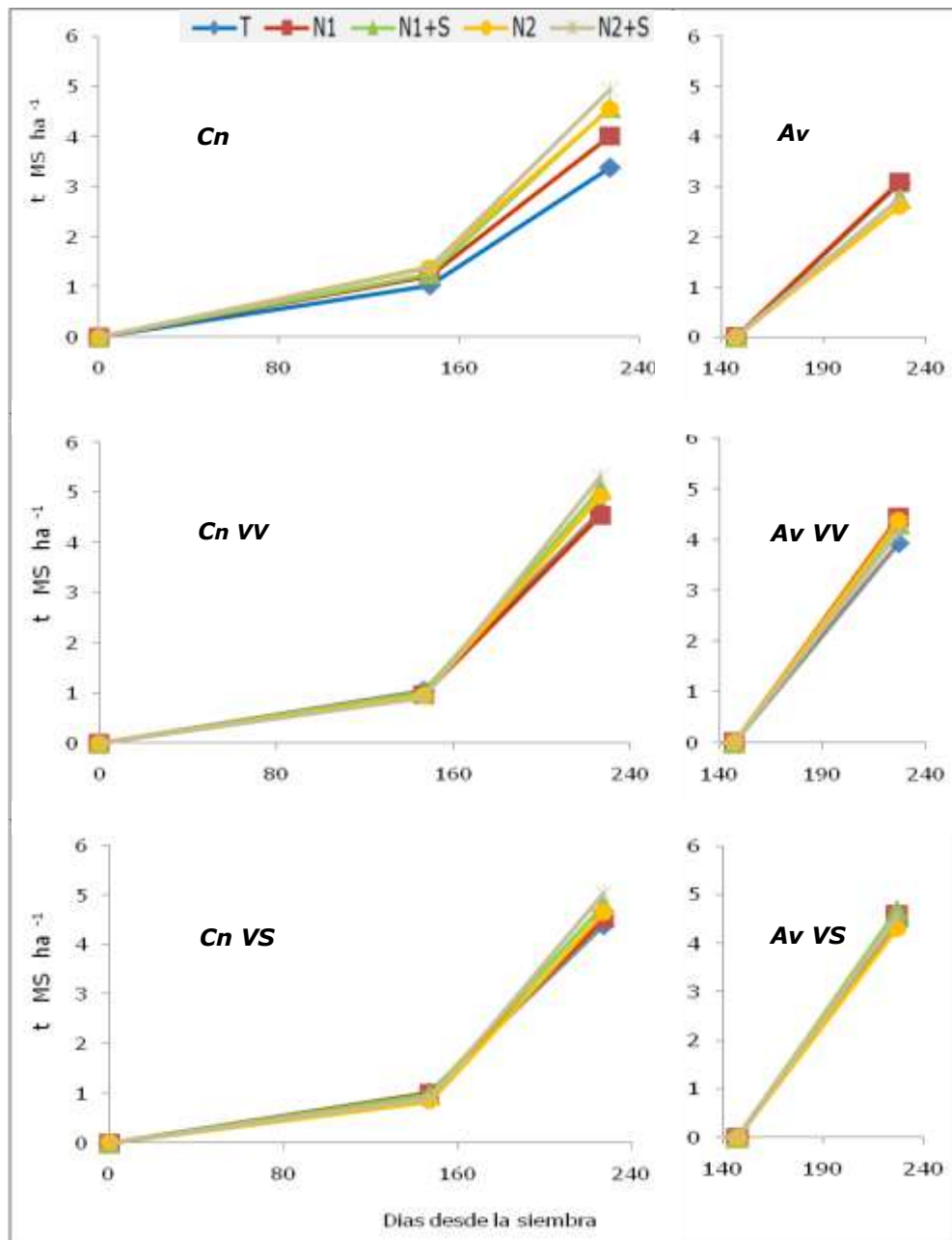


Figura 1.5: Evolución de la producción acumulada de MS según cultivos y niveles de fertilización en Bordenave. Notación de cultivos ver Tabla 1.2. Estadística de comparación y análisis ver Tabla 1.16 y 1.17.

Discusión

En ambas localidades existió respuesta a la fertilización conforme a las características edáficas y la fecha de implantación, que determinaron las condiciones para el crecimiento de los cultivos.

En Bajo Hondo las EAGR de N para avena fueron similares a las obtenidas en el sudeste bonaerense por Marino (1996) bajo mejores condiciones edáficas y de distribución de precipitaciones. La adición de S originó incrementos en la producción, a pesar de los altos valores en el suelo (Díaz Zorita y Fernández Canigia, 1998), respuesta que, en parte, puede atribuirse a un aumento en la EAGR del N (Salvagiotti *et al.*, 2009). En Bordenave, la situación de crecimiento inicial fue definida por la fecha de siembra, que por ser tardía sometió a los cultivos a estrés hídrico y heladas frecuentes. Cuando las condiciones ambientales propiciaron el crecimiento, la mayor rusticidad del centeno determinó una respuesta diferencial a la fertilización respecto de la avena. Este cultivo se comportó en forma similar a la de otros ensayos locales bajo sequía (Bolletta *et al.*, 2007).

La fertilización nitrogenada determinó incrementos productivos en las consociaciones similares a los informados por otros autores (Fernández *et al.*, 2004). Esta práctica favoreció más a los verdes puros, reduciendo las diferencias productivas con las mezclas. En Bajo Hondo el tratamiento Av VS incluso resultó inferior al cultivo puro, en concordancia con trabajos del Mediterráneo (Lithourgidis *et al.*, 2006; Dhima *et al.*, 2007).

El empleo de técnicas multivariadas en este estudio permitió contemplar la interacción entre componentes y separar las diferencias conjuntas de los tratamientos (Pearce y Gilliver, 1978; Oyejola y Mead, 1982). En ambas localidades las asociaciones negativas halladas, por efecto de fertilización nitrógenada, entre los componentes gramíneas y leguminosas han sido descritas anteriormente para fertilización nitrogenada (Papastylianou, 1990). Estas relaciones fueron producto de la modificación de las condiciones de crecimiento, que favorecieron -en la mayoría

de los casos- la habilidad competitiva del cereal en la mezcla (De Wit y Van Den Bergh, 1965). Los efectos positivos del S en leguminosas (García, 2005), se manifestaron en ambas localidades sólo en *V. sativa*, promoviendo su desarrollo y limitando la respuesta de la gramínea a la adición de S. Las relaciones de competencia analizadas por Caballero *et al.*, (1995) en mezclas con distinta proporción cereal - vicia son aplicables a los resultados observados en este estudio.

En Bajo Hondo pudo observarse la mayor rusticidad de *V. villosa*, citada en otros trabajos locales (Agamennoni y Vanzolini, 2006). En función de su resistencia invernal (McCartney y Fraser, 2010), presentó el doble de producción respecto a *V. sativa* en las parcelas no fertilizadas. La igualdad en la producción de las avenas acompañantes de ambas consociaciones dentro de los niveles de fertilización, dejó en evidencia que el principal determinante de las diferencias en la producción total de forraje entre las consociaciones fueron los cambios en la productividad de las vicias por efecto de la fertilización.

El análisis homólogo, en Bordenave, no presentó el mismo comportamiento en las vicias. El desarrollo principal de las mismas se observó en el último periodo de crecimiento, con temperaturas mayores a 12°C (temperatura media de septiembre de 2007) y buena régimen de precipitación. De esta forma la productividad de la leguminosa fue definida por la agresividad del cereal acompañante, que fue mayor en centeno. Al respecto, Dhima *et al.* (2007) verificaron diferencias en la competitividad de cereales forrajeros en consociación con vicia, para iguales condiciones de crecimiento. Las diferencias entre la avena y el centeno se relacionan con la influencia del porte del cereal sobre el hábito de crecimiento de la leguminosa (Caballero y Goicoechea, 1986).

Los incrementos diarios de MS estuvieron en función de las condiciones ambientales durante los periodos de crecimiento. En Bajo Hondo, la implantación relativamente temprana de los cultivos posibilitó mayor número de días en el ciclo y

permitiendo efectuar tres cortes. En Bordenave, el retraso en la siembra impactó negativamente sobre el crecimiento inicial, reduciendo el número de evaluaciones.

En el primer crecimiento en Bajo Hondo, las tasas inferiores a 4,5 kg MS ha⁻¹ día⁻¹ exhibidas en los testigos de los tres cultivos, fueron producto de la sequía invernal y la alta frecuencia de heladas y coinciden con otros estudios del sur y sudoeste bonaerense (Vanzolini *et al.*, 2007 y Bolletta *et al.*, 2007; respectivamente), donde condiciones climáticas análogas imponen bajas tasas de crecimiento, independientemente del potencial genético, factor que define variaciones para la tasa de crecimiento (Martínez *et al.*, 2006). En las consociaciones, el lento desarrollo inicial de las vicias y la utilización del 66 % de semilla de avena respecto al cultivo puro, definieron las tasas 50 % menores. Para el mismo período los efectos de una mejor nutrición nitroazufrada justifican los incrementos en las tasas de crecimiento de la totalidad de los cultivos ensayados.

El segundo período de crecimiento en Bajo Hondo mostró tasas comparables a las obtenidas por Martínez *et al.* (2006), durante el año 2004 con buena cantidad y distribución de precipitaciones. En esta etapa, la diferenciación debida a los niveles de fertilización fue la principal responsable de la respuesta en la producción acumulada de forraje. En el tercer período de crecimiento las condiciones de mayor competencia de las leguminosas restringieron la respuesta a la fertilización en las tasas de crecimiento, en contraste con lo observado en la Av. Las diferencias observadas entre las consociaciones se deben a que, en este período, *V. villosa* presentó un crecimiento más activo (Amigone *et al.*, 2005).

En Bordenave, se destacó el crecimiento inicial de los cultivos con centeno, pese a la rigurosidad del ambiente, condición que favorece su utilización y es ampliamente difundida por mejoradores de la especie (Tomaso, 2003). Además, en el segundo período de crecimiento exhibieron diferencias por efecto de los niveles de fertilización que condujo a la diferenciación de la producción total de los tratamientos. La producción 20 % mayor de las consociaciones de centeno respecto

al cultivo puro en esta etapa suma ventajas en favor de su utilización, mientras que las consociaciones de avenas compensaron su falta de productividad inicial asemejando la producción a las mezclas de centeno. El cultivo Av, pese a su buen desarrollo en el segundo período de crecimiento, no logro alcanzar los niveles productivos del Cn en su ciclo.

Para ambas localidades el análisis de las tasas globales fue la causa y un reflejo de las diferencias observadas en la producción total de forraje.

Conclusiones e implicancias

Bajo las condiciones de régimen hídrico ústico del sudoeste bonaerense y de este estudio, las consociaciones resultaron más productivas que los cereales forrajeros puros y mostraron respuestas similares en los diferentes niveles de fertilización.

La adición de S originó incrementos en la eficiencia agronómica del N y en la producción de forraje, a pesar de la buena disponibilidad de sulfatos en el suelo.

Mejoras en la nutrición mineral favoreció la competitividad de los verdeos puros respecto de las consociaciones, reduciendo las diferencias productivas entre cultivos.

La fertilización nitrogenada redujo la participación y el rendimiento de vicia en las consociaciones. En cambio, la adición de S, mejoró la habilidad competitiva de *V. sativa* contrarrestando los efectos del N. Los resultados sugieren considerar la fertilización azufrada, en consociaciones con *V. sativa* como practica de manejo para mejorar su productividad.

Bajo las condiciones de crecimiento de Bajo Hondo y desde el punto de vista productivo, *V. villosa* se comportó mejor que *V. sativa*. En tanto que en Bordenave no hubo diferencias entre vicias y centeno como acompañante fue más restrictivo del crecimiento de las vicias.

Aún bajo estrés hídrico, bajas temperaturas y alta frecuencia de heladas, el centeno exhibió un marcado comportamiento de rusticidad, que a diferencia de la avena le permitió crecer. Esta característica resultaría de gran importancia para el sudoeste bonaerense, en la productividad de los sistemas pastoriles.

La fertilización con N y NS resultó útil para elevar el nivel productivo cuando las condiciones para el crecimiento fueron favorables, tanto en verdeos puros como consociados.

Referencias

- Abd El Monein, A.M.; Cocks, P.S. y Swedan, Y. 1988. Yield stability of selected forage vetches (*Vicia* spp) under rainfed conditions in West Asia. *J. Agric. Sc. Camb.* 111:295-301.
- Agamennoni, R. y Vanzolini, J.I. 2006. Diferentes manejos para la vicia y su efecto sobre el rendimiento y la calidad de trigo. *Actas del XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.* Salta, Argentina. 380 pp.
- Amigone, M. y Kloster, A. 1997. Invernada bovina en zonas mixtas. *Boletín de divulgación Técnica, EEA INTA Marcos Juárez.* 5:39-56.
- Amigone, M.; Kloster, A.; Navarro, C. y Bertram, N. 2005. Elección de cultivares e implantación de verdeos de invierno. En: *Verdeos de alta productividad para optimizar la cadena forrajera. Información para extensión, EEA INTA Marcos Juárez.* 96:5-14.
- Azam, F.; Mulvaney, R.L. y Simmons, F.W. 1995. Effects of ammonium and nitrate on mineralization of nitrogen from leguminous residues. *Soil Biol. Biochem.* 20(1):49-52.
- Bardsley, C.E. y Lancaster, J.D. 1960. Determination of reserve sulfur and soluble sulfates in soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 24:265-268.
- Bolletta, A.; Lagrange, S.; Tulesi, M. y Dupouy, M. 2007. Efectos de la fertilización nitrogenada sobre la producción de forraje y calidad en Avena sativa. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 27(1):145.
- Caballero, R. y Goicoechea, E.L. 1986. Utilization of winter cereals as companion crops for common vetch and hairy vetch. In: *Proceedings of the 11th General Meeting of the European Grass. Fed.* p. 379-384.
- Caballero, R.; Goicoechea, E.L. y Hernaiz, P.J. 1995. Forage yields and quality of common vetch and oat sown at varying seeding ratios and seeding rates of common vetch. *Field Crop. Res.* 41:135-140.

- Campi, 2007. Información meteorológica en la página web de la EEA INTA Bordenave.
<http://www.inta.gov.ar/bordenave/info/meteor/helada/metdiario.htm>
- Carr, P.M.; Horsley, R.D. y Poland, W.W. 2004. Barley, oat and cereal-pea mixtures as dryland forages in the Northern Great Plains. *Agron. J.* 96:677-684.
- Covas, G.M. 1954. Forrajeras promisorias para la región semiárida central. En: IDIA 81, Revista del Ministerio de Agricultura y Ganadería de la Nación.
- Covas, G.M. 1978. Forrajeras indígenas. Especies que requieren un plan de conservación de germoplasma. *Ciencia e Investigación* 34:209-213.
- De Wit, C.T. y Van Den Bergh. 1965. Competition between herbage plants. *Neth. J. Agric. Sci.* 13:212-221.
- Dhima, K.V; Lithourgidis, A.S.; Vasilakoglou, I.B. y Dordas, C.A. 2007. Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. *Field Crop. Res.* 100:249-256.
- Díaz Zorita, M. y Fernández Canigia, M.F. 1998. Azufre y nitrógeno en la implantación de pasturas perennes en la región de la pampa arenosa Argentina. *Ciencia del Suelo* 16:103-106.
- Díaz Zorita, M. 2001. Resumen de estudios de fertilización con azufre en el oeste bonaerense. Publicación Técnica Nº 36. EEA INTA General Villegas. 14 pp.
- Díaz Zorita, M. y Barraco, M. 2002. ¿Como es el balance de fósforo en los sistemas pastoriles de producción en la región pampeana? *Informaciones Agronómicas del Cono Sur - INPOFOS* 13:8-10.
- Dimitri, M.J. 1978. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Tomo I: Descripción de las plantas cultivadas. Ed. ACME S.A.C.I. 523 pp.
- Droushiotis, D.N. 1985. Effect of variety and harvesting stage on forage production of vetch in a low rainfall environment. *Field Crop. Res.* 10:49-55.
- Droushiotis, D.N., 1989. Mixtures of annual legumes and small-grained cereals for forage production under low rainfall. *J. Agric. Sci.* 113:249-253.
- Enrique, M. y Pelta, H. 2000. Relevamiento de verdeos de invierno. Actas Jornadas de actualización para productores: Producción de verdeos de invierno y sus implicancias en el sistema ganadero. EEA INTA Bordenave. p. 23-30.
- FAO. 1995. Manual técnico de la fijación simbiótica de nitrógeno. Leguminosa/Rhizobium. 185 pp.
- FAO, Dirección de Fomento de Tierras y Aguas (AGL). 2001. Directrices para ensayos y demostraciones de nutrición vegetal y manejo de suelos a nivel de finca. Ed. FAO. Misceláneos Nº 26. 86 pp.

- Fernández Grecco, R. 2007. Producción otoñal de forraje de Avena sativa: método de siembra y fertilización nitrogenada. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 27(1).
- Fernandez, R.; Funaro, D. y Quiroga, A. 2004. Aspectos del manejo del agua y la nutrición en verdes de invierno. *Boletín de Divulgación* N° 80. EEA INTA Anguil.
- Fox, R.A.; Olson, R.A. y Rhoades, H.F. 1964. Evaluating soil sulfur by plant and soil tests. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 28(2):243-246.
- Galantini, J. y Rosell, R. 2006. Long-term fertilization effects on soil organic matter quality and dynamics under different production systems in semiarid pampean soils. *Soil Tillage Res.* 87:72-79.
- Galantini, J.A.; Landriscini, M.R. y Fernández, R. 2007. Fertilización con azufre en sistemas productivos del sur y SO bonaerense (Ed. Galantini). *Revista técnica especial en Siembra Directa. AAPRESID* p. 50-54.
- García, F.O. 2000. Rentabilidad de la fertilización: Algunos aspectos a considerar. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur - INPOFOS* N° 5.
- García, F.O. 2005. Fertilización de pasturas y verdes en la región pampeana Argentina. En: *Verdeos de alta productividad para optimizar la cadena forrajera. Información para extensión* N° 96. EEA INTA Marcos Juárez.
- García, F.O.; Ruffo, M.L. y Daverede, I. 1999. Fertilización de pasturas y verdes. Revisión. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur - INPOFOS* N° 1.
- Gardner, A.L. 1967. Estudio sobre los métodos agronómicos para la evaluación de las pasturas. IICA, Instituto Interamericano de ciencias Agrícolas de la O.E.A. Uruguay.
- Gastal, F. y Lemaire, G. 1988. Study of a tall fescue grown under nitrogen deficiency conditions. *General Meeting of the European Grassland Federation.*(12th Proceedings, Dublin, 1988) Dublin. p. 323-327.
- Hadjichristodoulou, A. 1978. Genotype, environment and rainfall effects on common vetch varieties in a semiarid region. *Exp. Agric.* 14:81-87.
- Hardt P.F.; Ocumpaugh, W.R. y Grene, L.W. 1991. Forage mineral concentration, animal performance and mineral status of heifers grazing cereal pastures fertilized with sulfur. *J. Anim. Sci.* 69:2310-2320.
- Haynes, R.J. 1980. Competitive aspects of the grass-legume association. *Advance in Agronomy* 33:227-261.
- Henderson, J.L. y Davies, R.O. 1955. The yield and composition of mixed cereal-legume crops at different stages of growth. *Emp. J. Exper. Agric.* 23:131-144.
- Hodgson, H.J. 1956. Effect of seeding rates and time of harvest on yield and quality of oat-pea forage. *Agron. J.* 48:87-90.

- Hotelling, H. 1936. Relations between two sets of variates. *Biometrika* (28:321-377).
- Hummel, T.J. y Sligo, J. 1971. An empirical comparison of univariate and multivariate analysis of variance procedures. (ref.: "Agricultural fields experiments. Design and analysis" de R.G. Petersen (1994). *Psychological Bulletin*, 76(1):49-57.
- InfoStat. 2008. Software versión 2008. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Labarthe, A. y Pelta, H. 1971. Informe de Vicias. Agencia Cooperativa de Extensión Rural-INTA Tornquist. EEA INTA Bordenave.
- Langer, R.H.M. 1963. Tillering in herbage grasses. *Herb. Abstr.* 33:142-148.
- Lithourgidis, A.S.; Vasilakoglou, I.B.; Dhima, K.V.; Dordas, C.A. y Yiakoulaki, M.D. 2006. Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and triticale in two seeding ratios. *Field Crop. Res.* 99:106-113.
- Loewy, T. 1987. Rotación con leguminosa - trigo y fertilidad nitrogenada del suelo. *Ciencia del suelo* 5(1):57-64.
- Loewy, T. 2001 (ed.) Tecnología de fertilización nitrogenada para cereales de invierno. Región subhúmeda y semiárida pampeana. Comité de Fertilidad de suelos y Nutrición Vegetal, AACCS. 34 pp.
- Loewy, T.; Salomón, N. y Ron, M.M. 2007. Fertilización nitro-azufrada de trigo pan en el SO bonaerense. In Simposio Fertilidad 2007: Bases para el manejo de la nutrición de los cultivos y los suelos (compilado por I A Ciampitti y F. García) 1 ed. Acassuso: Potash and Phosphate Institute of Canada p. 119-122.
- Lorda, H.; Roberto, Z.; Bellini Saibene, Y.; Sipowicz, A. y Belmonte, M.L. 2008. Descripción de zonas y subzonas agroecológicas RIAP. Boletín de divulgación técnica N° 96. EEA INTA Anguil. 40 pp.
- Marino, M.A. 1996. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento invierno primaveral, la composición química del forraje de Avena sativa y *LoLium multiflorum* Lam. Tesis Magíster. Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Mar del Plata. 85 pp.
- Martínez, M.F.; Arelovich, H.M.; Wehrhahne, L. Torrea M.B. y Marinissen, J. 2006. Acumulación de forraje y rendimiento de grano en cultivares de Avena sativa. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 26(1):112.
- McCartney, D. y Fraser, J. 2010. The potential role of annual forage legumes in Canada: A review. *Can. J. Plant Sci.* 90:403-420.
- Méndez, D. y Davies, P. 2000. Utilización de verdeos de invernales. Publicación Técnica N° 30. EEA INTA Gral. Villegas. 35 pp.

- Montaldi, E.R. 1995. Principios de Fisiología Vegetal. Ediciones SUR. 350 pp.
- Moreira, N. 1989. The effect of seed rate and nitrogen fertilizer on the yield and nutritive value of oat-vetch mixtures. J. Agric. Sci. Camb. 112:57-66.
- Osman, A.E. y Nersoyan, N. 1986. Effect of the proportion of species on the yield and quality of forage mixtures, and on the yield of barley in the following year. Exp. Agric. 22:345-351.
- Oyejola, B.A. and Mead, R. 1989. On the Standard Errors and Other Moments for Ratios of Biological Measurements. Exper. Agric. 25:473-484.
- Papastylianou, I. 1990. Response of pure stands and mixtures of cereals and legumes to nitrogen fertilization and residual effects on subsequent barley. J. Agric. Sci. 115:15-22.
- Papastylianou, I. y Danso, D.K.A. 1991. Nitrogen fixation and transfer in vetch and vetch-oats mixtures. Soil Biol. Biochem. 23:447-452.
- Papastylianou, I. 1995. Effect of rainfall and temperature on yield of *Vicia sativa* under rainfed Mediterranean conditions. Grass For. Sci. 50:456-460.
- Pearce, S.C. y Gilliver, B. 1978. The statistical analysis of data from intercropping experiments. J. Agric. Sci. 91(3):625-632.
- Puricelli, C.A. 1996. La consociación avena mas vicia en el Sudoeste de Buenos Aires una revisión de antecedentes. Serie didáctica Nº 2. EEA INTA Bordenave.
- Puricelli, C.A.; Pelta, H.; Kruger, H. y Arroquy, L. 1999. La siembra directa de verdes de invierno en el sudoeste de Buenos Aires. Actas Jornadas para actualización profesional.
- Quiroga, A.; Ormeño, O.; Fernandez, D.; Otamendi, H. y Vallejo, A. 1999. Verdeos de Invierno: Necesidad de reconocer y manejar limitantes de su productividad en suelos de la región semiárida pampeana. Boletín de Divulgación Técnica Nº 61. EEA INTA Anguil.
- Quiroga, A.; Ormeño, O. y Baudracco, S. 2001. Fertilización de verdes de invierno en la región subhúmeda y semiárida pampeana. En: Tecnología de fertilización nitrogenada para cereales de invierno. Región subhúmeda y semiárida pampeana. Comité de fertilidad de suelos y nutrición vegetal. Ed. AACs.
- Renzi, J.P y Cantamutto, M. 2007. Efecto de la estructura del cultivo sobre el rendimiento de semillas de *Vicia sativa* L. y *Vicia villosa* Roth. Actas de la XX Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal (ALPA), XXX Reunión de la Asociación Peruana de producción animal (ALPA) y V Congreso Internacional de Ganadería de Doble Propósito.
- Reussi Calvo, N.; Echeverría, H. y Sainz Rozas, H. 2004. Nutrición azufrada del cultivo de trigo bajo siembra directa y labranza convencional en el sudeste

bonaerense. Actas VI Congreso Nacional de Trigo y IV Simposio Nacional de cultivos de siembra otoño - invernal.

- Reussi Calvo, N.; Echeverria, H. y Sainz Rozas, H. 2006. Respuesta del cultivo de trigo al agregado de azufre en el sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 24:1-11.
- Roberts, C.A.; Moore, K.J. y Johnson, K.D. 1989. Forage quality and yield of wheat-vetch at different stages of maturity and vetch seeding rate. *Agron. J.* 81:57-60.
- Robinson, R.G. 1960. Oat-pea or oat-vetch mixtures for forage or seed. *Agron. J.* 52:546-546.
- Ron, M.M.; Riley, J. y Loewy, T. 2002 Análisis bivariado para un ensayo de fertilización de pastura mixta en un haplustol lítico. Actas 18 Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Pto Madryn, abril de 2002.
- Ron, M.M. y Loewy, T. 2007a. Sulphur content and N:S ratio of small grains in the southwest of Buenos Aires province (Argentina).1 Conferencia Latinoamericana ICC International Conference on Cereals and Cereal Products Quality and safety. 23-26 Septiembre 2007. Bolsa de Comercio de Rosario.
- Ron, M.M. y Loewy, T. 2007b. Eficiencia de urea y fuentes sulfonitrogenadas para trigo en el sudoeste bonaerense. Actas IV Jornadas Interdisciplinarias del SO bonaerense. Bahía Blanca, 7 a 9 de setiembre de 2006.
- Ryle, J.A. 1970. Effect of two levels of applied nitrogen on the growth of S37 cocksfoot in small simulated swards in a controlled environment. *J. Br. Grassld. Soc.* 25:20-29.
- Salvagiotti, F.; Castellarín, J.M.; Miralles, D.J. y Pedrol, H.M. 2009. Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. *Field Crop. Res.* 113:170-177.
- San Martín, N.F. y Echeverria, H. 1995. Sulfato en suelos del sudeste bonaerense. *Ciencia del suelo* 13:95-97.
- Satterthwaite, F.E. 1946. An Approximate Distribution of Estimates of Variance Components. *Biometrics Bulletin*, Vol. 2, No. 6 pp. 110-114. Published by: International Biometric Society. Stable URL: <http://www.jstor.org/stable/3002019>.
- Scherer, H.W. y Lange A. 1996. N₂ fixation and growth of legumes as affected by sulphur fertilization. *Biology and Fertility of Soils.* 23(4):449-453.
- Schwarz, C.J. 2007. Notas para el curso: Beginning and Intermediate Statistics. Capítulo 10: Experimental design - two factor - split-plot designs. Link: <http://www.stat.sfu.ca/~cschwarz/CourseNotes>.

- Tallec, T.; Diquéloua, S.; Avicea, J-C.; Lesuffleura, F.; Lemauviel-Lavenanta, S.; Cliquet, J-B. y Ourry, A. 2009. Availability of N and S affect nutrient acquisition efficiencies differently by *Trifolium repens* and *Lolium perenne* when grown in monoculture or in mixture. *Env. Exp. Botany* 66:309-316.
- Tisdale, S.L; Nelson, W.L.; Beaton, J.D. y Havlin, S.L. 1993. *Soil Fertility and Fertilizers*. Fifth Edition. Macmillan Publishing Company. 634 pp.
- Tomaso J.C. 2003. Cereales forrajeros de invierno. Producción de materia seca, Manejo del cultivo y Curvas de Producción. En: *Sistemas de engorde intensivo*. Ed Fernández Mayer, A. - Tomaso J. C. Cap. IV. Serie didáctica No 7. EEA INTA Bordenave.
- Thorntwaite, C.W. 1931. The climates of North America according to a new classification. *The Geographical Review*. 21:633-655.
- Van Loo, E.N.; Schapendonk, A.H.C.M. y De Vos, A.L.F. 1992. Effects of nitrogen supply on tillering dynamics and regrowth of perennial ryegrass populations. *Neth. J. Agric. Sci.* 40:381-400.
- Vanzolini, J.I.; Marinissen, J.; García, J.M. y Boscardín, H. 2007. Producción de materia seca de Avena sativa en el sur de la provincia de Buenos Aires (Partido de Villarino -zona secano). *Rev. Arg. Prod. Anim.* 27(1):155.
- Videla, R.O. 1955. Pastoreos con centeno y vicia morada. En: *Progreso realizado en las investigaciones agrícolas en 1954*. Dir. Gral. Investigaciones Agrícolas. IDEA No 90 al 92.
- Videla, R.O. 1978. Vicias. Hoja Informativa de la Asociación Cooperadora de la EEA INTA Bordenave. EEA INTA Bordenave.
- Wehrhahne, L. 2008. Avenas para grano 2008. *AgroBarrow* N° 40. Publicación de la Chacra Experimental Integrada INTA Barrow.
- Wilman, D. y Wright, P.T. 1983. Some effects of applied nitrogen on the growth and chemical composition of temperate grasses. *Herb. Abstr.* 53:387-393.
- Wooding, A.R.; Kavale, S.; Wilson, A.J. y Stoddard, E.L. 2000. Effects of nitrogen and sulfur fertilization on commercial-scale wheat quality and mixing requirements. *Cereal Chem.* 77(6):791-797.

Capítulo 2

Calidad nutricional del forraje en verdeos de avena pura y consociada con vicias; efectos de la fertilización nitroazufrada

Resumen

En los sistemas de producción mixtos del sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina) la calidad del forraje de los verdeos de invierno es una herramienta que aporta en la definición de la respuesta en la producción de carne. El objetivo de este trabajo fue estudiar los efectos de la fertilización con nitrógeno (N) y azufre (S) y de la consociación con dos especies de vicias sobre las variables de calidad nutricional de verdeos de invierno con avena. El diseño del ensayo de campo fue de parcela dividida con factores fijos en bloques completos al azar ($b=3$). Los tratamientos quedaron definidos como combinación de un primer factor cultivos (avena pura y en consociación con *Vicia villosa* y *V. sativa*) y un segundo factor fertilización (testigo, 60 kg N ha^{-1} con y sin adición de 10 kg S ha^{-1}) aplicado como UAN a inicio de macollaje. Un tercer factor, en franja, fue el número de corte de las evaluaciones de productividad efectuadas a los 111, 205 y 274 días desde la siembra. Se tomaron muestras de aproximadamente 0,35 kg de dos bloques. En consociaciones se analizaron separadamente las fracciones. Se determinaron los contenidos de materia seca (MS), de proteína bruta (PB) y soluble (PS), de carbohidratos no estructurales solubles (CNES), de azufre (S) y su digestibilidad in vitro (DIVMS). Se calcularon PB/PS y PS/CNES. Se realizó un análisis preliminar de las variables estudiadas y se presentaron medidas de resumen y dispersión para avena pura, consociaciones y sus componentes. Se realizó un ANOVA para comparar las especies de vicias, y otro para las avenas acompañantes. En un tercer ANOVA se reunieron los datos de las dos consociaciones para el contraste entre géneros. En estos tres análisis el factor corte se incluyó como franja de un bloque dividido. En todos los casos la comparación de medias se realizó por DMS. Se estimó la calidad nutricional del forraje en las consociaciones de acuerdo al

porcentaje de participación de ambos componentes. Se analizaron conjuntamente las tres evaluaciones y cultivos mediante regresiones de las variables de calidad nutricional en función de la participación de avena. Los rangos en las variables de calidad nutricional, como así también las relaciones entre las mismas se correspondieron con los factores ensayados, las características edáficas y la fecha de implantación, que determinaron las condiciones para el crecimiento de los cultivos durante el experimento. La fertilización mejoró la calidad del forraje en avena pura, sin registrarse desbalances en las variables que pudieran afectar la producción animal, aunque los valores de proteína bruta podrían restringir máximas tasas de crecimiento en rumiantes. Las especies de vicia no tuvieron implicancia sobre la calidad intrínseca de la materia seca de la consociación, aunque diferencias en su ciclo de crecimiento modificaron su participación en la composición del forraje. Para el presente estudio, niveles de participación de vicia en la composición de la materia seca mayores a 27 % aseguraron valores de proteína bruta que no resultarían restrictivos en producción animal, sin modificaciones desfavorables en el resto de las variables de calidad nutricional. La utilización de consociaciones con vicias presentó ventajas respecto a la fertilización, dado principalmente por efecto de complementación de ciclos de las especies que implicó, en todas las evaluaciones, mejores niveles de proteínas que los obtenidos por la adición de fertilizantes.

Palabras claves

Avena - *Vicia villosa* - *Vicia sativa* - proteína - carbohidratos - digestibilidad - región semiárida.

Introducción

Los verdeos de invierno son una herramienta relevante en los sistemas con inclusión de ganadería del sudoeste bonaerense, en particular en la zona de régimen de humedad ústico. La calidad del forraje juega un papel preponderante en los niveles de producción de carne y contribuye a definir la respuesta productiva (Méndez y Davies, 2000).

Las variaciones de calidad en el forraje están asociadas a los cambios en la composición química del tejido vegetal durante el proceso de acumulación de biomasa. Caloin y Yu (1984) categorizan al tejido según su función en dos fracciones, una asociada con los procesos de síntesis de asimilados, y la otra con los procesos metabólicos de conversión de asimilados. La calidad del forraje depende del balance adecuado entre ambos componentes.

Variables de calidad nutricional forrajera y su interrelación en cereales forrajeros y vicia

- El nitrógeno

La tasa de crecimiento de un cultivo es la principal determinante de la absorción de N cuando su abastecimiento no es limitante (Imsande y Touraine, 1994). El contenido de N total en planta se expresa habitualmente como proteína bruta (PB).

En el sudoeste bonaerense, bajo condiciones favorables de precipitación, los cereales forrajeros sembrados a principios de marzo presentan altas tasas de crecimiento inicial, que estimulan la absorción de N, exhibiendo valores de PB elevados (Martínez *et al.*, 2007), similares a los obtenidos en el sudeste bonaerense (Elizalde y Santini, 1992). De manera similar, en los primeros días de rebrote posterior a las defoliaciones, el crecimiento exponencial estimula altas tasas de absorción de N (Burns, 1994), lo que permite su almacenamiento para removilizarlo y utilizarlo durante el desarrollo reproductivo (Millard, 1988).

Concluida la etapa de crecimiento exponencial, comienza a declinar la cantidad de N absorbido y el porcentaje de N en el forraje (Greenwood *et al.*, 1990). Imsande y Touraine (1994) hallaron una declinación en la tasa de absorción de N por unidad de peso de raíz al avanzar la ontogenia del cultivo. La declinación en la concentración de N del forraje ha sido atribuida a la disminución en la cantidad de N necesaria para la elaboración de materia seca (Lemaire y Salette, 1982). En otras palabras durante la acumulación de forraje la planta utiliza cada vez menos N para acumular cada nueva unidad de tejido (Justes *et al.*, 1994) y aún con óptimo abastecimiento de N, su concentración en el forraje disminuye con el desarrollo del cultivo y la acumulación de biomasa (Lemaire y Salette, 1982).

Luego de la defoliación, cuando el cultivo ha recuperado su superficie fotosintética, se intercepta un alto porcentaje de la radiación incidente y la tasa de crecimiento se mantiene casi constante. En esta etapa la biomasa se incrementa (Greenwood *et al.*, 1991), por aumento de la proporción de constituyentes de pared celular (celulosa, hemicelulosa y lignina) en hojas, y principalmente en los tallos en elongación. Este incremento de la fracción estructural del vegetal implica una disminución en los componentes del contenido celular, disminuyendo así la concentración proteica (Gastal y Saugier, 1989).

En las leguminosas los altos requerimientos de N son compensados en parte por la fijación de N en los nódulos radiculares (Melgar y Díaz Zorita, 2005). Durante el momento de llenado de granos las tasas de absorción no compensan los requerimientos y el N es translocado desde las partes vegetativas, siendo este proceso autodestructivo del tejido vegetal (Sinclair y Wit, 1975). El género *Vicia* no presenta un modelo decreciente de calidad de forraje muy abrupto luego de floración, dado que el crecimiento de las vainas con altos niveles de PB compensan la caída en calidad de las partes vegetativas. Sin embargo, cambios del orden del 3 al 7 % entre floración y llenado avanzado de granos serían la principal razón por la cual en regiones semiáridas del mediterráneo, distintos autores, informan

diferencias importantes en el nivel de PB para igual estado fenológico (Rebolé *et al.*, 2004).

A nivel analítico el N se asocia a las proteínas, que pueden separarse en fracciones de acuerdo a su solubilidad en agua (Waldo y Goering, 1979). La fracción soluble (PS) de la proteína bruta (PB) es la relacionada a funciones enzimáticas y de procesos de la fotosíntesis, en tanto que las insolubles están ligadas, en su mayor parte, a los lípidos de la membrana celular. En la bibliografía se citan valores medios entre 45 y 48% para la relación PS/PB de forraje. Estos no variarían sustancialmente pese a importantes cambios en los contenidos de proteína y carbohidratos a lo largo del ciclo (Elizalde y Santini 1992) o a diferencias climáticas marcadas entre años.

- Los carbohidratos no estructurales solubles

Las plantas contienen carbohidratos en diferentes estados de polimerización, desde monosacáridos hasta polímeros de alto peso molecular, como el almidón, la celulosa y la hemicelulosa. Aquéllos que no forman parte de la pared celular se denominan carbohidratos no estructurales solubles (CNES). Los CNES son compuestos activos en el metabolismo de las plantas, constituidos principalmente por azúcares libres, almidón y fructosanos, siendo estos últimos rápidamente disponibles en las plantas (Nowakowski, 1962). Este grupo posee un potencial de fermentación rápida y total en el rumen (González *et al.*, 1989). Los CNES muestran fluctuaciones en su concentración después de los cortes de forraje. Un nivel bajo de CNES es frecuentemente indicativo de un periodo de crecimiento activo. La velocidad de rebrote del forraje depende de la combinación de área foliar y del contenido de CNES. Las gramíneas de origen templado (C3) acumulan fructosanos como principal carbohidrato de reserva, mientras que las leguminosas acumulan principalmente almidón (Sniffen *et al.*, 1992). Si bien los carbohidratos de reserva se presentan en toda la planta, también son almacenados en órganos que normalmente no son removidos por el corte o pastoreo como las bases de los

tallos, coronas y raíces y son de gran importancia para el almacenamiento y producción en aquellas épocas en las cuales la utilización de carbohidratos por las plantas excede la tasa de síntesis.

Los carbohidratos constituyen uno de los principales componentes del forraje acumulado, representando en gramíneas templadas hasta el 50 % del mismo (Denium y Dirven, 1975). En éstas, la síntesis de nuevo tejido foliar en los rebrotes, requiere de energía proveniente de la oxidación de carbohidratos solubles para reducción de nitratos y síntesis de aminoácidos (Aslam y Huffaker, 1984). De manera similar, en leguminosas, luego de un corte, las plantas obtienen energía a partir de los CNES de las raíces para producir nueva área foliar, hasta que ésta es capaz de fotosintetizar suficientes carbohidratos para el mantenimiento de las plantas. El exceso producido al aumentar el área foliar es reciclado y almacenado nuevamente en las raíces.

El contenido de almidón en postfloración de vicia aumenta en asociación al llenado de granos (Rebolé *et al.*, 2004). Esto no implica necesariamente una reducción en el nivel de azúcares de reserva de la planta (Caballero, 1998), porque bajo buenas condiciones de humedad y temperatura, la fotosíntesis actúa como fuente suficiente. Paralelamente, en este género, la relación entre los carbohidratos estructurales y los no estructurales permanece relativamente estable, con valores próximos a la unidad, entre floración y fin de llenado de granos (Caballero *et al.*, 2001). Por esta razón la calidad del forraje se mantiene aún en estados avanzados de floración.

- Relación entre N y CNES

Durante el ciclo de crecimiento la concentración de CNES presenta variaciones (Kigel, 1980). Esta es afectada por la disponibilidad de N. Luego de la defoliación se deprime la capacidad de asimilación de C con respecto a la capacidad de absorción de N. Por este motivo, el desarrollo del área foliar durante los primeros días del rebrote depende de las reservas, principalmente de CNES,

almacenados en la base de los pseudotallos en el momento de la defoliación (González *et al.*, 1989). Posteriormente, el restablecimiento del área foliar satisface los requerimientos de asimilados de las plantas y comienza a incrementarse la concentración de carbohidratos (Richards, 1993).

Cuando el nivel de radiación interceptada y el abastecimiento de N son adecuados la síntesis de fotosintatos abastece los requerimientos energéticos de la planta. En cambio, con limitaciones en la intensidad de luz o alta disponibilidad de N, la planta debe recurrir a los carbohidratos almacenados disminuyendo así su concentración en el forraje (Vose y Breese, 1964). Por esta razón, condiciones climáticas favorables para el crecimiento, con alta disponibilidad de N provocan desbalances entre N y CNES en etapas iniciales del cultivo en otoño e inclusive en algunos rebrotes.

- Fibra y digestibilidad "in vitro"

El contenido de fibra detergente neutro (FDN) aumenta con la madurez de los tejidos, debido al aumento en la proporción de pared celular (Denium y Dirven, 1975). En avena, desde el estado fenológico de inicio de elongación de nudos hasta grano duro, la FDN se eleva en un 50 % y la fibra detergente ácida (FDA) en un 77 % (Bolletta *et al.*, 2007). Resultados similares fueron obtenidos por Fernández Mayer *et al.* (2007) al evaluar el cultivo desde antesis hasta grano duro. En ese informe la digestibilidad disminuyó un 75 % mientras que FDN y de lignina se incrementaron en 11 y en 38 %, respectivamente.

También en cultivos con restricciones en la disponibilidad de nutrientes (Hacker y Minson, 1981) y en condiciones de estrés hídrico se presentan contenidos de FDN más elevados, por engrosamiento de las paredes celulares (Gastal y Saugier, 1989).

En el sur de la provincia de Buenos Aires, el estado vegetativo en cultivos de avena bajo riego se extiende hasta fines de octubre, con valores constantes de digestibilidad y de FDN de 83 y 36 %, respectivamente. En ese momento, comienza

a manifestarse la diferenciación al estado reproductivo por efecto de la temperatura y las horas de luz (Marinissen, 2007). Asimismo en secano, si el cultivo se evalúa con defoliaciones sucesivas en el ciclo y siempre que no se permita la entrada al estado reproductivo, es posible visualizar valores constantes de FDN similares a los descriptos, independientemente de la fecha de corte (Martínez *et al.*, 2007).

- El azufre

En los vegetales el azufre (S) cumple funciones estructurales y metabólicas (Tisdale *et al.*, 1993). Es requerido para la síntesis de aminoácidos que lo contienen como la cistina, cisteína y metionina que son componentes esenciales de las proteínas y comprenden el 90 % del azufre de las plantas. Una de sus principales funciones estructurales es la formación de puentes disulfuro entre cadenas de polipéptidos dentro de las proteínas, importantes en la determinación y configuración de las propiedades catalíticas y estructurales de las mismas (Havlin *et al.*, 2005). El S es necesario para la síntesis de la Coenzima A, la cual está involucrada en la síntesis de ácidos grasos, de aminoácidos y de oxidaciones intermedias en el ciclo del ácido cítrico (Montaldi, 1995). Además, es requerido para la síntesis de clorofila, aunque no como constituyente de la misma, sino como parte vital de la ferredoxina, una Fe-S proteína de los cloroplastos. La ferredoxina cumple un rol significativo en la reducción de nitritos y de sulfatos, y también en la asimilación de N₂ en los nódulos de raíces de leguminosas (Havlin *et al.*, 2005).

Es un nutriente con movilidad en la planta, aunque de lenta traslocación (Freney *et al.*, 1978), razón por la cual en condiciones climáticas desfavorables pueden aparecer síntomas de deficiencias que, en gramíneas, se observan primero en las hojas más jóvenes.

En cuanto a su valor nutricional, en rumiantes, los microorganismos pueden utilizar el azufre contenido en los aminoácidos del alimento u obtenerlo de formas inorgánicas. Así, a diferencia de lo que ocurre en monogástricos, el azufre aportado por la ración se puede expresar como S total y no necesariamente como

aminoácidos azufrados. Además, la relación N:S es habitualmente usada como indicador de requerimientos por la existencia de interacción de ambos elementos. Kandilis (1984), citando a varios autores concluye que la relación N:S deseable para maximizar la eficiencia de utilización del nitrógeno por los microorganismos del rumen sería entre 10,0 y 13,5 para ovinos y entre 13,5 y 15,0 para bovinos. Sin embargo, esta relación no refleja necesariamente la de la dieta, ya que la utilización de ambos nutrientes en el rumen puede diferir por efecto del reciclado ruminal (Spears *et al.*, 1985) y la interacción con otros minerales (Demeyer, 1981). Por otra parte, valores de N:S entre 7 y 9 en la relación en avenas de primavera podrían deberse a contenidos de N relativamente bajos en el forraje, por eso es preferible valorar el S en planta a través del S total en el forraje y la relación N:S (Andrew, 1977). Wang *et al.*, (2002) reportan como niveles adecuados 2,0 a 2,5 g S kg⁻¹ y relación N:S entre 10 y 12.

Calidad nutricional de forrajes de consociaciones

Dado el elevado nivel proteico de las leguminosas, la asociación de vicias con cereales de invierno, tiene el potencial de elevar su contenido en la mezcla del forraje respecto a cereales puros (Anil *et al.*, 1998) y son tradicionalmente utilizadas en tal sentido, en la región europea del Mediterráneo (Caballero *et al.*, 1995; Papastylianou, 1990; Thomson *et al.*, 1990) y en otras regiones templadas del mundo (Osman y Osman, 1982; Assefa y Iredin, 2001; Qamar *et al.*, 1999; Thompson *et al.*, 1992). La mejor explicación en los cambios de PB producido en el forraje de consociaciones con vicias, respecto a cereales invernales puros, está dada por la proporción de semillas de vicia en la mezcla de siembra, cuyos incrementos determinan una mayor proporción de vicia en la composición botánica de la materia seca y por lo tanto, aumentos en el contenido de PB (Caballero *et al.*, 1995).

Si bien la vicia posee un nivel algo superior de lignina respecto a la avena, Droushiotis (1989), no apreció diferencias en la digestibilidad de la materia seca de

la mezclas y cultivos puros de ambos componentes , resultados que difieren de los obtenidos por Osman y Nersoyan (1986), quienes informaron valores mayores de digestibilidad en vicia pura y en las mezclas, que en cereales puros. Lithourgidis *et al.* (2006), evaluaron consociaciones de avena - *V. sativa* y encontraron que los mayores niveles de proteína del forraje se obtenían en cultivos puros de vicia o con proporción de 65 % de semillas de vicia en la siembra de consociaciones. En ambos casos los valores informados de PB (13,9 y 11,9 % respectivamente), fueron inferiores a los obtenidos para nuestra región, y a los informados por otros autores que mencionan niveles superiores a 20 % de PB para vicia pura (Caballero *et al.*, 2001).

La información en cuanto al nivel de FDN presente en los cultivos puros de cereales y de vicia (que condicionan los valores de las mezclas) es contradictoria, atribuido por Lithourgidis *et al.* (2006), a los cultivares utilizados y posiblemente a los diferentes estados de desarrollo de la vicia.

Cambios inducidos en el forraje por fertilización con N y S.

El aumento en la concentración de N en el forraje por fertilización está asociado a una disminución en la proporción de pared celular (Robson y Deacon, 1978). Sin embargo, en gramíneas forrajeras la digestibilidad del forraje no se ha visto influida mayormente por el N (Frame, 1991). Un panorama similar se presenta para la fertilización azufrada, que ha sido asociada al incremento de proteína en forrajes de avena y otras gramíneas (Hardt *et al.*, 1991; Lamond *et al.*, 1995; Sweeney y Moyer, 1997) pero sin afectar la digestibilidad de la materia seca, o de la fibra (Paterson *et al.*, 1994). En adición, la fertilización con S, en gramíneas aumenta su concentración en el forraje a la vez que podría reducir la disponibilidad de Ca y Mg para los rumiantes (Spears *et al.*, 1985). Por otra parte, en el sur de la provincia de Buenos Aires el estrés hídrico a menudo restringe el crecimiento de verdeos de invierno (Vanzolini *et al.*, 2007). Bajo estas condiciones pueden no

registrarse cambios en el nivel de PB del forraje, aún con niveles de fertilización de 60 kg N ha⁻¹ al macollaje (Bolletta *et al.*, 2007).

Restricciones de calidad para la producción animal.

Uno de los inconvenientes más comúnmente relacionados a la calidad de los verdes invernales es el referido a las bajas ganancias diarias de peso (GDP) de animales que consumen este forraje en otoño, situación ampliamente citada en la bibliografía (Marsh, 1975; Arelovich *et al.*, 2003), y de amplia trascendencia especialmente en las zonas de clima favorables de nuestro país como el sur de Córdoba (Amigone *et al.*, 2005), el noroeste de Buenos Aires (Méndez y Davies, 2000), el sureste de Buenos Aires (Elizalde y Santini, 1992) y aún en el sudoeste de Buenos Aires bajo regímenes de humedad údicos (Arzadún *et al.*, 1996). Beever *et al.* (1978), explican que el forraje de otoño se caracteriza por presentar una alta proporción de la proteína en forma soluble (PS) y bajos contenidos de CNES. La PS, durante el proceso de digestión, se degrada rápidamente en rumen liberando altas cantidades de amoníaco (NH₃). La falta de una fuente energética de rápida disponibilidad para las bacterias del rumen como la aportada por los CNES (Hoover y Stokes, 1991), hace que el NH₃ no pueda ser captado para formar proteínas microbianas, esenciales para la nutrición proteica de los animales. El exceso de NH₃ difunde a través de las paredes ruminales y es eliminado como urea en la orina, con el consecuente gasto energético (Elizalde *et al.*, 1996). Elizalde y Santini (1992), con el objetivo de determinar las causas de las bajas GDP en otoño, evaluaron la composición química de forrajes de avena en distintas épocas, dejando en evidencia la existencia de tal desbalance.

Este proceso de desbalance entre las PS y CNES no es el único responsable de las bajas GDP, dado que durante el otoño los animales ingieren un forraje con alto contenido de agua, el cual comúnmente puede producir limitaciones en el consumo voluntario (Kloster y Amigone, 2005; Fernández Mayer, 2003 y 2006) si la concentración de MS es inferior al 20 % (John y Ulyat, 1987). Esto es por efecto de

reducción en la palatabilidad y la aceptabilidad (Leaver, 1985), y por la aparente restricción física que provoca el contenido de agua en la estructura del forraje (Butris y Phillips, 1987), dado que es principalmente de tipo intracelular, lo cual aumenta el volumen de la dieta (John y Ulyat, 1987).

Sin embargo, el contenido de MS de las plantas no sería habitualmente una variable de alto impacto en la productividad animal (Arelovich *et al.*, 2004; Marinissen, 2007), más aún en el sudoeste bonaerense donde son escasas las situaciones con menos de 18 % de MS. Martínez *et al.*, (2007) tras dos años de ensayos, mostraron que sólo con siembras tempranas y buena condición de humedad en el suelo puede presentarse valores de MS potencialmente restrictivos.

Paralelamente, para poder atribuir la baja performance animal a la composición química del forraje, la asignación del mismo no debe ser limitante en ningún momento de su periodo de utilización, permitiendo alcanzar el máximo consumo posible por parte del animal (Coleman y Moore, 2003). En tal sentido, Mendez y Davies (1999) muestran resultados de cuatro años de ensayos con verdeos de invierno en la EEA INTA Gral. Villegas en los cuales la GDP aumenta hasta una asignación de forraje del 3,5 % del peso vivo (pv) por no existir limitantes en el consumo. Sin embargo, si la relación PS/CNES es de 3:1, la GDP disminuye aún con alta disponibilidad de forraje. Un factor que puede agravar los desbalances nutricionales, es la fertilización nitrogenada que, por encima de determinados niveles y bajo condiciones ambientales favorables, disminuye el contenido MS y de CNES, y aumenta la PB, fundamentalmente en los aprovechamientos otoño-invernales (Pordomingo *et al.*, 2002 y 2004).

En cuanto al efecto de la fertilización azufrada, mientras que Hardt *et al.* (1991), no encontraron efectos sobre la ganancia de peso animal, Paterson *et al.* (1994), informaron que en lugares con bajo contenidos de azufre en el suelo, puede mejorarse la productividad animal corrigiendo deficiencias microbianas en el

rumen, y por ello incrementos en la nutrición azufrada pueden mejorar la relación N:S del rumen y por lo tanto la nutrición animal (Havlin *et al.*, 2005).

Un factor que puede incrementar la necesidad de S disponible en la dieta de rumiantes, para evitar condicionamientos en el aprovechamiento de N en rumen, es la utilización de fuentes de N no proteico en la alimentación (Davies *et al.*, 1954). Sin embargo, resultados obtenidos por Chicatún *et al.* (2005) en el sudeste Bonaerense, con adición de S a dietas de vaquillonas en "feet lot", indican que no existen mejoras de los parámetros productivos.

Hipótesis

- La fertilización nitroazufrada en avena o la consociación con vicias mejoran la calidad nutricional del forraje a lo largo del ciclo de aprovechamiento.

Objetivo

- Estudiar en evaluaciones sucesivas los efectos de la fertilización nitroazufrada en verdeos de avena y la consociación con *Vicia villosa* y *V. sativa*, sobre variables de calidad nutricional del forraje.

Materiales y Métodos

Ensayo

Se utilizaron muestras de forraje de un ensayo de fertilización con nitrógeno (N) y azufre (S) en avena pura y consociada con vicias, realizado en la localidad de Bajo Hondo en 2007. El diseño de campo fue de parcelas divididas con factores fijos en bloques completos al azar (b=3). Los tratamientos quedaron definidos como combinación de un primer factor cultivos (avena pura y en consociación con *V. villosa* y *V. sativa*) y un segundo factor fertilización (testigo, 60 kg N ha⁻¹ con y sin

adición de 10 kg S ha⁻¹) aplicado como UAN a inicio de macollaje. Un tercer factor considerado, en franja, fue el número de corte de las evaluaciones de productividad efectuadas a los 111, 205 y 274 días desde la siembra. El experimento se describe detalladamente en el Capítulo 1 de esta tesis.

Para el muestreo se seleccionaron 2 bloques y 5 tratamientos del ensayo de campo. Previo a las evaluaciones en las parcelas de avena se realizó una evaluación visual simple del color de las hojas en los distintos tratamientos. La misma consistió en la comprobación subjetiva, por parte de dos observadores, de los efectos de la fertilización sobre la intensidad del color verde en la canopia.

En todas las subparcelas evaluadas luego de cada corte de forraje con segadora, se tomaron dos submuestras de aproximadamente 0,35 kg de forraje verde de las andanas, se embolsaron en forma compacta y hermética.

Las submuestras se mantuvieron a una temperatura inferior a 8°C hasta su procesamiento. En el laboratorio se retiraron las malezas y materias extrañas, como restos de paja de trigo y material senescente no diferenciado. En las consociaciones se separaron las especies avena y vicia. Se determinó el peso fresco de las submuestras (avena pura) y de los componentes en las submuestras de consociaciones. Luego se secaron en estufa a 60°C con ventilación forzada y se pesaron (sensibilidad: 0,01 g) para el cálculo del contenido de materia seca.

Los análisis de calidad nutricional se efectuaron sobre muestras compuestas por las dos submuestras en el cultivo puro, mientras que en consociaciones por los componentes de las consociaciones pertenecientes a ambas submuestras. Del análisis por separado de la avena y la vicia se constituyó el valor para el forraje, de acuerdo al porcentaje de participación de las especies en la materia seca.

Los datos se expresaron sobre la base de los cultivos forrajeros (avena y vicias). Las malezas y materias extrañas en ningún caso superaron el 2% del volumen cosechado. Los tratamientos de fertilización y la asociación con vicias no modificaron el estado fenológico de la avena respecto al testigo.

La Tabla 2.1 muestra el número de muestras analizadas y la notación empleada para los 5 tratamientos seleccionados y para los componentes de la mezcla en los tratamientos consociados.

Tabla 2.1: Número de muestras y notación para calidad nutricional de tratamientos y de componentes de las mezclas en tratamientos consociados.

N° de muestras analizadas	Descripción	Notación
<i>Tratamientos</i>		
6	Avena testigo	Av T
6	Avena fertilizada con 60 kg N ha ⁻¹	Av N
6	Avena fertilizada con 60 kg N + 10 kg S ha ⁻¹	Av N+S
-	Avena consociada con <i>Vicia villosa</i>	Av+VV
-	Avena consociada con <i>Vicia sativa</i>	Av+VS
<i>Componentes de las consociaciones</i>		
6	Avena de la consociación avena con <i>Vicia villosa</i>	Av(vv)
6	Avena de la consociación avena con <i>Vicia sativa</i>	Av(vs)
6	<i>Vicia villosa</i> de la consociación avena con <i>Vicia villosa</i>	VV
6	<i>Vicia sativa</i> de la consociación avena con <i>Vicia sativa</i>	VS

Las variables de calidad nutricional estudiadas y los métodos de determinación se exponen en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2: Expresión y métodos de determinación de las variables de calidad nutricional.

Variable de calidad nutricional	Unidades	Notación	Método de determinación
Materia seca	% de materia fresca	MS	Secado en estufa a 60°C con ventilación forzada durante 48 hs (AOAC, 1990).
Proteína bruta	% *	PB	Nitrógeno total por Kjeldhal (AOAC, 1990), equipo Kjeltec 2300 (semi - micro). Factor de transformación: 6,25.
Proteína soluble	% *	PS	Diferencia de N total con N de residuo (Waldo y Goering, 1979).
Proteína soluble / Proteína bruta	% de PB	PS/PB	Por calculo: $PS*100*(PB)^{-1}$
Carbohidratos no estructurales solubles	% *	CNES	Método Antrona. (Yemm y Willis, 1954).
Proteína soluble / Carbohidratos no estructurales solubles	-	PS/CNES	Por cálculo: $PS*(CNES)^{-1}$
Azufre	g kg ⁻¹ de MS	S	Digestión ácida y cuantificación por espectrometría de emisión atómica por plasma inducido (Johnson y Ulrich, 1959). Equipo Shimadzu. Mod. ICPS.1000III.
Digestibilidad "in vitro"	%*	DIVMS	Metodología Ankom según técnica modificada de Tilley y Terry, 1963. Equipo incubador Daisy (Ankom 200/20).

*base materia seca

Análisis estadístico

Se realizó un análisis preliminar de las variables estudiadas mediante estadística descriptiva. Esto permitió visualizar con gráficos de cajas y brazos, la media, mediana, cuartiles y valores extremos de los datos. Se consideró el rango de casos típicos como el intervalo determinado por la media ± 3 desvíos estándar.

Mediante técnicas multivariadas se diferenciaron las características de los cortes y se relacionaron los tratamientos. Se realizaron segregaciones y agrupamientos basados en diferencias y similitudes de las variables de calidad. Se empleó un análisis discriminante lineal con la finalidad de buscar el subconjunto de

variables de calidad nutricional que mejor explicaba las diferencias entre cortes y un análisis de agrupamiento para asociar tratamientos. Para este último se aplicó el método aglomerativo de ligamento promedio utilizando la distancia de Mahalanobis (Infostat, 2008). Por último, se estudió la asociación entre las variables, dentro de cada corte de forraje, con un análisis de componentes principales.

Se utilizaron técnicas univariadas para estudiar el efecto de la fertilización y la consociación sobre la calidad nutricional del forraje en las evaluaciones sucesivas. En todos los casos se realizó un ANOVA para bloques divididos considerando dos factores fijos de igual jerarquía, el primero definido por los tratamientos o componentes de tratamientos y el segundo por el corte (Tabla 2.3). Cuando se detectó interacción significativa, las medias de cada factor se analizaron dentro de cada nivel del otro factor, utilizando el cuadrado medio del error y los grados de libertad estimados por la fórmula de Satterthwaite (1946). En todos los casos, las comparaciones de medias se realizaron mediante la prueba de diferencia mínima significativa de Fisher (DMS) con $p < 0,05$.

Tabla 2.3: Tratamientos y componentes utilizados para estudiar efectos sobre la calidad nutricional del forraje de la fertilización y la consociación en los cortes sucesivos. Notación ver Tabla 2.1.

Tratamientos o componentes considerados en el análisis	Variación de la calidad nutricional del forraje en cortes sucesivos
Av T Av N Av N+S	Por fertilización con N y NS en avena
VV VS	Entre especies de vicias
Av(vv) Av(vs)	Entre avenas acompañantes de dos especies de vicias
Avena Vicia	Entre géneros de la consociación
Av N Av+VV Av+VS	Por la consociación con vicia versus fertilización con N en avena

Las variables de calidad nutricional se relacionaron con el porcentaje de producción de avena en el forraje, integrando los tres cortes de ambas consociaciones. Se ajustó una regresión lineal y un modelo discontinuo que generó dos categorías en la población estudiada (Nelson y Anderson, 1977).

El procesamiento de datos se realizó mediante el software InfoStat Profesional® (2008).

Resultados

Análisis preliminar de las variables estudiadas

Las medidas de resumen y dispersión de las variables de calidad nutricional para avena, consociaciones y sus componentes se muestran en la Figura 2.1. En algunos casos se presentaron rangos amplios y asimetrías respecto a los valores medios, atribuibles a las variaciones entre cortes.

El contenido de MS del forraje fue menor en la avena fertilizada y consociaciones. En los componentes, los valores de vicias fueron inferiores a la avena. En avena la PB se mantuvo entre 8,1 y 14,0 %, ya sea pura (con o sin fertilización) o como componente de las consociaciones. En tanto el componente vicias presentó valores superiores de PB, con mayor variación en *V. sativa*. En el forraje de las consociaciones, la PB se ubicó en niveles intermedios. La relación PS/PB se mantuvo constante con media general de 62,5 %, debido a que PS mostró tendencia similar a PB.

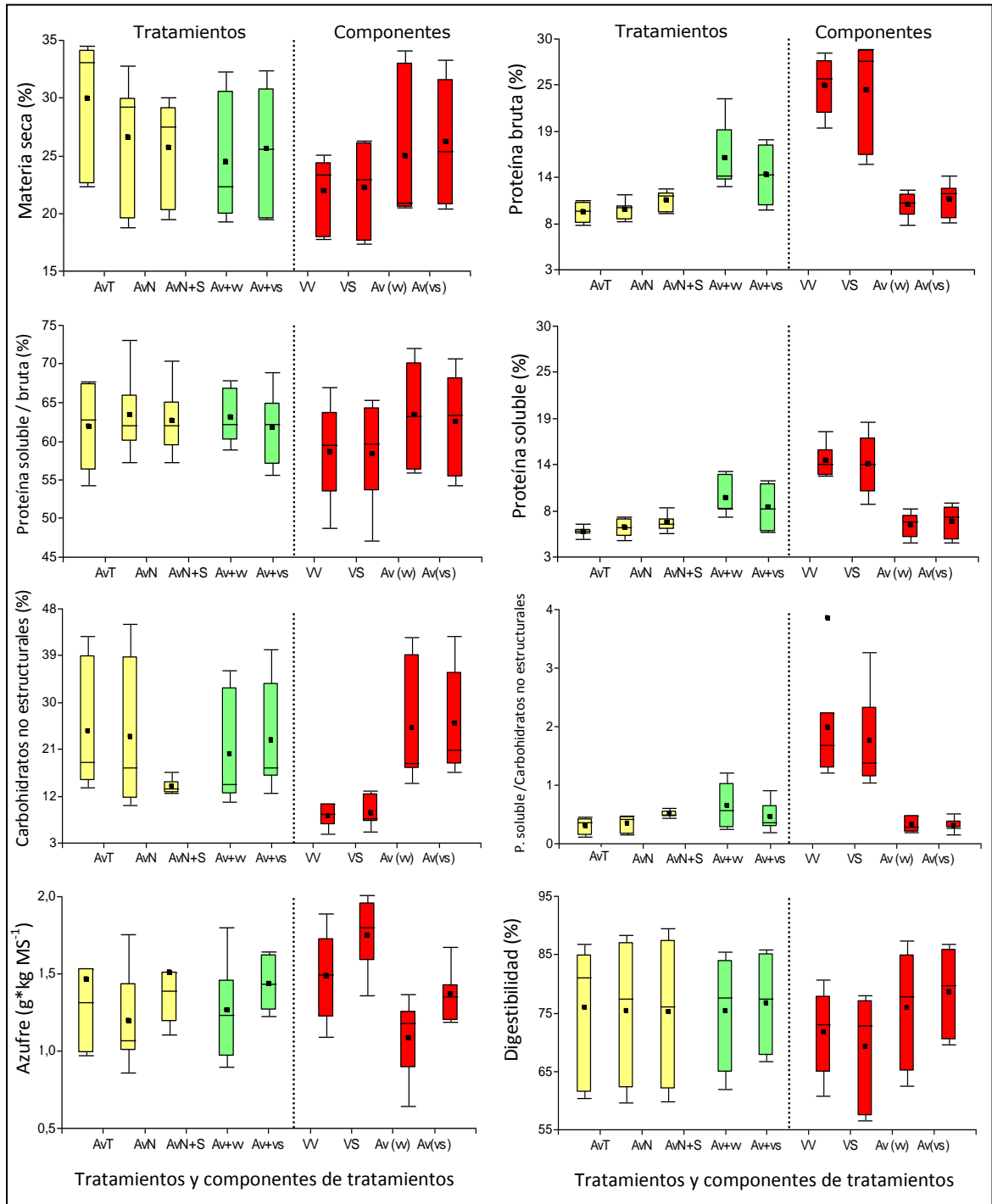


Figura 2.1: Estadística descriptiva de las variables de calidad nutricional según tratamientos y componentes de consociaciones. Valores de los 3 cortes integrados, $n = 6$. Notación ver tabla 2.1.

Los CNES presentaron valores extremos de 4,6 y 45,1%. En promedio para los componentes, en las vicias representaría un tercio del valor en la avena. La relación PS/CNES en avena se mantuvo por debajo de la unidad, en tanto que el componente vicias exhibió valores 6 veces superiores. Para S y DIVMS no se apreciaron diferencias por tratamientos o entre componentes, a excepción de S en *V. sativa*. La DIVMS osciló entre 56,6 y 89,5 %, con media de 74,8%.

Asociación de tratamientos y relación entre variables

El análisis discriminante lineal que se muestra en la Figura 2.2, reagrupó la variabilidad de la información y calificó a las variables de calidad nutricional de acuerdo a su capacidad para agrupar los tratamientos según el número de corte. Diferenció los cortes fundamentalmente por la variable DIVMS (el 1^{er} eje representa la primera función discriminante y reúne el 87 % de la variabilidad) y en menor grado por PB, PS, PS/PB y MS (el 2^{do} eje representa la segunda función discriminante y reúne el 13 % de la variabilidad). El agrupamiento por un método aglomerativo (Figura 2.3) vinculó tratamientos con cualidades similares, determinadas por los factores ensayados, destacándose el comportamiento diferencial de la avena con fertilización NS en el 1^{er} corte.

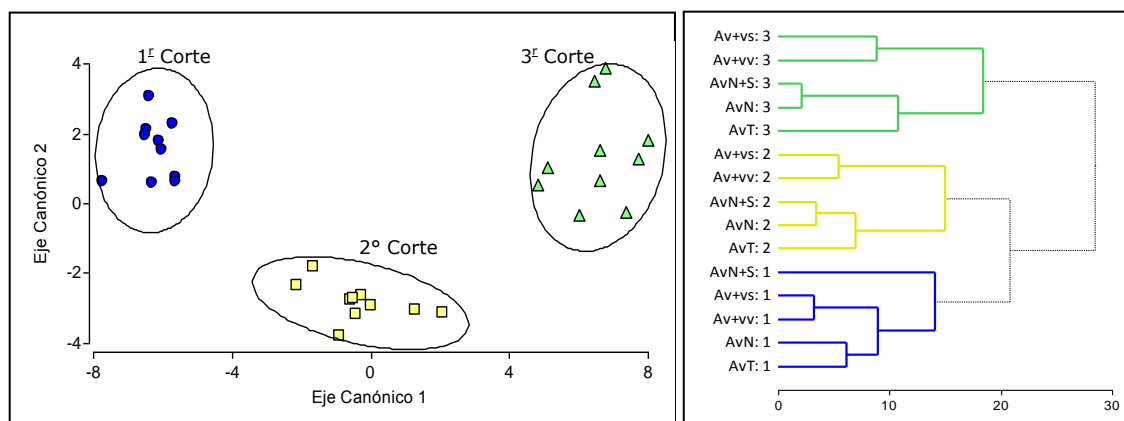


Figura 2.2: Análisis discriminante de las observaciones de los tratamientos en los tres cortes del ciclo de cultivo. $n=2$. Los contornos corresponden a elipses de predicción del 90 %.

Figura 2.3: Análisis de agrupamiento de tratamientos, con ligamento promedio y distancia de Mahalanobis. $n=2$. Notación ver tabla 2.1. Números a la derecha de la notación de los tratamientos corresponden al corte.

Un análisis de componentes principales asoció las variables, mostrando para todos los cortes una estrecha relación entre PB y PS y su independencia de la DIVMS y la relación PS/PB. La DIVMS se relacionó en las evaluaciones sucesivas con el contenido de S, de MS y de CNES. Sólo en el 2^{do} corte se vincularon negativamente la PB y la PS con los CNES. Además, las proteínas correlacionaron positiva y negativamente con el S y la MS en el 2^{do} y 3^{er} corte, respectivamente (Figura 2.4).

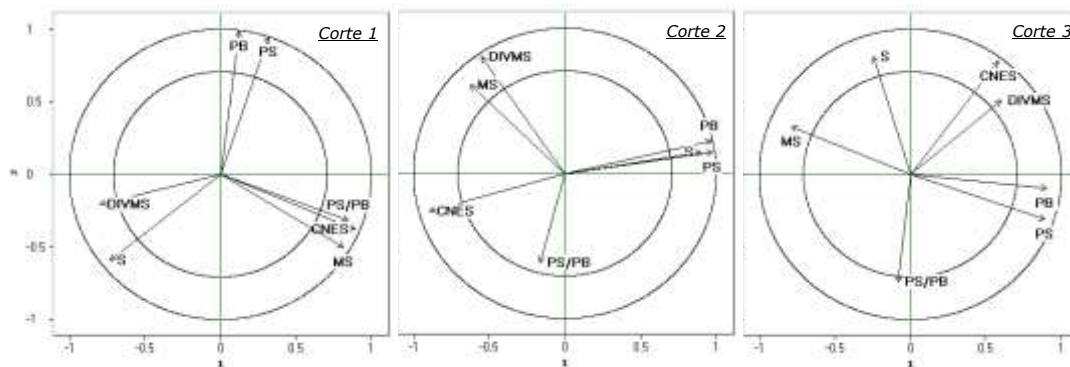


Figura 2.4: Análisis de componentes principales para variables de calidad nutricional en cada corte de forraje. G-plot para las primeras dos componentes en cada corte. Circulo interno límite de reconstrucción del 70% en el plano de las componentes. Notación ver Tabla 2.2.

Efecto de la fertilización en avena

La evaluación cualitativa a campo mostró que las parcelas fertilizadas se discriminaban fácilmente por el color de las hojas, incluyendo el efecto adicional del azufre.

El ANOVA reveló interacción significativa de los factores para todas las variables, excepto para la relación PS/PB y el S (Tabla 2.4). No hubo efectos simples de la fertilización o los cortes. En el primer corte se registró una respuesta significativa a la fertilización con N-S en seis variables, mientras que el efecto de N sólo fue significativo para MS, PB y PS. En esta evaluación los tratamientos produjeron incrementos en PB, PS, PS/CNES y DIVMS y reducciones en MS y CNES. Esta última variable disminuyó a un tercio del valor del testigo, por fertilización N-

S. En el segundo corte MS, PB y PS respondieron al agregado del fertilizante en forma similar al primero, mientras que la DIVMS presentó una tendencia inversa. En el 3^{er} corte las únicas variables que exhibieron efectos significativos por la fertilización fueron MS y PB, con disminución significativa de 3 y 2 puntos de porcentaje, respectivamente (Tabla 2.5).

Tabla 2.4: Probabilidad del F de los factores fertilización, corte y su interacción, para las variables de calidad nutricional. Notación ver Tabla 2.2.

Variable →	MS	PB	PS/PB	PS	CNES	PS/CNES	S	DIVMS
Fertilización	0,009	0,002	0,738	0,070	0,043	0,076	0,174	0,276
Corte	0,021	0,217	0,199	0,176	0,012	0,025	0,750	0,007
Interacción	0,002	< 0,001	0,218	0,039	0,003	0,036	0,804	0,021
CV %	0,01	0,15	0,06	0,06	0,35	0,14	0,16	0,01

Tabla 2.5: Efecto de la fertilización sobre las variables de calidad nutricional en avena en tres cortes. Notación ver Tabla 2.1.

Materia Seca (%)				Proteína Bruta (%)					
Trat.	Av T	Av N	Av N+S	Trat.	Av T	Av N	Av N+S		
Corte	1	33,7 ^b C	31,4 ^b B	27,5 ^b A	Corte	1	8,2 ^a A	10,2 ^{ab} B	11,8 ^b C
	2	22,4 ^a B	19,1 ^a A	19,8 ^a A		2	9,8 ^{ab} A	11,1 ^b B	11,9 ^b C
	3	33,7 ^b B	29,3 ^b A	29,6 ^b A		3	11,0 ^b C	8,7 ^a A	9,6 ^a B
Proteína soluble / bruta (%)				Proteína Soluble (%)					
Corte	1	64,7	67,1	58,2	Corte	1	5,3 ^a A	6,9 ^a B	6,9 ^a B
	2	65,6	64,4	67,7		2	6,5 ^a A	7,1 ^a A	8,1 ^a B
	3	55,3	58,6	62,0		3	6,1 ^a A	5,1 ^a A	5,9 ^a A
Carbohidratos no estructurales (%)				Proteína soluble / Carbohidratos no estructurales					
Corte	1	40,8 ^b B	41,8 ^c B	12,9 ^a A	Corte	1	0,13 ^a A	0,16 ^a A	0,53 ^a B
	2	17,5 ^a A	17,4 ^b A	15,7 ^a A		2	0,38 ^b A	0,41 ^b A	0,52 ^a A
	3	15,3 ^a A	10,9 ^a A	12,9 ^a A		3	0,40 ^b A	0,47 ^b A	0,46 ^a A
Azufre (g*kg MS ⁻¹)				Digestibilidad <i>in vitro</i> (%)					
Corte	1	1,827	1,377	1,834	Corte	1	85,8 ^b A	87,7 ^c AB	88,5 ^c B
	2	1,312	1,245	1,402		2	81,0 ^b B	77,4 ^b A	76,0 ^b A
	3	1,260	0,969	1,291		3	60,9 ^a A	60,8 ^a A	60,9 ^a A

Medias de 2 observaciones. En cada variable, letras minúsculas y mayúsculas distintas en columnas y filas respectivamente, difieren significativamente $p < 0,05$ según DMS. Ausencia de letras indican diferencias no significativas de tratamientos.

El efecto de la interacción en PB se debió principalmente a la respuesta diferencial en el tercer corte. Combinando los valores medios de tabla, para los dos primeros cortes, se calculó un aumento promedio de 1,8 puntos porcentuales de PB por el agregado de 60 kg N ha⁻¹. Este valor, casi se duplicó en las parcelas con adición de S. La PS presentó un comportamiento similar a la PB, pero con menores diferencias. Aunque para S no se detectaron variaciones significativas, fue posible observar menores valores en el tratamiento fertilizado con N, en todos los cortes.

Calidad nutricional de los componentes de la consociación

Dentro de la consociación no se encontraron diferencias entre especies de vicia. Las avenas acompañantes sólo se diferenciaron en MS del último corte, donde la avena asociada de *V. sativa* superó a la de *V. villosa* (25,4 vs 20,9 %). Los análisis de varianza, en promedio de las especies, mostraron diferencias significativas en todas las variables (Tabla 2.6).

Para 6 variables hubo efectos consistentes a lo largo del ciclo de aprovechamiento: CNES y DIVMS fueron superiores en avena, mientras que las vicias presentaron valores mayores en PB, PS, PS/CNES y S. En los primeros cortes MS y la relación PS/PB fueron superiores en avena, comportamiento que se revirtió al final del experimento (Tabla 2.7).

Tabla 2.6: Probabilidad del F de los factores género, corte y su interacción para las variables de calidad nutricional. Notación ver Tabla 2.2.

Variable →	MS	PB	PS/PB	PS	CNES	PS/CNES	S	DIVMS
Género	0,001	< 0,001	0,017	< 0,001	< 0,001	0,005	0,014	0,026
Corte	< 0,001	< 0,001	0,185	0,003	< 0,001	0,002	0,027	< 0,001
Interacción	< 0,001	0,005	< 0,001	0,077	< 0,001	0,008	0,951	0,76
CV %	0,04	0,08	0,40	0,12	0,12	0,28	0,15	0,04

Tabla 2.7: Diferencias entre géneros de la consociación en las variables de calidad nutricional en los tres cortes.

Trat.	Vicia	Avena	Trat.	Vicia	Avena	Trat.	Vicia	Avena			
Materia Seca (%)			Proteína Bruta (%)			Proteína soluble / bruta (%)					
Corte	1	23,1 ^b A	33,0 ^b B	Corte	1	26,4 ^b B	11,8 ^a A	Corte	1	50,6 ^a A	66,4 ^b B
	2	17,6 ^a A	20,5 ^a B		2	28,3 ^b B	12,2 ^a A		2	60,8 ^b A	67,0 ^b B
	3	25,4 ^b B	23,1 ^a A		3	18,2 ^a B	8,7 ^a A		3	63,8 ^b B	55,4 ^a A
Proteína Soluble (%)			Carbohidratos no estructurales (%)			Proteína soluble / Carbohidratos no estructurales					
Corte	1	13,3 ^a B	7,8 ^a A	Corte	1	11,2 ^a A	40,0 ^b B	Corte	1	1,21 ^a B	0,20 ^a A
	2	17,2 ^b B	8,2 ^a A		2	6,4 ^a A	18,3 ^a B		2	2,86 ^b B	0,46 ^a A
	3	11,6 ^a B	4,8 ^a A		3	7,8 ^a A	17,9 ^a B		3	1,55 ^a B	0,27 ^a A
Azufre (g*kg MS ⁻¹)			Digestibilidad <i>in vitro</i> (%)								
Corte	1	1,618 ^b B	1,245 ^b A	Corte	1	78,4 ^c A	86,2 ^c B				
	2	1,800 ^c B	1,423 ^c A		2	72,9 ^b A	78,7 ^b B				
	3	1,435 ^a B	1,001 ^a A		3	59,9 ^a A	66,8 ^a B				

Medias de 4 observaciones. En cada variable, letras minúsculas y mayúsculas distintas en columnas y filas respectivamente, difieren significativamente $p < 0,05$ según DMS.

Efecto del factor corte en avena y consociaciones

En el segundo corte, la MS de avena registró un valor de 10 puntos de porcentaje menor que en las otras dos evaluaciones. Los componentes de las consociaciones exhibieron una tendencia análoga, con menor disminución en la MS de vicia (7 puntos) y comportamiento diferencial de la avena en el 3^{er} corte. En avena y componentes, la PB fue similar en las dos primeras evaluaciones. En el corte final esta variable registró un aumento sólo en avena sin fertilizar, con tendencia opuesta en el resto de las parcelas evaluadas. La PS se mostró estable a lo largo del ciclo de aprovechamiento, con la excepción de un aumento en el 2^o corte para el componente vicia.

Los CNES fueron superiores en 28 puntos de porcentaje, en avena testigo y fertilizada con nitrógeno, en el 1^{er} corte. En las consociaciones, de manera similar a lo sucedido en avena testigo, el alto valor en la primera evaluación de avena es el responsable de la interacción entre géneros y cortes, dado que vicia presentó valores constantes. La DIVMS durante las evaluaciones sucesivas se comportó de

igual forma en la avena y componentes, con disminución significativa desde el primer al último corte

La relación PS/PB presentó diferencias entre avena y consociaciones, manteniéndose constante para el cultivo puro, en tanto que aumentó en el componente vicia y disminuyó en el componente avena. El S disminuyó consistentemente (aunque no en forma significativa) en avena, mientras que en los componentes exhibió un acrecentamiento en la 2^{da} evaluación (Tablas 2.5 y 2.7).

Efectos de la participación avena-vicia en las consociaciones

La relación entre las variables de calidad nutricional y el nivel de participación de avena, en la consociación con Vicias se presenta en la Figura 2.5.

Para los casos con asociación significativa en el conjunto de los tres cortes, se graficaron las rectas correspondientes a las líneas de tendencia y la división vertical que separa dos categorías. Las características de los modelos se exponen en la Tabla 2.8. Las regresiones tuvieron pendientes positivas en MS y en CNES. La ordenada al origen constituye una extrapolación (100 % vicia para las pendientes negativas), que se aproximó adecuadamente a los valores obtenidos para PB, PS y PS/CNES en el componente vicia. En algunos casos hubo dispersión debido a las diferencias entre cortes. El 1^{er} corte presentó menor participación de vicia en las consociaciones (inferior al 27%) mientras que lo opuesto ocurrió en el 2^{do}. De esta forma el efecto del manejo sobre la composición botánica de la consociación se trasladó a la calidad nutricional de la mezcla. En los modelos discontinuos un valor de 73 % de avena dividió a las consociaciones en dos categorías con características nutricionales diferentes.

Respecto a las variables de calidad que no presentaron asociación significativa, se observó en PS/PB y S un comportamiento diferente de la 2^{da} evaluación. La DIVMS fue constante en todos los cortes, aunque con reducción de valor a lo largo del ciclo de aprovechamiento.

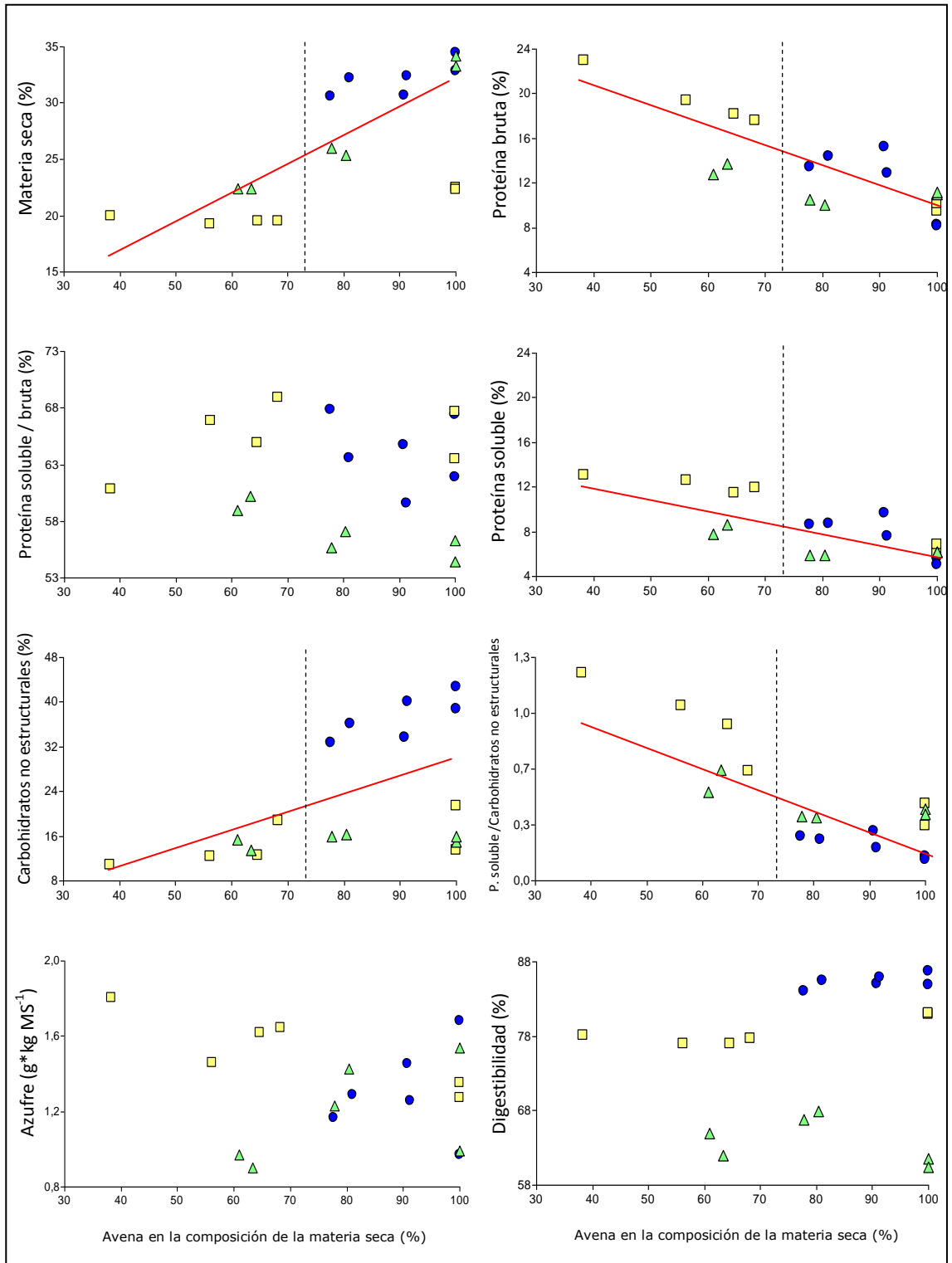


Figura 2.5: Relación de las variables de calidad nutricional con el nivel de participación de avena en la composición botánica de la materia seca de los verdes consociados con vicias. Círculos, cuadrados y triángulos corresponden a 1^{er}, 2^{do} y 3^{er} corte respectivamente. Medias de dos observaciones. Líneas llenas y punteadas corresponden a ajuste de función lineal y división de clase de modelo discontinuo, respectivamente (ver Tabla 2.8).

Tabla 2.8: Significancias, parámetros y coeficientes de determinación de los modelos de regresión lineal ajustados a las variables de calidad nutricional según porcentaje de participación de avena en la composición botánica de la materia seca de los verdes consociados con vicias. Notación ver Tabla 2.1.

Variable	Modelo discontinuo				Función lineal			
	p - modelo (Ho: $\beta = 0$)	Promedio de clase		R ²	p - regres. (Ho: $\beta = 0$)	Parámetros estimados		R ²
		avena <73%	avena >73%			Constante	Pendiente	
MS	< 0,001	20,50	29,70	0,60	0,001	9,01	0,22	0,50
PB	< 0,001	17,40	11,19	0,54	< 0,001	27,80	-0,18	0,69
PS	< 0,001	10,88	6,83	0,57	< 0,001	17,00	-0,11	0,63
CNES	< 0,001	13,80	26,80	0,31	0,036	-1,64	0,30	0,25
PS/CNES	< 0,001	0,82	0,29	0,69	< 0,001	1,56	-0,01	0,69

Comparación entre avena fertilizada con N y verdes de avena-vicia sin fertilización

La comparación dentro de cada corte de forraje del tratamiento de avena fertilizada con N y los verdes de avena consociados con vicia (promedio de las consociaciones) mostró efectos significativos para las variables MS, PB, PS, CNES y PS/CNES. La MS fue mayor en la avena fertilizada del último corte respecto a las consociaciones, mientras que ambas proteínas se comportaron de manera similar siendo mayores en la avena con vicias para todos los cortes, aunque significativa sólo en la segunda. Los CNES fueron más elevados para el tratamiento fertilizado con N en el primer corte, en tanto que, la relación PS/CNES exhibió valores significativamente mayores en la avena consociada sólo en la segunda evaluación (Figura 2.6).

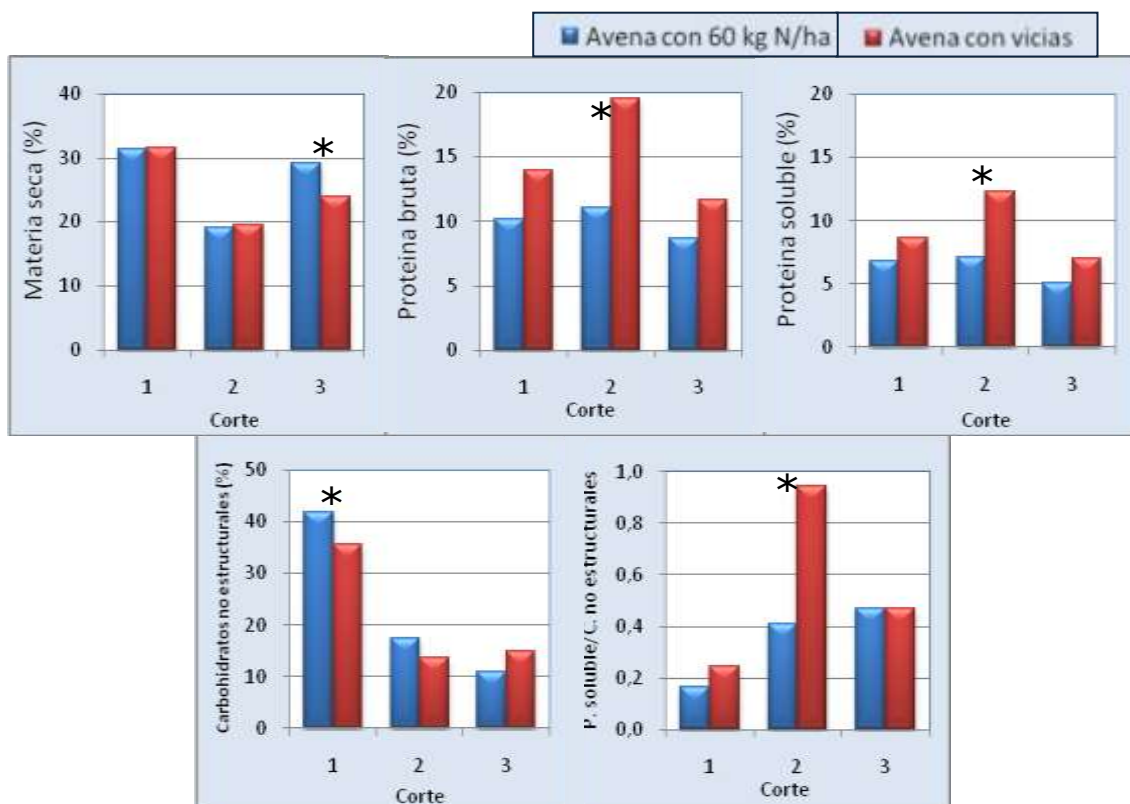


Figura 2.6: Comparación de avena fertilizada con nitrógeno y verdeos de avena consociados con vicias dentro de cada evaluación de forraje para variables de calidad con alguna diferencia significativa. Media de 2 observaciones. El asterisco corresponde a $p < 0,05$ según DMS.

Discusión

Los factores ensayados y las condiciones climáticas a lo largo del experimento, caracterizadas principalmente por 4 meses de sequía a fin de otoño y durante el invierno, además de la frecuente ocurrencia de heladas (139 para el periodo de crecimiento), determinaron los rangos en las variables de calidad de forraje, como así también las relaciones entre las mismas.

Los valores de MS obtenidos (superiores a 19 % excepto en vicia en la 2^a evaluación) determinaron una composición de forraje que no afectaría negativamente el consumo voluntario en rumiantes (John y Ulyatt, 1987). En cuanto a la PB, en avena no alcanzó el nivel de 18 %, considerado como mínimo para la máxima tasa de crecimiento en rumiantes (Mc Donald *et al.*, 1993). Los

valores altos de PB del componente vicia (entre 18 y 27 %) aportaron a un balance apropiado en las consociaciones.

La relación PS/PB en el ciclo de cultivo de los tratamientos de avena y en el componente avena de las consociaciones, independientemente de su amplia variación, superó en el orden de 15 puntos de porcentaje a los valores citados para el área cercana a Bahía Blanca (Martínez *et al.*, 2007) y el sudeste bonaerense (Elizalde y Santini, 1992). Esta acumulación de nitrógeno no proteico en las plantas podría relacionarse a condiciones de crecimiento limitado (Marino, 1996).

Las asimetrías presentadas en la concentración de CNES fueron debidas a elevados valores en la avena proveniente de tratamientos o componentes en el primer corte. En la bibliografía no ha sido posible encontrar referencia de estos niveles. Sin embargo, es frecuente la mención de acumulación de CNES por efecto de restricciones en el crecimiento (Aslam y Huffaker, 1984; González *et al.*, 1989), como las causadas por el estrés hídrico previo a la primera evaluación de forraje y la importante frecuencia de heladas, informadas para la zona en el año de ensayo (Campi, 2008).

La relación PS/CNES se mantuvo en todos los tratamientos por debajo de valores que pudieran comprometer el balance N soluble/carbohidratos a nivel ruminal (Méndez y Davies, 2000). El contenido de azufre en el forraje, si bien fue variable e indiferenciado en los tratamientos de avena, su valor medio de 12 en relación al N, no ocasionaría desbalances para los microorganismos del rumen (Kandilis, 1984).

A excepción de los valores máximos de CNES, los rangos obtenidos en este trabajo son similares a los citados localmente. Para las principales variables utilizadas en la evaluación de la calidad nutricional de forrajes frescos de cereales invernales, distintos autores han informado rangos de 11 a 37 % en MS, y sobre base seca, 10 a 30 % de PB; 5 a 30 % de CNES, 35 a 65 % de PS respecto de PB, 35 a 55 % de FDN; 15 a 30 % de FDA, 0,3 a 1,5 en la relación PS/CNES y valores

de digestibilidad "*in vitro*" próximos al 80 %, todas variaciones dependientes de la ontogenia del cultivo, su manejo, la época del año y las condiciones climáticas (Fernández Mayer, 2000; Tomaso, 2003; Arelovich *et al.*, 2003; Martínez *et al.*, 2007; Marinissen, 2007; Bolletta *et al.*, 2007). Respecto a la calidad de la vicia como forrajera, Gargano *et al.* (1986) y Puricelli (1996) muestran el alto contenido de proteínas que posee el forraje, con valores próximos a 25 %. En relación al tema, no ha sido posible obtener información en la bibliografía sobre los cambios en la calidad producidos sobre el verdeo de invierno consociado, por efecto de la vicia, durante el ciclo del cultivo en ambientes locales.

Asociación de tratamientos y relación entre variables

La segregación primaria del forraje por la DIVMS se debe a que, en las evaluaciones sucesivas, los estados fenológicos en todos los cultivos al momento de los cortes fueron más avanzados. En el primer corte los cultivos se encontraron restringidos en su crecimiento, por lo cual se evaluó en estado vegetativo, exhibiendo valores elevados de DIVMS. En tanto, previo al segundo las condiciones favorables de temperatura y humedad para el crecimiento impulsaron un rápido desarrollo, promoviendo la elongación de entrenudos en las avenas, lo cual reduce drásticamente la calidad de las mismas (Hacker y Minson, 1981). En la tercera evaluación, la priorización de la entrada en floración de las vicias, en busca de maximizar la fijación de N en el suelo, implicó drásticas reducciones en la DIVMS por efecto del panojamiento en avena (Crovetto *et al.*, 1998), mientras que en vicias incrementos de constituyentes estructurales luego de la fase de floración (Rebolé *et al.*, 2004) originaron resultados similares, que implicó una reducción de la calidad nutricional del forraje.

Razones homólogas a las descriptas para DIVMS explican el rol de la MS en el análisis discriminante, dada su reducción en el 2^{do} corte. En tal sentido las proteínas aportaron a la diferenciación de los cultivos consociados que presentaron valores más elevados que la avena pura.

El relacionamiento de los tratamientos, en torno a las variables de calidad, exhibió una previsible relación entre tratamientos fertilizados, al igual que los coasociados. La excepción, constituida por el tratamiento Av N+S en el primer corte, se puede asociar con el bajo porcentaje de CNES y la consiguiente variación en la relación PS/CNES.

La asociación entre variables reveló el paralelismo entre PS y PB en todos los cortes, similar a lo obtenido por Martínez *et al.* (2007), tras dos años de evaluación de cultivares de avena en la zona de Bahía Blanca. Además, la DIVMS mostró un comportamiento independiente de las proteínas, probablemente por su escaso vínculo con los componentes estructurales del tejido (Caloin y Yu, 1984).

En la individualización del análisis por corte, fue posible visualizar los efectos de las condiciones de clima sobre la relación entre variables. Antes de la primera evaluación, bajo estrés hídrico y alta frecuencia de heladas, se presentó un contenido de MS elevado, dado que existió acumulación de CNES y eventualmente almidón, aumentando el contenido de celulosa y lignina que engrosan las paredes celulares (Gastal y Saugir, 1989). Por su parte, PB se mantuvo independiente de estas variables por restricciones en la tasa de crecimiento.

En contraste, las condiciones apropiadas de humedad y temperatura durante el segundo crecimiento, favorecieron la absorción de N (Imsande y Touraine, 1994), e impulsaron la utilización de CNES de reserva para la síntesis de nuevo tejido (Vose y Breese, 1964), generando una asociación negativa entre los CNES y la PB, independientemente de la DIVMS y la MS. Paralelamente también se incrementó la absorción de S evidenciado por la alta asociación con la PB. En la tercera evaluación se destacó la relación negativa entre la MS y la PB, posiblemente por los cambios en la calidad del forraje de avena al avanzar la ontogenia del cultivo, condición análoga a la verificada por Bolletta *et al.* (2007) en avena y por Kaiser *et al.* (2007) en ambos componentes de una consociación de trigo - vicia.

Efecto de la fertilización en avena

Son escasos los antecedentes locales sobre el efecto de la fertilización con N sobre la calidad intrínseca del forraje de verdeos de avena, y nulos cuando nos referimos a la adición de S. Dentro de los niveles relativamente bajos de PB, a nivel de campo existió manifestación visual de color por efecto de la fertilización. Los cambios observados en PB podrían resultar relevantes al considerar la mejora en la relación energía - proteína, que afecta la tasa de crecimiento microbiana en el rumen, e influye positivamente sobre la degradabilidad efectiva de la fibra detergente neutra. Esta última puede aumentar un 18,5 %, en forma relativa a un cultivo sin fertilizar, además de los efectos similares sobre la MS y la PB (Petruzzi *et al.*, 2007).

Las anteriormente mencionadas restricciones de humedad para el desarrollo del cultivo durante el primer período de crecimiento del verdeo, serían las responsables de los niveles altos de CNES en las plantas (Aslam y Huffaker, 1984), los cuales no declinaron aún con aplicación de una dosis de 60 kg N ha⁻¹, diferente a lo verificado ante la adición complementaria de S, que incrementó la acumulación de MS por un aumento en la eficiencia de utilización del N (Zhao *et al.*, 1999; Salvagiotti *et al.*, 2009), lo cual redujo los CNES para abastecer los requerimientos energéticos del crecimiento.

Aunque en el contenido de S no se detectaron variaciones significativas, las tendencias observadas sobre valores medios indicarían menor concentración en el forraje por efecto de dilución ante la respuesta productiva a N (Capítulo 1 de esta Tesis). La adición complementaria de S permitiría balancear el contenido en el forraje, comportamiento similar al observado por Withers *et al.* (1995) en un cultivo de trigo.

Por efecto de la fertilización con N y con NS los cambios en la MS y la DIVMS dentro de cada corte fueron de poca magnitud, y asociados a disparidades menores en el estadio fenológico de los tratamientos, definidas principalmente por la fecha

fija de evaluación de la totalidad de los tratamientos, resultados que concuerdan con los obtenidos por Frame, (1991).

Coherente con otras experiencias locales (Bolletta *et al.*, 2007), para rumiantes, aparentemente no existirían limitaciones nutricionales en el forraje relacionados con la fertilización en la zona ústica del sudoeste bonaerense, aun cuando se obtienen aumentos productivos relevantes (Capítulo 1 de esta Tesis). Sin embargo, la magnitud de la mejora en este ensayo fue condicionada por las precipitaciones y las temperaturas durante el crecimiento.

Calidad nutricional de los componentes de la consociación

La diferencia en el contenido de MS de la 3^{ra} evaluación en la avena acompañante fue la única divergencia en la calidad de los componentes de la consociación y se atribuye a disparidades en los ciclos de las vicias, dado que *V. villosa* permaneció en crecimiento activo durante un mes más (noviembre de 2007), mejorando las condiciones para su avena acompañante y retrasando su entrada al estado reproductivo, a través de los conocidos efectos del N.

En todas las evaluaciones la PB en vicia, al menos duplicó el contenido de la avena, lo cual concuerda con la bibliografía para *V. villosa* (Moreira *et al.*, 1989; Roberts *et al.*, 1989) y para *V. sativa* (Caballero *et al.*, 1995; Droushiotis, 1989; Lithourgidis *et al.*, 2006; Osman y Nersoyan, 1986).

La relación PS/PB en el componente avena fue semejante en todas las evaluaciones a la obtenida en el cultivo puro de avena, en tanto que el valor inferior para vicia en la primer evaluación, se relaciona posiblemente a la fase temprana de desarrollo, con bajos niveles de fijación biológica y por lo tanto con menor reducción de N en raíz, lo cual podría tener implicancias en el nivel de N no proteico en las plantas (Papastylianou, 1999). De todas formas, estas variaciones no originaron cambios importantes en la PS, y los mayores contenidos en el componente vicia son producto del nivel de PB de su forraje.

Los valores bajos de CNES en el componente vicia son similares a los citados por Rebolé *et al.* (2004), en tanto que los altos niveles en el primer corte de avena podrían deberse a las restricciones en el crecimiento (Aslam y Huffaker, 1984).

Los requerimientos de S de los animales se pueden satisfacer de distintas maneras, pero el uso del fertilizante azufrado podría ser la mejor, dado que además de cumplimentar la demanda específica, aumenta la productividad del forraje y la eficiencia de utilización del fertilizante nitrogenado (Capítulo 1 de esta Tesis). De acuerdo con los niveles mencionados por Wang *et al.* (2002) la calidad del forraje en avena pura y consociaciones con vicias en este trabajo no sería adecuada, al menos, para ovinos por sus altos requerimientos. La ventaja de valores mayores de S en el componente vicia se relativizó frente al mayor contenido de PB, dando como resultado una relación N:S que casi duplicó la del componente avena.

Efecto del factor corte

Las fluctuaciones de PB en las distintas evaluaciones pueden explicarse por los cambios en la disponibilidad de N en el suelo por efecto de la fertilización y las variaciones en las condiciones de crecimiento que modificaron el consumo por las plantas. En el testigo, mejoras en la tasa de crecimiento hacia fin del periodo facilitarían la absorción de N (Imsande y Touraine, 1994) y serían las responsables del incremento en el nivel de la PB. Lo opuesto puede haber sucedido en los tratamientos fertilizados, con mayor disponibilidad inicial del nutriente y posterior dilución en la MS, por incremento en el rendimiento de forraje (Capítulo 1 de esta Tesis). En forma similar a estudios anteriormente citados la relación PS/PB presentó poca variación entre evaluaciones sucesivas de forraje, no presentándose en este ensayo como una variable de calidad nutricional de impacto en la producción animal.

Por otra parte, en la tercer evaluación de las consociaciones, la disminución relativa del 33 % en la PB del componente vicia, respecto a los cortes anteriores, se relaciona con el estado avanzado de floración, en el cual el N de las plantas se

moviliza en función de la formación de vainas y semillas, produciendo senescencia de partes vegetativas (Sinclair y de Wit, 1975) y caída de la PB en las plantas (Caballero *et al.*, 2001).

El forraje de avena pura y componentes exhibieron el menor contenido promedio en MS en el 2^{do} corte porque, previo al mismo, las condiciones de humedad por efecto de las precipitaciones y la temperatura propiciaron un rápido desarrollo. Las diferencias en la primera evaluación entre componentes son explicadas por el estadio fenológico temprano de la vicia al momento del corte.

En cuanto a la digestibilidad la amplitud de las variaciones estuvo principalmente en función de los estadios fenológicos de avena pura y componentes, además del posible efecto de las temperaturas crecientes en el ciclo (Hacker y Minson, 1981). Dentro de la disminución general de la DIVMS con la madurez del cultivo en las consociaciones, el componente vicia mantuvo valores inferiores en todo el ciclo, presumiblemente por mayor contenido de lignina (Lithourgidis *et al.*, 2006).

Efectos de la participación avena - vicia en las consociaciones

Los dos factores principales causantes de las variaciones de calidad del forraje en consociaciones de cereales de invierno con vicia, han sido señalados como la proporción de semillas de vicia en la mezcla de siembra, y el momento de corte del forraje que define la maduración del cultivo (Caballero *et al.*, 1995). Bajo los factores ensayados en este trabajo, para igual tasa de siembra, el análisis de los modelos lineales ajustados a las variables de PB y de PS, muestran resultados semejantes a la información presente en la bibliografía, con incrementos de valor por participación creciente de vicia en la composición de la MS (Lithourgidis *et al.*, 2006). Además, por medio del modelo discontinuo queda en evidencia que participaciones mayores al 27 % de vicia en la composición de la MS serían necesarias, bajo las condiciones de esta experiencia, para obtener niveles de proteína que optimicen el crecimiento microbiano ruminal (Hoover y Stokes, 1991).

Cabe destacar que altos niveles de participación del componente leguminosa pueden producir toxicidad en animales por el potencial tetagénico del género vicia (Berger *et al.*, 2003).

Se destaca la necesidad de verificar los efectos en el tiempo, dado que para tasas de siembras constantes en un sitio determinado, el factor año condiciona la magnitud de los cambios por efecto del clima sobre el desarrollo de los cultivos y la participación de las especies en el tapiz vegetal (Roberts *et al.*, 1989).

Los bajos contenidos de CNES del componente vicia, contrariamente a lo sucedido en avena, son la principal causa de la variación del nivel en la consociación. Asimismo, los altos valores en el componente avena del primer corte, aportan dispersión y condicionan la extrapolación de datos, restringiendo la interpretación. En tanto la relación PS/CNES presenta un buen ajuste y exhibe que en las condiciones presentes, aún con altos valores de vicia en la composición de la MS, no se vería restringido el balance energía - proteína del rumen.

Para la variable contenido de MS, no ha sido posible obtener información en la bibliografía que permita contrastar los resultados del presente trabajo. Los valores promedio en forraje de la clase con mayor proporción de vicia no resultarían restrictivos para el consumo animal (John y Ulyat, 1987).

El porcentaje de vicia en la MS del forraje no afectó la DIVMS, resultados similares a los expuestos por Roberts *et al.* (1989), donde incrementos en la participación de vicia no modificaron la digestibilidad del forraje consociado en uno de los años evaluados.

Comparación entre avena fertilizada con N y verdeos de avena-vicia sin fertilizar

El N del suelo y las precipitaciones son las principales condicionantes para la productividad de los verdeos de invierno en la región semiárida pampeana (Quiroga *et al.*, 1999) y cuando estos no resultan limitantes para la producción, se informan altos rindes (Hadjichristodoulou, 1978). En el sudoeste bonaerense, la continuas

limitantes edafoclimáticas imponen la utilización de herramientas para mejorar la productividad de forraje, como la fertilización y la consociación con leguminosas anuales. En este trabajo la comparación entre éstas técnicas refleja ventajas a favor de las consociaciones con vicias, aunque según se informa en la bibliografía, los cambios en calidad y rendimiento son condicionados por las precipitaciones (Papastyliou, 1995).

Conclusiones e implicancias

A excepción de la PB en avena sin fertilización, los valores, rangos y las interrelaciones en las variables de calidad nutricional serían adecuados para la producción animal, en la totalidad de los tratamientos evaluados.

La fertilización con N, bajo las condiciones de estudio, mejoró la calidad de la MS del verdeo de avena, sin desbalances importantes en las variables nutricionales, aunque los valores de PB podrían restringir tasas máximas de crecimiento en rumiantes. Es necesario ampliar los estudios referentes a las estrategias de fertilización, junto al manejo eficiente de la especie, para maximizar su potencial.

Los efectos de la adición N+S tuvieron efecto positivo, y mejor que la fertilización con N, sobre la calidad nutricional de verdeos puros de avena..

Las especies de vicia no tuvieron implicancia sobre la calidad intrínseca de la MS de la consociación, aunque diferencias en su ciclo de crecimiento modifican su participación en la composición del forraje. Para el presente estudio, niveles de vicia mayores a 27% en la composición de la MS determinaron valores de PB que no resultan restrictivos en la producción animal, sin modificaciones desfavorables en el resto de las variables de calidad nutricional.

La comparación entre las técnicas fertilización y consociación con vicias refleja ventajas en favor de la última, principalmente por efecto de

complementación de ciclos de las especies resultando, en todas las evaluaciones, en mejores niveles de proteína en las consociaciones que en la avena fertilizada.

Referencias

- Amigone, M.; Kloster, A.; Navarro, C. y Bertram, N. 2005. Elección de cultivares e implantación de verdeos de invierno. En: Verdeos de alta productividad para optimizar la cadena forrajera. Información para extensión. EEA INTA Marcos Juárez. 96:5-14.
- Andrew, C.S. 1977. The effect of sulphur on the growth, sulphur and nitrogen concentrations of some tropical and temperate pasture legumes. *Aust. J. Agric. Res.* 28:807-820.
- Anil, L.; Park, J.; Phipps, R.H. y Miller, F.A. 1998. Temperate intercropping of cereals for forage: a review of the potential for growth and utilization with particular reference to the UK. *Grass For. Sci.* 53:301-317.
- AOAC, 1990. Official Methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists. Washington DG. (15th edition).
- Arelovich, H.M.; Arzadún, M.J.; Laborde, H.E. y Vasquez, M. G. 2003. Performance of beef cattle grazing oats supplemented with energy, escape protein or high quality hay. *Anim. Feed Sci. Tech.* 105:29-42.
- Arelovich, H.M.; Laborde, H.E.; Arzadún, M.J. y Vasquez, M.G. 2004. Influence of hay quality and pasture location on performance of beef cattle grazing oats. *Span. J. Agric. Res.* 2(1):53-61.
- Arzadún, M. J. 1987. Efecto de la suplementación con azufre sobre el consumo y la ganancia de peso de novillos pastoreando sorgo forrajero. Tesis Magíster. Curso de post grado en Producción Animal. Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Mar del Plata. 108 pp.
- Arzadún, M.J.; Freddi, J.; Pissani, A. y Sastre, P. 1996. Composición del forraje de avena y respuesta a la suplementación. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 16(1):140.
- Aslam, M. y Huffaker, R.C. 1984. Dependency of nitrate reduction on soluble carbohydrates in primary leaves of barley under aerobic conditions. *Plant Physiol.* 75:623-628.
- Assefa, G. y Ledin, I. 2001. Effect of variety, soil type and fertilizer on the establishment, growth, forage yield, quality and voluntary intake by cattle of oats and vetches cultivated in pure stands and mixtures. *Anim. Feed Sci. Tech.* 92:95-111.
- Beever, D.E.; Terry, R.A.; Cammell, S.B. y Wallace, A.S. 1978. The digestion of spring and autumn harvested perennial ryegrass by sheep. *J. Agric. Sci. Camb.* 90:463.

- Berger, J.D.; Robertson, L.D. y Cocks, P.S. 2003. Agricultural potential of Mediterranean grain and forage legumes: 2) Anti-nutritional factor concentrations in the genus *Vicia*. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 50(2):201-212.
- Bolletta, A.; Lagrange, S.; Tulesi, M. y Dupouy, M. 2007. Efectos de la fertilización nitrogenada sobre la producción de forraje y calidad en Avena sativa. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 27(1):145.
- Burns, I.G. 1994. A mechanistic theory for the relationship between growth rate and the concentration of nitrate-N or organic-N in young plants derived from nutrient interruption experiments. *Annals of Botany* 74:159-172.
- Butris, G.Y. y Phillips, C.J.C. 1987. The effect of herbage surface water and the provision of supplementary forage on the intake and feeding behaviour of cattle. *Grass For. Sci.* 42:159.
- Caballero, R.; Goicoechea, E.L. y Hernaiz, P.J. 1995. Forage yields and quality of common vetch and oat sown at varying seeding ratios and seeding rates of common vetch. *Field Crop. Res.* 41:135-140.
- Caballero, R. 1998. Yields and chemical composition of whole-crop field beans and their components during pod-filling. *Grass For. Sci.* 44:347-351.
- Caballero, R.; Alzueta, C.; Ortiz, L.T.; Rodríguez, M.L.; Barro, C.; y Rebolé, A. 2001. Carbohydrate and protein fractions of fresh and dried common vetch at three maturity stages. *Agron. J.* 93:1006-1013.
- Caloin, M. y Yu, O. 1984. Analysis of the time course of change in nitrogen content in *Dactylis glomerata* L. using a model of plant growth. *Annals of Botany* 54:69-76.
- Campi, 2008. Información meteorológica en la página web de la EEA INTA Bordenave. <http://www.inta.gov.ar/bordenave/info/meteor/helada/metdiario.htm>
- Chicatún, A.; Depetris, G.; Villarreal, E. y Santini, F. 2005. Efecto del agregado de azufre en dietas con alto nivel de urea sobre el comportamiento productivo de vaquillonas en feedlot. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 24(1):26.
- Coleman, S.W. y Moore, J.E. 2003. Feed quality and animal performance. *Field Crop. Res.* 84:17.
- Crovetto, G.M.; Galassi G.; Rapetti L.; Sandrucci A. y Tamburini A. 1998. Effect of the stage of maturity on the nutritive value of whole crop wheat silage. *Liv. Prod. Sci.* 55:21-32.
- Davies, R.F.; Williams, C. y Loosli, J.K. 1954. Studies on sulfur to nitrogen ratios in feeds for dairy cows. *J. Dairy Sci.* 37:813-817.
- Demeyer, D.I. 1981. Rumen microbes and digestion of plant cell wall. *Agric. Env.* 6: 295:337.

- Denium, B. y Dirven, J.G.P. 1975. Climate, nitrogen and grass. 6. Comparison of yield and chemical composition of some temperate and tropical grass species grown at different temperatures. Neth. J. Agric. Sci. 23:69-82.
- Droushiotis, D.N. 1989. Mixtures of annual legumes and small-grained cereals for forage production under low rainfall. J. Agric. Sci. 113:249-253.
- Elizalde, J.C. y Santini, F.J. 1992. Factores nutricionales que limitan las ganancias de peso en bovinos en el periodo otoño - invierno. Boletín técnico N° 104. EEA INTA Balcarce. 27 pp.
- Elizalde, J.C.; Santini, F.J. y Pasinato, A.M. 1996. The effect of stage of harvest on the processes of digestion in cattle fed winter oats indoors. I. Nitrogen digestion and microbial protein synthesis. Anim. Feed Sci. Tech. 63:245-255.
- Enrique, M. y Pelta, H. 2000. Relevamiento de verdeos de invierno. Actas Jornadas de actualización para productores: Producción de verdeos de invierno y sus implicancias en el sistema ganadero. EEA INTA Bordenave. 14 pp.
- Fernández Mayer, A. 2000. Características nutricionales de los verdeos. En: Actas de actualización sobre producción de verdeos de invierno y sus implicancias en el sistema ganadero. EEA INTA Bordenave. 25 pp.
- Fernández Mayer, A. 2003. Cap. V. Características nutricionales de los forrajes frescos. En: Sistemas de engorde intensivo. Fernández Mayer, A. - Tomaso J. C. Serie didáctica N° 7. EEA INTA Bordenave. 150 pp.
- Fernández Mayer, A. 2006. La calidad nutricional de los alimentos y su efecto sobre la producción de carne y leche. Serie didáctica N° 8. EEA INTA Bordenave. 47 pp.
- Fernández Mayer, A.; Lagrange, S.; Bolleta, A.; Tulesi, M. y Larrea, D. 2007. Evaluación de la calidad nutricional de diferentes estados de madurez del cultivo de avena para la obtención de Henos o Silajes de planta entera. http://www.inta.gov.ar/bordenave/contactos/autores/anibal/henos_silaje.pdf
- Frame, J. 1991. Herbage production and quality of a range of secondary grass species at five rates of fertilizer nitrogen application. Grass For. Sci. 46:139-151.
- Freney, J.R.; Spencer, K. y Jones, M.B. 1978. The diagnosis of sulfur deficiency in wheat. Aust. J. Agric. Res. 29:727-738.
- Gargano, A.O.; Mockel, F.E.; Aduriz, M.A. y Cantamutto, M A. 1986. Evaluación de leguminosas anuales del género *Medicago* comparadas con *Vicia sativa*. Rev. Arg. Prod. Anim. 6:9-10.
- Gastal, F. y Saugier, B. 1989. Relationships between nitrogen uptake and carbon assimilation in whole plants of tall fescue. Plant Cell Environ. 12:407-418.

- Gonzalez, B.; Boucaud, J.; Salette, J.; Langlois, J. y Duyme, M. 1989. Changes in stubble carbohydrate content during regrowth of defoliated perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) on two nitrogen levels. *Grass For. Sci.* 44:411-415.
- Greenwood, D.J.; Lemaire, G.; Cosse, G.; Cruz, P.; Draycott, A. y Neeteson, J.J. 1990. Decline in percentage N of C3 and C4 crops with increasing plant mass. *Annals of Botany* 66:425-436.
- Greenwood, D.J.; Gastal, F.; Lemaire, G.; Draycott, A.; Millard, P. y Neeteson, J.J. 1991. Growth rate and % N of field grown crops: Theory and experiments. *Annals of Botany* 67:181-190.
- Hacker, J.B. y Minson, D.J. 1981. The digestibility of plant parts. *Herb. Abstr.* 51(9):459-482.
- Hadjichristodoulou, A. 1978. Genotype, environment and rainfall effects on common vetch varieties in a semiarid region. *Exp. Agric.* 14, 81-87.
- Hardt P.F.; Ocumpaugh, W.R. y Grene, L.W. 1991. Forage mineral concentration, animal performance and mineral status of heifers grazing cereal pastures fertilized with sulfur. *J. Anim. Sci.* 69:2310-2320.
- Havlin, J.L.; Tisdale, S.L.; Beaton, J.D. y Nelson, W.L. 2005. *Soil Fertility and Fertilizers. An Introduction to Nutrient Management.* North Carolina State University. Editorial Pearson Prentice Hall. 517 pp.
- Hoover, W.H. y Stokes, S.R. 1991. Balancing carbohydrates and proteins for optimum rumen microbial yield. *J. Dairy Sci.* 74:3630-3644.
- Horrocks, R.D. y Vallentine, J.F., 1999. *Harvested Forages.* Academic Press, London, UK. 426 pp.
- Imsande, J. y Touraine, B. 1994. N demand and the regulation of nitrate uptake. *Plant Physiol.* 105:3-7.
- InfoStat. 2008. *InfoStat, versión 2008. Manual del Usuario.* Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Primera Edición, Editorial Brujas Argentina. 334 pp.
- InfoStat. 2008. *Software versión 2008.* Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- John, A. y Ulyatt, M.J. 1987. Importance of dry matter content to voluntary intake of fresh grass forage. *Proceeding of the New Zealand Society of Animal Production* 47:13-16.
- Johnson, C.M. y Ulrich, A. 1959. II Analytical methods. For use in plant analysis. 26-77. *California Agricultural Experimental Station Bulletin* 766.

- Justes, E.; Mary, B.; Meynar, D.J.M.; Mchet, J.N. y Thelier-huche, L. 1994. Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter wheat crops. *Annals of Botany* 74:397-407.
- Kaiser, A.G.; Dear, B.S. y Morris, S.G. 2007. An evaluation of the yield and quality of oat-legume and ryegrass-legume mixtures and legume monocultures harvested at three stages of growth for silage. *Aust. J. Exper. Agric.* 47(1):25-38.
- Kandilis, K. 1984. The role of sulphur in ruminant nutrition: A review. *Liv. Prod. Sci.* 11:611-624.
- Kigel, J. 1980. Analysis of regrowth patterns and carbohydrate levels in *Lolium multiflorum* Lam. *Annals of Botany* 45:91-101.
- Kloster, A y Amigone, M. 2005. Utilización de verdes de invierno bajo pastoreo en invernada. En: Verdes de alta productividad para optimizar la cadena forrajera. Información para extensión. EEA INTA Marcos Juárez. 96:15-24.
- Lamond, R.E.; Whitney ,D.A. y Marsh, B.H. 1995. Sulfur fertilization of Smooth Bromegrass in Kansas. *Agron. J.* 87:13-16.
- Leaver, J.D. 1985. Milk production from grazed temperate grasslands. *J. Dairy Sci.* 52:313.
- Lemaire, G. y Saleite, J. 1982. The effects of temperature and fertilizer nitrogen on the spring growth of tall fescue and cocksfoot. *Grass For. Sci.* 37:191-198.
- Lithourgidis, A.S.; Vasilakoglou, I.B.; Dhima, K.V.; Dordas, C.A. y Yiakoulaki, M.D. 2006. Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and triticale in two seeding ratios. *Field Crop. Res.* 99:106-113.
- Marinissen, J. 2007. Suplementación con grano de avena de terneros a pastoreo sobre un verdeo invernal. Parámetros productivos y calidad de carne. Tesis de Magister en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Sur. Bahía Blanca 195 pp.
- Marino, M.A. 1996. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento invierno primaveral, la composición química del forraje de Avena sativa y *LoLium multiflorum* Lam. Tesis Magíster. Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Mar del Plata. 85 pp.
- Marsh, R. 1975. A comparision beetwen spring and autumn pasture for beef al equal grazong pressures. *J. Br. Grassld. Soc.* 30:165.
- Martínez, M.F.; Arelovich, H.M. y Wehrhahne, L. 2007. Composición química del forraje en cultivares de Avena sativa. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 27(1):125.
- Mc Donald, P.; Edwards, R.A. y Greenhalgh, J.F.D. 1993. *Nutrición Animal*. Cuarta edición traducida a Castellano por: Dr. Rafael Sanz Arias. Editorial Acribia S.A., Zaragoza (España). 571 pp.

- Melgar, R. y Díaz Zorita, M. 2008. La fertilización de cultivos y pasturas. Segunda edición ampliada y actualizada. Editorial Hemisferio Sur S.A. 559 pp.
- Méndez, D. y Davies, P. 2000. Utilización de verdeos de invernales. Publicación Técnica N° 30. EEA INTA Gral. Villegas. 35 pp.
- Millard, P. 1988. The accumulation and storage of nitrogen by herbaceous plants. *Plant Cell Environ.* 11:1-8.
- Montaldi, E.R. 1995. Principios de Fisiología Vegetal. Ediciones SUR. 350 pp.
- Moreira, N. 1989. The effect of seed rate and nitrogen fertilizer on the yield and nutritive value of oat-vetch mixtures. *J. Agric. Sci. Camb.* 112:57-66.
- Nelson, L.A. y Anderson, R.L. 1977. Partitioning of soil test-crop response probability. *Soil testing: Correlating and interpreting the analytical results.* ASA Special Publication N° 29:19-38.
- Nowakowski, T.Z. 1962. Effects of nitrogen fertilizers on total nitrogen, soluble nitrogen and soluble carbohydrate content of grass. *J. Agric. Sci.* 59:387-392.
- Osman, A.E. y Osman, A.M. 1982. Performance of mixtures of cereal and legume forages under irrigation in the Sudan. *J. Agric. Sc. Camb.* 98:17-21.
- Osman, A.E. y Nersoyan, N. 1986. Effect of the proportion of species on the yield and quality of forage mixtures, and on the yield of barley in the following year. *Exp. Agric.* 22:345-351.
- Papastylianou, I. 1990. Response of pure stands and mixtures of cereals and legumes to nitrogen fertilization and residual effects on subsequent barley. *J. Agric. Sci.* 115:15-22.
- Papastylianou, I. 1995. Effect of rainfall and temperature on yield of *Vicia sativa* under rainfed Mediterranean conditions. *Grass For. Sci.* 50:456-460.
- Papastylianou, I. 1999. Estimation of Nitrogen Fixed by Legumes in Long-Term vs. Short-Term Cropping Systems. *Agron. J.* 91:329-334.
- Paterson, J.A.; Belyea, R.L.; Bowman, J.P.; Kerley, M.S. y Williams, J.E. 1994. Chapter II: The impact of forage quality and supplementation regimen on ruminant animal intake and performance. In: *Forage Quality, Evaluation and Utilization*, G. C. Fahey Jr. (Ed.), American Society of Agronomy, Inc. Crop Science Society of America. Soil Science Society of America, Inc. Madison, WI, USA. 59-114.
- Petruzzi, H.J.; Pechín, C.A.; Villa, E.G.; Stritzler, N.P. y Ferri, C.M. 2007. Degradabilidad en rumen de avena fertilizada y sin fertilizar con nitrógeno. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 27(1)
- Pordomingo, A.J.; Quiroga, A.; Jonas, O.; Santucho, G.; Otamendi, H.; Azcárate, M. P.; Buffa, H.G.; Rolheiser, D.O. y Albertario, P.D. 2002. Producción y

calidad de verdeos de invierno en siembra directa. Boletín de divulgación N° 73, Cap 8. EEA INTA Anguil.

- Pordomingo, A.J.; Pordomingo, A.B.; Barbeito, V.A.; Volpi, G.; Gatti, M. y Quiroga, A. 2004. Producción y calidad del forraje de verdeos de invierno en siembra directa bajo fertilización nitrogenada y fosforada. Boletín de Divulgación. EEA INTA Anguil. 80:15-31.
- Puricelli, C.A. 1996. La consociación avena mas vicia en el Sudoeste de Buenos Aires una revisión de antecedentes. Serie didáctica N° 2. EEA INTA Bordenave. 14 pp.
- Qamar, I.A.; Keatinge, J.D.H.; Mohammad, N.; Ali, A. y Khan, M.A. 1999. Introduction and management of vetch/barley forage mixtures in the rain fed areas of Pakistan. 3. Residual effects on following cereal crops. Aust. J. Agric. Res. 50:21-27.
- Quiroga, A.; Ormeño, O.; Fernandez, D.; Otamendi, H. y Vallejo, A. 1999. Verdeos de Invierno: Necesidad de reconocer y manejar limitantes de su productividad en suelos de la región semiárida pampeana. Boletín de Divulgación Técnica N° 61. EEA INTA Anguil. 22 pp.
- Rebolé, A.; Alzueta, C.; Ortiz, L.T.; Barro, C.; Rodríguez, M.L. y Caballero, R. 2004. Yields and chemical composition of different parts of the common vetch at flowering and at two seed filling stages. Span. J. Agric. Res. 2(4):550-557.
- Richards, J.H. 1993. Physiology of plant recovering from defoliation. Proceedings of the XVII International Grassland Congress 1993:85-94.
- Roberts, C.A.; Moore, K.J. y Johnson, K.D. 1989. Forage quality and yield of wheat-vetch at different stages of maturity and vetch seeding rate. Agron. J. 81:57-60.
- Robson, M.J. y Deacon, M.J. 1978. Nitrogen deficiency in small closed communities os S24 ryegrass. II. Changes in the weight and chemical composition of single leaves during their growth and death. Annals of Botany 42:1199-1213.
- Salvagiotti, F.; Castellarín, J.M.; Miralles, D.J. y Pedrol, H. M. 2009. Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. Field Crop. Res. 113:170-177.
- Satterthwaite, F. E. 1946. An Approximate Distribution of Estimates of Variance Components. Biometrics Bulletin, Vol. 2, No. 6 pp. 110-114. Published by: International Biometric Society. <http://www.jstor.org/stable/3002019>
- Sinclair, T.R. y Wit, C.T. 1975. Photosynthate and nitrogen requirements for seed production by various crops. Science 189(4202):565-567.

- Sniffen, C.J.; O'Connor, J.D.; Van Soest, P.J.; Fox, D.G. y Russell, J.B. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *J. Anim. Sci.* 70:3562-3577.
- Spears, J.W.; Burns, J.C. y Hatch, P.A. 1985. Sulfur Fertilization of Cool Season Grasses and Effect on Utilization of Minerals, Nitrogen, and Fiber by Steers. *J. Dairy Sci.* 68(2):347-355.
- Sweeney, D.W. y Moyer, J.L. 1997. Sulfur source and placement effects on forage yield and quality of established tall fescue. *Agron. J.* 89:905-910.
- Thompson, D.J.; Stout, D.G. y Moore, T. 1992. Forage production by four annual cropping sequences emphasizing barley irrigation in southern interior British Columbia. *Can. J. Plant Sci.* 72:181-185.
- Thomson, E.F.; Rihawi, S. y Nersoyan, N. 1990. Nutritive value and yields of some forage legumes and barley harvested as immature herbage, hay and straw in North-West Syria. *Exp. Agric.* 26:9-56.
- Tilley, J.M.A. y Terry, R.A. 1963. A two stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *J. Br. Grassland Soc.* 18:104-111.
- Tisdale, S.L.; Nelson W.L.; Beaton J.D. y Havlin, S.L. 1993. Soil Fertility and Fertilizers. Fifth Edition. Macmillan Publishing Company. 634 pp.
- Tomaso J.C. 2003. Cereales forrajeros de invierno. Producción de materia seca, Manejo del cultivo y Curvas de Producción. En: Sistemas de engorde intensivo. Ed Fernández Mayer, A. - Tomaso J. C. Cap. IV. Serie didáctica No 7. EEA INTA Bordenave. 150 pp.
- Vanzolini, J.I.; Marinissen, J.; García, J.M. y Boscardín, H. 2007. Producción de materia seca de Avena sativa en el sur de la provincia de Buenos Aires (Partido de Villarino -zona secano). *Rev. Arg. Prod. Anim.* 27(1):155.
- Vose, P.B. y Breese, E.L. 1964. Genetic variation in the utilization of nitrogen by ryegrass species *Lolium perenne* and *L. multiflorum*. *Annals of Botany* 28(110):251-270.
- Wang, S.; Wang, Y.; Schnug, E.; Haneklaus, S. y Fleckenstein, J. 2002. Effects of nitrogen and sulphur fertilization on oats yield, quality and digestibility and nitrogen and sulphur metabolism of sheep in the Inner Mongolia Steppes of China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 62:195-202.
- Waldo, D.R. y Goering, H.K. 1979. Insolubility of protein in ruminant feeds by four methods. *J. Anim. Sci.* 49:1560-1568.
- Withers, P.J.A.; Tytherleigh, A.R.J. y O'Donnell, F.M. 1995. Effect of sulphur fertilizers on the grain yield and sulphur content of cereals. *J. Agric. Sci.* 125:317-324.
- Yemm, E.W. y Willis, A.J. 1954. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. *Biochem. J.* 57(3):508-514.

Zhao, F.J.; Hawkesford, M.J. y McGrath, S.P. 1999. Sulphur assimilation and effects on yield and quality of wheat. *J. Cereal Sci.* 30:1-17.

Capítulo 3

Efectos de la fertilización en avena y de la consociación con vicias sobre variables edáficas

Resumen

El sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina) es una zona semiárida donde aún prevalecen los sistemas de producción mixta agrícola ganaderos. El objetivo de este trabajo fue estudiar los efectos producidos sobre variables edáficas, por la consociación de avena con vicia y la fertilización del suelo con nitrógeno (N) durante y después del crecimiento del cultivo, incluyendo dos tipos diferentes de barbecho postcultivo: mecánico y químico. En las localidades de Bajo Hondo y Bordenave se realizaron ensayos en campos donde el trigo se rota con cultivos de forraje. El diseño fue de parcelas divididas con factores fijos en bloques completos al azar. Los tratamientos quedaron definidos como combinación de dos factores: cultivo (*Avena sativa* pura y en consociación con *Vicia villosa* y con *Vicia sativa*) y fertilización (testigo, 60 kg nitrógeno ha⁻¹ e igual dosis de N + 10 kg de azufre ha⁻¹). Antes de la siembra, se extrajo de cada bloque una muestra compuesta para caracterizar el suelo. Posteriormente, durante y después del cultivo, se muestrearon subunidades específicas en 4 fechas, sobre las que se determinaron cuando correspondió nitrógeno inorgánico, azufre extraíble y una fracción lábil de carbono del suelo. Complementariamente, se examinaron las características de las raíces de las vicias. La variabilidad temporal del nitrógeno inorgánico (N_i) se relacionó con la dinámica del N del suelo. Sólo se observaron efectos relevantes en la profundidad 0-30 cm. La fertilización tuvo un impacto positivo y significativo sobre el N_i durante el cultivo. Después de la última cosecha y al finalizar los experimentos N_i aumentó debido a la consociación con la vicia entre 3,1 y 15,7 mg kg⁻¹ de suelo, dependiendo de la localidad y del tipo de barbecho. Así, las consociaciones con vicias tienen el potencial para suministrar N para los cultivos de cosecha siguientes. Sin embargo, este potencial sólo se manifestó en las

parcelas con barbecho mecánico. El monitoreo de S_e reveló los efectos de la fertilización y el mayor consumo de S en la vicia. Su retención en la biomasa aérea y radical con posterioridad al ciclo de cultivo, provocaría mayor nivel de S_e en estratos superiores del suelo al momento de su descomposición. Los resultados obtenidos confirmaron que la consociación de verdeos invernales con *V. villosa* elevó en 10 % promedio los contenidos de la fracción lábil de carbono orgánico estudiada. En los primeros estadios de crecimiento, las especies de vicia ensayadas difirieron en sus estructuras radiculares y en la cantidad, tamaño, forma y ubicación de los nódulos de fijación simbiótica. Un mes después de la aplicación del fertilizante nitrogenado no se observó efectos sobre la nodulación.

Palabras clave

Verdeos de invierno, consociación con vicias, fertilización nitrogenada y azufrada, labranza, barbecho, variabilidad temporal de N, azufre extraíble, carbono lábil del suelo, región semiárida.

Introducción

En la última década, la utilización de vicia ha cobrado impulso como acompañante de los verdeos de invierno para ser utilizados como cultivos de cobertura (CC). Según Ruffo y Parsons (2004), los CC son sembrados entre dos cultivos de cosecha y no son incorporados al suelo (a diferencia de los abonos verdes) ni pastoreados (a diferencia de los verdeos) o cosechados. Los residuos de los CC quedan en superficie, liberando los nutrientes contenidos en la biomasa vegetal al descomponerse. Además cumplen múltiples funciones reduciendo la erosión, la compactación, la lixiviación de nitratos residuales y la presencia de malezas e incrementando el contenido de carbono y nitrógeno (N) del suelo, que resultan beneficiosos para el cultivo siguiente. La utilización principal de esta tecnología busca paliar el balance negativo de carbono que se produce en torno a la creciente agricultura con soja, dado por la baja relación C/N de sus residuos.

En el sudoeste bonaerense, si bien la práctica de los cultivos de cobertura es viable, los productores locales privilegian alimentar sus animales y como "subproducto" realizan una "rotación corta" que permitiría prolongar *a posteriori* el ciclo agrícola (Puricelli, 1996). Esto es particularmente cierto si consideramos que los verdeos de invierno son pastoreados totalmente y la incorporación de biomasa aérea por rebrotes es casi nula. Igualmente, existen evidencias de que la consociación de vicia con cereales invernales, además de mejorar la producción total de forraje, balancear la calidad del mismo y alargar el periodo de aprovechamiento, modifica favorablemente los ciclos de nutrientes y las propiedades físicas de los suelos (Miglierina *et al.*, 2000; Tomaso, 2003; Lithourgidis *et al.*, 2006). En sistemas pastoriles, sin embargo, los beneficios principales de la vicia para el suelo se remiten a los nódulos de fijación y raíces al finalizar el aprovechamiento (Agamennoni y Vanzolini, 2006). De todas formas, las consociaciones aumentan la cantidad de raíces en el horizonte superficial, lo cual se relaciona positivamente con el contenido de materia orgánica en el suelo (Troughton, 1957), aumentando el nivel productivo del mismo (Galantini *et al.*, 2004).

Como principal condicionante de la magnitud de las mejoras originadas por las consociaciones de cereales de invierno con vicias, se señalan las precipitaciones. En zonas semiáridas éstas no logran cubrir los requerimientos de uso consuntivo de los cultivos, y normalmente limitan el rendimiento y la respuesta a la fertilización (Quiroga *et al.*, 2005a). Por tal motivo la longitud de los barbechos, siempre que la capacidad de retención hídrica del suelo lo permita, favorece significativamente la mayor disponibilidad de agua y nitratos para el cultivo, resultando en mayor producción de materia seca (Fernández *et al.*, 2004).

Durante el periodo de aprovechamiento de un verdeo de invierno consociado con vicia aumenta el nivel de N en forma de nitratos en el suelo, favoreciendo el crecimiento de las gramíneas acompañantes. Evaluaciones realizadas en la EEA

INTA Anguil durante el periodo 1991-1997 muestran que los nitratos en el suelo fueron siempre superiores en un verdeo de centeno + vicia con respecto al verdeo de centeno solo. Las mayores diferencias se registraron durante mayo y junio, dando lugar a incrementos de 24 kg de N ha⁻¹, en promedio y cambios significativos en la producción de materia seca de la gramínea (Quiroga *et al.*, 1999). Esta condición, no obstante, no fue verificada en otras experiencias (Papastylianou y Danso, 1991).

La variable N de nitratos, por sí sola, explicaría los aumentos de rendimientos y la calidad de los cultivos de cosecha posteriores, como en el caso del trigo, según lo informado por varios autores (Videla, 1955; Loewy, 1987; Galantini *et al.*, 2000; Wortmann *et al.*, 2000). Más recientemente Minoldo *et al.* (2004) encontraron respuestas en trigo, luego de un verdeo consociado con vicia, mayores a las producidas por la dosis máxima de N ensayada en una secuencia de trigo continuo. Estos resultados son consistentes con información internacional que cita altos valores de N resultantes de la fijación simbiótica de N atmosférico por la vicia (Papastylianou, 1999). Además, finalizado el aprovechamiento de los verdeos, las características del barbecho tienen importancia sobre el suministro de nitrógeno para el cultivo siguiente (Soon *et al.*, 2001). A diferencia del N aplicado por fertilización, el fijado por simbiosis ve favorecida su participación dentro del ciclo de los nutrientes dado que ingresa a través de la materia orgánica (Azam *et al.*, 1986), y resulta fácilmente disponible desde los residuos (Azam *et al.*, 1993). Cabe acotar que los trabajos citados no incluyen los aportes por las excretas de los animales. Estos también juegan un papel preponderante, con clara influencia de la carga animal como condicionante de los patrones de distribución de heces y por lo tanto de los nutrientes (Díaz Zorita y Barraco, 2002).

Por otra parte, entre los efectos positivos de la inclusión de verdeos con vicia en rotaciones sobre variables edáficas se incluyen incrementos en la materia orgánica joven (MOj) luego del ciclo de la leguminosa (Galantini, 1994; Miglierina *et*

al., 2000; Galantini, 2005). Esta variable ha sido relacionada significativamente con los contenidos de nitratos en el suelo antes de la siembra de trigo y también con su rendimiento en grano (Galantini *et al.* 2002; Quiroga *et al.* 2005b; Studdert *et al.*, 2005). Además, la MOj no sólo genera mayor disponibilidad de nitrógeno sino también de fósforo y azufre en el suelo (Whitbread *et al.*, 2000a y 2000b). El contenido de la MOj, a su vez, no es independiente del estado de los nutrientes en el suelo dado el aumento logrado por fertilización según lo informado por Galantini y Rosell, (2006).

Numerosos grupos de investigación en el mundo utilizan la determinación de MOj en estudios de calidad y productividad edáficas, bajo diferentes enfoques. A nivel de laboratorio la MOj se separa mediante fraccionamiento físico. Este procedimiento se diferencia del fraccionamiento químico tradicional (ácidos húmicos, fúlvicos, huminas) y se evitan cambios químicos en la muestra de suelo. Además, existe una gama de determinaciones químicas para cuantificar las fracciones orgánicas lábiles, basadas en el grado de oxidación de los compuestos orgánicos con permanganato (Tirol-Padre y Ladha, 2004) o con dicromato y diferentes concentraciones de ácido sulfúrico (Chan *et al.*, 2001). En el centro sur de la provincia de Buenos Aires Mandolesi *et al.* (2008) estimaron una fracción del CO lábil, que denominaron COX₁₂. Comprobaron que los valores de COX₁₂ correlacionaban positiva y significativamente con los de MOj y que ambos eran sensibles al manejo del suelo.

Hipótesis

- La consociación con vicia en los verdeos invernales y la fertilización nitroazufrada incrementan la disponibilidad de nutrientes móviles en el perfil del suelo en el mediano y en el corto plazo, respectivamente. La disponibilidad de N_i para cultivos siguientes depende más del tipo de barbecho postcultivo (mecánico o químico) que de la especie de vicia utilizada.

- La consociación de un verdeo de invierno con vicias puede mejorar la calidad de la MO del suelo a través de un incremento en las fracciones de carbono más activas.
- *V. villosa* y *V. sativa* difieren en tamaño, número y distribución de nódulos de fijación de N atmosférico en sus sistemas radiculares. La fijación simbiótica, en ambas especies, es afectada negativamente por la fertilización nitrogenada.

Objetivos

- Determinar los efectos producidos por la vicia en consociación con avena y la fertilización con N y NS sobre la dinámica del N inorgánico y el S extraíble en el perfil del suelo, durante el ciclo de los cultivos y durante un barbecho posterior de 5 meses. Paralelamente, evaluar el efecto de dos tipos de barbecho (mecánico y químico) sobre la disponibilidad de nutrientes para los cultivos siguientes.
- Verificar la existencia de modificaciones en el estado orgánico del suelo, producido por la consociación avena -*V. villosa* y la aplicación de 60 kg N ha⁻¹ al macollaje de un cultivo de avena puro, al finalizar el ciclo de cultivo y luego de un barbecho postcultivo de 5 meses.
- Determinar las características de nodulación de *V. villosa* y *sativa* en etapas tempranas de los cultivos consociados y verificar los efectos que provoca la fertilización nitrogenada sobre la nodulación radicular.

Materiales y Métodos

Ensayos

Se trabajó sobre dos ensayos de fertilización nitroazufrada, en verdeos de invierno puros y consociados con vicia, conducidos en las localidades de Bajo Hondo y Bordenave. El diseño fue de parcelas divididas con factores fijos en bloques completos al azar. Los tratamientos quedaron definidos como combinación de dos

factores: cultivo en parcelas principales (*Avena sativa* pura y en consociación con *Vicia villosa* y con *Vicia sativa*) y fertilización en subparcelas (testigo, 60 kg N ha⁻¹ e igual dosis de N + 10 kg de azufre ha⁻¹). El experimento se describe detalladamente en el Capítulo 1 de esta Tesis.

En la Figura 3.1 se muestran las precipitaciones mensuales durante el cultivo (2007) junto con las del periodo poscultivo (2008).

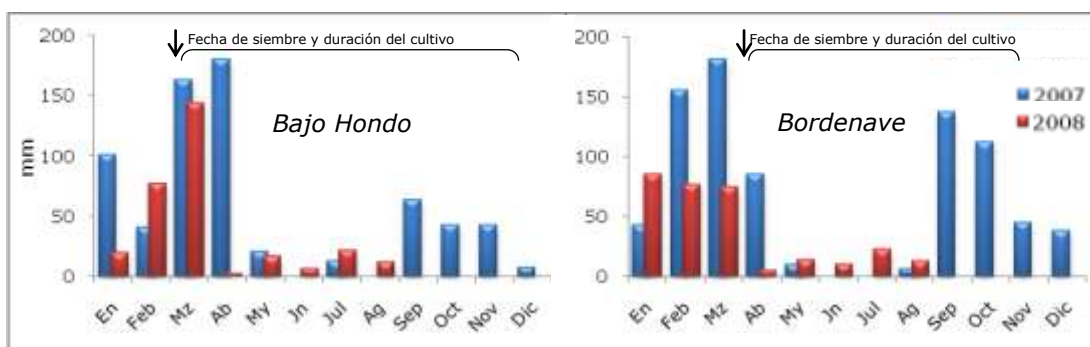


Figura 3.1: Precipitaciones mensuales del año 2007 y del periodo de experimentación en 2008.

Las determinaciones analíticas se realizaron sobre muestras compuestas de suelo. Las variables estudiadas a lo largo de 17 meses fueron N inorgánico (N_i), S extraíble (S_e) y una fracción de carbono lábil (COX₁₂)

Para la determinación de las formas inorgánicas de N se preparó un extracto de suelo con una solución de K₂SO₄ al 4 %, que recupera cuantitativamente amonio intercambiable, nitritos y nitratos presentes en la muestra. El N_i se estimó a partir de la liberación de amoníaco por la destilación de una alícuota de extracto de suelo con un compuesto alcalino (MgO) y aleación de Devarda, como agente reductor. Se empleó una técnica de microdestilación por arrastre de vapor (Bremner, 1965).

El S_e se determinó con KH₂PO₄ 0,016M. La extracción se llevó a cabo con las siguientes condiciones: relación suelo:extractante 1:5, agitación durante 30 minutos, centrifugado y filtrado (Anderson et al., 1992). La cuantificación en el extracto se midió por espectrometría de emisión atómica por plasma inducido (Zhimadzu ICPS 1000 III).

El COX_{12} se estimó por combustión húmeda mediante una modificación del método Walkley y Black (W-B). La misma consiste en utilizar la concentración 12N de ácido sulfúrico (H_2SO_4) en el digesto en lugar de 24N como se especifica en W-B estándar (Chan *et al.*, 2001).

En la Tabla 3.1 se resumen las variables descriptas junto con los análisis químicos de fertilidad de rutina (pH, fósforo extraíble y materia orgánica).

La profundidad de muestreo fue de 0-12 cm para los parámetros de menor variación en el corto plazo (MO, COX_{12} , Pe y pH). Las muestras para N_i y S_e se extrajeron con barreno en 0-30 y 30-60 cm. La segunda profundidad se muestreó sólo cuando la condición de humedad del suelo lo permitió.

En presiembra se muestreó a nivel de bloques y se analizaron todas las variables descriptas, para caracterizar ambos sitios. En las evaluaciones posteriores se muestrearon subparcelas del diseño general seleccionadas para el cumplimiento de los objetivos planteados (Tabla 3.2). En la Tabla 3.3 se especifican los momentos de muestreo durante el cultivo y en el barbecho posterior. Por restricciones operativas en Bordenave fue posible hacer seguimiento sólo del contenido de N_i en las tres primeras fechas de muestreo.

Tabla 3.1: Variables analizadas en muestras de suelo, unidades, notación, método de determinación y laboratorio.

Variable de suelo	Unidades	Notación	Método de determinación	Laboratorio
Materia orgánica*	g kg^{-1}	MO	Walkley y Black (1934)	LABOR INTA Bordenave
Fosforo extraíble *	mg kg^{-1}	Pe	Bray y Kurtz (Nelson y Sommers, 1982)	LABOR INTA Bordenave
pH *	-	pH	Potenciométrico en agua relación 1:2,5. (Jackson, 1970)	LABOR INTA Bordenave
Nitrógeno inorgánico	mg kg^{-1}	N_i	Bremner por microdestilación (Bremner, 1965)	LABOR INTA Bordenave

Azufre extraíble	mg kg ⁻¹	S _e	Extracción con KH ₂ PO ₄ (Anderson <i>et al.</i> , 1992)	LANAQUI, UNS.
Carbono orgánico lábil	g kg ⁻¹	COX ₁₂	Walkley y Black modificado (Chan <i>et al.</i> , 2001)	Dto. de Agronomía, UNS.

(*) sólo en muestras iniciales

Tabla 3.2: Subparcelas muestreadas para determinación de N_i, S_e y COX₁₂ y notación de tratamientos.

Subparcelas	Notación
Avena testigo	Av T
Avena fertilizada con 60 kg N ha ⁻¹	Av N
Avena fertilizada con 60 kg N + 10 kg S ha ⁻¹	Av N+S
Avena consociada con <i>Vicia villosa</i> testigo	Av VV T
Avena consociada con <i>Vicia villosa</i> fertilizada con 60 kg N ha ⁻¹	Av VV N
Avena consociada con <i>Vicia sativa</i> testigo	Av VS T

Tabla 3.3: Momentos de muestreo y variables edáficas analizadas en ambos sitios experimentales. Notación de variables ver Tabla 3.1.

Nº de muestreo	Descripción del momento	Bajo Hondo			Bordenave		
		Días desde siembra	N _i	S _e	COX ₁₂	Días desde siembra	N _i
1º	Invierno tardío durante el cultivo	189	X			169	X
2º	Fin de aprovechamiento del cultivo	278*	X	X		239	X
3º	Al Año de la siembra	379*	X	X	X	366*	X
4º	Invierno postcultivo	523	X	X	X		

(*) se extrajeron muestras en las profundidades 0-30 y 30- 60

En Bajo Hondo, luego de realizar el tercer muestreo (un año después de la siembra), se incorporó un factor adicional de tipo de barbecho otoñal: mecánico y químico. Para este fin se dividieron los bloques en forma transversal a los tratamientos, estableciendo - en cada uno - una franja aleatoria de barbecho mecánico realizado con dos pasadas de rastra de disco doble acción. Paralelamente, se realizó aplicación de herbicidas en la franja restante, para mantener el ensayo libre de malezas, condición que se conservó para las fechas de muestreo sucesivas en la totalidad del ensayo.

De forma complementaria se realizó en Bajo Hondo un estudio sobre las raíces de ambas vicias durante el ciclo de los cultivos. Se muestrearon a los 63 días de la siembra mediante un método de extracción descrito por [Troughton \(1957\)](#). Consiste en la interrupción del crecimiento de la planta, excavación *in situ* con herramientas de mano y lavado con agua asperjada, para separar los agregados de suelo de las raíces. Luego de la extracción, sobre la totalidad del sistema radicular, se determinó la distribución espacial de los nódulos según el porcentaje en cuello de raíz y raíces secundarias, se observó su forma y se determinó tamaño y número por planta.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis preliminar descriptivo para la variable N_i en Bajo Hondo y Bordenave graficando los valores medios de los tratamientos para las evaluaciones sucesivas.

Al momento de establecer comparaciones entre los tratamientos para las variables N_i y S_e , en cada fecha de muestreo, se trabajó con análisis univariados. Dado que no se muestreó el total de las subparcelas se recurrió a tres diseños específicos (Tabla 3.4).

Tabla 3.4: Diseños específicos para el análisis de la información proveniente de los muestreos de suelo en la 1ª, 2ª y 3ª fecha para ambos sitios experimentales. Notación de tratamientos ver Tabla 3.2.

Diseños específicos	Tratamientos considerados en los diseños	Efectos que permiten explicar en el suelo
Bloque completos aleatorizados	Av T Av N Av N+S	○ De N y N-S en parcelas con <i>avena</i> .
Bloque completos aleatorizados	Av VV T Av VV N	○ De N en parcelas con <i>avena</i> + <i>Vicia villosa</i> .
Bloque completos aleatorizados	Av T Av VV T Av VS T	○ De distintas especies de vicia en el verdeo.

En la cuarta fecha de muestreo (Bajo Hondo) los diseños específicos de Tabla 3.4, se ampliaron a bloques divididos, por la inclusión del factor tipo de barbecho.

Finalmente para la variable N_i (0-30 cm) en Bajo Hondo, partiendo de los datos en cada fecha de muestreo para los diferentes tratamientos, se realizó un análisis de agrupamiento por el método jerárquico aglomerativo de Ward (1963). Se utilizó el índice de asociación de Czekanowski, que agrupa los tratamientos más similares en los valores de N inorgánicos.

Para la variable COX_{12} se establecieron comparaciones individuales en el último muestreo de Bajo Hondo, en los tratamientos Av T, Av N y AvVV T, mediante la prueba de DMS. Además, éstos se compararon con el valor en presiembra inicial mediante prueba t para medias apareadas.

A nivel de raíces de vicias se trabajó sobre un diseño de parcelas divididas emergente del ensayo general (Capítulo 1). Los tratamientos quedaron definidos como combinación del factor principal cultivo (*V. villosa* de la consociación Av+VV y *V. sativa* de la consociación Av+VS) y el secundario, nivel de fertilización a inicio de macollaje de los cultivos (Testigo y fertilizado con 60 kg N ha⁻¹). Sobre cada tratamiento y en la totalidad de los bloques se realizó la extracción de tres plantas al azar de los cultivos para el conteo de nódulos radiculares. El factor aleatorio de

muestreo se incorporó, como un anidado. Se establecieron comparaciones de medias de tratamientos mediante la prueba de Tukey para establecer un error global ($p < 0,05$).

El procesamiento de datos se realizó mediante el software InfoStat Profesional® (2008).

Resultados

Las características iniciales en ambos sitios experimentales se presentan en la Tabla 3.5. El nivel de Pe en Bajo Hondo es elevado, posiblemente por el efecto residual de fertilizaciones previas. En Bordenave el Pe se presenta muy bajo, en parte por la baja extracción del método Bray y Kurtz 1 en suelos alcalinos. Las cantidades de materia orgánica están acorde a las texturas respectivas mientras que el pH señala a Bordenave como un suelo de tipo calcáreo. Los valores de N_i y S_e , fueron relativamente altos, en ambos sitios y profundidades. El COX_{12} fue cuantitativamente similar para ambos sitios, pero representó una proporción mayor del carbono orgánico total en Bordenave (62 %) que en Bajo Hondo (46 %).

Tabla 3.5: Análisis de los suelos en presiembra de los dos sitios experimentales. Medias de 3 observaciones. Notación de variables ver Tabla 3.1.

Sitio	pH	MO (mg kg ⁻¹)	Pe (g kg ⁻¹)	COX ₁₂ (g kg ⁻¹)	N _i (mg kg ⁻¹)		S _e (mg kg ⁻¹)			
					0-30 cm		0-30 cm		30-60 cm	
					0-12 cm	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm	
Bajo Hondo	6,4	31	24	8,3	13	9	11	13		
Bordenave	7,7	20	5	7,3	16	14	14	15		

Nitrógeno inorgánico en Bajo Hondo

El comportamiento general de los tratamientos en las evaluaciones sucesivas durante 2007 y 2008 se presenta en la Figura 3.2 para las parcelas sin fertilizar. Los niveles de N_i (capa 0-30 cm) resultaron crecientes en primavera-verano y decrecientes en otoño-invierno.

En avena testigo se presentó un nivel constante en las primeras fechas de muestreo. En las consociaciones N_i fue creciente. Para el tercer muestreo, todos los

tratamientos exhibieron valores superiores a los anteriores, destacándose Av VS T. En el cuarto muestreo, se evidenció el efecto del tipo de barbecho y los altos niveles en las consociaciones. A excepción de la primera fecha, los tratamientos fertilizados (Av N, Av N+S y Av VV N), no incluidos en la figura, siguieron la misma tendencia, tomando valores intermedios entre avena testigo y consociaciones.

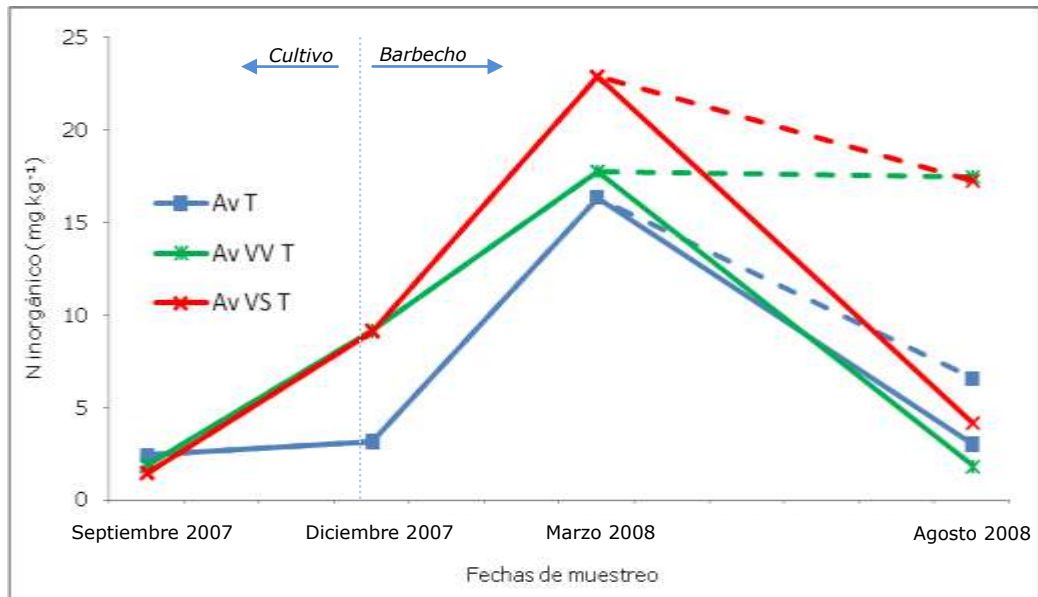


Figura 3.2: Niveles de N inorgánico (0-30 cm) en la localidad de Bajo Hondo para los tratamientos testigos a lo largo de las evaluaciones sucesivas. Línea llena y punteada corresponden a tipo de barbecho químico y mecánico, respectivamente. Medias de 3 observaciones. Notación de tratamiento y momentos de muestreo ver Tablas 3.2 y 3.3.

Los análisis de varianza mostraron efectos significativos para los tres diseños específicos en distintos muestreos (Tabla 3.6).

El N_i (0-30cm) en las parcelas de avena pura se incrementó significativamente por fertilización en los dos primeros muestreos, no así en el tercero. En la segunda fecha de muestreo las parcelas fertilizadas de Av VV presentaron menor N_i (0-30 cm) que las no fertilizadas, mientras que las consociaciones sin fertilización tuvieron valores superiores de N_i (0-30cm) que la avena pura. Lo opuesto sucedió en la profundidad 30-60 cm (Tabla 3.7).

Tabla 3.6: Probabilidad del F y coeficiente de variación de los diseños específicos para explicar efectos de la fertilización y consociación sobre el N inorgánico del suelo en Bajo Hondo en el 1°, 2°, 3° y 4° muestreo. Notación de tratamientos, momentos de muestreo y diseños específicos ver Tablas 3.2, 3.3 y 3.4.

N° de muestreo	Prof. (cm)	Factor	Diseños específicos					
			N y NS en Av		N en Av VV		Vicias	
			<i>p del F</i>	CV%	<i>p del F</i>	CV%	<i>p del F</i>	CV%
Primero	0-30		0,0225	27	0,0761	42	0,2823	33
	0-30		0,0430	26	0,0413	8	0,0161	23
Segundo	30-60		0,4813	8	0,0728	9	0,0123	18
	0-30		0,8787	4	0,2051	11	0,0171	9
Tercero	30-60		0,0329	12	0,0302	10	0,0208	19
		Principal	0,5893		0,1254		0,0412	
Cuarto	0-30	Barbecho	0,1956	39	0,0379	37	0,0630	26
		Interacción	0,6904		0,2847		0,0190	

Tabla 3.7: Efectos de la fertilización y consociación sobre el N inorgánico del suelo en Bajo Hondo en el 1°, 2° y 3° muestreo (mg kg^{-1}). Notación de tratamientos, momentos de muestreo y diseños específicos ver Tablas 3.2, 3.3 y 3.4.

N° de muestreo	Prof. (cm)	Diseños específicos								
		N y NS en Av			N en Av VV		Vicias			
		Av T	Av N	Av N+S	Av VV T	Av VV N	Av T	Av VV T	Av VS T	
Primero	0-30	2,4 a	7,0 b	8,2 b	1,9	7,1	2,4	1,9	1,5	
	0-30	3,2 a	7,7 b	7,5 b	9,2 b	6,7 a	3,2 a	9,2 b	9,1 b	
Segundo	30-60	6,3	6,4	5,9	4,3	3,3	6,3 b	4,3 a	2,6 a	
	0-30	16,3	16,6	16,4	17,8	15,1	16,3 a	17,8 a	22,9 b	
Tercero	30-60	5,7 b	3,7 a	5,2 b	4,2 b	2,6 a	5,7 b	4,2 ab	2,6 a	

* Medias de 3 observaciones. En cada diseño y profundidad, letras distintas difieren significativamente $p < 0,05$ según DMS. Ausencia de letras no difieren estadísticamente.

En el último muestreo se presentó un comportamiento diferente de los tratamientos consociados en cada tipo de barbecho. Esta interacción se debió a la presencia de vicia en los tratamientos (Figura 3.3).

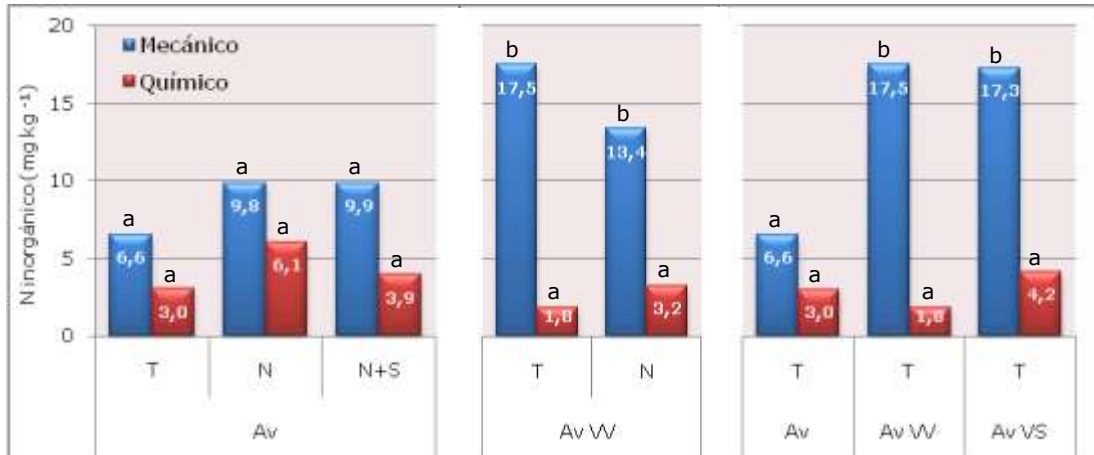


Figura 3.3: Efectos de la fertilización, consociación y tipo de barbecho sobre el N inorgánico del suelo en la profundidad 0-30 cm en Bajo Hondo en el 4º muestreo (523 días de la siembra). Medias de 3 observaciones. En cada diseño, letras distintas difieren significativamente $p < 0,05$ según DMS. Notación de tratamientos y diseños específicos ver Tablas 3.2 y 3.4.

Bajo barbecho químico no se apreciaron diferencias entre tratamientos, mientras que en el mecánico se registró N_i 2,6 veces mayor en los tratamientos con vicia que en el testigo de avena. Respecto al efecto del tipo de barbecho, en el testigo de avena se duplicó la cantidad de N_i por el laboreo, mientras que, los tratamientos que tuvieron vicia presentaron un nivel 6 veces mayor (Figura 3.3). Un comportamiento similar se evidenció en el diseño de fertilización con N en Av VV. En el cultivo de avena no hubo diferencias significativas debido a la fertilización o tipo de barbecho. Sin embargo, en el suelo rastreado, la avena presentó una tendencia creciente para N_i con la fertilización.

La evaluación estadística de la asociación entre los tratamientos para la profundidad de 0 a 30 cm en todas las fechas y condiciones de muestreo, se visualiza en la Figura 3.4. Los tratamientos con vicia, al igual que los fertilizados, fueron agrupados indicando su similitud en el nivel de N_i para la multiplicidad de condiciones consideradas.

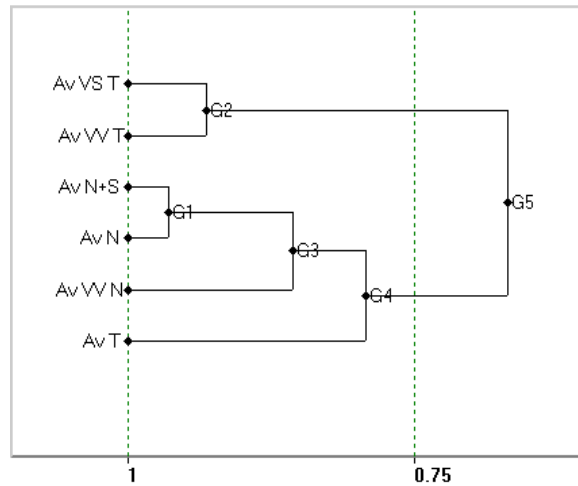


Figura 3.4: Análisis de agrupamiento con método de Ward y asociación de Czekanowski en los tratamientos de Bajo Hondo. G1 a G5 grupos decrecientes en similitud. Notación de tratamientos ver Tabla 3.2.

Nitrógeno inorgánico en Bordenave

En el sitio Bordenave se realizaron 3 muestreos. Existió disminución del contenido de N_i en los tratamientos testigos en la segunda fecha de muestreo (Figura 3.5), en tanto que los tratamientos fertilizados (Av N, Av N+S y Av VV N), no presentados en la figura, exhibieron la misma tendencia.

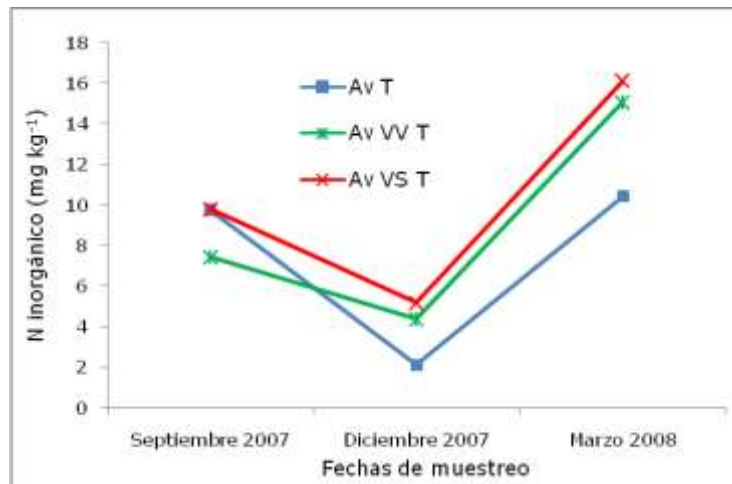


Figura 3.5: Niveles de N inorgánico (0-30 cm) en la localidad de Bordenave para los tratamientos testigos a lo largo de las evaluaciones sucesivas. Medias de 3 observaciones. Notación de tratamiento y momentos de muestreo ver Tablas 3.2 y 3.3.

Los análisis de varianza para los tres diseños específicos mostraron efectos significativos en el segundo muestreo debido a la fertilización con N y NS en Av y a

las consociaciones. En el 3^{ro} sólo se presentaron efectos en la profundidad de 0 a 30 cm y fueron debidos a la fertilización con N en Av VV y a las consociaciones con vicias (Tabla 3.8).

Tabla 3.8: Probabilidad del F y coeficiente de variación de los diseños específicos para explicar efectos de la fertilización y consociación sobre el N inorgánico del suelo en Bordenave. Notación de tratamientos, momentos de muestreo y diseños específicos ver Tablas 3.2, 3.3 y 3.4.

Nº de muestreo	Prof. (cm)	Diseños específicos					
		N y NS en Av		N en Av VV		Vicias	
		<i>p del F</i>	CV%	<i>p del F</i>	CV%	<i>p del F</i>	CV%
Primero	0-30	0,5767	12	0,6051	77	0,7367	45
Segundo	0-30	0,0027	13	0,4685	11	0,0094	16
Tercero	0-30	0,9485	27	0,0211	9	0,0175	10
	30-60	0,9924	40	0,5181	28	0,1583	42

La variabilidad en el primer muestreo no permitió detectar diferencias de N_i entre tratamientos. En el 2º muestreo, los tratamientos fertilizados en avena, mostraron valores mayores que el testigo. Un efecto opuesto, para la Av VV, se observó en el 3º. Los tratamientos con vicia durante el cultivo, presentaron niveles superiores de N_i respecto al testigo de avena, en el segundo y tercer muestreo (Tabla 3.9).

Tabla 3.9: Efectos de la fertilización y consociación sobre el N inorgánico del suelo en Bordenave (mg kg⁻¹). Notación de tratamientos, momentos de muestreo y diseños específicos ver Tablas 3.2, 3.3 y 3.4.

Nº de muestreo	Prof. (cm)	Diseños específicos								
		N y NS en Av			N en Av VV		Vicias			
		Av T	Av N	Av N+S	Av VV T	Av VV N	Av T	Av VV T	Av VS T	
Primero	0-30	9,7	15,6	10,2	7,4	11,0	9,7	7,4	9,8	
Segundo	0-30	2,1 a	6,0 b	5,3 b	4,4	4,0	2,1 a	4,4 b	5,2 b	
Tercero	0-30	10,4	10,5	11,1	15,1 a	9,0 b	10,4 a	15,1 b	16,1 b	
	30-60	3,3	3,5	3,4	2,6	3,1	3,3	2,6	1,3	

* Medias de 3 observaciones. En cada diseño y profundidad, letras distintas difieren significativamente $p < 0,05$ según DMS. Ausencia de letras no difieren estadísticamente.

Azufre extraíble en Bajo Hondo

En todos los diseños los valores resultaron con un rango muy estrecho entre los promedios de los tratamientos y en algunos casos, con alta variabilidad dentro de los tratamientos, impidiendo la expresión clara de las diferencias (Tabla 3.10). Los efectos significativos en el tercer muestreo, presentaron mayor S_e en el tratamiento fertilizado con S durante el cultivo, en tanto que las consociaciones provocaron valores inferiores en el tercer y cuarto muestreo (Tabla 3.11).

Tabla 3.10: Probabilidad del F y coeficiente de variación de los diseños específicos para explicar efectos de la fertilización y consociación sobre el S extraíble del suelo en Bajo Hondo. Notación de tratamientos, momentos de muestreo y diseños específicos ver Tablas 3.2, 3.3 y 3.4.

Nº de muestreo	Prof. (cm)	Diseños específicos					
		N y NS en Av		N en Av VV		Vicias	
		<i>p del F</i>	CV%	<i>p del F</i>	CV%	<i>p del F</i>	CV%
Segundo	0-30	0,5064	21	0,4743	6	0,5990	9
	30-60	0,5354	10	0,8773	6	0,6311	8
Tercero	0-30	0,0067	3	0,6914	2	0,0401	4
Cuarto	0-30	0,4315	8	0,2539	5	0,0160	7

Tabla 3.11: Efectos de la fertilización y consociación sobre el S extraíble del suelo en Bajo Hondo ($mg\ kg^{-1}$). Notación de tratamientos, momentos de muestreo y diseños específicos ver Tablas 3.2, 3.3 y 3.4.

Nº de muestreo	Prof. (cm)	Diseños específicos								
		N y NS en Av			N en Av VV		Vicias			
		Av T	Av N	Av N+S	Av VV T	Av VV N	Av T	Av VV T	Av VS T	
Segundo	0-30	7,1	8,8	8,0	7,5	7,2	7,1	7,5	7,0	
	30-60	8,5	8,1	7,7	8,0	8,1	8,5	8,0	8,1	
Tercero	0-30	9,8 a	10,2 a	11,6 b	8,5	8,6	9,8 b	8,5 ab	8,9 a	
Cuarto	0-30	12,3	11,4	12,5	9,3	9,9	12,3 b	9,3 a	9,6 a	

* Medias de 3 observaciones. En cada diseño y profundidad, letras distintas difieren significativamente $p < 0,05$ según DMS. Ausencia de letras no difieren estadísticamente.

Fracción de carbono lábil en Bajo Hondo

En la Figura 3.6 se muestra la variación temporal y por tratamientos de COX_{12} . El mismo se incrementó consistentemente en todas las unidades experimentales después de un año, pero sólo fue significativamente mayor (que en la muestra inicial) en la parcela de Av VV T. Similar comportamiento se observó en Bajo Hondo en el cuarto muestreo. El laboreo del suelo no afectó significativamente - en ninguno de los tratamientos - el COX_{12} . Promediando las dos condiciones de barbecho, esta variable fue de $9,6 \text{ g kg}^{-1}$ para Av VV T, significativamente mayor que para Av N ($8,7 \text{ g kg}^{-1}$), ocupando Av T un lugar intermedio ($9,1 \text{ g kg}^{-1}$).

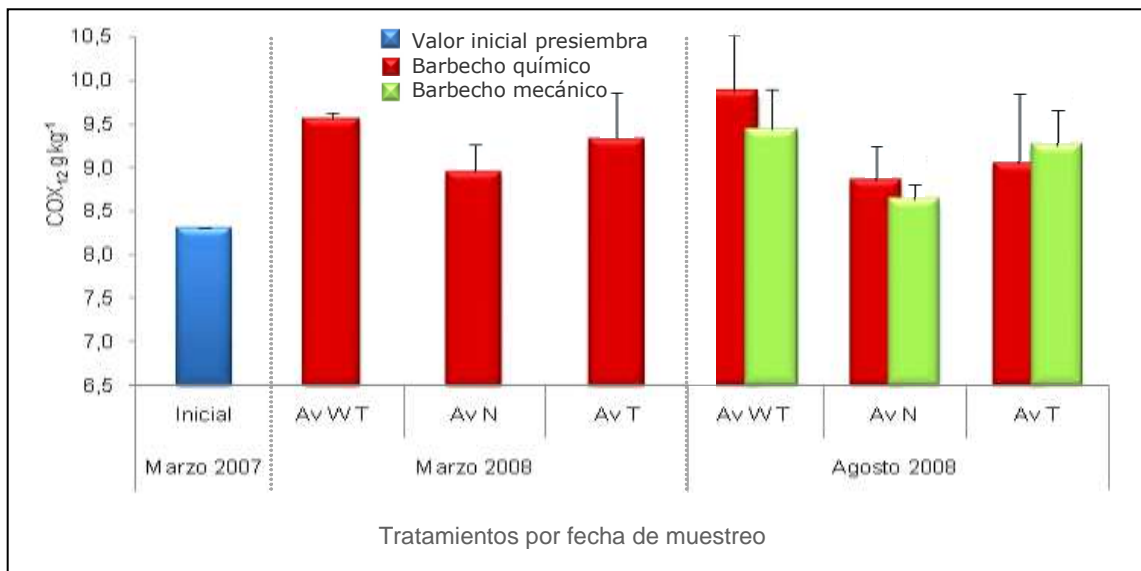


Figura 3.6: Cambios en una fracción lábil de carbono (0-12 cm) en el tiempo y por efecto de consociación, fertilización y tipo de barbecho en la localidad de Bajo Hondo en el 3° y 4° muestreo. Medias de 3 observaciones y error estándar. Notación de tratamiento y momentos de muestreo ver Tablas 3.2 y 3.3.

Estudio de raíces de vicias en Bajo Hondo

En los primeros estadios de las vicias la nodulación difirió entre especies en cantidad, tamaño, forma y ubicación de los nódulos (Tabla 3.12 y Figura 3.7). La fertilización con dosis de $60 \text{ kg de N ha}^{-1}$, no alteró ningún parámetro visible, ni la cantidad de los nódulos, un mes después de la aplicación (Figura 3.8).

Tabla 3.12: Características de la nodulación de *Vicia villosa* y *sativa* en los primeros estadios de crecimiento en Bajo Hondo.

Características	<i>Vicia sativa</i>	<i>Vicia villosa</i>
Distribución	Uniforme en la cabellera	Concentrada en cuello
Forma	Dedo de guante	Dedo de guante
Tamaño	3,0 mm	6,5 mm
Número planta ⁻¹	33	13

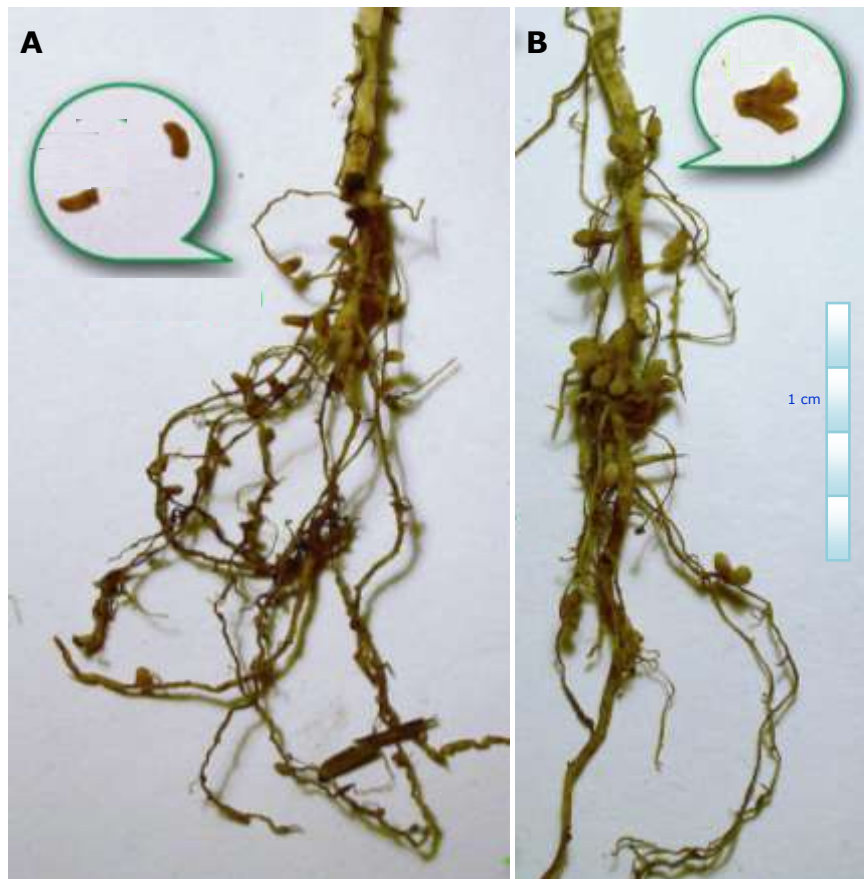


Figura 3.7: Fotografías de los sistemas radiculares de A) *V. sativa* y B) *V. villosa* en los primeros estadios de crecimiento en Bajo Hondo. Detalle de nódulos con 2X de aumento.

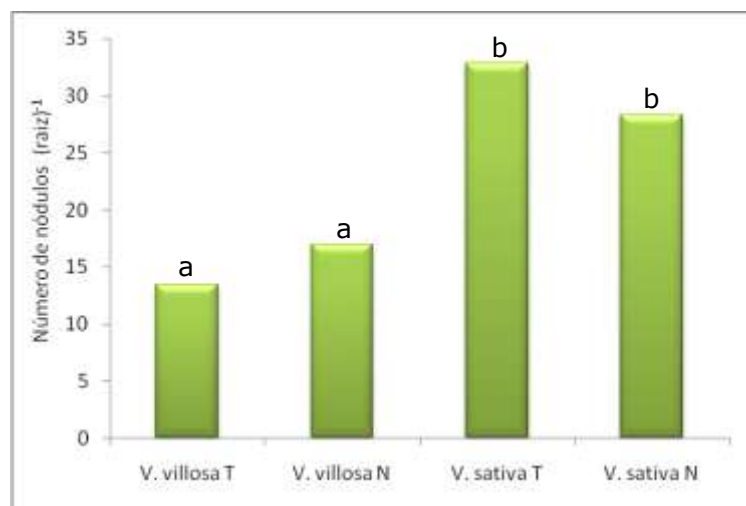


Figura 3.8: Efecto de la fertilización con 60 kg N ha^{-1} sobre el número de nódulos en raíces de *V. villosa* y de *V. sativa* en consociación con avena en los primeros estadios de crecimiento en Bajo Hondo. Medias de 9 observaciones. Letras distintas difieren significativamente $p < 0,05$ según Tukey.

Discusión

Los valores analíticos de rutina (Pe, MO y pH) en cada sitio, expresaron las características propias de cada ambiente edáfico. La mayor proporción de la fracción lábil de CO en el suelo de textura más gruesa coincide con resultados de Quiroga *et al.* (2001b) para otros métodos de fraccionamiento de MO. La disponibilidad de N y S fue elevada y similar en ambos sitios, presumiblemente como consecuencia de copiosas lluvias en el 2006 y las temperaturas posteriores del verano (Quemada y Cabrera, 1995).

Nitrógeno inorgánico

Durante 2007 y 2008, la dinámica del nitrógeno (reflejada en la concentración de Ni) exhibió tendencias habituales para el nutriente en las distintas épocas del año. La disponibilidad de N fue mayor en primavera-verano y disminuyó en otoño-invierno, debido a la temperatura y humedad, que condicionan la mineralización del N orgánico (Havlin *et al.*, 2005). Al igual que lo mencionado por Galantini (2005), el agregado de fertilizantes nitrogenados y la consociación con

leguminosas anuales causaron modificaciones en el ciclo del nitrógeno. En adición, el tipo de barbecho posterior a los verdeos, provocó las variaciones más importantes en éste estudio (Quiroga *et al.*, 2005a).

En el primer muestreo, la fertilización en avena tuvo un efecto positivo sobre el N_i en la profundidad 0 a 30 cm en Bajo Hondo. En Bordenave, si bien la tendencia fue igual, la variabilidad dentro de los tratamientos, probablemente producto de la sequía al momento del muestreo, no permitió hallar las diferencias entre tratamientos. En un escenario de baja disponibilidad hídrica, la acumulación de N_i en el perfil del suelo puede atribuirse al escaso o nulo lavado de nitratos (Kretos y Orphanos, 1979), o al bajo consumo por parte del cultivo (Echeverría, 1988).

Para la misma fecha de muestreo, las consociaciones no mostraron valores de N_i más altos que el testigo. En Bordenave estos resultados pueden haber derivado del crecimiento tardío de las vicias. En Bajo Hondo, con mejor nodulación inicial y efectos visibles en la producción de forraje de las consociaciones (Capítulo 1), la escasa humedad de suelo en el invierno, podría haber afectado la fijación y provocado degeneración y desprendimiento de nódulos de acuerdo a lo informado por White (1986) para alfalfa. En consociaciones el efecto promotor de las leguminosas sobre la gramínea acompañante ha sido asociado no sólo con el N liberado durante la fijación simbiótica (Quiroga *et al.*, 1999) sino con mecanismos más complejos que involucran, entre otros, la liberación por parte de la leguminosa de pequeñas cantidades de aminoácidos y exudados orgánicos (Havlin *et al.*, 2005). La complejidad mencionada excede el alcance explicativo del N_i monitoreado.

Al finalizar el período de aprovechamiento de los verdeos, el muestreo en ambas localidades mostró N residual de la fertilización, que podría beneficiar al cultivo siguiente, como lo informado por Papastylianou (1990). En tanto, las consociaciones originaron valores de N_i del doble y del triple respecto del testigo en Bordenave y Bajo Hondo, respectivamente, similar a lo encontrado por Quiroga *et*

al., (1999) y Papastylianou, (1999 y 2004), que podrían adjudicarse a la fijación simbiótica. En Bajo Hondo, los niveles de N_i no presentaron diferencias debidas a las especies, pese al menor desarrollo de *V. sativa* en el ciclo. Esta especie produjo un 50 % de la biomasa de *V. villosa*, atribuible a su menor rusticidad (Agamennoni *et al.*, 2006a) y resistencia invernal (Moreira, 1989). Teniendo en cuenta la relación lineal entre la producción de materia seca en parte aérea y el nitrógeno fijado biológicamente (Fernández Canigia y Díaz-Zorita, 2008), estos resultados sugieren que las condiciones primaverales fueron más propicias para *V. sativa* o que posee mejores características como fijadora de N_2 .

Es conocido que, en presencia de N inorgánico, durante el crecimiento de leguminosas se reduce la fijación de N_2 (Allos y Bartholomew, 1959; Papastylianou, 1988; FAO, 1995; Montaldi, 1995; Quiroga *et al.*, 2001a), dado por un efecto inhibitorio sobre la simbiosis en todos los pasos, desde la infección y formación del nódulo hasta la fijación de N_2 la cual, si se produce, no es eficiente (Malik *et al.*, 1987). Sin embargo, la aplicación temprana de N en Bajo Hondo no alteró los parámetros visible de nodulación. Igualmente, en ambos ensayos no se presentaron efectos de complementariedad entre el N de fijación y el del fertilizante en la consociación Av VV. Esto se debió a la menor proporción de vicia en el tratamiento fertilizado (60% menos que el testigo en ambos sitios durante el ciclo, Capítulo 1), producto de la mayor habilidad competitiva de avena ante altos valores de N en el suelo.

Entre diciembre de 2007 y marzo de 2008 se establecieron nuevos equilibrios de N_i con valores en general más elevados que en la fecha anterior. Estos pueden atribuirse a las condiciones favorables para la mineralización del N orgánico del suelo y probable lavado del perfil. En Bajo Hondo se destacó el elevado valor de N_i en las parcelas con *V. sativa*, que podría relacionarse con su estructura radicular y mayor cantidad de nódulos. Además, la descomposición de los mismos durante el verano se habría visto favorecida por su consistencia poco coriácea y

distribución uniforme en toda la raíz (Ruffo y Bollero, 2003). En tanto, en Bordenave ambas consociaciones originaron valores mayores a la avena pura posiblemente por la mejor aireación del suelo con textura más gruesa que en Bajo Hondo, factor que también incide en la tasa de descomposición de residuos y liberación de N (Quemada y Cabrera, 1995; Wagger *et al.*, 1998).

Para el cuarto muestreo en Bajo Hondo, las condiciones ambientales (temperatura y precipitación) favorecieron la descomposición de residuos en los tratamientos derivados de consociaciones bajo barbecho mecánico. Este aceleró la mineralización, liberando N a tasas coincidentes con las informadas por Ruffo y Bollero (2003) y cantidades similares a las obtenidas por Varco *et al.* (1999) luego de 45 días de la incorporación de residuos de *V. villosa* en los primeros 20 cm de suelo de textura franca.

El N_i liberado de residuos de vicia en agosto de 2008 satisfaría los requerimientos de 2 t ha^{-1} de trigo (promedio de rendimiento en el área), consistente con otros estudios locales (Minoldo *et al.*, 2004). Paralelamente, la dinámica del N renovarían su oferta durante el ciclo del trigo, siendo de esta manera, sustituibles las aplicaciones adicionales de fertilizantes (Papastylianou, 2004). Las tendencias descritas se vieron modificadas en las consociaciones por la menor proporción de vicia durante el cultivo en el tratamiento con fertilización. En la avena pura, se liberaría más N_i en tratamientos fertilizados en virtud de la menor relación C/N de los residuos (Havlin *et al.*, 2005).

El agrupamiento entre tratamientos reflejó la homogeneidad en N_i impuesta por la fertilización en avena pura, y por la presencia de vicia en parcelas no fertilizadas. La menor participación de *V. villosa* (por efecto de la fertilización nitrogenada) asemejó este tratamiento a los de avena pura.

Finalmente, la similitud en los niveles de N inorgánico en el estrato superior de suelo para ambas vicias, sugiere que *V. sativa* en condiciones más favorables de

precipitación, tendría mayor potencial para expresar su potencial productivo (Papastylianou, 1999).

Azufre extraíble

El azufre se caracteriza por presentar una dinámica muy similar a la del N en el suelo y existe una alta correlación entre los contenidos de ambos en la materia orgánica (Bardsley y Lancaster, 1960; Galantini y Rosell, 1997; Galantini, 2004).

La dosis aplicada originaría incrementos del orden de 2 mg S extraíble kg⁻¹ a la profundidad monitoreada. Este valor es cercano al error de muestreo, procesamiento y análisis según el desvío estándar registrado 175 días posteriores a la aplicación (segunda fecha de muestreo). El efecto de ésta aplicación se constató en el muestreo siguiente con un coeficiente de variación muy bajo.

Culminado el ciclo de cultivo, los muestreos de suelo mostraron menor contenido de S en las parcelas donde estuvo la vicia. Esto sugiere una alta absorción por parte de la leguminosa y la retención en su biomasa aérea y radical, semejante a lo informado por Whitbread *et al.*, (2000a y 2000b). De esta forma y teniendo en cuenta la capacidad de las raíces de vicia para explorar en profundidad, luego de un verdeo consociado con vicia, podría presentarse "a posteriori" mayor nivel de S extraíble en estratos superiores del suelo.

Carbono lábil

Los procedimientos para el fraccionamiento de la MO incluyen la separación física en agregados, tamaño de partículas, y fracciones de distinta densidad o susceptibilidad magnética y varios procedimientos químicos que fraccionan la MO según su solubilidad, capacidad de desdoblarse por hidrólisis, y resistencia a la oxidación o por la destrucción de la fase mineral (Von Lützow *et al.*, 2007). La materia orgánica joven o particulada (MOj), determinada sobre la fracción granulométrica gruesa del suelo (Galantini *et al.*, 1994), es de naturaleza dinámica y posee la capacidad de reflejar rápidamente cambios en la provisión de carbono

y/o de condiciones que afectan la mineralización, y ha sido propuesta como indicadora sensible y precoz del efecto de los sistemas de producción sobre la MO del suelo como también de la calidad de los mismos (Galantini, 2001; Studdert, 2006).

El carbono orgánico lábil COX_{12} se ha correlacionado con la MOj (Mandolesi *et al.*, 2008). Los incrementos del COX_{12} , observados al finalizar el ensayo de Bajo Hondo, serían atribuibles a los efectos combinados de los tratamientos, la variabilidad estacional y el estado cultural (barbecho químico o mecánico) al momento del muestreo (Balbarrey *et al.*, 2009). La inexistencia de diferencias entre los tipos de barbecho se relativizaría dadas las características edáficas y la corta duración del mismo. En las parcelas de avena con fertilización nitrogenada, la adición del elemento puede haber favorecido la descomposición de la MO más activa (Kuzyakova y Roland, 2006). La mayor cobertura y productividad de la consociación (Capítulo 1 de esta Tesis) con respecto al verdeo puro explicaría la mejor provisión de la fracción de carbono lábil (Miglierina *et al.*, 2000), lo cual implicó mejoras en el estado orgánico del suelo.

Nodulación temprana en vicias

Las condiciones de nodulación en ambos sitios fueron aceptables, no siendo aparentemente afectadas por los valores de pH (FAO, 1995), aunque la formación y establecimiento de nódulos en Bordenave podrían haber sido afectadas por la baja fertilidad fosfórica nativa del suelo (Fernández Canigia y Díaz-Zorita, 2008), pese a la aplicación exógena de fertilizante fosforado, que puede haber sido fijado, parcialmente, por calcio.

La formación de nódulos en el sistema radicular de las leguminosas depende en gran medida de la presencia, movilidad y velocidad de crecimiento del simbiote (Mc.Dermott y Graham, 1989). Además, las condiciones ambientales al momento de la siembra son determinantes para la nodulación. Fernández Canigia y Díaz-

Zorita (2008), exponen que el número de nódulos planta⁻¹ medidos 70 días luego de la siembra crece linealmente con el incremento de la humedad del suelo inicial.

Las precipitaciones en el momento de la siembra de ambas experiencias y la inoculación específica de la semilla explicarían la adecuada nodulación de ambas vicias en proximidad de la zona de elongación de la raíz. La distribución de los nódulos (Tabla 3.12) indicaría un mejor aprovechamiento del inoculante en *V. villosa* (FAO, 1995) y mejor infección por cepas bacterianas nativas o naturalizadas en *V. sativa* (Fernández Canigia y Díaz Zorita, 2008).

Conclusiones e implicancias

La fertilización con N y NS, y la consociación con vicias, independientemente de la especie, modifican la dinámica del N en el suelo. En el caso de los fertilizantes, dosis de 60 kg de N ha⁻¹ al macollaje del verdeo provocan mejoras transitorias en el suelo, mientras que las consociaciones con vicia, además de suministrar N por fijación biológica, sus residuos, elevan la capacidad del suelo para mineralizar N.

En el presente estudio, por efecto de las consociaciones, no se alcanzó a detectar mejoras sobre el contenido de N_i del suelo durante el crecimiento de los cultivos.

La fuente principal de N para los cultivos siguientes a los verdeos consociados con vicias, surge de la descomposición de los residuos remanentes y este potencial depende de la roturación de suelo. Una dosis de 60 kg de N ha⁻¹ durante el macollaje de avena, no produjo cambios en el nivel de N inorgánico superficial del suelo durante el barbecho poscultivo.

Independientemente del potencial productivo exhibido *Vicia sativa* presentó igual capacidad que *V. villosa* para mejorar las características físico-químicas del suelo.

En los primeros estadios de crecimiento, las especies de vicia ensayadas difirieron en la cantidad, tamaño, forma y distribución de los nódulos de fijación simbiótica. La fertilización con 60 kg de N ha⁻¹, no tuvo efectos observables sobre la nodulación, a un mes de su aplicación. Para esta experiencia, la ubicación de los nódulos en *V. sativa* estaría relacionada con un mejor aprovechamiento de los rizobios nativos del suelo, mientras que *V. villosa* presentó señales de un mejor aprovechamiento de los rizobios del inoculante.

El monitoreo de S_e reveló los efectos de la fertilización y el mayor consumo de S en la vicia. Su retención en la biomasa aérea y radical con posterioridad al ciclo de cultivo, provocaría mayor nivel de S_e en estratos superiores del suelo al momento de su descomposición.

Los resultados obtenidos confirmaron que la consociación de verdeos invernales con *V. villosa* aumenta los contenidos de la fracción lábil de carbono del suelo.

Referencias

- Agamennoni, R.; Vanzolini J.I. y Renzi, J.P. 2006. Vicia villosa. Algunas medidas para su manejo. Hoja informativa N° 67. EEA INTA H. Ascasubi.
- Agamennoni, R. y Vanzolini J.I. 2006. Diferentes manejos para la vicia y su efecto sobre el rendimiento y la calidad de trigo. Actas del XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta, Argentina.
- Allos, H.F. y Bartholomew, W.V. 1959. Replacement of symbiotic fixation by available nitrogen. Soil Sci. 87:61-66.
- Anderson, G.; Lefroy R. y Blair, G. 1992. Soil sulphur testing. Sulphur in agriculture 16:6-14.
- Azam, F.; Malik, K.A y Sajjad, M.I. 1986. Uptake by wheat plant and turnover within soil fractions of residual N from leguminous plant material and inorganic fertilizer. Plant Soil 95:97-108.
- Azam, F.; Simmons, W. y Mulvaney, R.L. 1993. Mineralization of N from plant residues and its interaction with native soil N. Soil Biol. Biochem. 25(12):1787-1792.

- Azam, F.; Mulvaney, R.L. y Simmons, F.W. 1995. Effects of ammonium and nitrate on mineralization of nitrogen from leguminous residues. *Soil Biol. Biochem.* 20(1):49-52.
- Balbarrey, G.P.; Mandolesi, M.E.; Lucchi, A.R. y Ron, M.M. 2009. Efecto de la vicia consociada con avena sobre una fracción lábil de carbono edáfico. *Jornadas Nacionales: Sistemas Productivos Sustentables: Fósforo, Nitrógeno y Cultivos de Cobertura.*
- Bardsley, C.E. y Lancaster, J.D. 1960. Determination of reserve sulfur and soluble sulfates in soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 24:265-268.
- Bremner, J.M. 1965. Inorganic forms of nitrogen. In: C.A. Black et al. (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2. Agron. Monog 9 ASA and SSSA.* Madison, WI. p. 1179-1237.
- Chan, K.Y.; Bowman, A. y Oates, A. 2001. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an Oxic Paleustalf under different pasture leys. *Soil Sci.* 66:61-67.
- Díaz Zorita, M. y Barraco, M. 2002 ¿Como es el balance de fósforo en los sistemas pastoriles de producción en la región pampeana? *Informaciones Agronómicas del Cono Sur - INPOFOS N° 13.*
- Echeverría, H.E. 1988. Disponibilidad de nitrógeno del suelo y nutrición nitrogenada del trigo en función de diferentes cultivos antecesores. Tesis de Magister. Curso de post grado en Producción Vegetal. Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Mar del Plata. 77 pp.
- FAO, 1995. Manual técnico de la fijación simbiótica de nitrógeno. Leguminosa/Rhizobium. 185 pp.
- Fernández Canigia, M.V. y Díaz Zorita, M. 2008. Fijación simbiótica de nitrógeno. En: *Fertilización de cultivos y pasturas. Capitulo N° 8.* Melgar R. y M. Díaz Zorita. Segunda edición ampliada y actualizada. Editorial Hemisferio Sur.
- Fernández, R.; Funaro, D. y Quiroga, A. 2004. Aspectos del manejo del agua y la nutrición en verdeos de invierno. *Boletín de Divulgación N° 80.* EEA INTA Anguil.
- Galantini, J.A. 1994. Modelos de simulación de la dinámica de la materia orgánica en suelos de la región semiárida bonaerense. Tesis de Magíster en Ciencias Agrarias, UNS, Bahía Blanca. 72 pp.
- Galantini, J.A. 2001. Contenido y calidad de las fracciones orgánicas del suelo bajo rotaciones con trigo en la región semiárida pampeana. *RIA-INTA* 30(1):125-146.
- Galantini, J.A. 2005. Calidad y dinámica de las fracciones orgánicas en sistemas naturales y cultivados. *Actas Digitales de las Jornadas Nacionales "Materia Orgánica y Sustancias Húmicas".*

- Galantini, J.A.; Rosell, R.A. y Iglesias, J.O. 1994. Determinación de materia orgánica en fracciones granulométricas de suelos de la región semiárida bonaerense. *Revista Ciencia del Suelo* 12(2):81-83.
- Galantini, J.A. y Rosell, R.A. 1997. Organic fractions, N, P, and S changes in a semiarid Haplustoll of Argentine under different crop sequences. *Soil Till. Res.* 42:221-228.
- Galantini, J.A.; Landrisini, M.R.; Iglesias, J.O.; Miglierina, A.M. y Rosell, R.A. 2000. The effects of crop rotation and fertilization on wheat productivity in the pampean semiarid region of Argentina 2. Nutrient balance, yield and grain quality. *Soil Till. Res.* 53(2):137-144.
- Galantini, J.A.; Rosell, R.A.; Brunetti, G. y Senesi, N. 2002. Dinámica y calidad de las fracciones orgánicas de un Haplustol durante la rotación trigo-leguminosas. *Ciencia del Suelo*, 20(1):17-26.
- Galantini, J.A.; Brunetti, G.; Senesi, N. y Rosell, R.A., 2004 . Influence of texture on organic matter distribution and quality and nitrogen and sulphur status in semiarid pampean grassland soil of Argentina. *Geoderma* 123:143-152.
- Galantini, J.A. y Rosell, R.A. 2006. Long-term fertilization effects on soil organic matter quality and dynamics under different production systems in semiarid pampean soils. *Soil Till. Res.* 87:72-79.
- Havlin, J.L.; Tisdale, S.L.; Beaton, J.D. y Nelson, W.L. 2005. *Soil Fertility and Fertilizers. An Introduction to Nutrient Management*. North Carolina State University. Editorial Pearson Prentice Hall. 517 pp.
- InfoStat. 2008. Software versión 2008. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Jackson M.L. 1970. *Análisis químico de suelos*. Segunda edición. Ed. Omega. Barcelona. 662 pp.
- Krentos, V.D. y Orphanos, P.I. 1979. Nitrogen and phosphorus fertilizers for wheat and barley in semi-arid region. *J. Agric. Sci. Camb.* 93:711-717.
- Kuzyakova, Y. y Roland, B. 2006. Sources and mechanisms of priming effect induced in two grassland soils amended with slurry and sugar Soil Biol. Biochem. 38:747-758.
- Lithourgidis, A.S.; Vasilakoglou, I.B.; Dhima, K.V.; Dordas, C.A. y Yiakoulaki, M.D. 2006. Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and triticale in two seeding ratios. *Field Crop. Res.* 99:106-113.
- Loewy, T. 1987. Rotación con leguminosa - trigo y fertilidad nitrogenada del suelo. *Ciencia del Suelo* 5(1):57-64.
- Mc Dermott, T. y Graham, P.H. 1989. Bradyrhizobium japonicum inoculant mobility, nodule occupancy, and acetylene reduction in the soybean root system. *Appl. Environ. Microbiol.* 55:2493-2498.

- Malik, S.A.; Calvert, H.E. y Bauer, W.D. 1987. Nitrate induced regulation of nodule formation in soybean. *Plant Physiol.* 84:266-271.
- Mandolesi, M.E.; Ron, M.M.; Lucchi, A. R. y Forjan, H. J. 2008. Cuantificación de fracciones de carbono orgánico por diferentes métodos en un Paleudol Petrocalcico del centro sur bonaerense. *Actas del XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes, San Luis. 13 al 16 de mayo. CD ROM.* 6 pp.
- Miglierina, A.M.; Iglesias, J.O.; Landriscini, M.R.; Galantini, J.A. y Rosell, R.A. 2000. The effects of crop rotations and fertilization on wheat productivity in the Pampean semiarid region of Argentina. 1. Soil physical and chemical properties. *Soil Till. Res.* 53:129-135.
- Minoldo, G.; Galantini, J.A.; Kruger, H.; Venanzi, S.; Iglesias, J. y Rosell, R.A. 2004. Efecto de las rotaciones con leguminosas y la fertilización sobre el rendimiento y calidad en trigo. *Actas VI Congreso Nacional de Trigo y IV Simposio Nacional de cultivos de siembra otoño - invernal.*
- Montaldi, E.R. 1995. *Principios de Fisiología Vegetal.* Ediciones SUR. 350 pp.
- Moreira, N. 1989. The effect of seed rate and nitrogen fertilizer on the yield and nutritive value of oat-vetch mixtures. *J. Agric. Sci. Camb.* 112:57-66.
- Nelson, D.W. y Sommers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. En: Page, A.L.; Miller, D.H.; Keeney, D.R. (Editores). *Methods of Soil Analysis, Part 2.* America Society of Agronomy, Madison. p. 539-579.
- Papastylianou, I. 1988. The methodology in estimating N₂ fixation by vetch and pea grown in pure stand or in mixtures with oat. *Plant Soil* 107:183-187.
- Papastylianou, I. 1990. Response of pure stands and mixtures of cereals and legumes to nitrogen fertilization and residual effects on subsequent barley. *J. Agric. Sci.* 115:15-22.
- Papastylianou, I. 1999. Estimation of nitrogen fixed by legumes in long-term vs. short-term cropping systems. *Agron. J.* 91:329-334.
- Papastylianou, I. 2004. Effect of rotation system and N fertilizer on barley and vetch grown in various crop combinations and cycle lengths. *J. Agric. Sci.* 142:41-48.
- Papastylianou, I. y Danso, S.K.A.. 1991. Nitrogen fixation and transfer in vetch and vetch-oats mixtures. *Soil Biol. Biochem.* 23(5):447-452.
- Puricelli, C.A. 1996. La consociación avena mas vicia en el Sudoeste de Buenos Aires una revisión de antecedentes. Serie didáctica Nº 2. EEA INTA Bordenave.
- Quemada, M. y Cabrera, M.L. 1995. Carbon and nitrogen mineralization from leaves and stems of four cover crops. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:471-477.

- Quiroga, A.; Ormeño, O.; Fernandez, D.; Otamendi, H. y Vallejo, A. 1999. Verdeos de Invierno: Necesidad de reconocer y manejar limitantes de su productividad en suelos de la región semiárida pampeana. Boletín de Divulgación Técnica Nº 61. EEA INTA Anguil. 37 pp.
- Quiroga, A., Ormeño, O. y Baudracco, S. 2001a. Fertilización de verdeos de invierno en la región subhúmeda y semiárida pampeana. En: Tecnología de fertilización nitrogenada para cereales de invierno. Región subhúmeda y semiárida pampeana. Comité de fertilidad de suelos y nutrición vegetal. Ed. AACs.
- Quiroga, A., Ormeño, O. y Peinemann, N. 2001b. Materia orgánica: un indicador de calidad de suelos relacionado con la productividad de los cultivos. Boletín de Divulgación Técnica Nº 70. EEA INTA Anguil. 28 pp.
- Quiroga, A.; Funaro, D.O. y Fernández, R. 2005a. Factores edáficos y de manejo que condicionan la eficiencia del barbecho en la región pampeana. Ciencia del suelo 23(1):79-86.
- Quiroga, A.; Fernández, R. y Funaro, D.O. 2005b. Materia orgánica en molisoles de la región semiárida pampeana. Influencia sobre propiedades físicas y productivas. Actas Digitales de las Jornadas Nacionales: Materia Orgánica y Sustancias Húmicas.
- Ruffo, M.L. y Bollero, G.A. 2003. Modeling Rye and Hairy Vetch Residue Decomposition as a Function of Degree-Days and Decomposition-Days. Agron. J. 95:900-907.
- Ruffo, M.L. y Parsons A.T. 2004. Cultivos de Cobertura en Sistemas Agrícolas. Informaciones Agronómicas del Cono Sur, 21:12-16.
- Soon, Y.K.; Clayton, G.W. y Rice, W.A. 2001. Tillage and Previous Crop Effects on Dynamics of Nitrogen in a Wheat-Soil System. Agron. J. 93:842-849.
- Studdert, G.A.; Domínguez, G.F.; Eiza, M.J.; Videla, C. y Echeverría, E. 2005. La fracción particulada de la materia orgánica y su relación con la fertilidad nitrogenada en el sudeste bonaerense. Actas Digitales de las Jornadas Nacionales Materia Orgánica y Sustancias Húmicas.
- Studdert, G.A. 2006. Rotaciones de cultivos en el sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina): una herramienta para el manejo de la dinámica del nitrógeno y del carbono en el suelo. Tesis Doctoral. Universitat de Lleida. Escola técnica superior d'enginyeria agraria. España.
- Tirol-Padre, A. y Ladha, J.K. 2004. Assessing the reliability of permanganate-oxidizable carbon as an index of soil labile carbon. Soil Sci. Soc. Am. J. 68:969-978.
- Tomaso J.C. 2003. Cereales forrajeros de invierno. Producción de materia seca, Manejo del cultivo y Curvas de Producción. En: Sistemas de engorde intensivo. Ed Fernández Mayer, A. - Tomaso J. C. Cap. IV. Serie didáctica No

7. EEA INTA Bordenave. 150 pp.
- Troughton, A. 1957. The Underground organs of herbage grasses. Ed, The Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, Bucks, England. 163 pp.
- Varco, J.J.; Frye, W.W.; Smith, M.S. y MacKown, C.T. 1993. Effects on legume decomposition and transformation of legume and fertilizer nitrogen-15. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:750–756.
- Videla, R.O. 1955. Pastoreos con centeno y vicia morada. En: Progreso realizado en las investigaciones agrícolas en 1954. Dir. Gral. Investigaciones Agrícolas. IDEA N° 90 al 92.
- Von Lützw, M.; Kögel-Knabner, I.; Ekschmitt, K.; Flessac, H.; Guggenberger, G.; Matzner, B.; y Marschner, B. 2007. SOM fractionation methods: Relevance to functional pools and to stabilization mechanisms. *Soil Biol. Biochem.* 39:2183–2207.
- Wagner, M.G.; Cabrera, M.L. y Ranells, N.N. 1998. Nitrogen and carbon cycling in relation to cover crop residue quality. *J. Soil Water Conserv.* 53:214–218.
- Walkley, A. y Black, A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37:29-38.
- Ward, J.H. 1963. Hierarchical grouping to optimise an objective function. *J.A.S.A.* 58(301):236-244.
- Whitbread, A.M; Blair, G.J. y Lefroy, R.D.B. 2000a. Managing legume leys, residues and fertilisers to enhance the sustainability of wheat cropping systems in Australia 1. The effects on wheat yields and nutrient balances. *Soil Till. Res.* 54:63-75
- Whitbread, A.M; Blair, G.J. y Lefroy, R.D.B. 2000b. Managing legume leys, residues and fertilisers to enhance the sustainability of wheat cropping systems in Australia 2. Soil physical fertility and carbon. *Soil Till. Res.* 54:77-89
- White, J.G.H. 1986. Nodulación y fijación de nitrógeno en alfalfa. En: Investigación, tecnología y producción de alfalfa. C. Bariggi, V D Marble, C D Itria y J M Brun (Ed) Programa Alfalfa INTA Proyecto Alfalfa FAO / INTA. Cap. 3, p. 59-79.
- Wortmann, C.S.; McIntyre, B.D. y Kaizzi, C.K. 2000. Annual soil improving legumes: agronomic effectiveness, nutrient uptake, nitrogen fixation and water use. *Field Crop. Res.* 68:75-83.

Capítulo 4

Integración de contenidos

Resumen

A través de la vinculación de resultados expuestos en los capítulos precedentes, cabe analizar las prácticas de manejo ensayadas en esta Tesis, en cuanto a su contribución a la estabilidad productiva, viabilidad económica y protección ambiental en los planteos mixtos del sudoeste bonaerense. Los objetivos fueron evaluar la capacidad de utilización de los recursos ambientales en verdeos invernales puros y consociados con vicias, estudiar efectos sobre balances de nutrientes y relacionar producción, calidad y costos de la materia seca producida (MS). Se utilizó información de dos ensayos realizados en las localidades de Bajo Hondo y Bordenave en 2007. Los diseños de campo fueron de parcelas divididas en bloques al azar ($b=3$), con tratamientos definidos por los factores cultivos (avena y centeno puros y en consociación con *Vicia villosa* y *V. sativa*) y fertilización (testigo sin fertilización, 30 y 60 kg N ha⁻¹, e iguales dosis de N con adición de 10 kg S ha⁻¹). Un tercer factor considerado para Bajo Hondo, fue el número de corte de las evaluaciones de productividad efectuadas a los 111, 205 y 274 días desde la siembra. Para la descripción e interpretación de los datos se emplearon métodos gráficos y análisis estadísticos. Estos incluyeron análisis de varianzas y segregación de tratamientos por diferencia mínima significativa de Fisher. Las consociaciones exhibieron su potencial para aprovechar mejor los recursos del ambiente. En Bajo Hondo valores de producción inferiores a 3,0 y 5,8 t MS ha⁻¹ en avena pura indicarían conveniencia de utilización de consociaciones de Av VS o Av VV, respectivamente. En Bordenave, para los centenos este valor fue próximo a 5 t MS ha⁻¹. Las eficiencias de recuperación aparentes estimadas para una dosis de 60 kg de N ha⁻¹ fueron de 58 y 96 % para los tratamientos sin y con S, respectivamente. Los requerimientos, calculados como el cociente entre EREC y EAGR, resultaron en valores de alrededor de 20 y 2,6 kg de N y S (t MS)⁻¹, respectivamente. Al final del

ciclo de cultivo las parcelas de las consociaciones exhibieron 5 veces más N disponible que el testigo de avena pura. Esto resulta en un beneficio ambiental, por ahorro de fertilizante, relevante frente al riesgo potencial de contaminación de aguas. La consociación de avena con *Vicia villosa* en función de su mayor producción de MS y su elevado contenido de PB presentó el costo más bajo para ambos parámetros.

Introducción

En el contexto de la introducción general, cabe analizar las prácticas de manejo ensayadas en esta Tesis, en cuanto a su contribución a la estabilidad productiva, viabilidad económica y protección ambiental en los planteos mixtos del sudoeste bonaerense. La vinculación de resultados expuestos en los capítulos precedentes, puede constituir un insumo para la toma de decisiones de los sistemas productivos.

Si bien la producción y la calidad del forraje son los factores de mayor incidencia sobre la respuesta animal (Méndez y Davies, 1999), los costos de producción de los recursos forrajeros – en términos de volumen y/o la calidad – son un factor adicional de relevancia en los sistemas ganaderos que aportan a la definición del resultado económico de las empresas agropecuarias (Druan *et al.*, 2005).

Adicionalmente, la capacidad de los cultivos de utilizar los recursos ambientales es condicionada por las prácticas de manejo. En la fertilización, la recuperación por parte de los cultivos de los nutrientes aplicados cobra un papel preponderante, en tanto que en la práctica de consociación con leguminosas anuales, la habilidad competitiva de los componentes de la asociación, definen equilibrios que condicionan la utilización de los recursos del ambiente (Dhima *et al.*, 2007; Lithourgidis *et al.*, 2006). La optimización en el uso de los recursos ambientales debería contemplar, además, la preservación de la calidad edáfica, del agua y del aire.

En este capítulo, en función de evaluar la incidencia de las prácticas estudiadas, se presentan elementos que relacionan los cultivos puros fertilizados y en consociaciones con vicias, con la capacidad de utilización de los recursos ambientales, el potencial de recuperación de los nutrientes suministrados, el balance de N en el sistema suelo-planta y el costo del forraje. Este último, acotado mediante un análisis económico a la productividad y calidad del mismo.

Objetivos

- Evaluar la capacidad de utilización de los recursos ambientales en verdeos de invernales puros y consociados con vicias, a través de la complementación cereal-vicia en el aprovechamiento de los nutrientes disponibles, y la capacidad de recuperación de los nutrientes aplicados en un verdeo de avena puro, para las condiciones ensayadas. Paralelamente, estimar un balance del N_i durante el cultivo y en el barbecho estival posterior.
- Relacionar la producción de forraje y su concentración de proteína en los tratamientos fertilizados y consociados con vicia. Estimar los beneficios económicos en relación a las prácticas evaluadas de fertilización con N, N+S y consociación con *Vicia villosa* y *V. sativa*.

Materiales

Se utilizó información generada en dos ensayos de fertilización con N (nitrógeno) y S (azufre) en cereales de invierno puros y consociados con vicias, realizados en 2007. Los diseños de campo fueron de parcelas divididas con factores fijos en bloques completos al azar ($b=3$). Los tratamientos quedaron definidos como combinación de un primer factor cultivos (avena y centeno puros y en consociación con *V. villosa* y *V. sativa*) y un segundo factor fertilización (testigo, 30 y 60 kg N ha⁻¹, e iguales dosis de N con adición de 10 kg S ha⁻¹) aplicado como UAN a inicio de macollaje. En la localidad de Bajo Hondo sólo fue posible implantar los 3 componentes de avena del primer factor. Un tercer factor, fue el número de corte de las evaluaciones de productividad efectuadas a los 111, 205 y 274 días desde la siembra en Bajo Hondo.

Los experimentos y las variables determinadas se describen detalladamente en los capítulos anteriores de esta Tesis. Los datos empleados en el presente capítulo se resumen en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1: Variables productivas, de calidad nutricional y edáficas empleadas.

Capítulo	Variables	Sitios
1	Producción de materia seca (MS) total y por corte según cultivo.	Bajo Hondo y Bordenave
2	Contenido de N y S en MS de avena pura y consociada con <i>V. Villosa</i> y <i>V. sativa</i> sin fertilizar y de avena pura fertilizada con 60 kg N ha ⁻¹ .	Bajo Hondo
3	Concentración de N inorgánico (N _i) en la profundidad de suelo 0 - 60 cm, en los muestreos inicial, diciembre de 2007 (2 ^{do}) y marzo de 2008 (3 ^{ro}), para los tratamientos de avena pura y consociada con <i>V. Villosa</i> y <i>V. sativa</i> sin fertilizar.	Bajo Hondo

Metodologías

Se utilizaron distintos procedimientos para el análisis de la información.

A) Complementación cereal-vicia en la utilización de los recursos ambientales: Se graficó la diferencia de producción entre las consociaciones y el cultivo de cereal puro para los 5 tratamientos de fertilización en función de la producción del el cereal puro. Se ajustaron regresiones lineales y se compararon las pendientes y ordenadas al origen para las dos consociaciones (Moreira, 1989).

B) Tasa de acumulación de N y S en biomasa aérea: Se estimaron a partir de los datos de productividad de forraje de avena pura, el contenido de N y S de la MS y los días de crecimiento del período. Se realizaron análisis de varianza (ANOVA) y comparaciones de medias, en forma análoga al de tasas de acumulación de MS (Capítulo 1).

C) Eficiencias y requerimientos: Las cantidades aparentemente recuperadas del fertilizante (eficiencia de recuperación) se calcularon por diferencia entre la dosis de nutriente aplicado y la cantidad de N absorbido por los cultivos fertilizados al final del ciclo, respecto del testigo sin fertilización. Se estimaron los

requerimientos del cultivo, como el cociente entre eficiencia de recuperación (EREC) y la eficiencia agronómica (EAGR).

D) Balance global de N: Se realizó un balance simplificado del N para estimar el cambio en la oferta de N disponible a) durante el cultivo y b) en el barbecho estival.

E) Producción, distribución y costo de la proteína bruta en Bajo Hondo: Se calculó la productividad global de PB ha⁻¹ y su distribución en el ciclo de los cultivos (Lithourgidis *et al.*, 2006). Complementariamente, a partir de los costos de producción de los cultivos ensayados, se estimó el valor del kg de MS y PB ha⁻¹ (CREA, 2002). En todos los casos, por las restricciones impuestas por el diseño del ensayo, la comparación de medias se realizó separadamente en los tratamientos fertilizados y consociados, incluyendo al testigo de avena pura en ambos grupos. Para la visualización de los tratamientos se utilizaron métodos gráficos descriptivos.

Resultados y discusión

A) Complementación cereal-vicia en la utilización de los recursos ambientales

En forma similar a lo sucedido en otros estudios (Moreira, 1989; Droushiotis, 1989; Papastylianou, 1990), las consociaciones exhibieron su potencial para aprovechar mejor los recursos del ambiente. Los incrementos en la disponibilidad de nutrientes por fertilización favorecieron más a los verdes puros, reduciendo las diferencias productivas con las consociaciones por efecto de la competencia de especies en estas últimas (Figura 4.1).

En Bajo Hondo no se encontraron diferencias en la varianza de los datos medios de ambas consociaciones ($p > 0,832$) y en la pendiente de las rectas ($p > 0,764$), pero su ordenada al origen resultó diferente ($p < 0,023$). Para las condiciones ensayadas, valores de producción inferiores a 3,0 y 5,8 t MS ha⁻¹ en avena pura indicarían conveniencia de utilización de consociaciones de Av VS o Av VV, respectivamente. En Bordenave, la falta de respuesta a la fertilización en los

cultivos con avena no permitió el ajuste de líneas de tendencia. En centeno, con desarrollo de las vicias principalmente primaverales, el rendimiento donde se iguala el cultivo puro y sus consociaciones fue próximo a 5 t MS ha⁻¹, sin diferenciación estadística entre ambas consociaciones.

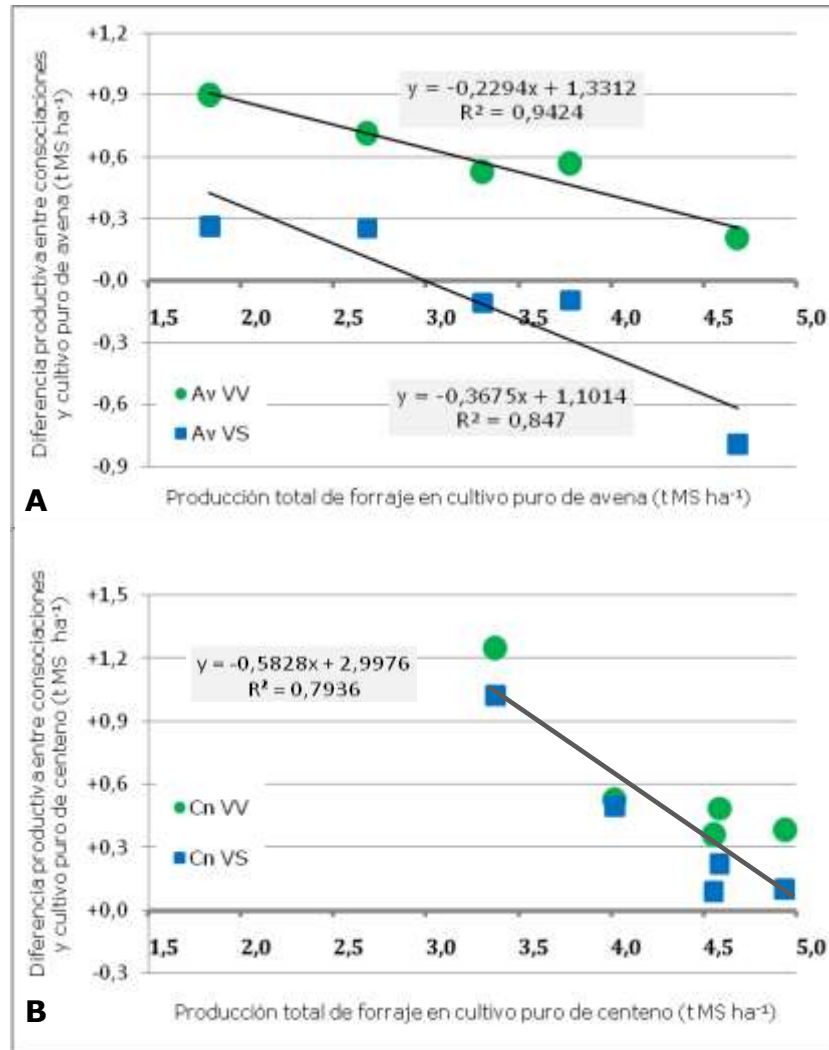


Figura 4.1: Diferencia de rendimiento en t MS ha⁻¹ entre las consociaciones y los cereales puros, según la producción de estos últimos. A) en Bajo Hondo con consociaciones de avena y *V. villosa* (Av VV) o *V. sativa* (Av VS) y B) en Bordenave con consociaciones de centeno con *V. villosa* (Cn VV) y *V. sativa* (Cn VS).

B) Tasa de acumulación de N y S en biomasa aérea

Las tasas de acumulación diarias de N y de S en la biomasa aérea de los cultivos de avena puro (con y sin fertilización) y consociado con *Vicia villosa* y *V. sativa* se presentan en las Tablas 4.2 y 4.3. La tendencia general exhibió valores

más elevados en el segundo periodo de crecimiento, lo cual concuerda con las máximas tasas de crecimiento (Imsande y Touraine, 1994). Paralelamente una mayor disponibilidad de nutrientes y la consociación con vicias, originó mejoras en la absorción de N y S (Figura 4.2).

Tabla 4.2: Tasas de acumulación diaria de N y S en avena ($\text{kg de nutriente ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$) según fertilización en cada periodo de crecimiento y global, en Bajo Hondo. Notación ver Tabla 1.2.

Nutriente	Período de crecimiento (días desde siembra)	Fertilización en avena					
		Av T		Av N		Av N+S	
N	0-111	0,07	a A	0,20	a B	0,26	b B
	111-205	0,19	b A	0,42	b B	0,59	c C
	205-274	0,12	ab A	0,14	a AB	0,19	a B
	Global	0,12	A	0,26	B	0,36	C
S	0-111	0,011	a A	0,018	a A	0,027	ab B
	111-205	0,015	a A	0,029	a B	0,043	b C
	205-274	0,009	a A	0,010	a AB	0,015	a B
	Global	0,012	A	0,020	B	0,029	C

Medias de 2 observaciones. En cada nutriente, letras minúsculas y mayúsculas distintas, en columnas y filas respectivamente, difieren a $p < 0,05$ según DMS.

Efectos ANOVA: a) en N: Período de crec. $p=0,0081$; Fert. $p < 0,0107$; Inter. $p < 0,0040$. CV%=10,00.

b) en S: Período de crec. $p=0,2851$; Fert. $p < 0,0130$; Inter. $p < 0,0374$. CV%=13,55.

Tabla 4.3: Tasas de absorción diaria de N y S en avena consociada con vicias ($\text{kg de nutriente ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$) según consociación en cada periodo de crecimiento y global, en Bajo Hondo. Notación ver Tabla 1.2.

Nutriente	Período de crecimiento (días desde siembra)	Consociación					
		Av T		Av VV		Av VS	
N	0-111	0,07	a A	0,05	a A	0,05	a A
	111-205	0,19	a A	0,66	c C	0,44	b B
	205-274	0,12	a A	0,31	b B	0,16	a A
	Global	0,12	A	0,33	B	0,21	A
S	0-111	0,011	a A	0,003	a A	0,003	a A
	111-205	0,015	b A	0,032	b A	0,025	b A
	205-274	0,009	a A	0,013	ab A	0,013	ab A
	Global	0,012	A	0,015	A	0,013	A

Medias de 2 observaciones. En cada nutriente, letras minúsculas y mayúsculas distintas, en columnas y filas respectivamente, difieren a $p < 0,05$ según DMS.

Efectos ANOVA: a) en N: Período de crec. $p=0,0304$; Consoc. $p < 0,0251$; Inter. $p < 0,0372$. CV%=28,58.

b) en S: Período de crec. $p=0,0658$; Consoc. $p < 0,4612$; Inter. $p < 0,1163$. CV%=35,05.

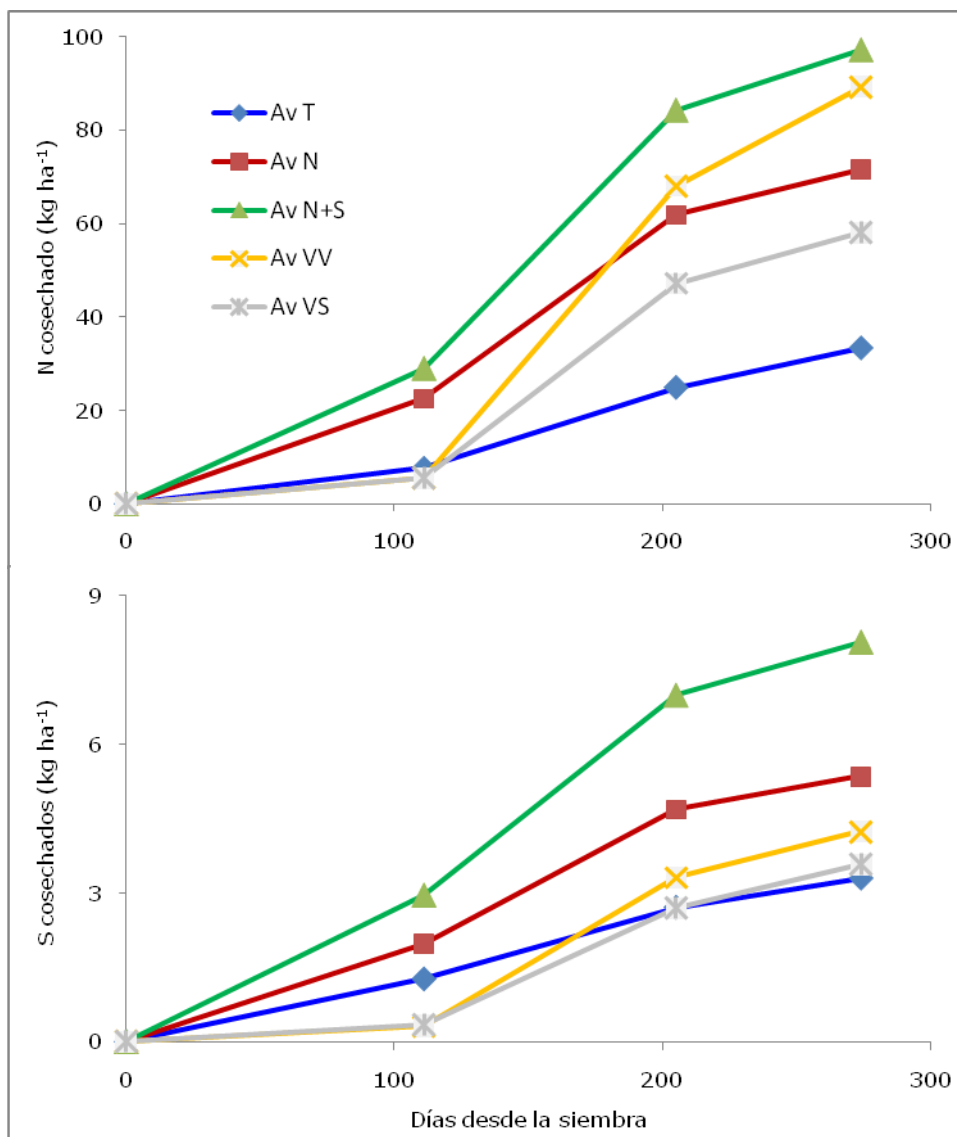


Figura 4.2: Cosecha acumulada en los periodos de crecimiento de N y S en la parte aérea de los cultivo avena pura (con y sin fertilización) y consociada con vicias en Bajo Hondo. Notación de tratamientos ver Tabla 2.1.

C) Eficiencias y requerimientos

En avena pura se estimó una recuperación aparente de 58 y 96 % de los 60 kg de N ha⁻¹ para los tratamientos sin y con S respectivamente. El primer valor está dentro del rango informado en la literatura para granos finos con similar tecnología de fertilización (Satorre *et al.*, 2003). En el mismo cultivo se recuperó un 24% del S aplicado. La mayor recuperación de N por adición de S explicaría el aumento de EAGR del N (Tabla 1.7) y podría estar sobreestimada, dado el hecho que el cultivo fertilizado absorbe más nitrógeno nativo que el testigo.

Los requerimientos, calculados como el cociente entre EREC y EAGR, resultaron en valores de alrededor de 20 y 2,6 kg de N y S (t MS)⁻¹, respectivamente. Estos son similares a los citados por la bibliografía para cultivos forrajeros (García *et al.*, 1999).

D) Balance global de N

La Tabla 4.4 muestra que durante el cultivo hubo una oferta de N disponible similar en el promedio de las consociaciones y en los tratamientos fertilizados, que fue aproximadamente 5 veces superior al de la avena pura sin fertilizar. De acuerdo a los resultados, cuando finalizó el aprovechamiento del forraje (Diciembre de 2007) el N_i fue significativamente mayor en las consociaciones y en la avena pura fertilizada. Aun considerando que la determinación de N_i incluyó formas con diferentes movilidades en el suelo, tanto en consociaciones como en avena fertilizada existiría un mayor riesgo ambiental de contaminación de aguas subterráneas durante el barbecho estival (Karlen *et al.*, 1998). Más allá de las consideraciones productivas, las consociaciones cuentan con la ventaja comparativa de la reducción de uso de la energía y de la producción de CO₂, al sustituir el N del fertilizante por el N fijado por leguminosas (Paustian *et al.*, 1999; Ramírez y Worrell, 2006).

Tabla 4.4: Balance simplificado de N en kg ha^{-1} en los cultivos de avena pura y consociada con *V. villosa* y *V. sativa* en Bajo Hondo. Notación de cultivos y momentos de muestreo de suelo ver Tablas 2.1 y 3.3, respectivamente.

cultivo	N_i inicial (marzo 2007) ¹	N removido por el cultivo ²	N_i 2 ^{do} muestreo (Diciembre 2007) ¹	N_i 3 ^{er} muestreo (Marzo 2008) ¹	ΔN disponible durante cultivos ³	ΔN disponible durante barbecho estival ⁴
AvT	88	28	38	88	-22	50
Av N	88	63	54	81	31	25
Av N+S	88	86	54	86	52	32
Av VV	88	78	54	88	44	34
Av VS	88	52	47	102	11	55

Letras distintas en columnas difieren significativamente a $p < 0,05$ según DMS. 1: Media de tres observaciones, 2: Media de dos observaciones, 3: Estimado como (N removido por el cultivo + N_i 2^{do} muestreo) - N_i inicial, 4: Estimado como (N_i 3^{er} muestreo - N_i 2^{do} muestreo). Masa de 1 ha en 30 cm de profundidad = 4.000.000 kg.

E) Producción, distribución y costo de la proteína bruta en Bajo Hondo

En la Figura 4.3 se presenta el rendimiento de PB ha^{-1} y su distribución en el ciclo de cultivo. El análisis de varianza y la diferenciación de medias mostraron diferencias para todos los tratamientos en el diseño que comparó la avena testigo con las consociaciones, como también en los niveles de fertilización.

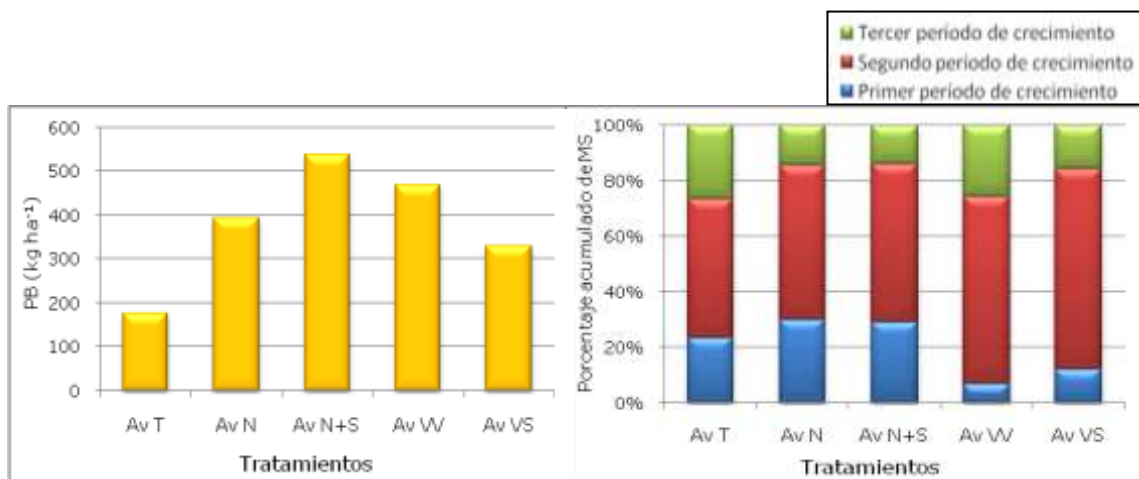


Figura 4.3: Producción y distribución en períodos de crecimiento sucesivos de la proteína bruta (PB) por hectárea en Bajo Hondo. Notación de tratamientos ver Tabla 2.1.

La distribución de PB fue definida, principalmente, por las condiciones de crecimiento, determinantes de la producción de forraje. Así, en todos los casos, la

mayor proporción estuvo en el segundo periodo de crecimiento. La fertilización, en tanto, concentró la PB en los primeros períodos, en contraste con ambas consociaciones. El análisis estadístico para la distribución de la PB en los periodos de crecimiento fue coincidente con el realizado para las tasas de absorción diarias de N en avena según fertilización y consociación.

Paralelamente con la información de productividad y los costos por hectárea de los cultivos (Tabla 4.5) se estimó el costo por kg de MS y PB (Figura 4.4).

Tabla 4.5: Cálculo de costos de los cultivos ensayados en \$ ha⁻¹. Elaborado con metodología utilizada por grupos de productores CREA con valores actualizados a noviembre de 2009. Notación de tratamientos ver Tabla 2.1.

Componente	Av T			Av N y Av N+S		
	Unid.	\$/unid.	\$/ha	Unid.	\$/unid.	\$/ha
Valor de arrendamiento (ha)	1	68	68	1	68	68
Aplicaciones con pulverizadora	1	33	33	2	33	66
Rastreada (barbecho precultivo)	1	71,5	71,5	1	71,5	71,5
Glifosato (barbecho precultivo) (lt)	1,5	11,4	17,1	1,5	11,4	17,1
Siembra	1	66	66	1	66	66
Semilla de avena (kg)	80	0,7	56	80	0,7	56
Semilla vicia (kg)	0	4,8	0	0	4,8	0
Fertilizante UAN (unidades de N)	0	6,2	0	60	6,2	372
Total			312			717

Componente	Av VV			Av VS		
	Unid.	\$/unid.	\$/ha	Unid.	\$/unid.	\$/ha
Valor de arrendamiento (ha)	1	68	68	1	68	68
Aplicaciones con pulverizadora	1	33	33	1	33	33
Rastreada (barbecho precultivo)	1	71,5	71,5	1	71,5	71,5
Glifosato (barbecho precultivo) (lt)	1,5	11,4	17,1	1,5	11,4	17,1
Siembra	1	66	66	1	66	66
Semilla de avena (kg)	50	0,7	35	50	0,7	35
Semilla vicia (kg)	20	4,8	96	35	4,8	168
Fertilizante UAN (unidades de N)	0	6,2	0	0	6,2	0
Total			387			459

Referencias: Semillas para 240 plantas vivas ha⁻¹, Valor de UTA: 110 \$ ha⁻¹, Índice novillo: 3,4 \$ ha⁻¹

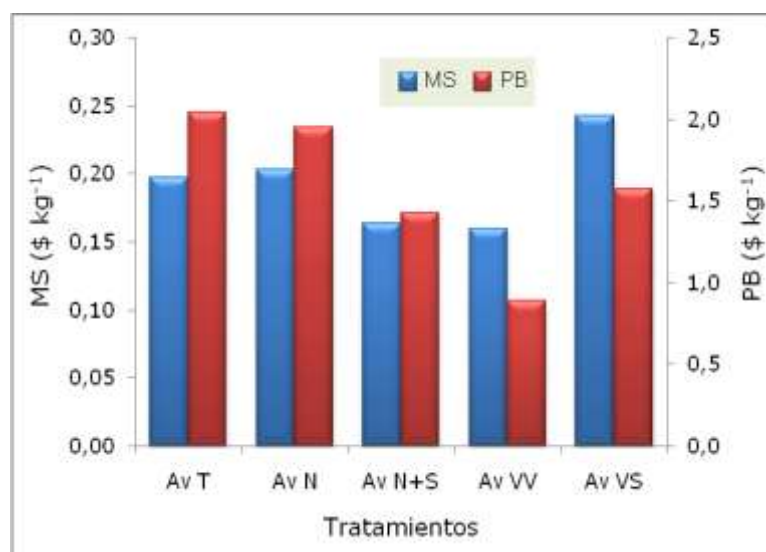


Figura 4.4: Costo por kg de materia seca (MS) y proteína bruta (PB) según tratamientos en Bajo Hondo. Notación ver Tabla 2.1.

La fertilización con 60 kg N ha⁻¹ no modificó los valores de la MS y la PB con las relaciones de precios consideradas. La mejora de recuperación del N, por efecto del S, redujo ambos costos.

La consociación Av VV en función de su mayor producción de MS y su calidad de forraje presentó los costos más bajos. La Av VS, si bien mostró bajo costo de PB, el elevado peso de mil semillas de *V. sativa* implicó la utilización de mayor cantidad de semilla para el establecimiento de igual número de plantas. Esto sumado a la acotada productividad del cultivo generó el costo más elevado de MS.

Estos resultados, si bien acotados a las condiciones del estudio en un solo año, resultan promisorios, teniendo en cuenta la revalorización actual que presenta a nivel mundial la utilización de leguminosas anuales en la rotación de cultivos (McCartney y Fraser, 2010).

Conclusiones

Las consociaciones exhibieron su potencial para aprovechar mejor los recursos del ambiente. Los incrementos en la disponibilidad de nutrientes por fertilización favorecieron más a los verdes puros, reduciendo las diferencias

productivas con las consociaciones por efecto de la competencia de especies en estas últimas.

La tendencia general exhibió en las tasas de absorción diarias de N y de S en la biomasa aérea de los cultivos, valores más elevados en el segundo periodo de crecimiento, concordante con las máximas tasas de crecimiento.

La adición de 10 kg de S ha⁻¹ al tratamiento de fertilización con 60 kg de N ha⁻¹ mejoró la eficiencia de recuperación aparente de N en un 38 %.

Los requerimientos, calculados como el cociente entre EREC y EAGR, resultaron en valores de alrededor de 20 y 2,6 kg de N y S (t MS)⁻¹, respectivamente.

La oferta de N disponible durante los cultivos fue 5 veces superior en las consociaciones que en la avena pura. Esto resulta en un beneficio ambiental, por ahorro de fertilizante, relevante frente al riesgo potencial de contaminación de aguas.

Los menores costos de PB y MS se obtuvieron con el tratamiento Av VV.

Referencias

- CREA, 2002. Software Producción de Carne v3.0. Convenio AACREA-Banco Rio.
- Dhima, K.V; Lithourgidis, A.S.; Vasilakoglou, I.B. y Dordas, C.A. 2007. Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. *Field Crop. Res.* 100:249-256.
- Droushiotis, D.N. 1989. Mixtures of annual legumes and small-grained cereals for forage production under low rainfall. *J. Agric. Sci.* 113:249-253.
- Durán, R.; Scoponi, L.; Nori, M.; Boland, L.; Maccagno, R.; Thomas, M. y Goyanarte, H. 2005. Tablero de comando: Una herramienta para el control de la gestión agropecuaria. Primera Edición. Ed Osmar D. Buyatti. 162 pp.
- García, F.O.; Ruffo, M.L. y Daverede, I.C. 1999. Fertilización de Pasturas y Verdeos. Revisión. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* N° 1.
- Imssande, J. y Touraine, B. 1994. N demand and the regulation of nitrate uptake. *Plant Physiol.* 105:3-7.

- Karlen, D.L.; Kramer, L.A. y Logsdon, S.D. 1998. Field - Scale nitrogen balances associated with long - term continuous corn production. *Agronomy Journal* 90(5):644-650.
- Lithourgidis, A.S.; Vasilakoglou, I.B.; Dhima, K.V.; Dordas, C.A. y Yiakoulaki, M.D. 2006. Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and triticale in two seeding ratios. *Field Crop. Res.* 99:106-113.
- McCartney, D. y Fraser, J. 2010. The potential role of annual forage legumes in Canada: A review. *Can. J. Plant Sci.* 90:403-420.
- Méndez, D. y Davies, P. 2000. Utilización de verdeos de invernales. Publicación Técnica N° 30. EEA INTA Gral. Villegas. 35 pp.
- Moreira, N. 1989. The effect of seed rate and nitrogen fertilizer on the yield and nutritive value of oat-vetch mixtures. *J. Agric. Sci. Camb.* 112:57-66.
- Papastylianou, I. 1990. Response of pure stands and mixtures of cereals and legumes to nitrogen fertilization and residual effects on subsequent barley. *J. Agric. Sci.* 115:15-22.
- Paustian, K.; Six, J.; Elliott, E.T. y Hunt, H.W. 2000. Management options for reducing CO₂ emissions from agricultural soils. *Biogeochemistry* 48:147-163.
- Ramírez, C.A. y Worrell, E. 2006. Feeding fossil fuels to the soil, an analysis of energy embedded and technological learning in the fertilizer industry. *Resources, Conservation and Recycling* 46:75-93.
- Satorre, E.H.; Benech Arnold, R.L.; Slafer, G.A.; B. de la Fuente, E.; Miralles, D.J.; Otegui, M.E. y Savin, R. 2003. Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Ed. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 557 pp.

Conclusiones generales

A) Consideraciones técnicas y productivas

Bajo las condiciones de régimen hídrico ústico del sudoeste bonaerense y de este estudio, las consociaciones resultaron más productivas que los cereales forrajeros puros. Con niveles de participación de vicia, en la composición de la MS, mayores a 27% se aseguraron valores de proteína bruta no restrictivos en la producción animal. La fijación biológica de N y los residuos de raíces mejoraron las condiciones edáficas, incrementando la fracción lábil de carbono y la capacidad del suelo para mineralizar N. Este último aporte podría ser aprovechado por cultivos siguientes luego de un barbecho con labranza mecánica.

En Bordenave, aún bajo estrés hídrico, bajas temperaturas y alta frecuencia de heladas, el centeno exhibió un marcado comportamiento de rusticidad, a diferencia de la avena cuyo crecimiento se vio limitado. Por las características de la zona, resulta emergente la necesidad de evaluar consociaciones con otros cultivares de avena, de diferentes ciclos.

Bajo las condiciones de crecimiento de Bajo Hondo y desde el punto de vista productivo, *V. villosa* se comportó mejor que *V. sativa*. En tanto que en Bordenave sin exhibirse diferencias entre vicias, centeno como acompañante fue más restrictivo del crecimiento de las vicias. La especie de vicia no tuvo implicancia sobre la calidad intrínseca de la MS de la consociación, aunque variaciones en su ciclo de crecimiento, alteran su participación en el forraje, lo cual implica modificaciones en la calidad de la mezcla de la consociación.

En los primeros estadios de crecimiento, las especies de vicia ensayadas difirieron en la estructura de sus sistemas radiculares y en la cantidad, tamaño, forma y ubicación de los nódulos de fijación simbiótica. Para esta experiencia, la ubicación de los nódulos en *V. sativa* estaría relacionada con un mejor aprovechamiento de los rizobios nativos del suelo, mientras que *V. villosa* presentó señales de mejor aprovechamiento de los rizobios del inoculante.

En Bajo Hondo, bajo las condiciones ensayadas, *Vicia sativa* presentó igual capacidad para mejorar los niveles de N inorgánico del suelo que *V. villosa*, pese al menor potencial productivo que exhibió en este estudio.

La fertilización nitrogenada, en consociaciones, produjo reducciones de la participación y rendimiento de las vicias, sin efectos observables sobre la nodulación en los primeros estadios de crecimiento. Mejoras en la nutrición mineral favorecieron la competitividad por los recursos ambientales de los verdeos puros respecto de las consociaciones, reduciendo las diferencias productivas entre ellos.

En Bajo Hondo, la adición de 60 kg de N ha⁻¹ al macollaje mejoró la calidad de la MS del verdeo de avena pura, sin desbalances en la calidad nutricional. A nivel del suelo, provocó cambios temporales en el nitrógeno inorgánico durante el periodo de cultivo, sin registrarse modificaciones en el barbecho posterior.

La adición de S incrementó la producción de forraje en todos los cultivos ensayados y originó mejoras del 40 % en la eficiencia agronómica del N, a pesar de su alta disponibilidad en el suelo. Asimismo, tuvo un impacto positivo sobre la calidad de avena pura. En las consociaciones de ambos sitios, mejoró la habilidad competitiva de *V. sativa*. Los resultados sugieren considerar la fertilización azufrada, en consociaciones con *V. sativa* como práctica de manejo para mejorar su productividad.

El monitoreo de S extraíble reveló los efectos de la fertilización y el mayor consumo de S en la vicia. Su retención en la biomasa aérea y radical con posterioridad al ciclo de cultivo, provocaría mayor nivel de S en estratos superiores del suelo al momento de su descomposición.

La comparación entre las prácticas de consociación con vicias y de fertilización nitrogenada, refleja ventajas en favor de la primera. Estas incluyen el efecto de complementación de ciclos de las especies, que implicó mejoras en la calidad, producción y costo del forraje producido, y los cambios favorables en las variables de suelo estudiadas.

B) Contribución general a los sistemas productivos

Los resultados de las tecnologías examinadas y sus implicancias nos permiten hacer aportes cualitativos a los sistemas productivos de la zona de régimen hídrico ústico del sudoeste bonaerense.

Las tecnologías de insumos (fertilización) y de procesos (consociaciones con leguminosas anuales) impactan de manera diferente en el tiempo, a nivel de los predios productivos.

Para este estudio la fertilización combinada de N y S, permitió mayores eficiencias de uso y recuperaciones de ambos nutrientes que la aplicación o provisión parcial de N. Esto implica mejoras en la capacidad de uso de los recursos exógenos del sistema y contribuciones al cuidado del medio ambiente. Paralelamente no resulta menor que los efectos generales sólo fueron visualizados dentro del año de aplicación.

Por otro lado, las consociaciones con vicias presentaron mayor cantidad-calidad de forraje, con bajos costos de producción, lo cual implicó intensificación en la capacidad de utilización de los recursos endógenos del sistema de producción. Por otra parte, las mejoras de suelo trascendieron el corto plazo, mereciendo valorar la técnica de manejo sobre el sistema.

Asumiendo que las buenas prácticas agrícolas arrojan beneficios que exceden el ámbito predial, la investigación aplicada debería valorizar estos aportes en términos de calidad ambiental, diversificación, biodiversidad y servicios ecosistémicos.